



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “ครูวิจัย-พลังงาน”

โดย รศ.กำพล ประทีปชัยกูร และคณะ

สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
วันที่เสร็จโครงการ 31 กรกฎาคม 2551

สัญญาเลขที่ RDG5130033
โครงการ “ครูวิจัย-พลังงาน”
บทสรุปของผู้บริหาร

ผู้เสนอ : รศ. กำพล ประทีปชัยกุล
หน่วยงานต้นสังกัด : วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ระยะเวลาดำเนินการ : 1 ปี (1 กรกฎาคม 2551 ถึง วันที่ 30 มิถุนายน 2552)
งบประมาณที่เสนอ : 1,245,830.00 บาท (หนึ่งล้านสองแสนสี่หมื่นห้าพันแปดร้อยสามสิบบาทถ้วน)

การมาฝึกทำวิจัยพลังงานหนึ่งเดือน ทำให้คุณครูทั้ง 29 คน ได้เรียนรู้ศาสตร์แขนงต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์พื้นฐาน เรียนรู้และแลกเปลี่ยนประสบการณ์กับพี่เลี้ยง ทำให้เข้าใจกระบวนการวิจัย จนสามารถผลิตผลงานเป็นบทความได้ 24 เรื่อง

ครูได้เรียนรู้จากสภาพจริง จากการไปทัศนศึกษาการผลิตน้ำยางข้น วิถีชีวิตแบบพอเพียงด้วยการออมทรัพย์ ณ วิทยาลัยชาวบ้านคลองเป๊ะ และการวิจัยการท่องเที่ยวเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลนของชุมชนบ้านบ่อเจ็ดลูก ทำให้ครูได้รับประสบการณ์ และนำไปใช้ หลังจากกลับไปโรงเรียน เช่น ครูธัญลักษณ์ จันดีสาร ได้ทุนสร้างชุดผลิตไบโอดีเซล ขนาด 5 ลิตร และครูสุรติยาภรณ์ ทองอ่ำ เป็นครูวิจัยรุ่นที่ 1 ได้รับทุนจากเทศบาลนครสวรรค์ ให้จัดสร้างชุดผลิตไบโอดีเซลขนาด 5 ลิตร และอีกหลายคนขยายการทำโครงการด้านพลังงานในโรงเรียน ในเรื่องก๊าซชีวภาพ ไบโอดีเซล และอื่น ๆ

นอกจากนี้ก็มีครูอีกหลายได้ชุดทดลองกลับไปโรงเรียนหลังจากที่ได้มาอบรมเดือนเมษายน 2552 เช่น เต่าเผ่าต่านขนาดเล็ก กังหันลมแบบแกนตั้ง กังหันลมแบบแกนนอน ฯลฯ กลับไปโรงเรียน เพื่อถ่ายทอดและทดลองให้นักเรียนต่อไป

การฝึกทำวิจัยของครู ที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สามารถสรุปเป็นโมเดลของสองกระบวนการ ดังในรูปที่ 3 คือ การบวนการเรียนรู้เพื่อแก้ปัญหา และกระบวนการย่อยความรู้

กระบวนการเรียนรู้เพื่อแก้ปัญหา ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ (1) ขั้นตอนการเรียนรู้ เป็นการเรียนจากผู้สอน (2) ขั้นตอนการอ่าน เป็นการอ่านผลงานวิจัยที่ได้รับมอบหมายจากพี่เลี้ยง (3) ขั้นตอนการคิดและวางแผนการวิจัย เป็นขั้นตอนที่ครูตกผลึกความคิดและเห็นแนวทางในการทำวิจัย และ (4) ขั้นตอนการลงมือปฏิบัติ คือลงไปเก็บข้อมูลตามแผนงานที่วางไว้ เป็นการเก็บเกี่ยวประสบการณ์จากการทำงาน กระบวนการเรียนรู้นี้ทำให้ทราบว่า ได้ผลตามที่วางแผนไว้หรือไม่

กระบวนการย่อยความรู้ เป็นการนำข้อมูลมารวบรวมวิเคราะห์และสังเคราะห์กับพี่เลี้ยง เป็นการฝึกทักษะการคิดแบบเชื่อมโยง การหลอมรวมเป็นเรื่องใหม่ เป็นความรู้ จนได้ผลสรุปที่ดี

ครูที่เข้าร่วมโครงการครูวิจัยพลังงาน เป็นครูที่มีศักยภาพในการพัฒนา แม้ได้รับการฝึกฝนในระยะเวลาอันสั้น ก็สามารถนำไปทดลองขยายผลสู่การสอนที่โรงเรียนได้ มีกรณีให้ศึกษา การทำงานของครูในช่วงการฝึกฝนได้สะท้อนให้เห็นผ่านพฤติกรรมที่แสดงออกให้เห็น ซึ่งผลการประเมินของพี่เลี้ยงอยู่ในระดับที่ดีและดีมาก แม้จะเป็นการประเมินที่ไม่ครอบคลุมทุกด้าน

รหัสโครงการ : สัญญาเลขที่ RDG5130033

ชื่อโครงการ : โครงการ “ครูวิจัย-พลังงาน”

ชื่อนักวิจัย : กำพล ประทีปชัยกูร

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

email address : gumpon.p@psu.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : กรกฎาคม 2551 – มิถุนายน 2552

โครงการครูวิจัยพลังงาน เป็นโครงการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาศักยภาพของครูด้วยกระบวนการวิจัยจากประสบการณ์นอกห้องเรียน เพื่อเพิ่มความรู้ความเข้าใจในหลักการทางวิทยาศาสตร์อย่างเชื่อมโยงกับวิถีชีวิต และเพื่อพัฒนากระบวนการเรียนการสอนของครู ที่สามารถสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนรู้ของนักเรียน โดยการฝึกการทำวิจัยเป็นเวลา 1 เดือน สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้จัดการเรียนรู้เป็น 3 ส่วนให้แก่ครู 29 คน คือ การบรรยายเนื้อหาพื้นฐานด้านวิทยาศาสตร์พลังงาน วิธีการทำวิจัย การเรียนรู้ด้วยการลงปฏิบัติ ซึ่งมี 7 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มประหยัดพลังงาน กลุ่มอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ กลุ่มเชื้อเพลิงแข็งและก๊าซชีววมวล กลุ่มไบโอดีเซล กลุ่มพลังงานน้ำ กลุ่มพลังงานลม และกลุ่มก๊าซชีวภาพ และการเรียนรู้ด้วยการทัศนศึกษา ได้แก่ ทัศนศึกษาอารยะธรรมรอบทะเลสาบสงขลา การผลิตน้ำยางข้นที่โรงงานผลองน้ำยางข้น วิถีชีวิตแบบพอเพียงด้วยการออมทรัพย์ ณ วิทยาลัยชาวบ้านคลองเปี้ยะ การวิจัยการท่องเที่ยวเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรของชุมชนบ้านบ่อเจ็ดลูก ผลการฝึกครูทำวิจัยครั้งนี้ ได้ทำให้ครูมีความรู้พื้นฐานด้านพลังงาน สามารถออกแบบการทดลองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน ครูแต่ละคนสามารถเขียนผลงานวิจัยเป็นรายงานและบทความวิจัย ได้ผลงานวิจัย 24 เรื่อง ครูที่เข้าอบรมมีทัศนคติที่ดีต่อการทำวิจัยด้านพลังงาน และได้้นำประสบการณ์ที่ได้ไปขยายผลต่อที่โรงเรียน เช่น การให้นักเรียนทำโครงการที่เกี่ยวข้องกับความรู้ในชุมชน การทำไบโอดีเซลในโรงเรียน การผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นต้น สรุปผลของโครงการนี้ ครูได้ความรู้และได้ประสบการณ์จากนอกห้องเรียนที่สามารถนำไปพัฒนาการเรียนการสอนที่โรงเรียนได้ ทั้งนี้เสนอแนะให้ติดตามและให้ทุนสนับสนุนแก่ครูกลุ่มนี้ต่อไปเพื่อเป็นการกระตุ้นให้ทำวิจัยอย่างต่อเนื่องจนได้เป็นตัวอย่างแก่ครูคนอื่น จนสามารถสร้างผลงานวิจัยและสาระการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง

คำหลัก :

ครูวิจัยพลังงาน, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์

Abstract

Project Code : RDG5130033

Project name: Kuruvijai-Energy

Researchers: Gumpon Prateepchaikul

Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

email address : gumpon.p@psu.ac.th

Duration: July 2008-June 2009

The objectives of Kuruvijai-energy project is to develop the teachers' potential with research methodology from the off-classroom experience, to enhance the knowledge and understanding in scientific principle and to develop the teaching procedure of the teachers in order to create the eagerness in learning of the students by research training for 1 month. Energy technology research center, Prince of Songkla University organized the training for 29 teachers into 3 parts: energy science fundamental lecture, research methodology and practice. Seven groups have been divided: energy conservation, solar drying, solid fuel and gasification, biodiesel, Hydro energy, Wind energy, and biogas. Study visits to Songkla lake's culture. Chalong rubber latex industry and Khlong Pae people collage have been organized for the participants. After finishing the project, all participants gains the energy fundamental knowledge, the capability in experimental design in order to describe the relation in conjunction with the alternative energy and energy conservation. Each participant has the ability to write a research report and research paper. 24 research works have been achieved from this workshop. All participants have the good impression in energy research and brought this experience to his/her school for further development i.e, student project in the field of community knowledge, school biodiesel, biogas from the waste. At last all participant have the experience and knowledge in which he/she can bring this experience to develop his/her teaching in the school. However, follow-up and financial support in research fund are suggested for these teachers in order to keep them performing the research continuously.

Keyword

Kuruvilai-energy, Prince of Songkla university, Department of Mechanical Engineering

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปของผู้บริหาร	(1)
บทคัดย่อภาษาไทย	(2)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
สารบาญ	(4)
วัตถุประสงค์ของโครงการ	5
รายละเอียดการดำเนินงาน	6
รายชื่อกลุ่มพลังงานลม	9
รายชื่อกลุ่มพลังงานแสงอาทิตย์	11
รายชื่อกลุ่มก๊าซชีวภาพ	15
รายชื่อกลุ่มไบโอดีเซล	19
รายชื่อกลุ่มอนุรักษ์พลังงาน	22
รายชื่อกลุ่มพลังงานน้ำ	25
รายชื่อกลุ่มเชื้อเพลิงแข็งและชีวมวล	26
รายชื่อผู้สละสิทธิ์และคัดออก	29
กำหนดการโครงการครุวิจัยพลังงาน	29
กิจกรรมต่าง ๆ ในช่วงเดือนเมษายน 2552	32
ข้อเสนอแนะ	43
ภาคผนวก ก แนวทางการวิจัยของแต่ละกลุ่มพลังงาน	45
ภาคผนวก ข การเขียนสาระการเรียนรู้/แผนการสอน	69
ภาคผนวก ค การเขียนบทความวิจัย	75
ภาคผนวก ง บทความวิจัย	79
ภาคผนวก จ สาระการเรียนรู้/แผนการเรียนการสอน	221
ภาคผนวก ฉ ภาพกิจกรรมครุวิจัยพลังงาน	327

สัญญาเลขที่ RDG5130033

โครงการ “ครูวิจัย-พลังงาน”

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน : รศ. กำพล ประทีปชัยกูร

หน่วยงาน : สถาบันวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Email address : gumpon.p@psu.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 1 กรกฎาคม 2551 – 30 มิถุนายน 2552

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อพัฒนาศักยภาพของครูด้วยกระบวนการวิจัยจากประสบการณ์ นอกห้องเรียน
2. เพื่อเพิ่มความรู้ความเข้าใจในหลักการทางวิทยาศาสตร์อย่างเชื่อมโยงกับวิถีชีวิต
3. เพื่อพัฒนาระบบการเรียนการสอนของครูที่สามารถสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนรู้ของนักเรียน

ตารางเปรียบเทียบ วัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

สถาบันวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน ได้จัดการเรียนรู้กระบวนการทำวิจัยด้วยการลงมือปฏิบัติเอง ภายใต้การดูแลอย่างใกล้ชิดของพี่เลี้ยง คือ อาจารย์และผู้ช่วยวิจัย

การเรียนรู้เป็นกลุ่มวิจัย ทำให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในกลุ่ม บางครั้งก็มีการไปแอบเรียนรู้การทำวิจัยของกลุ่มอื่น

ในตารางแสดงผลการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับวัตถุประสงค์ และประเมินผลสัมฤทธิ์จากการทำงานครั้งนี้

วัตถุประสงค์	กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ* ผลสัมฤทธิ์
1. เพื่อพัฒนาศักยภาพของครูด้วยกระบวนการวิจัยจากประสบการณ์นอกห้องเรียน	ให้ความรู้พื้นฐานต่าง ๆ เช่น การสืบค้นสิทธิบัตร การทำวิจัย และการวางแผน การใช้เครื่องมือวัด	ครูเข้าใจกระบวนการวิจัย และเรียนรู้การสร้างความรู้จากกระบวนการวิจัย ได้ผลงานวิจัยที่สามารถนำไปใช้สร้างความก้าวหน้าในวิชาชีพ	ได้บรรยายความรู้พื้นฐานในแต่ละหัวข้อ ได้ฝึกการเก็บข้อมูล ได้ผลงานวิจัย 24 เรื่อง	100%

วัตถุประสงค์	กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ* ผลสัมฤทธิ์
2. เพื่อเพิ่มความรู้ความเข้าใจในหลักการทางวิทยาศาสตร์อย่างเชื่อมโยงกับวิถีชีวิต	การไปทัศนศึกษา ฝึกเขียนรายงาน	ครูได้เรียนรู้ในหัวข้อเกี่ยวกับการใช้พลังงาน หมุนเวียนสามารถนำไปใช้ ในการเรียนการสอนและ เผยแพร่ในชุมชนได้	ได้พาครูไปทัศนศึกษา นอกสถานที่และประชุมสังเคราะห์ ความรู้	100%
3. เพื่อพัฒนากระบวนการเรียนการสอนของครูที่สามารถสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนรู้ของนักเรียน	การวิเคราะห์และ สังเคราะห์ข้อมูล	ครูสามารถพัฒนาการเรียนรู้ และสร้างองค์ความรู้จาก กระบวนการทำวิจัย	ครูได้รายงานวิจัยที่ เชื่อมโยงกับสาระการเรียนรู้ ได้อุปกรณ์ทดลอง	100%

รายละเอียดการดำเนินงาน

การศึกษาเป็นเสาหลักในการสร้างคนในประเทศ โดยมีครูเป็นบุคคลสำคัญ กล่าวคือ ครูเก่งย่อมมีผลให้นักเรียนเก่งด้วย ที่ส่งผลให้ชาติเข้มแข็ง ไม่มีกระบวนการใดที่ใช้พัฒนาคนได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการทำวิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โดยฝ่าย สวัสดิภาพสาธารณะ (ฝ่าย 3) และฝ่ายอุตสาหกรรม (ฝ่าย 5) จึงได้สนับสนุนทุนให้ครูทั่วประเทศจำนวน 54 คน เข้าฝึกทำวิจัยกับนักวิจัยของสถานวิจัยพลังงาน มอ. หาดใหญ่ จ.สงขลา ภายใต้โครงการ ครูวิจัย ทั้งนี้จำนวนครูทั้งหมดนี้มีครูจากภาคใต้ 25 คน ที่มาจากพื้นที่ 5 จังหวัด (สงขลา สตูล พัทลุง ตรัง และนครศรีธรรมราช) ได้เข้าฝึกทำวิจัยในโครงการนี้เป็นพิเศษตามยุทธศาสตร์การพัฒนาการศึกษาของฝ่าย 5

การเรียนรู้การทำวิจัยของครู 54 คนได้ถูกจัดแบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม คือ กลุ่มประหยัดพลังงาน กลุ่มอบแห้ง กลุ่มเชื้อเพลิงแข็งและก๊าซชีวมวล กลุ่มไบโอดีเซล และกลุ่มก๊าซชีวภาพ กลุ่มพลังงานลม กลุ่มพลังงานน้ำ โดยครูต้องเข้ามาพักในมหาวิทยาลัยและฝึกทำวิจัยด้านพลังงานเป็นเวลาหนึ่งเดือนเต็ม คือ ในเดือนเมษายน 2552 เป็นการพิสูจน์ว่าครูสามารถสร้างความรู้เองได้ด้วยการวิจัย ครูทุกคนจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาแปลงเป็นความรู้ และนำเสนอในรูปของโปสเตอร์ การบรรยาย บทความผลงานวิจัย รวมไปถึงสาระการเรียนรู้ ที่ครูสามารถนำไปใช้ที่โรงเรียนได้

สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงานจะจัดให้มีการฝึกทักษะการทำวิจัยให้แก่ครูโดยใช้สถานที่ฝึกและทำวิจัยในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภายใต้การดูแลของอาจารย์ในสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงานและนักศึกษาปริญญาโทอย่างใกล้ชิด

ผู้เข้าร่วมโครงการทุกคนจะเข้าพักในหอพักนักศึกษาในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งอยู่ห่างจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ประมาณ 300 เมตร การฝึกทักษะการทำวิจัยมีระยะเวลา 1 เดือน คือ เดือนเมษายน

การคัดเลือกครูผู้ร่วมโครงการ ศูนย์พี่เลี้ยงได้ทำการคัดเลือกครูผู้ร่วมโครงการจากข้อเสนอโครงการวิจัยที่ครูแต่ละคนส่งมาสมัคร โดยผ่านเกณฑ์การคัดเลือก 35 คน หลังจากนั้นได้มอบหมายให้อาจารย์ในสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงานที่เชี่ยวชาญในแต่ละด้าน ช่วยปรับหัวข้องานวิจัยที่ครูได้เสนอมา ก่อนที่จะเชิญครูผู้เข้าร่วมโครงการประชุมพัฒนาข้อเสนอโครงการ

ซึ่งตัวแทนจากสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงานในแต่ละกลุ่มวิจัยได้พบครูที่ผ่านการคัดเลือกดังกล่าว ในงานประชุมพัฒนาข้อเสนอโครงการครูวิจัย ในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2551 เวลา 09.00 – 16.30 น. ณ ห้องแกรนด์บอลรูม

โรงแรมราม่า การ์เด็นส์ หลักสี่ กรุงเทพฯ เพื่อแนะนำสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงานและพุดคุยเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนหัวข้อวิจัยและแนวทางการทำวิจัยของครูแต่ละคน พร้อมแนะนำอาจารย์ที่ปรึกษาของครูแต่ละคน เพื่อให้ครูได้ติดต่อปรึกษาโดยตรงและปรับปรุงข้อเสนอโครงการต่อไป โดยได้ส่งร่างข้อเสนอโครงการไปให้เพื่อเป็นแนวทางในการเขียนข้อเสนอโครงการวิจัยให้กับครูผู้เข้าร่วมโครงการ ดังรูปแบบต่อไปนี้

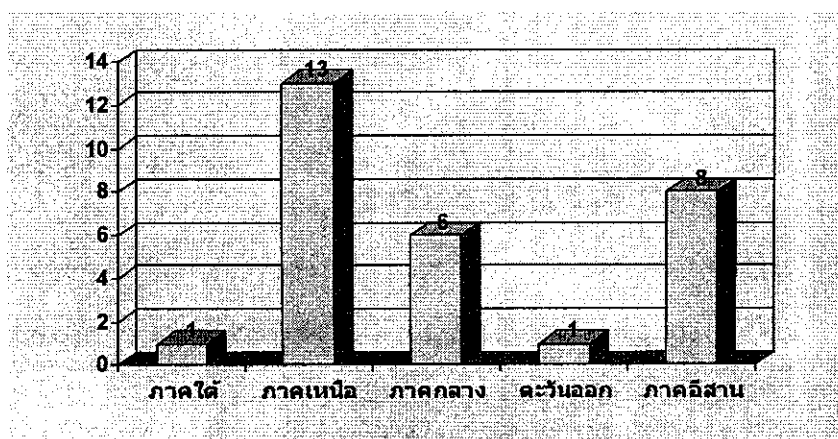
ข้อเสนอโครงการ

- 1) ชื่อโครงการ.....
 คำสำคัญ.....
 ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ).....
 Keyword.....
- 2) ชื่อผู้วิจัย
 1.....
 2.....
 3.....
- 3) ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ชื่อโรงเรียน ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail
 ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
 ชื่อโรงเรียน.....
 ที่อยู่.....
 โทรศัพท์/โทรสาร.....E-mail.....
 ลงนาม (ลายเซ็น).....
- 4) ระยะเวลาดำเนินงาน.....เดือน
- 5) ความเป็นมาของปัญหา
- 6) วัตถุประสงค์
- 7) หลักคิด (Concept) ของการวิจัย
- 8) วิธีการวิจัย
 กิจกรรมที่ 1
 กิจกรรมที่ 2
 กิจกรรมที่ 3
- 9) แผนกิจกรรม
- 10) สิ่งคาดว่าจะได้รับ
 1-2 สัปดาห์
 3-4 สัปดาห์
- 11) เอกสารอ้างอิง
 1.....
 2.....

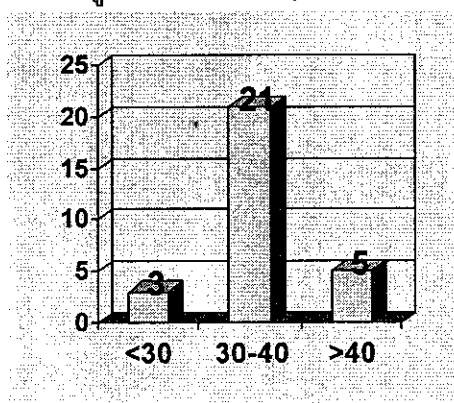
การเรียนรู้พลังงานซึ่งเป็นศาสตร์ทางกายภาพ ที่มีการจัดการเรียนการสอนโดยภาควิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกล และภาคอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จำเป็นต้องมีการเรียนความรู้พื้นฐาน เช่น การสืบค้นข้อมูล เครื่องมือวัด การออกแบบ การวิจัย กลศาสตร์ของไหลและอุณหพลศาสตร์ รวมไปถึงทำความเข้าใจในศาสตร์เบื้องต้นของการวิจัยในแต่ละแขนง แม้การทำวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นการวิจัยเชิงการทดลอง มีการสร้างชุดทดลองเพื่อใช้เก็บข้อมูลอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ แต่ก็มียางวิจัยบางส่วนสร้างแบบจำลองด้วยสมการคณิตศาสตร์ ในการอธิบายปรากฏการณ์บางอย่าง ครูจะได้เรียนรู้การแปลงข้อมูลเป็นความรู้ ด้วยกระบวนการวิเคราะห์และสังเคราะห์ ซึ่งครูต้องใช้ความรู้เดิม ความรู้จากการอ่านงานวิจัยของคนอื่น และข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ครูที่เข้าฝึกอบรมครั้งนี้มีทั้งหมด 29 คน ส่วนมากเป็นครูที่มาจากภาคเหนือ ภาคอีสาน และภาคกลาง ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยครูที่เป็นผู้หญิง 24 คน เป็นนางสาว 16 คน (55.17%) เป็นนาง 8 คน (27.59%) และครูที่เป็นผู้ชาย 5 คน (17.24%)

ครูร้อยละ 58 มีอายุในช่วง 30-40 ปี แสดงว่า กลุ่มครูที่สนใจฝึกอบรมในโครงการครูวิจัยพลังงานเป็นครูผู้หญิงที่เป็นโสด ซึ่งเป็นกลุ่มครูวัยกลางคน ที่ไม่เรียนต่อแล้ว แต่มีความสนใจประสบการณ์



รูปที่ 1 ครูจากจังหวัดต่าง ๆ ที่เข้าฝึกทำวิจัย



รูปที่ 2 อายุของครูที่เข้าฝึกทำวิจัย

ปัจจุบันมีครูที่จะเข้าร่วมโครงการทั้งหมด 29 คน และสละสิทธิ์และคัดออกไปแล้วทั้งหมด 4 คน สรุปรายชื่อครูผู้เข้าฝึกอบรมครูวิจัยในเดือนเมษายน 2552 มีดังนี้

รายชื่อกลุ่มพลังงานลม



ชื่อ : นายวิโรจ หลักมัน
 โรงเรียน : วังทองวิทยา
 ที่อยู่โรงเรียน : ม. 2 ต.วังทอง อ.วังเหนือ จ.ลำปาง
 52140
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 87 หมู่ 1 ต.วังทอง อ.วังเหนือ
 จ.ลำปาง 52140
 วันเดือนปีเกิด : 10 เมษายน 2522
 วุฒิการศึกษา : วท.บ.เกียรตินิยมอันดับ 1 (เคมี),
 ร.บ.ทฤษฎีการเมืองการปกครอง,
 กศ.ม.(การบริหารการศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 089-9587772
 E-mail : wirojmeemy@hotmail.com



ชื่อ : นางนฤมล ธรรมรักษ์เจริญ
 โรงเรียน : พระปฐมวิทยาลัย
 ที่อยู่โรงเรียน : ถ. เทศา ต. พระปฐม อ. เมือง
 จ. นครปฐม
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 6 หมู่ 7 ต. วังตะกู อ. เมือง จ. นครปฐม
 วันเดือนปีเกิด : 8 มิถุนายน 2503
 วุฒิการศึกษา : วท.ม. (ฟิสิกส์)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.2
 โทรศัพท์ : 08-6036-0114
 E-mail : warakamon@yahoo.com



ชื่อ : นางสาวปิยะวรรณ มุลาดี
 โรงเรียน : เมืองพลพิทยาคม
 ที่อยู่โรงเรียน : เลขที่ 123 อำเภอพล
 จังหวัดขอนแก่น 40120
 ที่อยู่ปัจจุบัน : เลขที่ 1 ซอย 24 ถนน รณชัยชาญยุทธ
 อำเภอเมือง จังหวัด ร้อยเอ็ด
 วันเดือนปีเกิด : 20 กรกฎาคม 2516
 วุฒิการศึกษา : วท.ม. (เคมี)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 2
 โทรศัพท์ : 081-5442772
 E-mail : kru_piyawan@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวกษมล ดอนแก้ว
 โรงเรียน : เชียงแก้วพิทยาคม
 ที่อยู่โรงเรียน : ต.จิกเทิง อ.ตาลชุม จ.อุบลราชธานี 34330
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 318 ม.16 ต.โพธิ์ไทร ถ.สถิตยนิมานกาล
 อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี 34110
 วันเดือนปีเกิด : 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2528
 วุฒิการศึกษา : วท.บ.(ฟิสิกส์)
 ตำแหน่ง : ครูผู้ช่วย
 โทรศัพท์ : 089-8473601
 E-mail : aminor.amp@hotmail.com

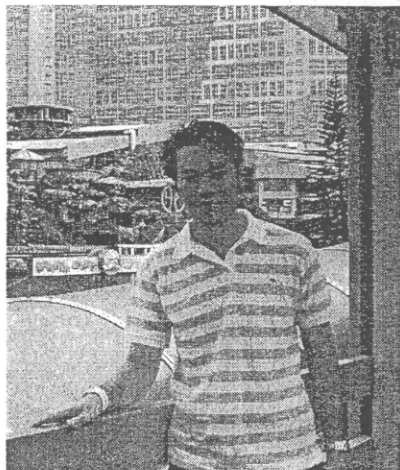


ชื่อ : นายบุญนำ หมีนยะลา
 โรงเรียน : บ้านเขาน้อย
 ที่อยู่โรงเรียน : อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา 90150
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 6 ม.2 ถนนราษฎร์รักษ์ อำเภอจะนะ
 จังหวัดสงขลา 90130
 วันเดือนปีเกิด : 25 กันยายน พ.ศ. 2525
 วุฒิการศึกษา : ค.บ.(วิทยาศาสตร์ทั่วไป)
 ตำแหน่ง : ครูผู้สอน
 โทรศัพท์ : 089-9757876
 E-mail : reddavie@hotmail.com

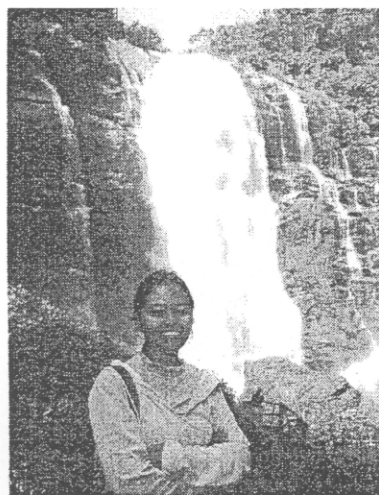


ชื่อ : นายสุนทร ลำกำปัง.
 โรงเรียน : รัตภูมิวิทยา
 ที่อยู่โรงเรียน : ต.กำแพงเพชร อ.รัตภูมิ จ.สงขลา
 90180
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 6/1 หมู่ 7 ต.ท่าชะมวง อ.รัตภูมิ จ.
 สงขลา 90180
 วันเดือนปีเกิด : 5 เมษายน 2504
 วุฒิการศึกษา : กศ.บ.(วิทยาศาสตร์กายภาพชีวภาพ)
 กศ.ม.(บริหารการศึกษา)
 ตำแหน่ง : รองผู้อำนวยการสถานศึกษา อันดับ คศ.2
 โทรศัพท์ : 081-9903225
 E-mail : tatooad@hotmail.com

รายชื่อกลุ่มพลังงานแสงอาทิตย์



ชื่อ : เจษฎา อินตายวง
 โรงเรียน : วิทยาลัยพัฒนวิทยา
 ที่อยู่โรงเรียน : 1/3 หมู่ 6 ต.แซ่ช้าง อ.สันกำแพง
 จ.เชียงใหม่ 50130 โทร. 053-129-026
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 48/2 ม.8 ต.ออนใต้ อ.สันกำแพง
 จ.เชียงใหม่ 50130
 วันเดือนปีเกิด : 28 เมษายน 2528
 วุฒิการศึกษา : วท.บ.(เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์)
 ตำแหน่ง : ครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์
 โทรศัพท์ : 08-5868-3006
 E-mail : sim_102@hotmail.com



ชื่อ : นางปิยาภรณ์ ปานกำเหนิด
 โรงเรียน : บ้านเขาพระ
 ที่อยู่โรงเรียน : ต.เขาพระ อ.รัตภูมิ จ.สงขลา 90180
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 104 ม.2 ต.กำแพงเพชร อ.รัตภูมิ จ.สงขลา
 90180
 วันเดือนปีเกิด : 15 มกราคม 2519
 วุฒิการศึกษา : ศษ.ม.(เอกวิทยาศาสตร์กายภาพชีวภาพ)
 ตำแหน่ง : คศ.1
 โทรศัพท์ : 084-8627637
 E-mail : btdan.1@yahoo.co.th



ชื่อ : นางกุลศิริณี ตักดิษฐานนท์
 โรงเรียน : อนุบาลวัดพระพุทธรบาท
 ที่อยู่โรงเรียน : อำเภอพระพุทธรบาท จังหวัด สระบุรี
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 16/1 ม.4 ต.ธารเกษม อ.พระพุทธรบาท จ.
 สระบุรี 18120
 วันเดือนปีเกิด : 26 กันยายน 2495
 วุฒิการศึกษา : ศษ.ม.(วิทยาศาสตร์ศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครูชำนาญการ
 โทรศัพท์ : 08-6036-0114
 E-mail : warakamon@yahoo.com



ชื่อ : นางสาวบังอร จุลพล
 โรงเรียน : สันติคีรีวิทยาคม
 ที่อยู่โรงเรียน : ต.แม่สองนอก อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย
 57110
 วันเดือนปีเกิด : 26 กรกฎาคม 2519
 วุฒิการศึกษา : ศษ.ม.(วิทยาศาสตร์ศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 1
 โทรศัพท์ : 081-0685712
 E-mail : neuclear_2519@hotmail.com
 โทรศัพท์ : 081-0685712
 E-mail : neuclear_2519@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวอาทิตย์พร แสนจักร
 โรงเรียน : ม่วงไขพิทยาคม
 ที่อยู่โรงเรียน : 10 ม.1 ต.หนองม่วงไข อ. หนองม่วงไข
 จ. แพร่
 ที่อยู่ปัจจุบัน : หมู่บ้านการเคหะนครลำปาง เลขที่ 119/456
 ซ.18 ถ.ลำปาง – แม่ทะ ต.พระบาท อ.เมือง
 จ.ลำปาง
 วันเดือนปีเกิด : 25 กุมภาพันธ์ 2522
 วุฒิการศึกษา : คบ. (ฟิสิกส์)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 1
 โทรศัพท์ : 089-8555373
 E-mail : kru_khondee@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวทอง จีปราบนันท์
 โรงเรียน : วัดนครเจดีย์
 ที่อยู่โรงเรียน : หมู่ 7 ตำบลนครเจดีย์ อ.ป่าซาง จ.ลำพูน
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 15 หมู่ 1 ตำบลม่วงน้อย อ.ป่าซาง
 จ.ลำพูน
 วันเดือนปีเกิด : 15 กุมภาพันธ์ 2502
 วุฒิการศึกษา : ศษ.บ.(ประถมศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 3
 โทรศัพท์ : 086-1803148
 E-mail : boonmees77@gmail.com



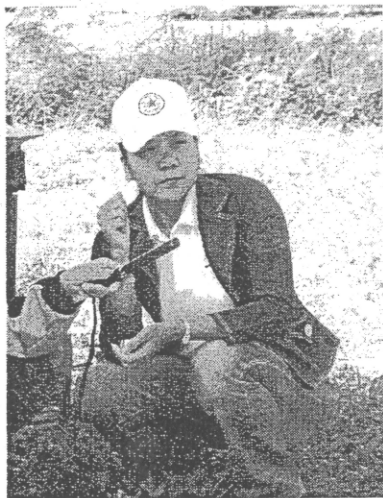
ชื่อ : นายวิศิษฐ์ ราชเนตร
 โรงเรียน : ถ้ำปินวิทยาคม
 ที่อยู่โรงเรียน : 189 หมู่ 6 ต.บ้านถ้ำ อ.ดอกคำใต้
 จ.พะเยา 56120
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 105 หมู่ 2 ต.บ้านถ้ำ อ.ดอกคำใต้
 จ.พะเยา 56120
 วันเดือนปีเกิด : 20 เมษายน 2516
 วุฒิการศึกษา : คบ.(ฟิสิกส์)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.2
 โทรศัพท์ : 082-1953596
 E-mail : visit_radchanet@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวจุไรรัตน์ สุริยงค์
 โรงเรียน : สันติสุข
 ที่อยู่โรงเรียน : 89 ม. 6 ต.สันติสุข อ.หล่ม จ.เชียงใหม่
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 2 ม. 5 ต.ท่ากวาง อ.สารภี จ.เชียงใหม่
 วันเดือนปีเกิด : 19 กรกฎาคม 2520
 วุฒิการศึกษา : ศษ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 089-8527403
 E-mail : jurairat_19@hotmail.com



ชื่อ : นายอภิชาติ บัวทอง
 โรงเรียน : บ้านขอนแก่น
 ที่อยู่โรงเรียน : หมู่ที่ 1 ตำบลขอนแก่น อำเภอชะอวด
 จังหวัดนครศรีธรรมราช
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 66 หมู่ที่ 7 ตำบลขอนแก่น
 อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช
 วันเดือนปีเกิด : 8 กุมภาพันธ์ 2502
 วุฒิการศึกษา : กศ.ม. การบริหารการศึกษา
 ตำแหน่ง : ครู คศ.3
 โทรศัพท์ : 081-2731694
 E-mail : mangosteen_48@hotmail.com

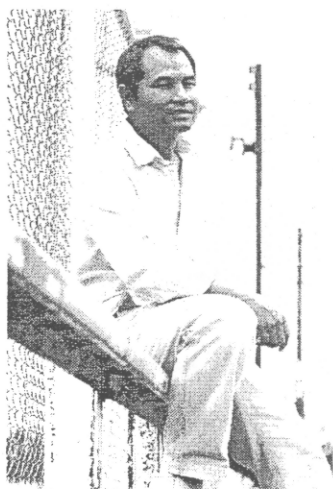


ชื่อ : นางสาวประภาพรณ เพ็ชรประสมกุล
 โรงเรียน : ชุมชนบ้านโคกค่าย
 ที่อยู่โรงเรียน : ม. 8 โคกค่าย ถ.ยนตรการกำธร ต.ควนรู
 อ.รัตภูมิ จ.สงขลา 90220
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 35/1 หมู่ 4 ต.ทุ่งตำเสา อ.หาดใหญ่
 จ.สงขลา
 วันเดือนปีเกิด : 28 กันยายน 2519
 วุฒิการศึกษา : ค.บ.(คอมพิวเตอร์ศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 089-656-1214
 E-mail : tim_spy@hotmail.com,
tim_spy@yahoo.com



ชื่อ : นางสาวชนิกา บัวผื่น
 โรงเรียน : บ้านท่าวา
 ที่อยู่โรงเรียน : ม. 1 ต.เกาะหมาก อ.ปากพะยูน
 จ.พัทลุง 93120
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 25 ม.1 ต.เกาะหมาก อ.ปากพะยูน
 จ.พัทลุง 93120
 วันเดือนปีเกิด : 10 มิถุนายน 2526
 วุฒิการศึกษา : วท.บ. (วิทยาศาสตร์ทั่วไป)
 ตำแหน่ง : ครูผู้สอน
 โทรศัพท์ : 084-3004214, 0801393776
 E-mail : alilo_106@hotmail.com

รายชื่อกลุ่มก๊าซชีวภาพ



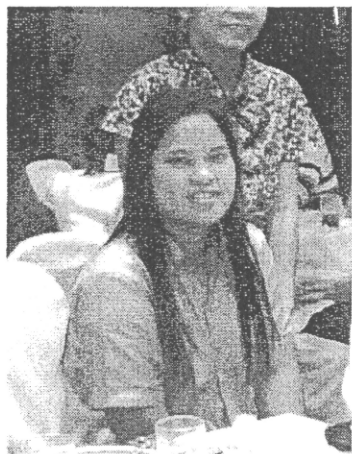
ชื่อ : นายธนพล กมลหัตถ์
 โรงเรียน : บ้านยางเปียง
 ที่อยู่โรงเรียน : 187 ม.2 ต.ยางเปียง อ.อมก๋อย
 จ.เชียงใหม่ 50310
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 2 ม. 5 ต.ท่ากว้าง อ. สารภี จ. เชียงใหม่
 50140
 วันเดือนปีเกิด : 6 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2517
 วุฒิการศึกษา : คบ.สาขาเทคโนโลยีทางการศึกษา
 กศ.ม. สาขา เทคโนโลยีทางการศึกษา
 ตำแหน่ง : คศ.1
 โทรศัพท์ : 081-0223474
 E-mail : tigerfly56@gmail.com



ชื่อ : นางสาวประสิดา สุขสำราญ
 โรงเรียน : บ้านห้วยหาน
 ที่อยู่โรงเรียน : 153 ม.9 ต.ปอ อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย
 57130
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 33 ม. 3 ต.อ่าทอง อ.เวียงแก่น
 จ.เชียงราย
 วันเดือนปีเกิด : 19 มิถุนายน 2520
 วุฒิการศึกษา : กศ.ม. จิตวิทยาการแนะแนว
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 085-7142952
 E-mail : pra_sita@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวอารียา พลีพันธ์
 โรงเรียน : ทำอัฐศึกษา
 ที่อยู่โรงเรียน : 81/1 ม.6 ต.ทำอัฐ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 333/1 ซ.ลาดพร้าว 130 ต.คลองจั่น
 อ.บางกะปิ กทม.10240
 วันเดือนปีเกิด : 19 พฤศจิกายน 2521
 วุฒิการศึกษา : วท.บ.(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
 ตำแหน่ง : ครูประจำ
 โทรศัพท์ : 089-2031003
 E-mail : pleekhunt@hotmail.com



ชื่อ : นางสาววิจิตพร มากมูล
 โรงเรียน : บ้านแหลมวิทยา
 ที่อยู่โรงเรียน : ต.บ้านแหลม อ. บ้านแหลม จ. เพชรบุรี
 76110
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 58 หมู่ 7 ต. บางจาน อ. เมือง จ. เพชรบุรี
 76000
 วันเดือนปีเกิด : 19 ตุลาคม 2520
 วุฒิการศึกษา : ค.บ.(ฟิสิกส์)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 1
 โทรศัพท์ : 080-4253434
 E-mail : physicskroo_1920@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวศิริประภา สุรชน
 โรงเรียน : บ้านบงคำ
 ที่อยู่โรงเรียน : ม. 3 ต.โพนจาน อ.โพนสวรรค์
 จ.นครพนม 48190
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 89/3 ม. 10 ต.โพนจาน อ.โพนสวรรค์
 จ.นครพนม 48190
 วันเดือนปีเกิด : 1 พฤษภาคม พ.ศ.2518
 วุฒิการศึกษา : กศ.ม.(เทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 087-9477126
 E-mail : aring2290@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวพรปวีณ์ โกศลศิริศักดิ์
 โรงเรียน : ศรีสะเกษวิทยาลัย
 ที่อยู่โรงเรียน : ถนนวันลูกเสือ ตำบลหนองครก
 อำเภอเมือง จังหวัด ศรีสะเกษ 33000
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 1287/9 ถนนเทพา ตำบลเมืองเหนือ
 อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ 33000
 วันเดือนปีเกิด : 9 กันยายน 2512
 วุฒิการศึกษา : กศ.ม.(เทคโนโลยีการศึกษา),
 ศษ.บ. (วิทยาศาสตร์ทั่วไป)
 ตำแหน่ง : ครูชำนาญการ
 โทรศัพท์ : 089-7215449
 E-mail : warangko@hotmail.com



ชื่อ : นาย อรรถเพ แก้วพิบูลย์
 โรงเรียน : ธรรมโฆสิต สพท.สงขลา เขต 1
 ที่อยู่โรงเรียน : ต.นาหม่อม อ.นาหม่อม จ.สงขลา 90310
 วันเดือนปีเกิด : 15 มกราคม 2519
 วุฒิการศึกษา : ศษ.ม. (เอกวิทยาศาสตร์กายภาพชีวภาพ)
 โทรศัพท์ : 081-9630184
 E-mail : hadnamom@thaimail.com



ชื่อ : นางดรุณี นวลศรี
 โรงเรียน : บ้านบางโหนด
 ที่อยู่โรงเรียน : ม.2 ต.เกาะเพชร อ.หัวไทร
 จ.นครศรีธรรมราช 80710
 วันเดือนปีเกิด : 15 มกราคม 2519
 วุฒิการศึกษา : ศษ.ม.(วิชาหลักสูตรและการสอน
 สาขาวิชาประถมศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 2
 โทรศัพท์ : 080 719 2833
 E-mail : darunee_dae@yahoo.co.th



ชื่อ : นางกาญจนา มณีรัศยากร
 โรงเรียน : บ้านทุ่งโพธิ์
 ที่อยู่โรงเรียน : หมู่ 5 ตำบลลำไพล อำเภอเทพา
 จ.สงขลา
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 210 หมู่ 7 ตำบลลำไพล อำเภอเทพา
 จ.สงขลา
 วันเดือนปีเกิด : 6 ตุลาคม 2504
 วุฒิการศึกษา : กศ.ม. (การสอนสิ่งแวดลอม)
 คบ.(การบริหารการศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.2



ชื่อ : นางสาวอัฟเสาะ หลีกกันชะ
 โรงเรียน : บ้านม่วงงาม
 ที่อยู่โรงเรียน : หมู่ที่ 7 บ้านม่วงงาม ตำบลม่วงงาม
 อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา 90330
 วันเดือนปีเกิด : 30 มกราคม 2515
 วุฒิการศึกษา : วทบ. สาขาการศึกษาภูมิศาสตร์สิ่งแวดล้อม
 คณะศึกษาศาสตร์ ม.รามคำแหง
 ตำแหน่ง : พนักงานราชการ โรงเรียนบ้านม่วงงาม
 โทรศัพท์ : 089-9672759
 E-mail : hafsoh_lee@hotmail.com



ชื่อ : นางจุรีรัตน์ ช่วยเจริญ
 โรงเรียน : วัดชุมประดิษฐ์
 ที่อยู่โรงเรียน : ม. 9 ต.ควนขนุน อ.เขาชัยสน
 จ.พัทลุง 93160
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 164/3 ม.ที่ 1 ต.นาโหนด อ.เมือง
 จ.พัทลุง 93000
 วันเดือนปีเกิด : 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2517
 วุฒิการศึกษา : กศ.ม.(การวัดผลการศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.2
 โทรศัพท์ : 089-9746183
 E-mail : PongPiw1111@hotmail.com

รายชื่อกลุ่มไบโอดีเซล



ชื่อ : นางสาวอรนุช เสี่ยงดัง
 โรงเรียน : ผังป่าลัม 1
 ที่อยู่โรงเรียน : หมู่ที่ 1 ตำบลป่าลัมพัฒนา
 อำเภอเขาพนม จังหวัดสตูล
 ที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 92 /1 หมู่ที่ 10 ตำบลป่าลัม
 พัฒนา อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล
 วันเดือนปีเกิด : 3 เมษายน 2509
 วุฒิการศึกษา : คบ. (วิชาเอกภาษาอังกฤษ วิชาโทอนุบาล)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 2
 โทรศัพท์ : 089-2918918
 E-mail : Oranuchnok@thaimail.com



ชื่อ : นางสาวบุเรียม พรหมปลัด
 โรงเรียน : กงหราพิชากร
 ที่อยู่โรงเรียน : 118 ม. 8 ต.คลองทรายขาว อ.กงหรา
 จ.พัทลุง 93180
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 100 ม.5 ต.คลองทรายขาว อ.กงหรา
 จ.พัทลุง 93180
 วันเดือนปีเกิด : 6 สิงหาคม 2515
 วุฒิการศึกษา : วทม.(เคมีศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 2
 โทรศัพท์ : 081-0963980
 E-mail : Raiyda72@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวปราณี ช้วยหนู
 โรงเรียน : โรงเรียนวัดพังตรื
 ที่อยู่โรงเรียน : ม. 7 ต.ระวะ อ.ระโนด จ.สงขลา 90140
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 94/2 ม.3 ต.กระแสดินธุ์ อ.กระแสดินธุ์
 จ.สงขลา 90270
 วันเดือนปีเกิด : 15 กันยายน 2510
 วุฒิการศึกษา : ปริญญาโท (บริหารการศึกษา)
 โทรศัพท์ : 087-2972510
 E-mail : sibboon@yahoo.com



ชื่อ : นางสาวศรียกัลยา เทียนน้อย
 โรงเรียน : บ้านหัวทุ่ง
 ที่อยู่โรงเรียน : บ้านหัวทุ่ง ต.ทุ่งผาสุข อ.เชียงคำ
 จ.พะเยา 56110
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 50 ม.4 ต.หย่วน อ.เชียงคำ จ.พะเยา
 วันเดือนปีเกิด : 11 กรกฎาคม 2503
 วุฒิการศึกษา : ศษ.บ.(ชีววิทยา) ศษ.ม.(ศิลปศึกษา)
 ตำแหน่ง : คศ.3 สาขาวิทยาศาสตร์
 โทรศัพท์ : 089-7938102
 E-mail : py2chk230@gmail.com



ชื่อ : นางสาวสุรีย์ปกา หมื่นชนะ
 โรงเรียน : การเคหะท่าทราย หลักสี่
 ที่อยู่โรงเรียน : 304/233 ม.6 แขวงทุ่งสองห้อง
 เขตหลักสี่ กทม.10210
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 99/277 ต.บางกระสอ อ.เมือง
 จ.นนทบุรี 11000
 วันเดือนปีเกิด : 19 พฤษภาคม 2519
 วุฒิการศึกษา : คบ.(เคมี)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 089-0143100
 E-mail : Meenchana@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวกาญจนา สมคิด
 โรงเรียน : มกุฎเมืองราชวิทยาลัย
 ที่อยู่โรงเรียน : 190 หมู่ 1 ต.บ้านนา อ.แกลง
 จ.ระยอง 21110
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 23 หมู่ 2 ต.กระแสบน อ.แกลง
 จ.ระยอง 21110
 วันเดือนปีเกิด : 24 กุมภาพันธ์ 2519
 วุฒิการศึกษา : วท.ม.(ชีววิทยาศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 1
 โทรศัพท์ : 081-8632346
 E-mail : adjankan@hotmail.com

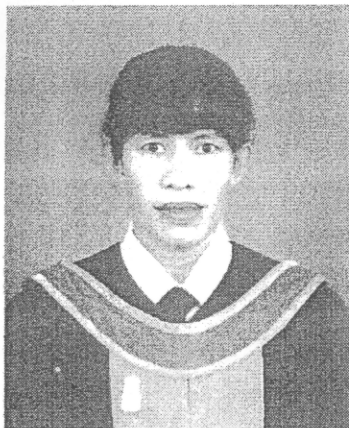


ชื่อ : นางสาวธัญลักษณ์ จันดีสาร
 โรงเรียน : กันทรลักษ์วิทยา
 ที่อยู่โรงเรียน : 443 ม. 5 ต.น้ำอ้อม อ.กันทรลักษ์
 จ.ศรีสะเกษ 33110
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 706 ม.5 ต.น้ำอ้อม อ.กันทรลักษ์
 จ.ศรีสะเกษ 33110
 วันเดือนปีเกิด : 24 สิงหาคม 2517
 วุฒิการศึกษา : วท.บ (เคมี) , วท.ม. (การศึกษาเน้น เคมี)
 ตำแหน่ง : คศ.2(ชำนาญการ)
 โทรศัพท์ : 083-3858649
 E-mail : bew_thanya@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวพัชรณัฐ กุมภาว
 โรงเรียน : บ้านเขว้าวิทยายน
 ที่อยู่โรงเรียน : 723 หมู่ 1 บ้านเขว้า ตำบลบ้านเขว้า
 อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ 36170
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 279/1 หมู่ 14 ตำบลบ้านเขว้า
 อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ 36170
 วันเดือนปีเกิด : 26 มิถุนายน 2523
 วุฒิการศึกษา : ศษ.ม.(วิทยาศาสตร์ศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 087-8717008
 E-mail : patchranat@hotmail.com

รายชื่อกลุ่มอนุรักษ์พลังงาน



ชื่อ : นางสาวอำไพ กลับทับลึงค์
 โรงเรียน : วัดบางด้วน
 ที่อยู่โรงเรียน : ต.ปากแพรก อ.ปากพนัง
 จ.นครศรีธรรมราช 80140
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 177/25 ม. 4 ต.หัวไทร อ.หัวไทร
 จ.นครศรีธรรมราช 80170
 วันเดือนปีเกิด : 10 เมษายน 2503
 วุฒิการศึกษา : ศษ.ม (สาขาการประถมศึกษา)
 ตำแหน่ง : ผู้อำนวยการโรงเรียน
 โทรศัพท์ : 081-2714341
 E-mail : ampai55@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวอารีย์ หลีโสะ
 โรงเรียน : บ้านท่าแค
 ที่อยู่โรงเรียน : ม.4 ต.บางเขียด อ.สิงหนคร
 จ.สงขลา 90330
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 171 ม. 4 ต.เกาะนางคำ
 อ.สิงหนคร จ.พัทลุง 93120
 วันเดือนปีเกิด : 21 ธันวาคม 2517
 วุฒิการศึกษา : ศศ.ม.(จิตวิทยาการศึกษา)
 ตำแหน่ง : พนักงานราชการ
 โทรศัพท์ : 086-2987595
 E-mail : aree_881@yahoo.com



ชื่อ : นางวรลักษณ์ ยงสืบชาติ
 โรงเรียน : บ้านวังดง
 ที่อยู่โรงเรียน : หมู่ 4 ตำบลนาทอน อ.ทุ่งหว้า
 จ.สตูล 91120
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 32/2 ถ.แก้วสมิทธิ ต.หาดใหญ่ อ.หาดใหญ่
 จ.สงขลา 90110
 วันเดือนปีเกิด : 1 กุมภาพันธ์ 2505
 วุฒิการศึกษา : ศษ.ม
 ตำแหน่ง : ครูชำนาญการ ระดับคศ.2
 โทรศัพท์ : 084-3089026
 E-mail : Waralak_krusing@hotmail.com



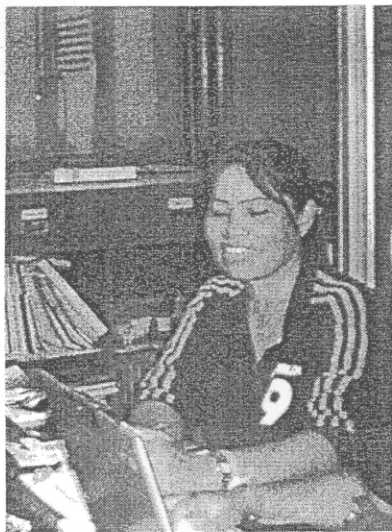
ชื่อ : นางสาวชุศรี กาญจนวงศ์
 โรงเรียน : บ้านชุมโลง
 ที่อยู่โรงเรียน : ม.1 ต.สระแก้ว อ.ท่าศาลา
 จ.นครศรีธรรมราช 80160
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 251 ม.11 ต.ท่าศาลา อ.ท่าศาลา
 จ.นครศรีธรรมราช 80160
 วันเดือนปีเกิด : 13 พฤษภาคม 2511
 วุฒิการศึกษา : ค.ม. (วัดและประเมินผลการศึกษา)
 ตำแหน่ง : ผู้อำนวยการโรงเรียน
 โทรศัพท์ : 086-0540638
 E-mail : sri_47@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวผู้ไรดา เต๊ะมาหมัด
 โรงเรียน : บ้านปากบาง
 ที่อยู่โรงเรียน : หมู่ 4 ตำบลสะกอม อำเภอจะนะ
 จังหวัดสงขลา 90130
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 242 หมู่ 4 ตำบลสะกอม อำเภอจะนะ
 จังหวัดสงขลา 90130
 วันเดือนปีเกิด : 30 เมษายน 2524
 วุฒิการศึกษา : วทบ. (เทคโนโลยีการเกษตร)
 ศษ.บ. คณิตศาสตร์มัธยมศึกษา
 ตำแหน่ง : . . . ครูสอนศาสนาอิสลามแบบเข้ม
 โทรศัพท์ : 085-8970068
 E-mail : pakbang_50@hotmail.com



ชื่อ : นางอาอีซะ หมาดอี
 โรงเรียน : ภัคดีศึกษามูลนิธิ
 ที่อยู่โรงเรียน : 421 ม. 5 ต.พะวง อ.เมือง จ.สงขลา 90100
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 28 ม. 5 ต.พะวง อ.เมือง จ.สงขลา 90100
 วันเดือนปีเกิด : 7 มกราคม 2518
 วุฒิการศึกษา : ศศ.บ. (อิสลามศึกษา)
 ตำแหน่ง : ครูเอกชน
 โทรศัพท์ : 0-7433-4892
 E-mail : aaichah@windowlive.com



ชื่อ : นางจรินทร์ แก้ววิจิตร
โรงเรียน : โรงเรียนวัดป่าระกำ
ที่อยู่โรงเรียน : อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา
นครศรีธรรมราช เขต 3 80140
วันเดือนปีเกิด : 5 มกราคม 2503
วุฒิการศึกษา : ศษ.ม
ตำแหน่ง : ผู้อำนวยการโรงเรียน
โทรศัพท์ : 087-8950405
E-mail : jarin05@hotmail.com

รายชื่อกลุ่มพลังงานน้ำ



ชื่อ : นางสาวยุพภรณ์ มุกดา
 โรงเรียน : วัดราชโกษา
 ที่อยู่โรงเรียน : เลขที่ 9 แขวงชุมทอง ถ.ชุมทองลำด้อยต้ง
 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 99/467 หมู่บ้านชลลดาสุวรรณภูมิ
 แขวงศรีษะจรเข้ไชย อ.บางเสาธง
 จ.สมุทรปราการ
 วันเดือนปีเกิด : 13 ตุลาคม 2517
 วุฒิการศึกษา : ค.บ.(วิทยาศาสตร์ทั่วไป)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 083-1602091
 E-mail : yuyutek@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวชัชชญา เหมรัตน์
 โรงเรียน : บ้านทุ่งโพธิ์
 ที่อยู่โรงเรียน : ถ.สะเดา ต.บ่อทราย อ.เมือง จ.สงขลา
 90000
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 8 ต.ท่าประดู่ อ.นาทวี จ.สงขลา 90160
 วันเดือนปีเกิด : 10 มิถุนายน 2526
 วุฒิการศึกษา : ค.บ.(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
 ตำแหน่ง : ครูผู้สอน
 โทรศัพท์ : 085-0799235
 E-mail : Chat_hamrat@hotmail.com

รายชื่อกลุ่มเชื้อเพลิงแข็งและชีวมวล



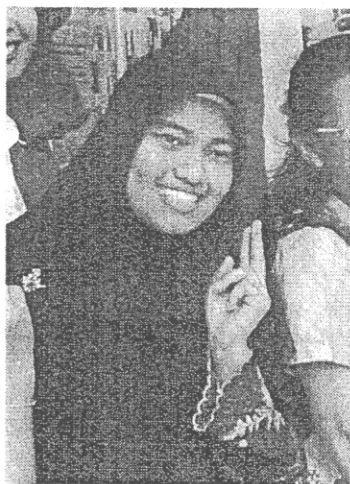
ชื่อ : นายณัฐ วังศุยพล
 โรงเรียน : บ้านห้วยห้าง
 ที่อยู่โรงเรียน : 135 หมู่ 7 ต.ตะเคียนปม อ.ทุ่งหัวช้าง
 จ.ลำพูน
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 260 หมู่ 2 ต.หนองปลาสะวาย อ.บ้านโฮ่ง
 จ.ลำพูน
 วันเดือนปีเกิด : 13 ตุลาคม 2521
 วุฒิการศึกษา : ค.บ.(วิทยาศาสตร์ทั่วไป)
 ศษ.บ. (ประถมศึกษา)
 รป.บ.(บริหารทั่วไป)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 084-8854730
 E-mail : drk1321@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวพิกุล เอกวงศ์ษา
 โรงเรียน : ภูพานวิทยา
 ที่อยู่โรงเรียน : ตำบลขอนแก่น อำเภอกุดจับ
 จังหวัดอุดรธานี 41250
 ที่อยู่ปัจจุบัน : โรงเรียนภูพานวิทยา ตำบลขอนแก่น
 อำเภอกุดจับ จังหวัดอุดรธานี 41250
 วันเดือนปีเกิด : 28 มกราคม 2521
 วุฒิการศึกษา : วท.ม. (การสอนฟิสิกส์)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 085-8665902
 E-mail : kul_a@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวอุไร สายวารี
 โรงเรียน : ดันหยงมัส
 ที่อยู่โรงเรียน : ม. 1 ต.ตันหยงมัส อ.ระแงะ จ.นราธิวาส
 96130
 ที่อยู่ปัจจุบัน : เลขที่1 ถ.ลานไทร ซอย 2 ต.ตันหยงมัส
 อ.ระแงะ จ.นราธิวาส 96130
 วันเดือนปีเกิด : 20 เมษายน 2520
 วุฒิการศึกษา : วท.บ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.1
 โทรศัพท์ : 081-6780039
 E-mail : saiwaree2716@hotmail.com



ชื่อ : นางสาวฮามิดะ มูเก็ม
 โรงเรียน : ภัคดีศึกษามูลนิธิ
 ที่อยู่โรงเรียน : 421 หมู่5 ต.พะวง อ.เมือง จ.สงขลา
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 309 หมู่3 ต.พะวง อ.เมือง จ.สงขลา
 วันเดือนปีเกิด : 2 กุมภาพันธ์ 2527
 วุฒิการศึกษา : ศษ.บ (ครุศาสตรวิอิสลาม)
 ตำแหน่ง : ครูโรงเรียนเอกชน
 โทรศัพท์ : 084-1959187, 081-7386153
 E-mail : Dah_hamee@windowlive.com



ชื่อ : นายธนาธิป หลีกกันชะ
 โรงเรียน : บ้านท่าม่วง
 ที่อยู่โรงเรียน : ม. 1 บ้านถนนพาด ต.ท่าม่วง อ.เทพา
 จ.สงขลา 90150
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 46/1 ม. 4 ต.ม่วงงาม อ.สิงหนคร
 จ.สงขลา 90330
 วันเดือนปีเกิด : 10 พฤศจิกายน 2525
 วุฒิการศึกษา : ค.บ. สาขาการศึกษา
 โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรม
 การศึกษา ม.ราชภัฏยะลา
 ตำแหน่ง : ครูอัตราจ้าง
 โทรศัพท์ : 081-4794847
 E-mail : leebaenick303@hotmail.com



ชื่อ : นางบุญมี ศรีประเสริฐ
 โรงเรียน : บ้านฝายกวาง
 ที่อยู่โรงเรียน : บ้านฝายกวาง อ.เขียงคำ จ.พะเยา
 (087-9049107)
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 200 ม.1 สิทธิประชากรราษฎร์ ต. ห้วยวน
 อ. เขียงคำ จ. พะเยา (56110)
 วันเดือนปีเกิด : 10 มิถุนายน 2503
 วุฒิการศึกษา : ศษ.บ.(วิทยาศาสตร์)
 ตำแหน่ง : ครู คศ.3
 โทรศัพท์ : 087-9049107
 E-mail : boonmees77@gmail.com



ชื่อ : นาง ศิริพร สุคนธ์
 โรงเรียน : บ้านท่าคุระ
 ที่อยู่โรงเรียน : ต.คลองรี อ.สทิงพระ จังหวัด สงขลา 90190
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 53/10 ม.4 ถ.สงขลา-นาทวี ซ.ร่วมจิต 1
 ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000
 วันเดือนปีเกิด : 3 กันยายน 2502
 วุฒิการศึกษา : กศ.บ.(เอกชีววิทยา)
 ค.ม.(หลักสูตรและการสอน)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 3 วิทยาศาสตร์
 โทรศัพท์ : 089-2992343
 E-mail : siripornsukon@thaimail.com



ชื่อ : นางสาวสมรัก คุ่มเนตร
 โรงเรียน : เวียงพิทยวิทยา
 ที่อยู่โรงเรียน : ต.ห้วยหม้าย อ.สอง จ.แพร่ 54120
 ที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 156 ต.ห้วยหม้าย อ.สอง จ.แพร่
 54120
 วันเดือนปีเกิด : 2 พฤษภาคม 2513
 วุฒิการศึกษา : กศ.ม สาขา หลักสูตรและการสอน
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 2 (ชำนาญการ)
 โทรศัพท์ : 086-9214596
 E-mail : rak_kht@yahoo.com



ชื่อ : นางสาวสุจิตรา ราชวีรัดนะ
 โรงเรียน : บ้านหนองกาโนนสิมมา
 ที่อยู่โรงเรียน : ต.บ้านจันทร์ อ.บ้านดุง จ.อุดรธานี
 41190
 ที่อยู่ปัจจุบัน : 7 / 1 ซ.ทองคำอุทิศ ถ.ทหาร อ.เมือง
 จ.อุดรธานี 41000
 วันเดือนปีเกิด : 20 กรกฎาคม 2516
 วุฒิการศึกษา : กศ.ม.(จิตวิทยาและการแนะแนว)
 ตำแหน่ง : ครู คศ. 1
 โทรศัพท์ : 087-2276945
 E-mail : krudawan@hotmail.com

รายชื่อผู้ที่สละสิทธิ์และคัดออก 4 คน

1. นางมุกดา ตะบองทอง คัดออกเมื่อ 20 พ.ย. 51 เพราะไม่แจ้งและติดต่อกลับ
2. นายจักรกฤษ แก้วนิคม ขอสละสิทธิ์วันที่ 7 ม.ค. 52 เนื่องจากต้องไปเรียนต่อและทำหนังสือแจ้ง สกว.แล้ว
3. นายชัยรัตน์ เฟื่องสีก้าว คัดออกเมื่อ 22 พ.ย. 51 เพราะไม่แจ้งและติดต่อกลับ
4. นายเทวฤทธิ์ จันเสริม ขอสละสิทธิ์วันที่ 29 ธ.ค.51 เนื่องจากรับทุน สวท. ต่อ ป.โท และทำหนังสือแจ้ง สกว.แล้ว
5. นายวิศิษฐ์ ราชเนตร คัดออกเมื่อ 31 ก.ค. 52 หลังอบรมครุวิจัยเดือนเมษายน 2552 ไม่มีการติดต่อ ไม่ส่งงาน

กำหนดการโครงการครุวิจัยพลังงาน

วันพุธที่ 1 เมษายน 2552 ณ ห้องประชุมมงคลสุข คณะวิศวกรรมศาสตร์

08.00-10.00 น.	ปฐมนิเทศ
10.00-12.00 น.	พบพี่เลี้ยง
13:00-15:00 น.	พบคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
15:00-17:00 น.	กิจกรรมละลายพฤติกรรม

วันพฤหัสบดีที่ 2 เมษายน 2552 ณ ห้องประชุมมงคลสุข คณะวิศวกรรมศาสตร์

08.00-10.00 น.	การสืบค้นข้อมูลและสิทธิบัตร โดย ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา
10.00-12.00 น.	การวางแผนทำวิจัย โดย รศ.ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล
13:00-15:00 น.	การวิเคราะห์ข้อมูลและการนำเสนอ โดย ดร.ชยุต นันทดลิต
15:00-17:00 น.	แนะนำการเขียนรายงานการวิจัย โดย รศ.ไพโรจน์ ศิริรัตน์

วันศุกร์ที่ 3 เมษายน 2552 ณ ห้องประชุมมงคลสุข คณะวิศวกรรมศาสตร์

08.00-10.00 น.	ทฤษฎีพื้นฐานของของไหลและความร้อน โดย รศ.ไพโรจน์ ศิริรัตน์
10.00-12.00 น.	เครื่องมือวัด โดย ดร.ชยุต นันทดลิต
13:00-15:00 น.	การบูรณาการเรียนรู้ของนักเรียนกับชุมชน โดยผอ.สุทธิ สายสุนีย์
15:00-17:00 น.	ทำวิจัย

วันเสาร์ที่ 4 เมษายน 2552

ทัศนศึกษาอารยธรรมรอบทะเลสาบสงขลา

07.00 น.	ออกเดินทางจากศูนย์กีฬา ม.อ. ข้างสระว่ายน้ำ
08.30 น.	ลงเรือที่ท่าเรือสวน 72 พรรษาฯ (ทางไปท่าเรือประมงใหม่ ริมปากคลองสำโรง)
09.00 น.	ชมป่าโกงกางในโครงการสมเด็จพระเทพฯ
09.30 น.	ชมวิถีชาวประมงพื้นบ้านในทะเลสาบสงขลา
10.00 น.	ชมสวนประวัติศาสตร์ พลเอกเปรมติณสูลานนท์
10.30 น.	ชมป่าชายเลน "คลองพะวง"
11.00 น.	ชมการ "ยกบ่อ" ปลามิหลัน
12.00 น.	รับประทานอาหารกลางวัน ณ ชนากลางทะเลสาบสงขลา
13.00 น.	ชมการยกบ่อ "ปลากะบอก"
14.00 น.	ปลูกป่าชายเลน ปลูกใหม่ สวน 72 พรรษา

15.30 น.	ชมทัศนียภาพชายหาดชลลทัศน์ (พักผ่อนตามอัธยาศัย)
16.30 น.	กราบสักการะอนุสาวรีย์กรมหลวงชุมพร ฯ
17.00 น.	เดินทางกลับโดยสวัสดิภาพ

วันอาทิตย์ที่ 5 เมษายน 2552 ทำวิจัย / พักผ่อน

วันที่ 6-10 เมษายน 2552 ทำวิจัย

วันเสาร์ที่ 11 เมษายน 2552	ทัศนศึกษางานวิจัยท้องถิ่น จังหวัดสตูล
06.00 น.	ออกเดินทางจากศูนย์กีฬา ช้างสระวายนน้ำ
09.00-11.00 น.	เดินทางถึงถ้ำภูผาเพชร ชมความงามของหินงอก หินย้อยตามธรรมชาติ
11.00-12.00 น.	รับประทานอาหาร ที่น้ำตกวังสายทอง
12.00 -14.30 น.	ล่องแก่ง (ตามอัธยาศัย)
14.30-15.30 น.	เดินทางไปบ้านบ่อเจ็ดลูก อ.ละงู จ.สตูล
15.30-17.30 น.	ฟังบรรยายงานวิจัยท้องถิ่น โดยนักวิจัยชาวบ้าน และการทำวิจัยท้องถิ่น โดยผู้ประสานงาน
17.30-18.00 น.	รับประทานอาหารเย็น
18.00 น.	เดินทางกลับที่พัก อ.หาดใหญ่

วันอาทิตย์ที่ 12 เมษายน 2552 ทำวิจัย / พักผ่อน

วันที่ 13-15 เมษายน 2552 วันหยุดสงกรานต์

วันพฤหัสบดีที่ 16 เมษายน 2552 ทำวิจัย

วันศุกร์ที่ 17 เมษายน 2552	
08.00 น.	รถออกจากศูนย์กีฬา ช้างสระวายนน้ำ มอ.
09.00-11.00 น.	ทัศนศึกษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โรงงานน้ำยางข้นคลอง
11.30-12.30 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน (ตามอัธยาศัย)
13.00-15.00 น.	วิถีชีวิตแบบพอเพียงด้วยการออมทรัพย์ ณ วิทยาลัยชาวบ้าน บ้านคลองเปี้ยะ จ.สงขลา โดยปราชญ์ชาวบ้าน คุณอัมพร ดั่งปาน
15.00 น.	เดินทางกลับที่พัก มอ.

วันเสาร์ที่ 18 เมษายน 2552 ทำวิจัย

วันอาทิตย์ที่ 19 เมษายน 2552 ทำวิจัย / พักผ่อน

วันที่ 20-23 เมษายน 2552 ทำวิจัย

วันศุกร์ที่ 24 เมษายน 2552

08.00-12.00 น. ทำวิจัย

13.00-15.00 น. ห้องบรรยายรวม ME 110 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
นำเสนอรายงานความก้าวหน้า

วันเสาร์ที่ 25 เมษายน 2552

ทำวิจัย / จัดทำโปสเตอร์

วันอาทิตย์ที่ 26 เมษายน 2552

ทำวิจัย / พักผ่อน

วันจันทร์ที่ 27 เมษายน 2552

ทำวิจัย

วันอังคารที่ 28 เมษายน 2552

ส่งบทความวิจัย สุระการเรียนรู้ / แผนการสอน ส่ง Power Point
นำเสนองานวิจัย เรื่องเล่าประสบการณ์ทำวิจัยที่มอ.
จัดลานนิทรรศการ ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

วันพุธที่ 29 เมษายน 2552

นำเสนอผลงานวิจัย

08.30-09.00 น.

ลงทะเบียน

09.00-09.15 น.

เปิดการประชุม โดยผู้อำนวยการสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน

09.15-10.30 น.

โครงการครุวิจัย สกว. ปี 2552

โดย รศ.สุชาดา ชินะจิต

รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ

10.30-12.00 น.

พักรับประทานอาหารว่าง

ชมนิทรรศการผลงานวิจัย 30 เรื่อง

ณ ลานคณะวิศวกรรมศาสตร์

12.00-13.00 น.

พักรับประทานอาหารกลางวัน

13.00-14.00 น.

เล่าประสบการณ์ทำวิจัย โดยตัวแทนครูจาก 7 กลุ่มวิจัย

14.00-14.30 น.

ผลจากการฝึกครูทำวิจัย โดยพี่เลี้ยง

14.30-15.00 น.

พักรับประทานอาหารว่าง

15.00-16.30 น.

สรุปและสังเคราะห์ผลงานของครุวิจัยพลังงาน

โดย รศ.สุชาดา ชินะจิต

รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ

16.00 น.

มอบรางวัลผลงานเด่น (ถ้ามี) และปิดประชุม

ในวันที่ 29 เมษายน 2552 ครูและพี่เลี้ยงได้ร่วมกันจัดนำเสนอผลงานวิจัย ในการประชุม
“ครุวิจัยพลังงาน : นำเสนอผลงานวิจัยและเปิดมุมมองใหม่” โดยเสนอผลงานรวมเป็นกลุ่ม ๆ โดย
เชิญบุคคลภายนอกเข้ามารับฟัง คือ ครู จากโรงเรียนในจังหวัดสงขลาและบริเวณข้างเคียง

วันพฤหัสบดีที่ 30 เมษายน 2552 เดินทางกลับบ้าน

กิจกรรมต่าง ๆ ในช่วงเดือนเมษายน มีรายละเอียดดังนี้

วันที่ 1 เมษายน 2552

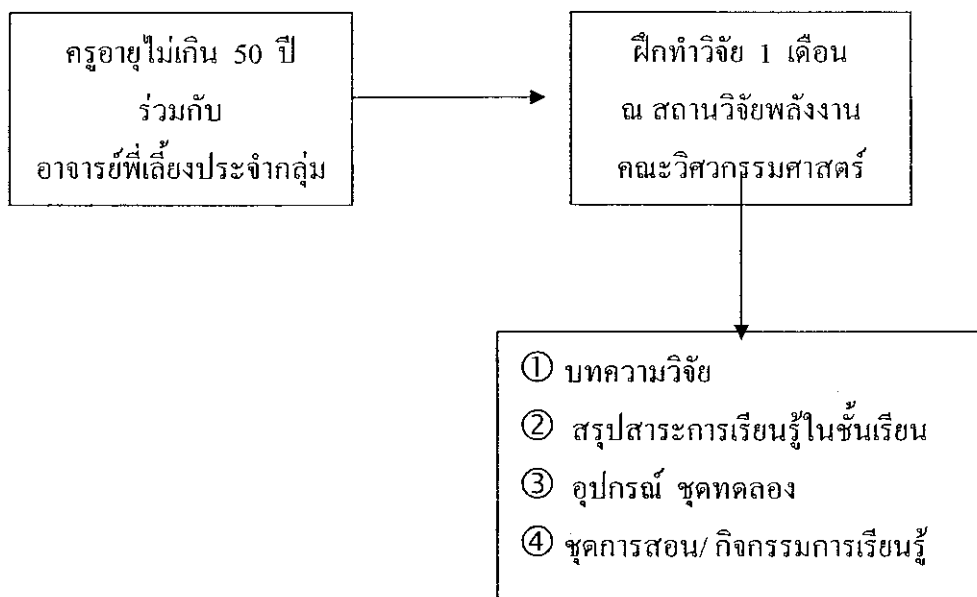
ผู้เข้าอบรมครูวิจัยมาถึง มอ. ตั้งแต่วันที่ 29-31 มีนาคม 2552 เข้าพักหอพักนักศึกษา พักห้องละ 2 คน จากคณะจังหวัด (มีวัตถุประสงค์เพื่อให้แลกเปลี่ยนเรียนรู้) ผู้ชายพักหอ 11 ผู้หญิงพักหอ 10 ซึ่งเป็นหอพักในกำกับของมหาวิทยาลัย มีขนาดใหญ่ 15 ชั้น ชั้นละ 40 ห้อง มีเครื่องนอนและอุปกรณ์อำนวยความสะดวก เช่น พัดลม เครื่องทำน้ำเย็น(ส่วนกลาง) จึงมีความสะดวกสบายพอสมควร

ดังนั้นเมื่อถึงเวลากำหนด 08.30 น. ครูวิจัยทุกท่านก็มาถึงสถานที่ประชุม คือ ห้องประชุมมงคลสุข คณะวิศวกรรมศาสตร์ ลงทะเบียนรับเอกสาร (คนละ 1 กระเป๋าผ้าสีน้ำตาลอ่อน) พบปะทักทายกันพอสมควร

ในที่ประชุม บุคคลแรกที่พบ คือ รองศาสตราจารย์กำพล ประทีปชัยกุล กล่าวต้อนรับ จากนั้นก็พบกับ รองศาสตราจารย์ไพโรจน์ ศิริรัตน์ ซึ่งแจ้งวัตถุประสงค์และเป้าหมายของโครงการครูวิจัยอีกครั้ง เพื่อให้ทั้งครูวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว. ฝ่าย 3 และ ฝ่าย 5 มีความเข้าใจตรงกัน ได้ข้อสรุปว่าโครงการนี้

- มีวัตถุประสงค์เพื่อ
1. พัฒนาศักยภาพครูด้วยการฝึกทำวิจัย
 2. สร้างความเข้มแข็งในโรงเรียนด้วยกระบวนการวิจัย

เป้าหมาย



คาดว่าผู้เข้าร่วมโครงการจะได้รับ

1. ประสบการณ์การวิจัยพลังงาน
2. การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างเพื่อนครู
3. สารการเรียนรู้/ ชุดอุปกรณ์การเรียนรู้
4. เรื่องเล่าจากประสบการณ์ที่ได้เรียนรู้
5. การฝึกเขียนบทความวิจัย
6. การปรับ/พัฒนาระบบความคิด
7. การออกแบบการจัดกิจกรรมเกี่ยวกับพลังงาน

หลังพักรับประทานอาหารว่างอาจารย์ไพโรจน์ ให้ชมวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้ “สุนทรีย์สนทนา” เพื่อปรับมุมมองในการพัฒนาตนเอง ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจถึงความสำคัญของการสนทนา ซึ่งมีเนื้อหาพอจะสรุป คือ การสนทนามีอยู่ 4 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 สนทนาระดับปิดใจ เป็นการสนทนากันเพื่อมารยาท

ระดับที่ 2 สนทนาระดับเปิดใจ เป็นการสนทนาเพื่อการแลกเปลี่ยนความคิดที่มุมมองต่างกัน หรือต่อต้านกัน

ระดับที่ 3 สนทนาระดับจิตตุดิจิต เป็นการสนทนาเพื่อการเรียนรู้ มีการพูดคุยและรับฟังอย่างลึกซึ้ง (Deep Listening)

ระดับที่ 4 สนทนาระดับรวมกันเป็นหนึ่ง เป็นการสนทนาที่มีความเข้าใจซึ่งกันและกันของกลุ่มสนทนา

การสนทนาส่วนใหญ่ เป็นการสนทนาระดับที่ 1-2 ส่งผลให้เกิดประโยชน์ค่อนข้างน้อยและอาจจะมีความขัดแย้งตามมา ส่วนการสนทนาในระดับที่ 3-4 เป็นการสนทนาที่เกิดประโยชน์ต่อคู่สนทนา และลดความขัดแย้งจากการสนทนาได้มากกว่า

ภาคบ่ายแยกกลุ่มพบอาจารย์พี่เลี้ยง และเป็นกิจกรรมกลุ่มสัมพันธ์เพื่อทำความรู้จักและละลายพฤติกรรมของคุนครูให้มีความเป็นครูวิจัย ทีมวิทยากรมีความชำนาญการเรื่องการจัดกิจกรรมมาก ทุกคนให้ความร่วมมือกับการจัดกิจกรรมอย่างเต็ม ทั้งกิจกรรมเดี่ยว กิจกรรมกลุ่ม ทั้งร้องทั้งเต้น เป็นเวลาเกือบสามชั่วโมง จนแน่ใจว่าทุกคนสามารถเรียนชื่อเล่นกันได้หมด กิจกรรมในวันแรกจึงยุติลงเมื่อเวลา 16.30 น. วันนี้ทางสถานวิจัยฯ ได้จัดต้อนรับครูครูวิจัยด้วยอาหารเมื่อเย็น

วันที่ 2 เมษายน 2552

เริ่มกิจกรรมการเรียนรู้ตามกำหนดการ เวลา 08.00 น. ณ ห้องประชุมมงคลสุข เป็นบรรยากาศทางวิชาการ เริ่มจาก ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา ให้ความรู้เรื่องการสืบค้นและสิทธิบัตร ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาค้นคว้าในยุคปัจจุบัน เช่น การใส่เครื่องหมาย “และ” เครื่องหมายบวก (+) เครื่องหมายลบ (-) เครื่องหมายดอกจัน (*) ร่วมกับคำสำคัญที่เราค้นคว้า เป็นต้น

ถัดมาเป็นวิชาของรองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงศ์ ทิฆมสกุล เรื่อง การวางแผนทำวิจัย เป็นความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการวางแผนดำเนินการวิจัย ประสบการณ์สำคัญที่ได้รับคือ การออกแบบงานวิจัยเชิงทดลองทางวิทยาศาสตร์ ที่มีองค์ประกอบเฉพาะที่สำคัญ คือ ชุดทดลองที่ครอบคลุมตัวแปรที่จะศึกษา จุดที่จะทำการวัดต้องมีจำนวนเพียงพอ การเตรียมวัสดุในการทดลองต้องมีความสอดคล้องกับเวลาที่จะทำการทดลอง การ

ออกแบบตารางบันทึกข้อมูลที่ครอบคลุมตัวแปรที่จะวัดและอ่านบันทึกได้ง่าย และมีระยะเวลาที่จะทำการทดลองที่รัดกุมโดยคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง



อาหารกลางวัน เป็นอาหารปกติได้ แกงเหลือง ยำบูดู แกงเลียง ฯลฯ รองศาสตราจารย์ไพโรจน์ เห็นบรรยากาศการรับประทานของพวกครูก็เลยพูดเล่นว่า “สงสัยต้องมีการศึกษาวิจัยน้ำหนักก่อนหลังของผู้เข้าร่วมโครงการ”

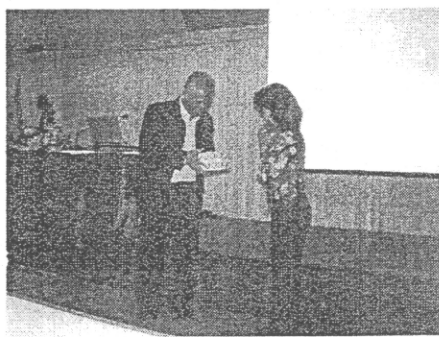
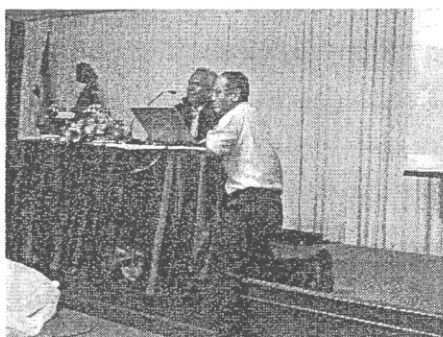
ภาคบ่ายเริ่มด้วยวิชาการวิเคราะห์ข้อมูลและการนำเสนอ โดย ดร.ชยุต นันทดุสิต ให้ความรู้ เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel หลายวิธี เช่น การนำเสนอข้อมูลในลักษณะการเปรียบเทียบหลายๆ ชุด ด้วยกราฟ การเพิ่มเส้นแนวโน้มของข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ และการสร้างขอบเขตความผิดพลาดในการวัด (Error Bar) เป็นต้น ซึ่งครูทุกคนให้ความสนใจและซักถามเพื่อประยุกต์ใช้ในการจัดทำรายงาน

ช่วงสุดท้ายของวันนี้ รองศาสตราจารย์ไพโรจน์ ให้ความรู้และคำแนะนำในเรื่องการเขียนผลงานทางวิชาการ โดยมีข้อสังเกตบางประการที่เป็นข้อควรคำนึง เช่น การใช้คำ การเว้นวรรค เป็นต้น นอกจากนั้น ยังมีเอกสารแจก ได้แก่ “ชวนอาจารย์เขียนตำรา” ของ ศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐา พันธุ์เจริญ “สนุกกับงานวิจัย” ของ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ “การศึกษาตั้งเส้นทางแสวงหาทางจิตวิญญาณ”

วันที่ 3 เมษายน 2552

วันนี้ยังเป็นบรรยากาศการเรียนรู้ทางวิชาการที่ห้องประชุมมงคลสุข ตั้งแต่เวลา 08.00 น. เริ่มด้วยรองศาสตราจารย์ไพโรจน์ ศิริรัตน์ ให้ความรู้ เรื่องทฤษฎีพื้นฐานของการไหลและความร้อน ซึ่งมีสาระส่วนใหญ่เป็นวิชาเฉพาะทางวิศวกรรม ต่อด้วยวิชาเครื่องมือวัด ของดร.ชยุต นันทดุสิต

ภาคบ่ายมีวิทยากรจากภายนอก คือ อาจารย์สุทธิ สายสุนีย์ ผู้อำนวยการโรงเรียนอนุบาล จังหวัดสตูล ซึ่งเคยดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการโรงเรียนบ้านตะโล๊ะไส จังหวัดสตูล มาให้ความรู้ เรื่องการบูรณาการการเรียนรู้ของนักเรียนกับชุมชน ซึ่งมีกระบวนการดำเนินงาน โดยสรุป 7 ขั้นตอน คือ บอกเล่าพี่น้อง สร้างการเรียนรู้ จัดเวทีระดมพลังสมองของครู ศึกษาข้อมูล สรุปวิเคราะห์ นำเสนองานวิจัย และจัดทำรายงานการวิจัย เป็นสาระความรู้ที่ครูสามารถประยุกต์ใช้ในโรงเรียนได้เป็นอย่างดี



วันที่ 4 เมษายน 2552

07.00 น. รถบัสดคณะวิศวกรรมศาสตร์ 1 คัน และรถตู้ 1 คัน เดินทางออกจากศูนย์กีฬา มอ. ครูวิจัยทุกคนสวมเสื้อประจำรุ่นสีฟ้า ดูสดใส มีน้ำเต้าหู้ร้อนๆ และขนม รับประทานเป็นอาหารเช้าแสนอร่อยบนรถ พอรถวิ่งเลยอาณาบริเวณของมอ. มาถึงท่าเรือสวน 72 พรรษา ริมปากคลองสำโรง ในเขตอำเภอเมืองสงขลา ตรงเวลานัดหมาย 08.30 น. แต่ไม่สามารถลงเรือได้เนื่องจากเจ้าของเรือซึ่งมีอาชีพหลักเป็นชาวประมง และเป็นสมาชิกเรือประมงพื้นบ้านเพื่อการท่องเที่ยวเทศบาลนครสงขลา ยังไม่เสร็จภาระกิจการประมง พวกเราเลยเดินชมความสวยงามของสวนสาธารณะ และถ่ายรูปเป็นที่ระลึก ทำให้ได้ทำความรู้จัก และมีความสนิทสนมกันภายในกลุ่มมากขึ้น



เวลา 09.30 น. ทุกคนลงเรือหางยาวของชาวประมง 3 ลำ ท่องทะเลสาบสงขลา ศึกษาวิถีชีวิต และภูมิปัญญาของชาวประมงจังหวัดสงขลา เช่น “ยกบอกปลาหมัก” “ยกบามปลากระบอก” ชมป่าโกงกางในโครงการสมเด็จพระเทพฯ ซึ่งมีความสมบูรณ์มาก ชมสวนประวัติศาสตร์พลเอกเปรมฯ และพักรับประทานอาหารที่軒ากลางทะเลสาบสงขลา

ภาคบ่าย ร่วมปลูกป่าชายเลน 200 ต้น จากนั้นจึงเดินทางไปสักการะอนุสาวรีย์กรมหลวงชุมพรฯ และชมความงามของหาดชลาทัศน์ (สวนสองทะเล) และแหลมสมิหลา ตามอัยาศัย เวลา 17.00 เดินทางกลับมอ. โดยสวัสดิภาพ



วันที่ 5 - 9 เมษายน 2552

แยกเรียนรู้ตามกลุ่มวิจัย บางกลุ่มอาจารย์พี่เลี้ยงให้ความรู้เพิ่มเติมในเนื้อหาเฉพาะของกลุ่ม บางกลุ่มศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง บางกลุ่มเตรียมวัตถุดิบสำหรับการทดลอง ครูวิจัยบางคนรู้สึกกังวลเพราะตัวเองมีความรู้พื้นฐานทางด้านนี้น้อยมากแต่มีความตั้งใจที่จะพยายามศึกษาและฝึกปฏิบัติทุกอย่างที่อาจารย์มอบหมาย

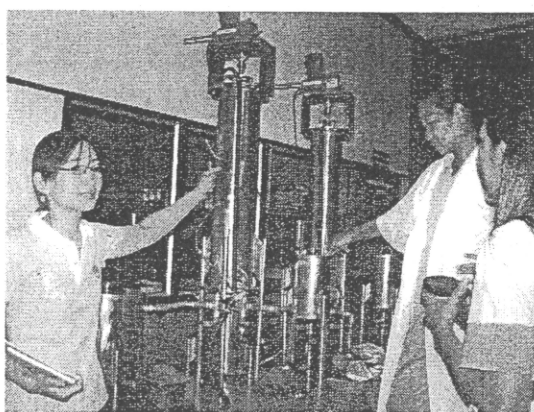
วันที่ 10 เมษายน 2552

วันนี้ช่วงเช้าพบอาจารย์ที่ปรึกษาและแต่ละกลุ่มต่างทำวิจัย ซึ่งช่วงเที่ยงทางสถานวิจัยฯ ได้แจ้งให้ครูได้ร่วมกิจกรรมวันสงกรานต์กับทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ รตนำคำหวัมูทิตาจิตและขอพรจากอาจารย์อาวุโสในคณะ

ตอนเที่ยงคณะวิศวกรรมศาสตร์จัดกิจกรรมสงกรานต์ มีการเลี้ยงอาหารพื้นบ้านแบบย้อนยุค เช่น ข้าวยาแกงเลียง ขนมโค ขนมมงคลต่างๆ เช่น ขนมทองเอก ขนมขอม่วง เป็นต้น พอได้ฤกษ์บ่ายโมงตรง มีดนตรีไทยบรรเลง เริ่มพิธีสงฆ์หน้าพระพุทธรูป และรตนำคำหวัมขอพรอาจารย์อาวุโสทั้งที่ประจำการ และเกษียณแล้วประมาณ 10 ท่าน



หลังพิธีรดน้ำแล้ว ชาวครูวิจัยมีเวลาว่าง จึงได้ไปสังเกตการณ์การศึกษาวิจัยของเพื่อนๆ กลุ่มไบโอดีเซล กลุ่มอบแห้ง กลุ่มเชื้อเพลิงแข็งและก๊าซชีววมวล และกลุ่มอื่นๆ พบว่า ลักษณะการเรียนรู้มีบรรยากาศในการเรียนรู้ที่สนุกสนานและมีความใกล้ชิดสนิทสนมกันดี เพราะต้องช่วยกันแก้ปัญหาและวิเคราะห์สภาพการปฏิบัติงานกันตลอดเวลา นอกจากนั้น จากการพูดคุยสอบถามพวกเขาทำงานกันอย่างหนัก และมีทั้งประสบความสำเร็จตามความคาดหวังและความล้มเหลวที่ต้องปรับปรุงแก้ไขใหม่ เพื่อให้งานสามารถดำเนินการต่อไปได้

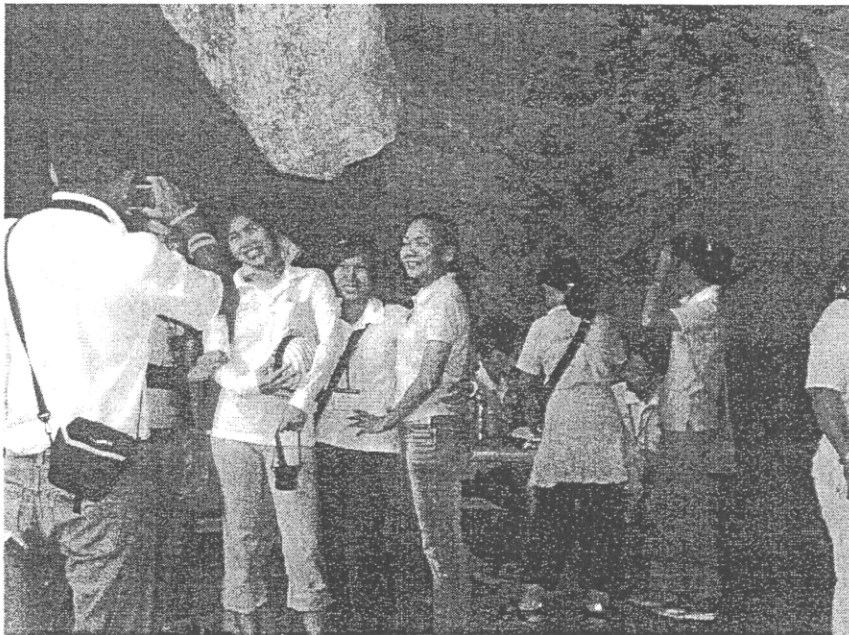


บรรยากาศการเรียนรู้ของกลุ่มวิจัยไบโอดีเซล ดูเป็นนักวิทยาศาสตร์มากเลยใช้ไหมคะ

วันที่ 11 เมษายน 2552

เวลา 06.00 น. รถบัสดณะวิศวกรรมศาสตร์ มอ. 2 คัน ออกจากศูนย์กีฬา มุ่งสู่จังหวัดสตูล มีสมาชิกครูวิจัยรอขึ้นรถระหว่างทาง 1 คน คือครูแกะ (นางปิยภรณ์ ปานกำเหนิด) พอขึ้นรถปุ๊บ ได้มอบหมายให้ครูที่อยู่จังหวัดสตูลเป็นประชาสัมพันธ์แนะนำเส้นทางในการเดินทางให้กับสมาชิกในรถ โดยมีหลายๆ คนร่วมแจมด้วย ทำให้บรรยากาศในการเดินทางครึกครื้น สนุกสนานมาก การเดินทางของพวกเราในวันนี้มีวัตถุประสงค์ปลายทางคือ การศึกษางานวิจัยท้องถิ่น ส่วนจุดประสงค์ระหว่างทางคือ การทัศนศึกษาสถานที่ท่องเที่ยวสำคัญของจังหวัดสตูลคือ ถ้ำภูผาเพชร และล่องแก่งธรรมชาติน้ำตกวังสายทอง

เวลา 09.30 น. ถึงถ้ำภูผาเพชร หลายคนเข้าไปฉายไฟส่องในถ้ำ ทางขึ้นถ้ำเป็นขั้นบันไดที่ลาดชันแต่ไม่มีอันตราย มีระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร ทางเข้าถ้ำค่อนข้างแคบ ต้องเดินเข้าแถวเรียงหนึ่ง ก่อนเข้าไปชมความงามในถ้ำก็พบกับผู้นำเที่ยวประจำกลุ่ม ซึ่งเป็นชาวบ้านในท้องถิ่นที่ได้รับฝึกอบรมมาเป็นอย่างดี พูดเก่ง เข้าใจง่ายและมีอัธยาศัยดี ให้คำแนะนำในการปฏิบัติตน และนำพวกเราเข้าชมความงามของห้องต่างๆ ภายในถ้ำ ซึ่งครูวิจัยทุกท่านประทับใจคำบรรยายของผู้นำเที่ยวหลายจุดที่มีสำนวนอารมณ์ขัน ออกจากถ้ำเดินลงถึงบริเวณที่รถจอดเวลา 12.00 น.



หลังจากรับประทานอาหารกลางวัน ก็ไปรอล่องแก่งธรรมชาติน้ำตกวังสายทอง แต่เนื่องจากเป็นช่วงเทศกาลสงกรานต์มีนักท่องเที่ยวค่อนข้างมาก ต้องใช้เวลารอคิวใช้เรือนานกว่า 2 ชั่วโมง ต้องประสานขอเลื่อนเวลาศึกษางานวิจัยท้องถิ่น ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักในการมาครั้งนี้จากเวลา 15.00 น. เป็นเวลา 19.00 น.

เวลา 19.00 น. ถึงที่ทำการกลุ่มจัดการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ชุมชนบ้านบ่อเจ็ดลูก ทราบประวัติความเป็นมาของชื่อหมู่บ้านว่า เพราะต้องขุดบ่อลูกที่เจ็ดถึงพบน้ำจืด เป็นชุมชนมุสลิม มีจำนวน 225 ครัวเรือน ผู้นำชุมชนรวมตัวกันทำโครงการวิจัยศึกษาศักยภาพของชุมชนเพื่อจัดการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภายใต้การสนับสนุนของ สกว. ผู้ที่เป็นตัวแทนกลุ่มให้ความรู้แก่พวกเราในวันนี้คือ คุณทวีศักดิ์ และคุณยูหนา หลงสมัน (ความจำกัดของเวลาจึงไม่ได้แนะนำข้อมูลเบื้องต้นให้ละเอียด)



สรุปสาระและความประทับใจการวิจัยท้องถิ่นของที่นี่คือ

1. เป้าหมายในการวิจัย 5 ข้อ คือ ทรัพยากรอยู่คู่ชุมชน ไม่กระทบต่อวัฒนธรรม ประเพณี ชุมชน สร้างการเรียนรู้และเผยแพร่วิถีชีวิตคนชายขอบ สร้างสามัคคีในชุมชน และเป็นอาชีพเสริมสำหรับคนในชุมชน

2. เป็นการดำเนินการโดยกลุ่มผู้นำในชุมชน

3. ความตั้งใจจริงและต่อสู้ของกลุ่มผู้วิจัย

4. ความรู้และประสบการณ์ในการนำเสนอผลการดำเนินการของชุมชน ที่น่าสนใจ

ฟังเข้าใจ และสนุกตื่นเต้นในกระบวนการดำเนินการ

5. การสรุปข้อค้นพบของผู้วิจัยที่ว่า 1) เมื่อมีปัญหาปัญญาเกิด 2) การวิจัยช่วยให้เกิดปัญญาและพัฒนาศักยภาพของคน

ครุครุวิจัยทุกคนประทับใจกระบวนการวิจัย และการนำเสนอของภูมิปัญญาท้องถิ่นทั้ง 2 ท่านมาก มีการซักถามแนวทางการนำวิธีการไปใช้พัฒนาชุมชนอื่นๆ และชื่นชมว่าเป็นชุมชนตัวอย่างที่เป็นต้นแบบการพัฒนาตนเองโดยใช้กระบวนการวิจัย หลังจากกล่าวขอบคุณแล้วพวกเราก็ตลา กลับถึงมอ.เวลา 24.00 น.

วันที่ 12 - 15 เมษายน 2552

ช่วงนี้อาจารย์ที่ปรึกษาให้พักผ่อน ทำกิจวัตรส่วนตัว บางคนถือโอกาสกลับบ้านเพื่อทำบุญร่วมกับครอบครัวเนื่องในโอกาสเทศกาลสงกรานต์ บางกลุ่มไปท่องเที่ยวประเทศมาเลเซียซึ่งส่วนใหญ่เป็นชาวครุวิจัย ที่มาจากภาคเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บางกลุ่มได้ชักชวนครูที่มาจากภาคอื่นไปเที่ยวบ้านซึ่งได้ทำหน้าที่เป็นเจ้าบ้านที่ดี

1. บทความวิจัย
2. แผนการเรียนการสอน/สาระการเรียนรู้
3. เรื่องเล่าความประทับใจ
4. โพสต์รณาสื่อในวันที่ 29 เมษายน 2552
5. พาวเวอร์พอยท์ที่นำเสนอรายงานความก้าวหน้า

วันที่ 28 เมษายน 2552

วันนี้พวกเราชาวครุวิจัยนัดทำเอกสารที่จะจัดแสดงในนิทรรศการ ตอนบ่ายทุกกลุ่มเริ่ม จัดนิทรรศการ บรรยากาศเป็นกันเอง สนุกสนานดี ประมาณสองทุ่มรองศาสตราจารย์กำพลสั่งอาหารจานด่วนยอดนิยมมีพิชชาภัตภัตเคเอฟซีมาเลี้ยง พวกเราช่วยกันเตรียมงานจนถึงเวลาประมาณสี่ทุ่ม จึงเริ่มทยอยกันกลับไปพักผ่อน

วันที่ 29 เมษายน 2552

เวลา 08.30 น. ทุกคนมาถึงลานนิทรรศการ ตรวจสอบความเรียบร้อยครั้งสุดท้าย ลงทะเบียนและไปรวมกันที่ห้องประชุมหัวหูน

กิจกรรมในวันนี้แบ่งเป็น 5 ส่วน คือ พิธีเปิด นิทรรศการ สัมภาษณ์ประสบการณ์และความรู้สึก เสนอกระบวนการเรียนรู้จากแต่ละกลุ่มวิจัย และการเสนอแนะและสังเคราะห์กระบวนการเรียนรู้ภาพรวมของโครงการ

เริ่มตั้งแต่กิจกรรมในพิธีเปิดในห้องหัวหูนยนต์ มีครูสุจิตรา ราศรีรัตน์ หนึ่งในสมาชิกครุวิจัย เป็นพิธีกรซึ่งมีประสบการณ์ในเรื่องการประชาสัมพันธ์และการจัดรายการวิทยุ พูดเก่ง ได้สาระ เริ่มพิธีการ (อย่างไม่เป็นทางการ) ด้วยรายงานและกล่าวเปิดโดยรองศาสตราจารย์กำพล ต่อความเป็นมาของโครงการครุวิจัยและบรรยายพิเศษ “การพัฒนาคนรุ่นใหม่สู่การเป็นนักวิจัย” จาก อาจารย์สุชาติ ชินะจิต รองผอ.สกว. และการบรรยายพิเศษ “การพัฒนาการศึกษาภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลง” จากอาจารย์สุธีระ ประเสริฐสรรพสรุปสาระสำคัญเป็นข้อคิด ดังนี้

1. การเรียนรู้การวิจัยเป็นการเรียนรู้กระบวนการไม่ใช่เรียนรู้สาระ
2. สภาวะการเปลี่ยนแปลง การดำเนินชีวิตประจำวันต้องมีการตัดสินใจภายใต้ข้อมูล
3. การให้การศึกษาเป็นการให้วิธีการหาความรู้จากข้อมูล

หลังจากกิจกรรมในห้องประชุมเป็นบรรยากาศการชมนิทรรศการและแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ตามกลุ่มการเรียนรู้ต่างๆ กิจกรรมเป็นลักษณะ การสัมภาษณ์กระบวนการเรียนรู้จากกลุ่มวิจัยแต่ละกลุ่ม และมีการแสดงความรู้สึกและความคิดเห็นในประเด็นประสบการณ์ที่ได้รับและการนำประสบการณ์ไปใช้ในโรงเรียน

หลังรับประทานอาหารร่วมกันแล้ว ทุกคนเข้าห้องประชุมอีกครั้งหนึ่ง เริ่มด้วยกิจกรรมการเล่าประสบการณ์วิจัยจากตัวแทนกลุ่มวิจัยทั้งหมด 11 คน ซึ่งครูบุเรียม พรหมปลัด หนึ่งในสมาชิกของพวกเราเป็นผู้ดำเนินรายการ เป็นบรรยากาศสบายๆแต่มีสาระ ทุกคนที่อยู่ในห้องประชุมฟังอย่างตั้งใจ ซึ่งสรุปประสบการณ์ของครุครุวิจัย ได้ดังนี้

1. มีครูบางส่วนไม่มีพื้นฐานความรู้ด้านวิทยาศาสตร์

2. ประทับใจกิจกรรมกลุ่มสัมพันธ์ที่ทำให้ครูเป็นกลุ่มเดียวกันและส่งผลต่อความสัมพันธ์ที่ดีในเวลาต่อมาตลอดเวลาที่อยู่ในกระบวนการเรียนรู้
3. การวิจัยไม่มีรูปแบบที่ตายตัว
4. การเรียนรู้ด้วยการบันทึกเรื่องราวเป็นวิธีการที่ดีวิธีการหนึ่งที่ทำให้ผู้เรียนซึมซับกระบวนการวิจัยและพัฒนาทักษะการเขียนโดยไม่รู้ตัว
5. ผลจากการทำกิจกรรมทำให้ผู้เข้าร่วมอบรมทำหนังสือที่เป็นผลงานของตนเองได้
6. การปฏิบัติงานที่อื่นเข้าไปในกระบวนการโดยไม่รู้ตัว
7. ได้เพื่อนที่ทำให้มีความสุขทุกวัน
8. ได้กระบวนการแสวงหาความรู้และการเก็บข้อมูล
9. เป็นการเรียนรู้จากการทำจริง ได้วิธีคิด แก้ปัญหา และความภาคภูมิใจ
10. การเรียนรู้ที่ดีสนใจกระบวนการระหว่างทางมากกว่าผลผลิตปลายทาง
11. ได้เรียนรู้ในสิ่งที่ไม่เคยรู้มาก่อน และสามารถประยุกต์ใช้ได้
12. การพัฒนาดตนเองให้ขยันและขวนขวายมากขึ้น

ฯลฯ



หลังกิจกรรมเล่าประสบการณ์ รองศาสตราจารย์ไพโรจน์ เป็นตัวแทนอาจารย์พี่เลี้ยง ออกประ
สรุปผลการประเมินพฤติกรรมกรรมการเรียนรู้ของเรา สรุปได้ดังนี้

1. ครูมีความขยันและมุ่งมั่นกันทุกคน น่าจะเป็นเพราะกิจกรรมการเตรียมความพร้อมที่จัดให้กับผู้เข้าอบรม นั่นคือ การเตรียมความรู้พื้นฐานก่อนการเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติการเป็นเวลา 3 วัน และการกำหนดกติกาในการเรียนรู้ร่วมกัน การให้ความรู้และประสบการณ์ในเรื่องสุนทรียสนทนา และกิจกรรมการละลายพฤติกรรม
2. การออกแบบการวิจัยเป็นการดำเนินการด้วยตนเองของผู้เข้ารับการอบรมภายใต้การให้ความช่วยเหลือของอาจารย์พี่เลี้ยง
3. ความคาดหวังของโครงการคือ ทำอย่างไรให้ครูทำวิจัยต่อ และทำอย่างไรให้ครูออกแบบกระบวนการเรียนรู้ได้

. จากนั้นอาจารย์สุชาติ และอาจารย์สุธีระ ได้สรุปสังเคราะห์ผลการเรียนรู้ของพวกเรา และให้ข้อเสนอแนะ สรุปได้ ดังนี้

1. เป้าหมายใหญ่ของการพัฒนาครูในครั้งนี้ คือการจัดการเรียนรู้ที่เป็นวิทยาศาสตร์ ให้ครูเปลี่ยนพฤติกรรมจัดการเรียนรู้ที่เน้นสาระเป็นการเน้นกระบวนการ
2. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของครูอยากให้เป็นไปในลักษณะชี้ให้นักเรียนเห็นคุณค่าและอินกับเรื่องที่เรียน
3. กระบวนการวิจัยไม่ใช่วิธีการวิจัย เป็นการเรียนรู้โดยใช้วิจัยเป็นเครื่องมือเพื่อให้เกิดการเรียนรู้จากสิ่งที่ลึกซึ้งและยังไม่รู้

กิจกรรมในวันที่พวกเราทุกคนมีความสุขมาก สังเกตจากสีหน้าและแววตา ที่แสดงออกถึงความโล่งใจ และภาคภูมิใจ หลังจากเก็บสัมภาระแล้ว ทางคณะพี่เลี้ยงเป็นเจ้าภาพจัดงานสังสรรค์ร่วมกันที่โรงแรมไดอิชิ ทุกคนได้พูดคุย ร้องเพลง เต้นรำ รับประทานอาหารร่วมกันอย่างสนุกสนานและเป็นภาพแห่งความประทับใจของครูวิจัยทุกคน

วันที่ 30 เมษายน 2552

เช้านี้ เป็นวันที่ทุกคนได้กลับบ้าน ยังมีบางคนที่ต้องไปเก็บวัสดุอุปกรณ์ บางคนต้องส่งงานที่ค้างอยู่ บางคนต้องส่งหนังสือ (กลัวโดนปรับ) และทุกคนให้คำมั่นสัญญาว่าจะติดต่อสื่อสารเป็นเพื่อนกันตลอดไป



ข้อเสนอแนะ

การฝึกครูในช่วงระยะเวลาหนึ่งเดือน ได้ทำให้ครูมีความเข้าใจในกระบวนการวิจัย แต่เมื่อกลับไปโรงเรียนแล้ว ไม่ได้ทำต่อ หรือไม่มีการกระตุ้นให้ทำวิจัยต่อ ก็จะทำให้ครูเหล่านี้สูญเสียศักยภาพไปอย่างน่าเสียดาย จึงเสนอแนะให้สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยจัดสรรทุนสนับสนุนให้ครูเหล่านี้ได้ทำวิจัยต่อ หากไม่ได้รับทุนสนับสนุนจากแหล่งอื่น

ลงนาม.....
 (หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน)
 วันที่ 15 ก.ค. 2552

ภาคผนวก ก

แนวทางการวิจัยของแต่ละกลุ่มพลังงาน

1. กลุ่มวิจัยก๊าซชีวภาพ

การทำวิจัยทางด้านก๊าซชีวภาพ จะมุ่งเน้นการทดลองหมักวัสดุเศษเหลือแบบไร้อากาศขนาดเล็กอย่างง่าย โดยแบ่งการฝึกทำวิจัยเป็นกลุ่มย่อย 5 เรื่อง ดังในตารางมที่ 1

ตารางมที่ 1.1 โครงการวิจัยด้านก๊าซชีวภาพ

ที่	ชื่อเรื่อง	ชื่อครู	พี่เลี้ยงและผู้ช่วย
1	การผลิตก๊าซชีวภาพจากทะลายปาล์ม - หมักไฮเลสจากทะลายปาล์ม, ทะลายปาล์มกับกากน้ำตาล - หมักไบโอแก๊สจากไฮเลสข้างต้น และทะลายปาล์มดิบ กับหัวเชื้อจาก Digester ของฟาร์มสุกร	อารียา พลัชนีธ จรีรัตน์ ช่วยเจริญ	ผศ.ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ กัญญารัตน์ สฤณพงศ์ทิม นักศึกษาปริญญาโท
2	การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบปาล์ม - หมักไฮเลสจากใบปาล์ม, ใบปาล์มกับกากน้ำตาล - หมักไบโอแก๊สจากไฮเลสข้างต้น และใบปาล์มดิบ กับหัวเชื้อจาก Digester ของฟาร์มสุกร	ชนพล กมลหัตถ์ กาญจนา มณีรัตยากร	
3	การผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นปาล์ม - หมักไฮเลสจากใบปาล์ม, ใบปาล์มกับกากน้ำตาล - หมักไบโอแก๊สจากไฮเลสข้างต้น และใบปาล์มดิบ กับหัวเชื้อจาก Digester ของฟาร์มสุกร	พรปวีณ์ โกศลศิริศักดิ์ อรรณพ แก้วพิบูลย์	
4	การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลฝอยอินทรีย์ - หมักมูลฝอยอินทรีย์ที่ความเข้มข้นของแข็งที่ 2 ระดับ คือ 5% และ 10% ร่วมกับหัวเชื้อจาก Digester ของฟาร์มสุกร	อัฟเสาะ หลีกกันชะ ศิริประภา สุรชน	ผศ.ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ อิสรา รักงาม พีรภรณ์ ปรีชาเลิศมิตร นักศึกษาปริญญาโท

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

ที่	ชื่อเรื่อง	ชื่อ	ที่เลี้ยง
5	ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุต่างๆ ได้แก่ มันสำปะหลัง, ต้นข้าวโพด, Fat, Glycerol ร่วมกับหัวเชื้อจาก Digester ของฟาร์มสุกร	วิจิตรพร มากมูล ดรุณี นวลศรี	ผศ.ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ นายโกสินทร์ นิลรัตน์ ต้นสนีย์ วงค์ชนะ นักศึกษาปริญญาโท

โครงการวิจัยเรื่องที่หนึ่งและสอง เป็นการหมักจากไซเลส ที่ใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตไบโอแก๊ส ส่วนเรื่องที่สามและสี่ เป็นการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

เมื่อผู้ทำวิจัยได้ศึกษาพื้นฐาน สำรวจเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หรือวิธีการผลิตไบโอแก๊สที่สามารถนำไปให้เกิดประโยชน์ ผู้วิจัยจะต้องสรุป ผลการทดลองของแต่ละกลุ่ม โดยประเมินจากการวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้ความรู้ และความเข้าใจ ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงกับสถานศึกษาหรือท้องถิ่นของครูผู้วิจัย โดยนำความรู้ไปต่อยอด หรือนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการเรียนการสอน

อย่างไรก็ตามการดำเนินการทดลองเป็นการทดลองการหมักวัสดุเศษเหลือแบบไร้อากาศ เพื่อผลิตไบโอแก๊ส จะอยู่ภายใต้คำแนะนำให้คำปรึกษาของอาจารย์ที่เลี้ยงและผู้ช่วย ทั้งนี้ เนื่องจากระยะเวลาในการทำวิจัยค่อนข้างสั้น ดังนั้นจึงควรวางแผนการทำกิจกรรมวิจัยให้สอดคล้องกับระยะเวลา

ตารางที่ 1.2 กิจกรรม

กิจกรรม (ตัวอย่าง)	วันที่ทำวิจัย **. (เมษายน 2552)														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1. การศึกษาความรู้พื้นฐาน การสำรวจข้อมูลวิจัย การทดลองขั้นต้น															
2. การออกแบบวิธีการ ทดลอง วิธีการวิเคราะห์ ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ															
3. ดำเนินการวิจัยโดย ทดลองหมักไร้อากาศของแต่ละกลุ่มวิจัย															
4. รายงานความก้าวหน้า															
5. การวิเคราะห์ผล สรุปผล ทำรายงาน ทำผลงานเพื่อนำเสนอ															
6. ส่งตัวผู้วิจัยกลับ ภูมิสำเนา															

**ไม่รวมวันที่นำเสนอผลงานและวันที่มีกิจกรรมบรรยายของโครงการครูวิจัย)

ตารางที่ 1.3 รายละเอียดสถานที่ศึกษา วิจัย และวัน เวลา

รายละเอียด	สถานที่/ห้องปฏิบัติการ	หมายเหตุ
การสืบค้นข้อมูลเพื่อประกอบการทำวิจัย (ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย)	- ภายในภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกลภายใน ห้องบรรยาย หรือลาน อาคารวิศวกรรม	- สำหรับท่านที่มี laptop สามารถนำมาใช้สืบค้นข้อมูลทาง internet โดยใช้ เครือข่าย wireless lan - สำหรับท่านที่ไม่มี laptop สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์บางเครื่อง ในภาควิชาฯ หรือที่อาคารปฏิบัติการวิจัยได้ (1-2 เครื่อง) (ซึ่งอาจไม่เพียงพอ และไม่ได้รับความสะดวกเนื่องจากส่วนใหญ่มีการใช้งานอยู่ประจำ)
การออกแบบการทดลองและเตรียมวัสดุสำหรับหมักแบบไร้อากาศ (6-10 เม.ย. 52 8:30-16:30 น.)	- ห้องปฏิบัติ (LAB) การคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ห้อง E505B-E505C และ E605A-E605C - ห้องระบบชั้น B คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม หรือ - ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์	หากเวลาในการทำวิจัยไม่พอสามารถทำวิจัยเพิ่มนอกเหนือจากเวลาปกติ
อุปกรณ์/เครื่องมือ วัสดุ สำหรับการวิจัย (6-28 เม.ย. 52 9:00-16:00 น. ในวันราชการ)	- เตาเผา - ตู้บ่มร้อน - ตู้ดูดควัน - ชุดอุปกรณ์ทำ SS (ปั๊มสุญญากาศ, ชุด Suction) - เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง - เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) - เตาย่อยและเตากลั่น TKN และแอมโมเนีย - Hot Plate - เตาย่อย COD - Touch Mixer	<u>วัสดุ</u> - ไบโพลัม, ทะลายปาล์ม, กากน้ำตาล, ไซเลสที่ทำจากไบโพลัม และทะลายปาล์ม, มูลสุกร - ถุงพลาสติกขนาด 10×12 นิ้ว - ผืนผ้าใบ - มีดสับ - เครื่องปั่น (Blender) - กระป๋องพลาสติก - สายยางซิลิโคน - พาลาฟิมล์ - ถุงเก็บก๊าซชีวภาพ - เข็มฉีดยา - อุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับปฏิบัติการทางเคมี (Lab)

ตารางที่ 1.3 (ต่อ)

รายละเอียด	สถานที่/ห้องปฏิบัติการ	หมายเหตุ
	- pH meter - เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) - อุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซแบบแทนที่น้ำ วัดดูบางอย่าง ครูผู้วิจัย และพี่เลี้ยงช่วยกันจัดหา	- กระดาษกรอง GF/C - สารเคมีสำหรับทำ LAB พารามิเตอร์ต่างๆ
การประชุมกลุ่มไบโอก๊าซ (เพื่อติดตาม ให้คำปรึกษาการทำวิจัย) (ทุกวันจันทร์ 9:00 – 10:30น.)	- ห้องหน่วยวิจัยเทคโนโลยีสีเขียว คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม (E207)	ผศ.ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์
การบรรยายพื้นฐานเกี่ยวกับไบโอก๊าซ (3 เม.ย. 52 15:00-16:30 น.)	- ห้องเรียนภายในภาควิชาวิศวกรรมโยธา (ME 110A)	ผศ.ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์
พี่เลี้ยง และนักศึกษาปริญญาโท ซึ่งเป็นผู้ช่วยดูแลการดำเนินการวิเคราะห์ระดับห้องปฏิบัติการ (ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย)	- ห้องปฏิบัติการ (LAB) ใน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม หรือ ห้องปฏิบัติการ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์	นางสาวกัญญารัตน์ สฤณภูพวงศ์ทิรฆ และนักศึกษาปริญญาโท

2. กลุ่มวิจัยการอบแห้ง

กลุ่มวิจัยการอบแห้ง มีโครงการวิจัยทั้งหมด 7 เรื่อง

ตารางที่ 2.1 ชื่อผู้วิจัย

ที่	ครู	อาจารย์พี่เลี้ยง/ผู้ช่วย/นักศึกษา
1	วิศิษฐ์ ราชเนตร ชนิกา บัวเผียน	รศ.ดร. พีระพงศ์ ทีฆสกุล /ณัฐมา แป้นแก้ว/อรรณ ขาดาสุวรรณ
2	บังอร จุลพล ประภาพรณ เพ็ชรประสมกุล	รศ.ดร. พีระพงศ์ ทีฆสกุล /ณัฐมา แป้นแก้ว/อรรณ ขาดาสุวรรณ
3	สายทอง จีปราบนันท์ อภิชาติ บัวทอง	รศ.ดร. พีระพงศ์ ทีฆสกุล /ณัฐมา แป้นแก้ว/อรรณ ขาดาสุวรรณ
4	จุไรรัตน์ สุริยงค์ ปิยาภรณ์ ปานกำเหนิด	รศ.ดร.สุภาวรรณ ภูิระวนิชย์กุล/
5	กุลศิริราณี ศักติษบานนท์	รศ.ดร.สุภาวรรณ ภูิระวนิชย์กุล/
6	อาทิตพร แสนจักร	รศ.ดร.สุภาวรรณ ภูิระวนิชย์กุล/

ตารางที่ 2.2 กิจกรรม

กิจกรรม	สถานที่	สัปดาห์			
		1	2	3	4
1.บรรยายเรื่อง “ทฤษฎีการอบแห้งและการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	ห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	↔			
2. การสืบค้นข้อมูล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	↔			
3.การออกแบบการทดลอง	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ลานตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	↔			
4. เตรียมอุปกรณ์	Work Shop ลานตากแห้ง ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาเคมี (คณะวิทย์) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	↔			
5. ทำการทดลอง	ลานตากแห้ง ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาเคมี (คณะวิทย์) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล		↔	↔	
6. วิเคราะห์ผล	ลานตากแห้ง ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาเคมี (คณะวิทย์) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล			↔	↔
7.ประชุมกลุ่มย่อยเพื่อวิจารณ์ผล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	↔	↔	↔	↔
8.เขียนรายงาน	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี		↔	↔	↔

รายละเอียดกิจกรรมการวิจัย

การบรรยาย (ณ ห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล)

ทฤษฎีการอบแห้ง โดย รศ.ดร.สุภวรรณ ฐิระวนิชย์กุล

การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดย รศ.ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล

การสืบค้นข้อมูล

สืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ ศึกษารายงานโครงงานของนักศึกษา และ

สืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต (เพื่อความสะดวกครุควรนำคอมพิวเตอร์มาเอง)

การออกแบบการทดลอง การเตรียมอุปกรณ์ และการทดลอง แยกตามเรื่องที่ทำดังต่อไปนี้

ก. การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และลมร้อน (Solar Drying & Hot air Drying)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินวิจัย

1 วัดวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองได้แก่ พริก ตะไคร้ กระเทียมหอม (โรงเรียนสันติสุข) ล้างให้สะอาด หาคำความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995)

2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยส่วนที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ และมีส่วนของพลังงานความร้อนเสริมจากเครื่องทำความร้อน
- แผงรับความร้อนทำด้วยแผ่นสังกะสีทาสีดำ เพื่อช่วยในการดูดซับรังสี ด้านบนปิดด้วยพลาสติกใสผืนด้านนอกทำด้วยสังกะสี ภายในบุด้วยฉนวนที่ทำด้วยโพลีเอทิลีนหนา 1 cm ประกอบเข้ากับตัวเครื่องอบแห้ง วางทำมุมเอียง 14° กับแนวระดับ
- ถาดอบแห้งมีพื้นที่การอบแห้งประมาณ 1 m^2 อบแห้งวัสดุได้ประมาณ 1-2 kg ต่อถาด
- เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ A&D รุ่น GF 3000 ค่าความละเอียด ± 0.01 กรัม
- เครื่องวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมมิเตอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิกระเปาะเปียก

ข. การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบตู้ : การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Infrared and Solar Drying)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินวิจัย

1 วัดวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองได้แก่ มันฝรั่ง ล้างให้สะอาด สไลด์เป็นชิ้นบาง ๆ หาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995)

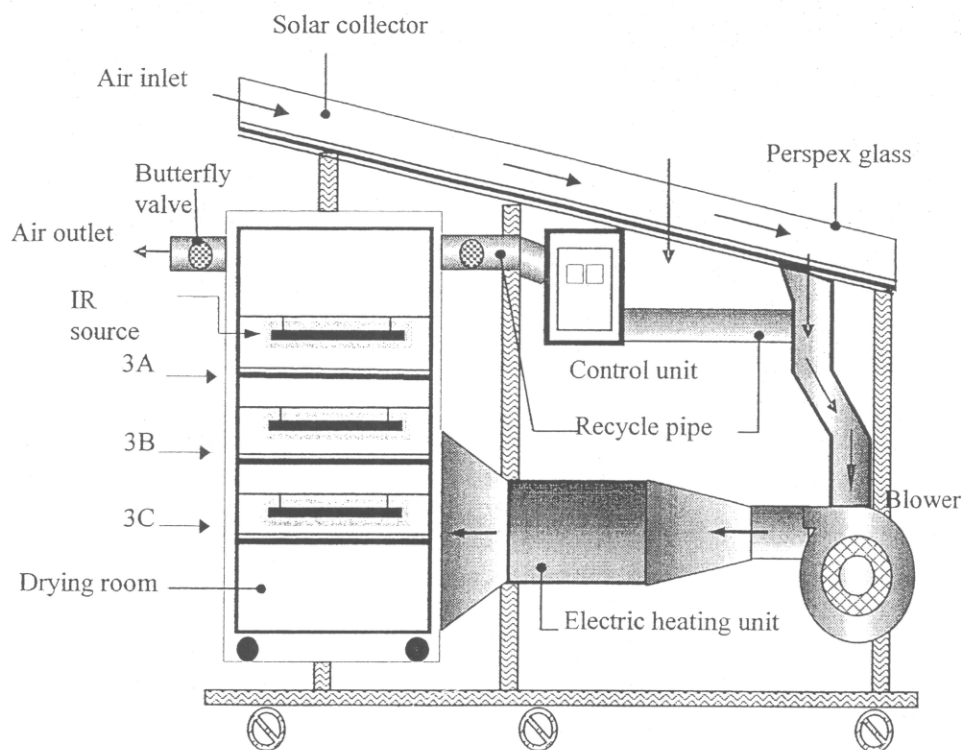
2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- ห้องอบแห้งมีปริมาตร $60 \times 80 \times 158.5 \text{ cm}^3$ ภายในอุณหภูมิเยกั่ว หนา 5 cm
- แผงรับความร้อนทำด้วยแผ่นสังกะสีทาสีดำ เพื่อช่วยในการดูดซับรังสี มีขนาด $32.5 \times 133 \times 240 \text{ cm}^3$ ด้านบนปิดด้วยพลาสติกใส ผังด้านนอกทำด้วยสังกะสี ภายในบุด้วยฉนวนที่ทำด้วยโพลีเอทิลีนหนา 1 cm ประกอบเข้ากับตัวเครื่องอบแห้ง วางทำมุมเอียง 14° กับแนวระดับ
- ถาดอบแห้งแตนเลส มีขนาด $44 \times 70 \times 5 \text{ cm}^3$ จำนวน 3 ถาด มีพื้นที่การอบแห้งรวม 3.08 m^2 อบแห้งวัสดุได้ประมาณ 1 kg ต่อถาด
- หลอดรังสีอินฟราเรดขนาด 500 W จำนวน 2 แท่ง ในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศและห่างจากวัสดุอบแห้ง 0.13 m
- เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ A&D รุ่น GF 3000 ค่าความละเอียด ± 0.01 กรัม
- เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ความละเอียด $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิกระเปาะเปียก

3 วิธีการวิจัย

ทำการทดลองแบบแบตช์ ใช้ตัวอย่างประมาณ 4 กิโลกรัมต่อแบตช์

- ทำการทดลองอบแห้งในช่วง อุณหภูมิอบแห้ง $60-80^\circ\text{C}$ ความเข้มของรังสีอินฟราเรดอยู่ในช่วง 500–1000 วัตต์
- บันทึกผลการทดลอง ได้แก่ น้ำหนัก อุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และอุณหภูมิอบแห้ง ภายในตู้อบแห้ง
- บันทึกปริมาณพลังงานที่ใช้ด้วย Watt-hour meter
- ทดสอบคุณภาพของกึ่งแห้ง ได้แก่ สี ร้อยละการหดตัว
- สรุปผลและรายงาน



รูปที่ 1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งแบบโดยการใช้พลังงานจากลมร้อน รังสีอินฟราเรดและแสงอาทิตย์

ค. การอบแห้งผลไม้ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Drying)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

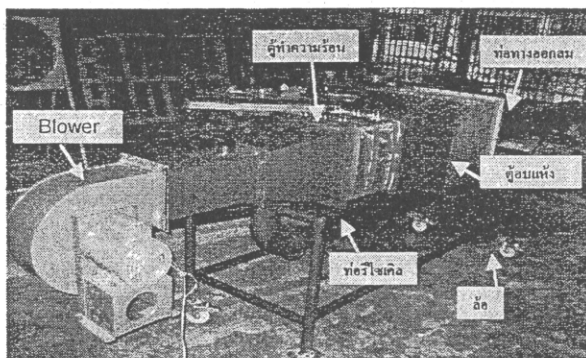
1 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ผลไม้ตามฤดูกาล หาค่าความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995)

2 อุปกรณ์

2.1 เครื่องอบแห้งผลไม้โดยใช้พลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้า ที่ได้พัฒนาขึ้นมา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ตู้อบแห้งมีขนาด $55 \times 55 \times 55 \text{ cm}^3$
- ถาดที่ใช้อบแห้งมีขนาด $30 \times 32 \times 2 \text{ cm}^2$ จำนวน 4 ถาด
- เครื่องทำความร้อนขนาดตัวละ 1000 W จำนวน 6 ตัว
- พัดลมเป่าอากาศ ขนาด 1 แรงม้า จำนวน 1 ตัว
- หลอดอินฟราเรด ขนาดหลอดละ 500 W จำนวน 4 หลอด



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้า

2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ A&D รุ่น GF 3000 ค่าความละเอียด ± 0.1 g.

2.3 เครื่องวัดยี่ห้อ SUPCON ความละเอียด $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ต่อกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตุ้บแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.4 เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-45 ความละเอียด ± 0.01 m/s

2.5 เวอร์เนีย

3 วิธีการทดลอง

- การอบแห้ง

สภาวะที่ 1 อบแห้งด้วยลมร้อนจากกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

โดยกำหนดความเร็วลมภายในตุ้บแห้ง 1.0 ± 0.5 m/s กระแสป้อนกลับของอากาศอบแห้ง 95% อุณหภูมิอบแห้งในช่วง $60-80^{\circ}\text{C}$

สภาวะที่ 2 อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว

- บันทึกผลการทดลอง ได้แก่ น้ำหนัก อุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และอุณหภูมิอบแห้งภายในตุ้บแห้ง

- หาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายที่สภาวะต่าง ๆ

- วิเคราะห์ผล

ง. การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบการทดลอง

- กำหนดตัวแปรที่จะศึกษา เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ ค่าความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

- กำหนดจุดวัดอุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

- กำหนดจุดตั้งตัวอย่าง เพื่อหาค่าความชื้น

- กำหนดผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ศึกษา

- กำหนดจำนวนครั้งที่ทดลอง

การเตรียมอุปกรณ์

- เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์
- Thermocouple
- เครื่องวัดความเร็วลม
- เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์
- ตาชั่งละเอียดสำหรับชั่งตัวอย่าง
- ตาชั่งสำหรับชั่งตัวอย่างทั้งหมด

การทดลอง

- ชั่งผลิตภัณฑ์ทั้งหมด
- ชั่งถาดเปล่า และชั่งถาดเปล่า+ตัวอย่าง
- บันทึกตัวแปรต่างๆ ทุกๆ 2 ชม.
- รอจนผลิตภัณฑ์แห้ง แล้วนำตัวอย่างไปอบจนแห้ง และคำนวณหาค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ
- ชั่งผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วทั้งหมด

จ. อบแห้งผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

การออกแบบการทดลอง

- กำหนดตัวแปรที่จะศึกษา เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ ค่าความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

- กำหนดจุดวัดอุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม
- กำหนดจุดตั้งตัวอย่าง เพื่อหาค่าความชื้น
- กำหนดผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ศึกษา
- กำหนดจำนวนครั้งที่ทดลอง
- กำหนดปริมาณไม้พินที่ใช้และเวลาในการเริ่มจุดพิน

การเตรียมอุปกรณ์

- เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์
- Thermocouple
- เครื่องวัดความเร็วลม
- เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์
- ตาชั่งละเอียดสำหรับชั่งตัวอย่าง
- ตาชั่งสำหรับชั่งตัวอย่างทั้งหมด
- ตาชั่งสำหรับชั่งไม้พิน
- ตู้อบไฟฟ้า

การทดลอง

- ชั่งผลิตภัณฑ์ทั้งหมด
- ชั่งถาดเปล่า และชั่งถาดเปล่า+ตัวอย่าง
- บันทึกตัวแปรต่างๆ ทุกๆ 2 ชม.

- ร่อนผลิตภัณฑ์แห้ง แล้วนำตัวอย่างไปอบจนแห้ง และคำนวณหาค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ
- ชั่งผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วทั้งหมด
- ชั่งไม้พินที่จะป้อนในเตา
- ป้อนไม้พินประมาณ 40-160 กก. เวลาประมาณ 16.00 น ของทุกวันที่ทำการอบด้วยความร้อนจากไม้

พิน

จ. การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแผงรับรังสี

การออกแบบการทดลอง

- กำหนดรูปแบบแผงรับรังสีที่จะศึกษา

- กำหนดตัวแปรที่จะศึกษา เช่น อุณหภูมิเข้า-ออก แผงรับรังสี ความเข้มจากแสงอาทิตย์ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์

- กำหนดจุดวัด อุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์
- กำหนดระยะเวลาการทดลอง

การเตรียมการทดลอง

- เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์
- Thermocouple
- เครื่องวัดความเร็วลม
- เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์
- พัดลมดูดอากาศ

การทดลอง

- เปิดพัดลมและวัดความเร็วลม
- บันทึกค่าตัวแปรต่างๆ
- ทำการทดลองซ้ำ

การวิเคราะห์ผล

ให้แสดงผลในรูปกราฟหรือตารางที่เหมาะสม

- อธิบายและวิจารณ์ผลการทดลองในแต่ละหัวข้อโดยอ้างอิงตามทฤษฎีและความรู้ที่มี
- สรุปผลการทดลองแต่ละการทดลองและทำการเปรียบเทียบผล(ถ้ามี)

ประชุมกลุ่มย่อย

เพื่อวิจารณ์ผล และหาแนวทางแก้ไขอุปสรรคที่เกิดขึ้นและเสนอแนะการปรับปรุงการทดลองทุกครั้ง ที่ทดลองเสร็จ หากเกิดปัญหาจะได้แก้ไขได้ทันที

การเขียนรายงาน

ควรเขียนรายงานควบคู่ไปกับการปฏิบัติ ไม่รอเขียนหลังการทดลองเสร็จสิ้นเนื่องจากจะทำให้เสียเวลาและล้มผลการทดลอง เขียนเขียนส่วนที่เขียนได้ก่อน เช่น บทนำ ทฤษฎีและวิธีการทดลอง ส่วนผลการทดลองให้เขียนในรูปแบบรายงานทุกครั้งที่ทำเสร็จ

3. กลุ่มวิจัยการอนุรักษ์พลังงาน

การทำวิจัยของกลุ่มอนุรักษ์พลังงาน จะมุ่งเน้นการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน แนวทางการประหยัดพลังงาน และการประเมินผลตอบแทนการลงทุน

เมื่อผู้ทำวิจัยได้ศึกษาพื้นฐาน สาระเอกสาร กฎหมายและตำราที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจะต้องสำรวจอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า ตรวจสอบการใช้ไฟฟ้า ประเมินการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ วางมาตรการประหยัดพลังงาน โดยประเมินการลงทุนและผลตอบแทนการลงทุน ภายในอาคารตัวอย่าง อีกทั้งจะต้องคิดหาแนวทางการวิจัยว่า หากต้องการทราบศักยภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า จะต้องทดสอบ หรือทดลองเก็บข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆอย่างไรบ้าง

เพื่อให้ได้ความรู้จากการทำงานครั้งนี้ ผู้วิจัยจะต้องพยายามเชื่อมโยงกับความรู้พื้นฐานที่ได้ศึกษามา และการนำความรู้ไปต่อยอดหรือไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการเรียนการสอน หรือการทำวิจัยด้านนี้ในโรงเรียนต้นสังกัดหรือท้องถิ่นของครูผู้วิจัยแต่ละท่าน การวิจัย การสร้าง การทดลองและการทดสอบ จะอยู่ภายใต้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาของอาจารย์พี่เลี้ยงและผู้ช่วย ทั้งนี้ เนื่องจากระยะเวลาในการทำวิจัยค่อนข้างสั้น ดังนั้นจึงควรวางแผนการทำกิจกรรมวิจัยให้สอดคล้องกับระยะเวลาที่มี

ตารางที่ 3.1 ชื่อผู้ทำวิจัยและพี่เลี้ยง

โครงการ		อาจารย์พี่เลี้ยง/ผู้ช่วย*
1	นฤมล ธรรมรักษะเจริญ	ดร.พุทธิพงศ์ แสนสบาย
	อาอีชะ หมาดอี	นาย ชาญวิทย์ บัวศรี
		นาย พันศักดิ์ แซ่ก่า
2	ผู้ไรดา เต๊ะมาหมัด	ดร.พุทธิพงศ์ แสนสบาย
	บุญนำ หมิ่นยะลา	นาย ชาญวิทย์ บัวศรี
	อำไพ กลับทับลังค์	นาย พันศักดิ์ แซ่ก่า
3	วรลักษณ์นาวลัย ยงสืบชาติ	ดร.พุทธิพงศ์ แสนสบาย
	อารีย์ หลีโละ	นาย ชาญวิทย์ บัวศรี
		นาย พันศักดิ์ แซ่ก่า

หมายเหตุ วิศวกรประจำศูนย์วิศวกรรมพลังงาน

ตารางที่ 3.2 กิจกรรมและแผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	สถานที่	สัปดาห์				
		1	2	3	4	5
1. การศึกษาความรู้พื้นฐาน การค้นหาข้อมูล การวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล การเขียนรายงานวิชาการ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	X				
2. ศึกษาการใช้พลังงานของอุปกรณ์ชนิดต่างๆ วิธีการประเมินการใช้พลังงาน อัตราค่าไฟฟ้า ตารางสำรวจข้อมูล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล		X			
3.สำรวจอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าในอาคารตัวอย่าง ตรวจสอบวัดการใช้ไฟฟ้าในอุปกรณ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล			X		
4. ทดสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตัวอย่าง ผลของตัวแปรต่างๆ ต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล				X	
5. การวิเคราะห์ผล สรุปผล ทำรายงาน ทำผลงานเพื่อนำเสนอ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล					X

ตารางที่ 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

รายละเอียด	สถานที่/ ห้องปฏิบัติการ	วัน/เวลา	หมายเหตุ
การสืบค้นข้อมูลเพื่อประกอบการทำวิจัย การประเมินการใช้พลังงาน อัตราค่าไฟฟ้า ตารางสำรวจข้อมูล	- ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลภายในห้องบรรยาย หรือ ลานอาคารวิศวกรรม	ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย	- สำหรับท่านที่มี laptop สามารถนำมาใช้สืบค้นข้อมูลทาง internet โดยใช้ เครือข่าย wireless lan ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้ - สำหรับท่านที่ไม่มี laptop สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์บางเครื่องในภาควิชาฯ (1-2 เครื่อง) (ซึ่งอาจไม่เพียงพอ และไม่ได้รับความสะดวก เนื่องจากส่วนใหญ่มีการใช้งานอยู่ประจำ)

รายละเอียด	สถานที่/ ห้องปฏิบัติการ	วัน/เวลา	หมายเหตุ
สำรวจอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าในอาคาร ตัวอย่าง ตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าในอุปกรณ์ ทดสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ ตัวอย่าง	- อาคารวิจัยทางวิศวกรรมศาสตร์ - ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล - อาคารตัวอย่าง	13-24 เม.ย. 52 8:30-16:30 น.	หากเวลาในการทำวิจัยไม่พอสามารถทำวิจัยเพิ่มนอกเหนือจากเวลาปกติ
อุปกรณ์/เครื่องมือวัสดุ สำหรับการวิจัย	ห้องเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ (ผู้ดูแลห้อง : คุณสุมาตพร ฟองเกิด) ห้องเครื่องมือช่าง (ผู้ดูแลห้อง : คุณวินิจ จันทกานต์) ศูนย์วิศวกรรมพลังงาน	6-26 เม.ย. 52 9:00-16:00 น. (วันราชการ)	<u>เครื่องมือ</u> - เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า - เครื่องวัดความส่องสว่าง - เครื่องวัดอุณหภูมิ - เครื่องวัดความชื้น - ดัลลัสเมตร - อื่นๆที่จำเป็น โดยอาจารย์พี่เลี้ยง จะจัดเตรียมให้
การบรรยายพื้นฐานเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน	ห้องประชุมภายในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	ตามกำหนดการ	ดร.พุทธิพงศ์ แสนสบาย นาย ชาญวิทย์ บัวศรี นาย พันศักดิ์ แซ่ก่า
การประชุมกลุ่มพลังงานลม (เพื่อติดตาม ให้คำปรึกษาการทำวิจัย)	ห้องประชุมภายในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	ทุกวัน จันทร์ พุธ และศุกร์ 9:00-10:00น.	ดร.พุทธิพงศ์ แสนสบาย นาย ชาญวิทย์ บัวศรี นาย พันศักดิ์ แซ่ก่า (หรือวันอื่นๆที่ต้องการคำปรึกษา ในแต่ละกรณี)

4. กลุ่มวิจัยพลังงานลม

การทำวิจัยของกลุ่มพลังงานลม จะมุ่งเน้นการทดลองทำกังหันลมขนาดเล็กอย่างง่าย ให้สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ทำกังหันลมชนิดแกนตั้ง และกลุ่มที่ทำกังหันลมชนิดแกนนอน

เมื่อผู้ทำวิจัยได้ศึกษาพื้นฐาน สำนวณเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หรือรูปแบบการนำพลังงานลมมาใช้ให้เกิดประโยชน์แล้ว ผู้วิจัยจะต้องคิด คำนวณ ออกแบบรูปแบบกังหันลมของแต่ละกลุ่ม แล้ววางแผนการสร้างกังหันลมขึ้นมา โดยประเมินจากแหล่งพลังงานลม ที่จะนำกังหันลมไปทดสอบ อีกทั้งจะต้องคิดว่าเมื่อสร้างกังหันลมขึ้นมาแล้วจะต้องทดสอบ หรือทดลองเก็บข้อมูลการทำงานของกังหันลมอย่างไรบ้าง

เพื่อให้ได้ความรู้จากการทำงานงานครั้งนี้ ผู้วิจัยจะต้องพยายามเชื่อมโยงกับความรู้พื้นฐานที่ได้ศึกษามา โดยการนำความรู้ไปต่อยอด หรือไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการเรียนการสอน หรือการทำวิจัยด้านนี้ในโรงเรียนต้นสังกัดหรือท้องถิ่นของครูผู้วิจัยแต่ละท่าน

การวิจัย การสร้าง การทดลองและการทดสอบกังหันลมจะอยู่ภายใต้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาของอาจารย์พี่เลี้ยงและผู้ช่วย ทั้งนี้ เนื่องจากระยะเวลาในการทำวิจัยค่อนข้างสั้น ดังนั้นจึงควรวางแผนการทำกิจกรรมวิจัยให้สอดคล้องกับระยะเวลาที่มี

ตารางที่ 4.1 ชื่อผู้ทำวิจัยและพี่เลี้ยง

ชื่อผู้ทำวิจัย		พี่เลี้ยง
1	1. ปิยะวรรณ มุลาลี	ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา
	2. สุนทร ลำกำปัง	ดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ
	3. วิโรจน์ หลกมัน	นายสันติชัย เย็นทั่ว
2	4. บุญนำ หมีนยะลา	ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา
	5. กษมล ดอนแก้ว	ดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ
		นายสันติชัย เย็นทั่ว

ตารางที่ 4.2 กิจกรรมและแผนการทำงาน

กิจกรรม	ลำดับวันที่ทำวิจัย (ไม่รวมวันที่นำเสนอผลงานและวันที่มีกิจกรรมบรรยายของโครงการครุวิจัย)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1. การศึกษาความรู้พื้นฐาน การสำรวจข้อมูลวิจัย การ ทดลองขั้นต้น																		
2. การออกแบบกังหันลม การออกแบบวิธีการทดลอง วิธีการทดสอบ ของแต่ละกลุ่ม																		
3. การสร้างกังหันลมและชุด ผลิตไฟฟ้า																		
4. ทดลอง ทดสอบการทำงาน ของกังหันลม และเก็บข้อมูล รายงานความก้าวหน้า																		
5. การวิเคราะห์ผล สรุปผล ทำ รายงาน ทำผลงานเพื่อนำเสนอ																		

(ตัวอย่างประเมินระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินกิจกรรมวิจัย โดยอาจารย์ที่เลี้ยง ระยะเวลาที่ใช้จริงอาจแตกต่างจากนี้)

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดสถานที่ศึกษา วิจัย และวัน เวลา

รายละเอียด	สถานที่/ห้องปฏิบัติการ	วัน/เวลา	หมายเหตุ
การสืบค้นข้อมูลเพื่อ ประกอบการทำวิจัย	- ภายในภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกลภายในห้อง บรรยาย หรือลานอาคารวิศวะ	ตลอด ระยะเวลาการ ทำวิจัย	- สำหรับท่านที่มี laptop สามารถ นำมาใช้สืบค้นข้อมูลทาง internet โดยใช้ เครือข่าย wireless lan ของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้ - สำหรับท่านที่ไม่มี laptop สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์บาง เครื่องในภาควิชาฯ หรือที่อาคาร ปฏิบัติการวิจัยได้ (1-2 เครื่อง)
การออกแบบ การ สร้างและทดสอบ กังหันลมแกนตั้งและ แกนนอนขนาดเล็ก	- Shop ปฏิบัติการ วิศวกรรมเครื่องกล (ในภาควิชา ฯ) - อาคารปฏิบัติการวิจัยทาง วิศวกรรมเครื่องกล - ภายนอกอาคาร หรือบนดาดฟ้า อาคาร บริเวณที่มีลม	6-26 เม.ย. 52 8:30-16:30 น.	หากเวลาในการทำวิจัยไม่พอ สามารถทำวิจัยเพิ่มนอกเหนือจาก เวลาปกติ (เมื่อผู้วิจัยออกแบบกังหันลมและ ออกแบบวิธีการทดลองเสร็จแล้วให้ ปรึกษากับอาจารย์ที่เลี้ยงเพื่อให้ ความเห็นและข้อเสนอแนะก่อนที่ จะสรุปแบบที่จะสร้าง)

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

รายละเอียด	สถานที่/ห้องปฏิบัติการ	วัน/เวลา	หมายเหตุ
อุปกรณ์/เครื่องมือ วัสดุ สำหรับการวิจัย	- ห้องเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ (ผู้ดูแลห้อง : คุณสุมาตร ฟองเกิด) - ห้องเครื่องมือช่าง (ผู้ดูแลห้อง : คุณวินิจ จันทกานต์) - วัสดุบางอย่าง ครูผู้วิจัยและอาจารย์พี่เลี้ยงช่วยกันจัดหา	6-26 เม.ย. 52 9:00-16:00 น. (วันราชการ)	<u>วัสดุ</u> - แผ่นอลูมิเนียมบาง/แผ่นพลาสติก 1.2 x2.4 ตร.ม. หรือ ขวดพลาสติก หรือท่อพีวีซี ขนาด 3"x 50 cm หรือ วัสดุเหลือใช้ที่คาดว่าจะนำมาผลิตใบกั้นหุ้มได้ - อลูมิเนียมฉาก 3/4" x 1/16" - อลูมิเนียมกลม dia. 3/8" - ริเว็ต dia. 1/8" x 1/4" - bolt&nut พร้อมแหวนรอง M6x25 - ขดลวดทองแดงอาบน้ำยา เบอร์ 27 - ลวดเหล็ก dia. 2 mm - แม่เหล็กถาวร Neodymium magnets 3/4" x 1/8" Disc rare earth N42 - แผ่นเหล็กขนาด 1"x1" หรือแหวนรองน็อต 1" - IC Bridge rectifier 87xx หรือ LMxx - หัวแร้ง ตะกั่วบัดกรี - ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ หลอด LED Bread board และสายไฟ <u>หมายเหตุ</u> วัสดุข้างต้น เป็นวัสดุที่คาดว่าจะต้องใช้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมขึ้นอยู่กับความคิดและการตัดสินใจของครูผู้ทำวิจัย และขอเสนอแนะจากอาจารย์พี่เลี้ยง <u>เครื่องมือ</u> - เครื่องวัดความเร็วลม (vane type) - ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

อุปกรณ์/เครื่องมือ วัสดุ สำหรับการวิจัย	- ห้องเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ (ผู้ดูแลห้อง : คุณสมมาตร พองเกิด) - ห้องเครื่องมือช่าง (ผู้ดูแลห้อง : คุณวินิจ จันทกานต์) - วัสดุบางอย่าง ครูผู้วิจัยและอาจารย์พี่เลี้ยงช่วยกันจัดหา	6-26 เม.ย. 52 9:00-16:00 น. (วันราชการ)	- ที่ย้ารีเว็ต สว่านไฟฟ้า ดอกสว่าน ฉากเหล็ก ฟุตเหล็ก ค้อน เครื่องมือช่างที่จำเป็นต้องใช้ สามารถยืมได้จากห้องเครื่องมือช่างของภาควิชาฯ หรือหากครูท่านใดมีอุปกรณ์เครื่องมือก็สามารถนำมาใช้งานได้ เช่น คีมตัด กรรไกร ประแจไขควง มิเตอร์วัดไฟฟ้า เป็นต้น
--	---	---	--

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

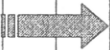
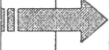
รายละเอียด	สถานที่/ห้องปฏิบัติการ	วัน/เวลา	หมายเหตุ
การบรรยายพื้นฐานเกี่ยวกับพลังงานลมและกังหันลม	- ห้องเรียนภายในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล (ME 110A)	3 เม.ย. 52 15:00-16:30 น. 6 เม.ย. 52 9:00-11:00 น.	ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา ดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ นายสันติชัย เย็นทั่ว
การประชุมกลุ่มพลังงานลม (เพื่อติดตาม ให้คำปรึกษาการทำวิจัย)	- ลานตึกอาคารคณะวิศวกรรมฯ บริเวณหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หรือ - ห้อง ME 110A	ทุกวันเข้าวันพุธ 9:00 – 10:30น. (หรือวันอื่นๆที่ต้องการ คำปรึกษา ในแต่ละกรณี)	ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา ดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ นายสันติชัย เย็นทั่ว
นักศึกษาปริญญาโท (ผู้ช่วยสนับสนุนการสร้างและทดสอบกังหันลม)	- Shop ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล (ในภาควิชาฯ) - อาคารปฏิบัติการวิจัยทางวิศวกรรมเครื่องกล	ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย	นายสันติชัย เย็นทั่ว

5. กลุ่มวิจัยไบโอดีเซล

ในการฝึกทำวิจัยด้านไบโอดีเซล จะกำหนดให้ครูทำวิจัยเรื่องละ 2 คน ดังนั้นครูแต่ละคู่ จะต้องกำหนดเครื่องมือในการทำวิจัยกันเอง พร้อมทั้งชนิดของวัตถุดิบ ตัวแปรที่แต่ละคู่จะต้องทดลอง วางแผนการเก็บข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์และแปรผล

ในช่วงแรก กำหนดให้แต่ละคนศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง เขียนรายละเอียดข้อเสนอโครงการ จากนั้นครู จะได้รับการฝึกอบรมกระบวนการ การใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ และลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง

ตารางที่ 5.1 กิจกรรมและแผนการทำงาน

กิจกรรม	ลำดับวันที่ทำวิจัย (ไม่รวมวันที่นำเสนอผลงานและวันที่มีกิจกรรมบรรยายของโครงการครูวิจัย)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1. การศึกษาความรู้พื้นฐาน การสำรวจข้อมูลวิจัย การทดลองขั้นต้น																		
2. การออกแบบการทดลอง การฝึกการใช้เครื่องมือ ทดสอบ การฝึกปฏิบัติ																		
3. ลงมือทำวิจัย พร้อมทั้ง เก็บข้อมูล																		
4. การวิเคราะห์ผล สรุปผล ทำรายงาน ทำผลงานเพื่อนำเสนอ																		

ตารางที่ 5.2 กิจกรรมและสถานที่

รายละเอียด	สถานที่/ห้องปฏิบัติการ	วัน/เวลา	หมายเหตุ
การสืบค้นข้อมูลเพื่อประกอบการทำวิจัย	- ภายในภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกลภายในห้อง บรรยาย หรือลานอาคารวิศวกรรม	ตลอด ระยะเวลาการ ทำวิจัย	- สำหรับท่านที่มี laptop สามารถ นำมาใช้สืบค้นข้อมูลทาง internet โดยใช้ เครือข่าย wireless lan ของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้ - สำหรับท่านที่ไม่มี laptop สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์บาง เครื่องในภาควิชาฯ หรือที่อาคาร ปฏิบัติการวิจัยได้ (1-2 เครื่อง)

รายละเอียด	สถานที่/ห้องปฏิบัติการ	วันเวลา	หมายเหตุ
การฝึกอบรม	- Shop ปฏิบัติการ วิศวกรรมเครื่องกล (ในภาควิชา ฯ) - ห้องเรียนภาควิชา (ห้อง C)	6-26 เม.ย. 52 8:30-16:30 น.	หากเวลาในการทำวิจัยไม่พอ สามารถทำวิจัยเพิ่ม นอกเหนือจากเวลาปกติ
อุปกรณ์/เครื่องมือ วัสดุ สำหรับการวิจัย	- ห้องเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ (ผู้ดูแลห้อง : คุณสุมาตพร ฟอง เกิด) - ห้องเครื่องมือช่าง (ผู้ดูแลห้อง : คุณวินิจ จัน ทกานต์) - วัสดุบางอย่าง ครูผู้วิจัยและ อาจารย์พี่เลี้ยงช่วยกันจัดหา	6-26 เม.ย. 52 9:00-16:00 น. (วันราชการ)	<u>วัสดุ</u> วัตถุดิบ อาทิเช่น น้ำมัน สารเคมี ติดต่ออาจารย์พี่เลี้ยง หรือผู้ช่วยวิจัย
การบรรยายพื้นฐาน เกี่ยวกับไบโอดีเซล	- ห้องเรียนภายในภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล (ME 110C)	3 เม.ย. 52 15:00-16:30 น. 6 เม.ย. 52 9:00-11:00 น.	รศ.กำพล ประทีปชัยกุล นายสุรัชย์ จันทรศรี
การประชุมกลุ่ม (เพื่อ ติดตาม ให้คำปรึกษา การทำวิจัย)	- ลานด้านหน้าห้องปฏิบัติการ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล หรือ - ห้อง ME 110C	ทุกวันเข้าวันพุธ 9:00 – 10:30น. (หรือวันอื่นๆที่ ต้องการ คำปรึกษา ในแต่ ละกรณี)	รศ.กำพล ประทีปชัยกุล นายสุรัชย์ จันทรศรี
นักศึกษาปริญญาเอก (ผู้ช่วยสนับสนุนการ วิจัย)	- Shop ปฏิบัติการ วิศวกรรมเครื่องกล (ในภาควิชา ฯ)	ตลอดระยะเวลา การทำวิจัย	นายสุรัชย์ จันทรศรี

6. กลุ่มวิจัยเชื้อเพลิงแข็งและก๊าซชีวมวล

การมีอาชีพเกษตรกรรม ทำให้มีเศษวัสดุเหลือใช้จำนวนมาก เช่น ชังข้าวโพด กากถั่วเหลือง แกลบ เศษไม้ โยปาล์ม กากปาล์ม โยมะพร้าว และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีพลาสติกจากขยะ วัสดุเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ แต่มีปัญหาในเรื่องการขนย้ายและความสะดวกในการใช้งาน เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอัดขึ้นรูปเป็นแท่ง (Briquette) และเป็นเม็ด (Pellet) เพื่อลดปริมาตรและสะดวกในการนำไปใช้งาน มีงานวิจัยการทำเชื้อเพลิงแข็งมากมาย ซึ่งจัดแบ่งได้ 2 แนวทาง คือ การศึกษาเงื่อนไขในการขึ้นรูป และการพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูป โดยใช้สมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ความหนาแน่น ความทนทานต่อการตกกระทบ การทนทานต่อแรงกด เป็นต้น ในการอธิบายสิ่งที่เราต้องการ ในบางครั้งก็มีการแปรรูปเป็นถ่านก่อนนำมาอัดขึ้นรูป และสร้างมูลค่าเพิ่มด้วยความหอม หรืออื่น ๆ

ก๊าซชีวมวล (Producer gas) เป็นก๊าซที่ผลิตได้จากกระบวนการสลายสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการความร้อนในสภาวะจำกัดออกซิเจน ซึ่งเรียกว่า แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ได้ก๊าซชีวมวลที่ได้ประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเชื้อเพลิง งานวิจัยแก๊สซิฟิเคชันส่วนใหญ่ศึกษาเงื่อนไขการเกิดก๊าซชีวมวลจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับขนาดและชนิดของเตาก๊าซชีวมวล ซึ่งมี 3 ชนิด ได้แก่ แบบอากาศไหลลง (Downdraft) อากาศไหลขึ้น (Updraft) และแบบข้าม (Cross draft) ปัจจุบันมีการพัฒนาเตาก๊าซชีวมวลขนาดเล็กสำหรับใช้หุงต้มในครัวเรือน

สำหรับการฝึกทำวิจัยในกลุ่มเชื้อเพลิงแข็งและก๊าซชีวมวลครั้งนี้ มีครูสนใจทั้งหมด 9 คน แบ่งเป็นสองกลุ่ม คือ เชื้อเพลิงแข็ง และก๊าซชีวมวล ดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 6.1 ชื่อผู้ทำวิจัยและพี่เลี้ยง

เรื่องที่	ชื่อผู้ทำวิจัย	พี่เลี้ยง/ผู้ช่วย	ผลที่คาดว่าจะได้
เชื้อเพลิงแข็ง			
1	สัจจิรา ราชรัตน์ ศิริพร สุนด์	รศ.ไพโรจน์ ศิริรัตน์ ฉลาด ยืนยาว	ได้ชุดทดลอง 1 ชุด
2	บุญมี ศรีประเสริฐ ธนธิป หลีกกันชะ		ได้ชุดทดลอง 1 ชุด
3	สมรักษ์ คุ่มเนตร		ได้ชุดทดลอง 1 ชุด
ก๊าซชีวมวล			
1	อุไร สายวารี ณัฐร วงศ์ยุพล	รศ.ไพโรจน์ ศิริรัตน์ รศ.กำพล ประทีปชัยกุล	ได้ชุดทดลอง 1 ชุด
2	พิกุล เอกวงศรักษา ฮามิยะ มูเก็ม	นเรศ เพ็งเพชร	ได้ชุดทดลอง 1 ชุด

ตารางที่ 6.2 กิจกรรมและแผนการทำงาน

กิจกรรม	สถานที่	สัปดาห์			
		1	2	3	4
1. การออกแบบการทดลอง		X			
2. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 แนวทางการทำวิจัย	ห้องประชุมภาค	X			
3. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2 ผลการทดลอง	ห้องประชุมภาค		X		
4. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3 ผลการทดลอง	ห้องประชุมภาค			X	
5. เขียนรายงาน					X

7. กลุ่มวิจัยพลังงานน้ำ

พลังงานน้ำ เป็นพลังงานหมุนเวียนอีกรูปหนึ่ง ที่มนุษย์นำมาใช้ทดแทนแรงงานคนและสัตว์ ก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม เช่น กังหันน้ำ (Water Wheel) การใช้พลังงานน้ำในยุคแรก เป็นการแปลงพลังงานน้ำเป็นพลังงานกลใช้งาน ทำให้การใช้งานต้องอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ ปัจจุบันพลังงานน้ำได้ถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า จึงสามารถใช้ผลิตกำลังในที่ไกลจากแหล่งน้ำได้ อุปกรณ์สำคัญที่ใช้แปลงพลังงานน้ำ คือ กังหันน้ำ (Turbines) แหล่งพลังงานน้ำที่มีศักยภาพ ได้แก่ น้ำตก น้ำขึ้น น้ำลง และ คลื่น

แม้มีครูสนใจพลังงานน้ำไม่มาก แต่ก็พยายามเปิดให้ครูทำวิจัยเรื่องนี้ เพราะจะได้ความรู้ทางด้านกลศาสตร์ของไหล ในครั้งนี้จะให้ครูศึกษาไฮดรอลิกแรม (Hydraulic ram) หรือเครื่องตะบันน้ำ หรือปั้มน้ำพลังงานน้ำ โดยเริ่มจากศึกษาหลักการจาก Lab หลังจากเข้าใจดีแล้ว จึงออกแบบและสร้างเป็นชุดทดลองเล็ก สำหรับอธิบายและวัดข้อมูลที่จำเป็นได้

ชื่อผู้ทำวิจัย	ยุภาพรณ์ มุกดา ชัชญา เหมรัตน์
ชื่อพี่เลี้ยง	รศ.ไพโรจน์ ศิริรัตน์ และ นเรศ จินดาเพชร
กิจกรรมและแผนงาน	ในตารางที่ 6.2
สถานที่	ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล
ผลที่คาดว่าจะได้	ได้ชุดทดลอง Hydraulic ram และสาระเรียนรู้

ภาคผนวก ข

การเขียนสาระการเรียนรู้/แผนการสอน

การเขียนสาระการเรียนรู้/แผนการสอน

โครงการครูวิจัย สกว. มีวัตถุประสงค์หลัก คือ การใช้กระบวนการวิจัยพัฒนาให้ครูเก่งขึ้นทั้งด้านความรู้ความเข้าใจและกระบวนการเรียนรู้ที่ผ่านการวิจัย โดยหวังว่าประโยชน์จะได้แก่นักเรียน ที่ได้เรียนจากบทเรียนอย่างสนุกสนานและเข้าใจจากการปฏิบัติจริง หัวใจของการเรียนรู้ของครูที่กำลังเล่นบทบาทของผู้เรียนอยู่นี้ คือ การได้ลงมือทำด้วยตัวเอง

การที่ครูได้มีส่วนร่วมในการกำหนดวิธีการและสามารถสร้างความรู้ได้เอง จะเป็นการเรียนรู้ที่ครูสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง จึงได้คำขวัญของโครงการว่า “จากครูผู้เสพมาเป็นครูผู้สร้างความรู้” และเพื่อให้การเรียนรู้ของครูหยุดที่การเรียนรู้ของตัวเอง แต่มีเป้าหมายให้ครูได้นำประสบการณ์ที่ได้รับไปออกแบบเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ ที่มีรายละเอียดพอที่ครูคนอื่นจะสามารถนำไปใช้สอนได้ด้วย โดย สกว.อาจรวรบบบทเรียนดีๆเผยแพร่ต่อไป

รศ.สุชาติา ชินะจิตร์ ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ได้เรียบเรียงคำแนะนำนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้แนวทางในการคิดวิเคราะห์ เพื่อนำไปสู่การทำเป็นกิจกรรมเรียนรู้หรือชุดการเรียนรู้ ที่จะนำไปใช้สอนจริงได้โดยครูคนอื่นที่อาจจะไม่เคยผ่านประสบการณ์เช่นเดียวกันนี้ก็ได้

จึงขอความร่วมมือมายังครูทุกคน ลองปฏิบัติตามจนได้กิจกรรมการเรียนรู้แล้วส่งมาให้ดูพร้อมคำแนะนำว่า ควรปรับปรุงคำแนะนำอย่างไร เช่น ขั้นตอนนี้อาจมีรายละเอียดเพิ่มเติม สิ่งนี้อาจขาดหายไปหรือภาษาการสื่อสารที่ควรแก้ไข

คำแนะนำการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้จากประสบการณ์

ลำดับหัวข้อ เรื่องที่ทำ เช่น เครื่องดนตรี โดยตั้งคำถามว่าจะใช้เรื่องที่ทำและกระบวนการที่ได้นี้ไปเขียนเป็นกิจกรรมการเรียนรู้หรือ ชุดการเรียนรู้ได้อย่างไร

1. ความรู้ที่เกี่ยวข้อง อาจมี 2 ส่วน ส่วนที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับบริบทของท้องถิ่น เช่น ประวัติความเป็นมา ประเพณี วัฒนธรรม ความสำคัญหรือความหมาย อีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนที่เป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น หลักการทางฟิสิกส์ของเสียง ทางเคมี ทางชีววิทยา สิ่งแวดล้อม

ลองวิเคราะห์ว่าครูได้อะไรจากเรื่องนี้และความรู้นี้จะไปสนับสนุนบทเรียนอะไรได้บ้าง

2. อยากให้นักเรียนเรียนรู้อะไรจากความรู้นี้ ซึ่งมี 2 ส่วนสอดคล้องกับข้อ 1. นั่นคือการกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ รวมทั้งประสบการณ์ใดที่อยากให้นักเรียนได้รับเพื่อเรียนรู้

3. ระดับขั้นและมาตรฐานสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรง สิ่งที่ยากถ่ายถอดเกี่ยวข้องกับบทเรียนรายวิชาใดกลุ่มสาระใด

4. การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้แต่ละข้อ เช่น

กิจกรรมที่ 1 เพื่อเรียนรู้ประวัติความเป็นมา บริบทของท้องถิ่น

ขั้นตอน ค้นหาความรู้จากแหล่งความรู้ : เอกสารประกอบคำสอน ห้องสมุด internet เก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้รู้และชุมชน

กิจกรรมที่ 2 เพื่อเรียนรู้หลักการทางวิทยาศาสตร์

ขั้นตอน หัวข้อการทดลองโครงการเปรียบเทียบ การทดลองใช้ตัวแปรต่างๆ การทดลองเพื่อได้ค่าดัชนี ฯลฯ

วิธีการ ให้อยู่ละเอียดที่ผู้เรียนสามารถทำตามได้

5. เอกสารชุดการเรียนรู้หรือกิจกรรมการเรียนรู้อาจประกอบด้วย

- 1) คู่มือครู แนะนำขั้นตอนวิธีการเตรียมความพร้อมของทั้งครูและนักเรียน อุปสรรค ปัญหาที่อาจพบ เวลาที่ใช้ คำถามนำ แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล (ควรให้นักเรียนคิดเองด้วย) คำแนะนำแหล่งค้น
- 2) เอกสารประกอบคำสอน อาจประมวลความรู้ที่ได้มาจากโครงการออกมาเป็นเล่ม
- 3) กิจกรรมปฏิบัติสำหรับนักเรียน ประกอบด้วย การให้ความรู้เบื้องต้น ปูพื้นเพื่อไปค้นต่อ
 - วิธีการทดลอง บอกขั้นตอนการปฏิบัติ
 - วิธีเก็บข้อมูล ให้สามารถทำตามอย่างถูกวิธี
 - รายงาน
 - คำถามท้ายบท

หมายเหตุ ความรู้ส่วนที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์อาจไม่ได้จากโครงการครุวิจัย นอกจากไปเพิ่มเติมภายหลัง เมื่อกลับจากศูนย์พี่เลี้ยงแล้ว

ตัวอย่าง

โครงการเกี่ยวกับเครื่องดนตรี

1. ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่ไม่ใช่วิทยาศาสตร์ – ประวัติความเป็นมาวิธีสร้าง วิธีใช้ ประเพณีวัฒนธรรมที่เกี่ยวข้อง การบรรเลง เพลงที่ใช้บรรเลง สิ่งที่ได้จากภูมิปัญญา วิธีถ่ายทอด

ส่วนที่เป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ – กำเนิดเสียง คลื่นเสียง คุณภาพเสียง วิธีวัด

2. อยากให้เรียนรู้อะไร

วัตถุประสงค์การเรียนรู้ – เพื่อเรียนรู้ประวัติ ความเป็นมา ประเพณีวัฒนธรรม ฯลฯ

วัตถุประสงค์การเรียนรู้ – หลักการทางฟิสิกส์ของเสียง : เสียงเกิดขึ้นได้อย่างไร วิธีวัดคลื่นเสียง ความแตกต่างของระดับเสียงเกิดจากอะไร

3. ช่วงชั้นและมาตรฐานสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับกรณีนี้

4. กิจกรรมการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ข้อ

2.1 ค้นหาความรู้จากแหล่งความรู้ – เอกสารประกอบคำสอนห้องสมุด internet เก็บข้อมูล จากการสัมภาษณ์ผู้รู้และชุมชน – ออกแบบวิธีการและแบบเก็บข้อมูล ประมวล วิเคราะห์ อภิปราย

- 2.2. ทดลองเปรียบเทียบคลื่นเสียงของเครื่องดนตรีชนิดต่าง ๆ หรือชนิดเดียวกันจากแหล่งต่าง ๆ หรือกับเครื่องดนตรีที่ไพเราะที่สุดในความเห็นของภูมิปัญญา
- ทดลองเปรียบเทียบคลื่นเสียงเมื่อใช้วัสดุต่างชนิด ใช้วิธีการ (ดัด สี ตี เป่า) ต่างกัน
- ทดลองเปรียบเทียบระดับเสียง
- วิธีทดลอง – รายละเอียดเป็นขั้นตอนของแต่ละการทดลอง
- อภิปรายผลและสรุป ผลจากการทดลอง ความแตกต่างกันของคลื่นเสียงขึ้นกับปัจจัยอะไร อย่างไร

โครงการที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

1. ความรู้ที่เกี่ยวข้อง
 - ส่วนที่ไม่ใช้วิทยาศาสตร์ – บริบทของพื้นที่นั้นๆ ด้านกายภาพ สังคมวัฒนธรรม ตำนานเรื่องเล่า วิธีการของภูมิปัญญา ความหมายและความสำคัญ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมโทรม และการอนุรักษ์ มาตรฐานสิ่งแวดล้อม กฎหมายที่เกี่ยวข้อง
 - ส่วนที่เป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ – อะไรคือดัชนีชี้วัดคุณภาพของดิน น้ำ ป่า ความหลากหลายทางชีวภาพ ความหมายของดัชนีแต่ละตัว วิธวัด (หลักการหรือทฤษฎีที่ใช้)
2. อยากให้เรียนรู้อะไร
 - 2.1 วัดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ เพื่อรู้จักท้องถิ่นของตนเองอย่างเชื่อมโยงระหว่างธรรมชาติกับชุมชน (สังคม)
 - 2.2 วัดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ – ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม (เช่น น้ำ)
 - ดัชนีคุณภาพ
3. ช่วงชั้นและสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับกรณีนี้ เช่น
 - สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม
 - มาตรฐาน ว 2.1 เข้าใจสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมกับสิ่งมีชีวิต
4. กิจกรรมการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ข้อ
 - 2.1 ค้นหาความรู้จากแหล่งความรู้ที่เป็นสากลและในบริบทของท้องถิ่น – เอกสารประกอบคำสอน ห้องสมุด internet
 - เก็บข้อมูลจากการสำรวจ การสัมภาษณ์ชุมชน ประมวล วิเคราะห์ อภิปราย
 - 2.2 สำรวจบริเวณโดยรอบของประเด็นที่ศึกษา เช่น ถ้าทำเรื่องคุณภาพน้ำในแม่น้ำ ก. ก็สำรวจเส้นทางของสายน้ำว่า 2 ข้างทาง มีลักษณะอย่างไร ที่จะมีผลต่อ การใช้และคุณภาพน้ำ
 - เก็บตัวอย่างน้ำ – ขั้นตอนรายละเอียด
 - วิเคราะห์คุณภาพน้ำ – ขั้นตอนรายละเอียด
 - อภิปรายและสรุปผล จากข้อมูลที่ได้แปลความหมายเป็นดัชนีคุณภาพน้ำได้อย่างไร และเชื่อมโยงกับสภาพที่สำรวจได้หรือไม่อย่างไร

โครงการเกี่ยวกับสีย้อม

1. ความรู้ที่เกี่ยวข้อง
 - ส่วนที่ไม่ใช้วิทยาศาสตร์ บริบทของชุมชน ภูมิปัญญา กระบวนการย้อมและสีที่ใช้ดั้งเดิม
 - ส่วนที่เป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ สีธรรมชาติ สีสังเคราะห์ กระบวนการย้อมสีผ้า
 - คำอธิบายแต่ละขั้นตอนว่า ประกอบด้วย อะไร ทำไม่ต้องทำ คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เช่น การติดสีเกิดได้อย่างไร
2. อยากให้เรียนรู้อะไร
 - 2.1 วัดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ เพื่อเรียนรู้กระบวนการย้อมจากภูมิปัญญาท้องถิ่น และ
 - ความสำคัญของผ้าย้อมต่อชุมชน

- 2.2 วัดอุปประสงค์การเรียนรู้
เคมีของสีย้อมและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ในการย้อมสี
3. ช่วงชั้นและสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับกรณีนี้ เช่น
สาระที่ 2 มาตรฐาน ว 2.2
4. กิจกรรมการเรียนรู้ตามวัดอุปประสงค์ข้อ
- 4.1 ค้นหาความรู้จากแหล่งเอกสาร และภูมิปัญญา
- 4.2 การทดลองย้อมสีผ้าด้วยสีสังเคราะห์เกี่ยวกับสีย้อมธรรมชาติที่ใช้
ขั้นตอนการย้อม
ปรับเปลี่ยนตัวแปร เช่น เปลี่ยน mordant เปลี่ยนภาวะความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยนอุณหภูมิ หรือ
ระยะเวลา
ทดสอบความคงทนของสีภายใต้สภาวะต่างๆ
ขั้นตอน การทดลอง และวัดความเข้มสี
- 4.3 อภิปราย สรุปผล
จากข้อมูลที่ได้ทดลองได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทางภูมิปัญญา มีคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
ว่าอย่างไร

โครงการเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยง

1. ความรู้ที่เกี่ยวข้อง
ส่วนที่ไม่ใช่วิทยาศาสตร์ พืชพรรณไม้ หรือสัตว์ของท้องถิ่นที่ศึกษามีสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ อาชีพอย่างไร ภูมิปัญญาที่เกี่ยวข้อง
ส่วนที่เป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ –การจัดกลุ่มทางสัณฐานวิทยา อาหารและการเจริญเติบโต ระบบนิเวศที่พบ
2. อยากให้เรียนรู้อะไร
วัดอุปประสงค์การเรียนรู้ – ให้อธิบายพืช – สัตว์ประจำถิ่น ความสัมพันธ์กับระบบนิเวศชุมชน
วัดอุปประสงค์การเรียนรู้ – เพื่อเรียนรู้ชีววิทยาของ ทางสัณฐานวิทยา วงจรชีวิต สภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย
3. ช่วงชั้นและมาตรฐานสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับกรณีนี้
เช่น สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ม. 2.1, 2.2
หรือ สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต
4. กิจกรรมการเรียนรู้ตามวัดอุปประสงค์ข้อ
- 4.1 สืบหาและเก็บข้อมูลทางกายภาพจากพื้นที่ รวมทั้งการเก็บข้อมูลจากชุมชน
- 4.2 การศึกษาวงจรชีวิตของแมลง โดยการนำมาเลี้ยง สังเกต เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา
การศึกษาผลต่อการเจริญเติบโตของ (พืช)
เพาะเลี้ยงในแปลงทดลอง โดยใช้ตัวแปรต่างๆ
วัดอัตราการเจริญเติบโต (ใช้สถิติเบื้องต้น)
- 4.3 อภิปรายผล สภาพถิ่นที่อยู่เป็นอย่างไร การเจริญเติบโตขึ้นกับปัจจัยอะไรบ้าง

โครงการเกี่ยวกับอาหาร

1. ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่ไม่ใช่วิทยาศาสตร์ ที่มาและความสำคัญของอาหารชนิดนั้นๆ ในท้องถิ่น เช่น อาชีพ กระบวนการทางภูมิปัญญา

ส่วนที่เป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการแปรรูปอาหารคืออะไร เกิดขึ้นได้อย่างไร เช่น กระบวนการหมัก องค์ประกอบหรือสารอาหารที่มีอยู่

2. อยากให้อะไร

2.1 วัดจุดประสงค์การเรียนรู้ รู้จักอาหารประจำถิ่น ความสำคัญต่อชุมชน

2.2 วัดจุดประสงค์การเรียนรู้ กระบวนการแปรรูปอาหาร ที่อธิบายได้ด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์

3. ช่วงชั้นและมาตรฐานสาระการเรียนรู้เกี่ยวกับกรณีนี้

4. กิจกรรมการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ข้อ

4.1 ค้นหาความรู้จากแหล่งความรู้ต่างๆ รวมทั้งจากชุมชน เช่น ที่มา ความสำคัญ ความเกี่ยวข้องกับขนบวัฒนธรรมประเพณี สูตรอาหาร กระบวนการทำอาหารนั้น

4.2 ทดลองทำอาหารนั้นโดยเปลี่ยนตัวแปรบางอย่าง เช่น ถ้าเป็นการหมัก ให้ทดลองส่วนผสมและสภาวะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เก็บข้อมูลเป็นระยะ เทียบกับกระบวนการดั้งเดิม

4.3 อภิปรายผลและสรุป

จากผลการทดลองอภิปรายได้ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างไร อะไรคือปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้น และเมื่อเทียบกับกระบวนการดั้งเดิมมีผลเหมือนหรือต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

ตัวอย่างที่นำมานี้ให้เพียงหลักการขั้นตอน ไม่สามารถเขียนรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนได้ สิ่งที่คุณครูจะเขียนเป็นรายละเอียดขั้นตอนต่าง ๆ นั้น คือ ประสบการณ์ที่ได้จากการปฏิบัติมาแล้วในโครงการ เพียงแต่เขียนให้อยู่ในรูปของกิจกรรมให้นักเรียนปฏิบัติตามที่ละขั้นตอนเท่านั้น

ภาคผนวก ค

การเขียนบทความวิจัย

การเขียนบทความวิจัย

การเขียนบทความจากงานวิจัยที่ทำหนึ่งเดือน เป็นการแสดงคุณค่าและความสามารถของนักวิจัย.ให้ผู้อื่นได้รับรู้ กล่าวคือ เมื่อได้อ่านบทความแล้วทราบว่า ผู้วิจัยได้ทำอะไรบ้าง เฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความรู้ที่ได้

ครูวิจัยพลังงานทุกคนจะถูกมอบหมายให้เขียนบทความวิจัยเรื่องละ 1 บทความ ที่พิมพ์ด้วยกระดาษ A4 หน้าเดียว ความยาวไม่เกิน 10 หน้า บทความวิจัยควรมีหัวข้อตามลำดับดังนี้

ชื่อเรื่อง/ชื่อผลงานวิจัย

ภาษาไทย และภาษาอังกฤษ

ชื่อ ตำแหน่ง ที่อยู่ผู้เขียน และคณะ

ภาษาไทย และภาษาอังกฤษ กรณีที่ผู้เขียนมีสถาบันสังกัดเดียวกันให้แสดงที่อยู่ของสถาบันสังกัดเดียวกันและให้กำหนดหมายเลขแสดงที่ชื่อผู้เขียน/ผู้วิจัย กรณีต่างสถาบันสังกัดให้แยกบรรทัดแสดงซึ่งผู้เขียน/ผู้วิจัยไว้ที่เชิงอรรถ (footnote) ด้านล่างของเอกสารหน้าแรก

บทคัดย่อ

ทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ (Abstract) ประกอบด้วยชื่อวิทยาศาสตร์แบบเต็ม (ถ้ามี) อุปกรณ์และวิธีการ ผลการทดลองหลักและสรุปประเด็นสำคัญ ความยาวไม่เกิน 5% ของเนื้อเรื่อง

คำสำคัญ

เป็นคำเฉพาะหรือคำศัพท์ที่แสดงสาระสำคัญของเอกสารวิชาการ

คำนำ/บทนำ

แสดงความสำคัญของปัญหา และอาจรวมถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

อุปกรณ์และวิธีการ

อธิบายเกี่ยวกับวิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย หรือตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา และแสดงแผนการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลอย่างชัดเจน

ผลการศึกษา/ผลการทดลอง

แสดงผลตามหลักการและวัตถุประสงค์การทดลองวิจัย

วิจารณ์ผล

นำเสนอผลการทดลองที่มีสาระสำคัญวิเคราะห์วิจารณ์เปรียบเทียบกับ การค้นพบ หรือการทดลองที่ได้มีการเสนอผลงานหรือหลักวิชาการไว้ก่อน

สรุปผล

สรุปประเด็นหลักจากการแปรผลการทดลอง

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

แนวทางการใช้ประโยชน์จากความรู้ที่ค้นพบจากการวิจัย เพื่อพัฒนาการเรียนการสอนและการเชื่อมโยงเข้าสู่ชุมชนหรือท้องถิ่น

- บทความแบบที่ 1 การถ่ายทอดเป็นบทเรียนสำหรับการเรียนการสอนที่ประกอบด้วยวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ ที่เชื่อมโยงกับสาระการเรียนรู้ และการออกแบบกิจกรรมความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับครู
- บทความแบบที่ 2 เป็นผลการวิจัยในห้องเรียนที่ได้ทำการทดลองสอนจริง มีข้อมูลวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการเรียนการสอน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในตัวผู้เรียน

สำหรับผู้ช่วยเหลือนงานวิจัยหรือการเตรียมเอกสาร แต่มิได้เป็นผู้ร่วมงานวิจัย

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับผู้ช่วยเหลือนงานวิจัยหรือการเตรียมเอกสาร แต่มิได้เป็นผู้ร่วมงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

เขียนตามวิธีธรรมเนียมปฏิบัติ

ตารางและภาพ

ควรมีหมายเลข เช่น ตารางที่ 1, ตารางที่ 2...หรือ ภาพที่ 1, ภาพที่ 2

ข้อแนะนำทั่วไปสำหรับการเขียนบทความวิจัย

1. การเขียนควรใช้ภาษาที่ง่าย มีเนื้อหาสาระที่สั้นรัดกุมและชัดเจน
2. การอ้างอิงในเรื่องให้ใช้ระบบชื่อ-ปี เช่น สมสมัย(2007) หรือ (สมสมัย,2007) ถ้า 2 คน ให้ใช้และระหว่างชื่อ เช่น สมสมัยและวิจิตร (2007) หรือ (สมสมัยและวิจิตร, 2007) กรณี 3 คนขึ้นไปให้ใช้ชื่อคนแรก ตามด้วยและคณะ เช่น สมสมัยและคณะ (2007) หรือ (สมสมัยและคณะ, 2007) Smith et al. (2007) หรือ (Smith et al., 2007)
3. เอกสารอ้างอิง ให้เขียนดังนี้ (อ้างอิงในเนื้อเรื่อง) และบรรณานุกรม (ใช้ประกอบการเขียนไม่ได้อ้างอิงโดยตรงในเนื้อเรื่อง) ให้เขียนดังนี้

- เรียงลำดับภาษาไทยก่อนภาษาอังกฤษ
- เรียงลำดับตามตัวอักษรและสระ และตามจำนวนผู้เขียน กรณีผู้เขียนคนเดียวกันให้เรียงตามปี
- ให้ใช้รูปแบบดังนี้
- วารสาร

ผู้เขียน. ปี. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร ปีที่ (ฉบับที่) หน้า – หน้า.

เจตน์ เจริญโท. การท่องเที่ยวเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมไทย ทำอย่างไรจึงจะยั่งยืน.

นิตยสารโลกสีเขียว 2, 4(2536): 6-20.

Dunean, D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometric 11: 1-42.

- ตำราหรือหนังสือที่ออกมีเป็นวาระ

- ชื่อผู้เขียน. ปี. ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์หรือหน่วยงานที่พิมพ์, เมืองที่พิมพ์.

สุภาพพรรณ ณ บางช้าง. ขนบธรรมเนียมประเพณี. กรุงเทพมหานคร : สถาบันไทยศึกษา

จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2535.

Price, P.W. 1975. Insect Ecology. John Wiley & Sons, New York.

- วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้เขียน. ปี. ชื่อวิทยานิพนธ์. ชื่อมหาวิทยาลัย.

สมศักดิ์ โตกิจกล้า. 2548. อิทธิพลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลง

โครงสร้างภายในของหญ้าคาลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ.

Sirvanne, W.1999. Yield from irrigated pastures in the Burdekin. M.s. thesis,

Kasetsart University.

ภาคผนวก ง
บทความวิจัย

ศึกษากังหันลมแนวแกนตั้งชนิดซาโวเนียส (Savonius) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
 สุนทร สันกำแพง โรงเรียนวัดภูมิวิทยา ต.กำแพงเพชร อ.วัดภูมิ จ.สงขลา 90180
 นฤมล ขรรษรักษ์เจริญ โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
 และ ปิยะวรรณ สุมาลี โรงเรียนเมืองพลพิทยาศาสตร์ อ.พล จ.ขอนแก่น 40120

บทคัดย่อ

กังหันลมแนวแกนตั้งชนิดซาโวเนียสเป็นกังหันที่มีประสิทธิภาพต่ำ แต่มีข้อดีคือ ง่ายต่อการติดตั้งและดูแล ไม่ต้องคำนึงถึงทิศทางของลม [3] เหมาะสมกับความเร็วลมในประเทศไทยซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ 3 - 5 เมตรต่อวินาที ผู้วิจัยจึงสร้างกังหันลมแนวแกนตั้งชนิดซาโวเนียสเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า กังหันนี้มีขนาดเล็ก เป็นชนิดสามใบพัดซึ่งทำจากถ้ำน้ำพลาสติก มีพื้นที่รับลม (Swept Area) 0.16 ตารางเมตร ต่อแกนของกังหันกับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากแม่เหล็กจำนวน 10 อัน และขดลวดทองแดง จำนวน 10 ขด ซึ่งต่อกันแบบอนุกรม ทดสอบกังหันและศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของกังหันลม ได้แก่ ความเร็วลม ความเร็วรอบของกังหัน และสัมประสิทธิ์กำลัง จากการศึกษพบว่ากังหันเริ่มหมุนที่ความเร็วลมประมาณ 0.5 เมตร/วินาที เริ่มผลิตกระแสไฟฟ้า (Cut in) ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที มีสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุด 0.16 กังหันลมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 0.35 วัตต์ มีแรงดันไฟฟ้า 4.9 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 65.7 มิลลิแอมแปร์

คำสำคัญ: กังหันลมแนวแกนตั้ง, ประสิทธิภาพของกังหันลม, สัมประสิทธิ์กำลัง

1. บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด และเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญ ลมเกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศ ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณร้อยละ 0.2 ของทั้งหมด (ประมาณ 178,000 ล้านล้านวัตต์) ภาคตัดขวางของโลกถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานลม มนุษย์รู้จักการนำพลังงานลมใช้ประโยชน์ในรูปแบบของกังหันลมแบบแกนตั้ง (Vertical Axis) มาตั้งแต่ 1,700 ปีก่อนคริสต์ศักราช และในราว 400 ปีก่อนคริสต์ศักราช ชาวอียิปต์ได้เริ่มพัฒนากังหันลมแบบแกนนอน (Horizontal Axis) และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องแพร่หลายไปทั่วยุโรป การใช้พลังงานยุคแรกๆ เป็นการประยุกต์ใช้งานกลเป็นส่วนใหญ่ [2, 5] การพัฒนากังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine Generator) เพิ่งจะขยายตัวในระหว่างปี ค.ศ.1930 -1960 แต่เนื่องจากการค้นพบและการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้สะดวกและราคาถูก ได้ส่งผลให้การพัฒนากังหันลมลดน้อยลงทั่วทุกภูมิภาคของโลก [2] แต่ในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากการเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม แหล่งเชื้อเพลิงหลักที่นำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่มาจาก ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมัน นับวันพลังงานดังกล่าวยังมีปริมาณลดลงและมีราคาสูง เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม และภาวะโลกร้อน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาพลังงานอื่นมาทดแทน พลังงานลมทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน กังหันลมจึงได้รับความสนใจอีกครั้ง

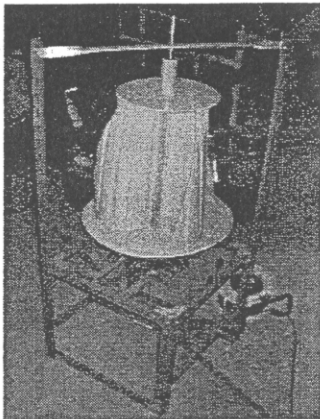
กังหันลมแบบแกนตั้งเป็นกังหันที่มีประสิทธิภาพสูงที่ความเร็วลมต่ำ ง่ายต่อการติดตั้งและดูแล ไม่ต้องคำนึงถึงทิศทางของลม และเหมาะสมกับความเร็วลมในประเทศไทยซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ 3 - 5 เมตรต่อวินาที ดังนั้นเราควรจะศึกษาคิดค้นและออกแบบกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าชนิดใช้กับความเร็วลมต่ำกันอย่างจริงจัง ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะสร้างแบบจำลองกังหันลมในแนวแกนตั้งแบบซาโวเนียสเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของกังหัน [1]

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 สร้างกังหันลมแบบแกนตั้งแบบซาโวเนียสเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
- 2.2 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม
- 2.3 ทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของกังหันลม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

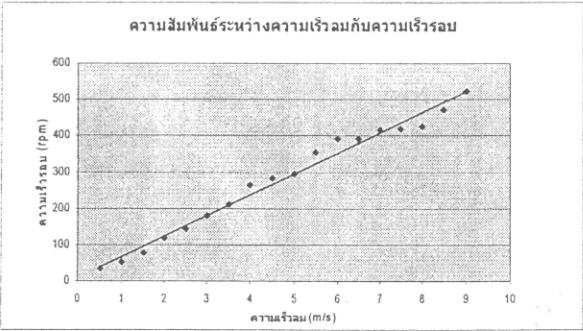
- 3.1 ค้นคว้าข้อมูล
- 3.2 ออกแบบใบพัดและเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า
- 3.3 สร้างกังหันลม กังหันนี้มีขนาดเล็ก เป็นชนิดสามใบพัดซึ่งทำจากถังน้ำพลาสติก
- 3.4 ทดลองโดยวัดค่าความเร็วลม ความเร็วรอบของกังหันแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ที่ความเร็วลมตั้งแต่ 0 -10 เมตร/วินาที วัดความเร็วลมเริ่มต้นที่ทำให้กังหันลมเริ่มหมุน และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ศึกษาความเร็วลมมีผลต่อความเร็วรอบของกังหันลม และความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของกังหันลมข



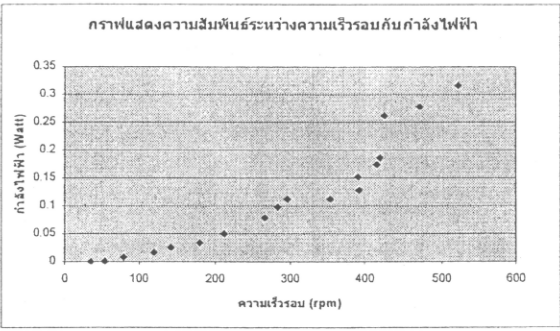
รูปที่ 1 กังหันลมที่สร้างขึ้น

4. ผลการการวิจัยและวิเคราะห์ผล

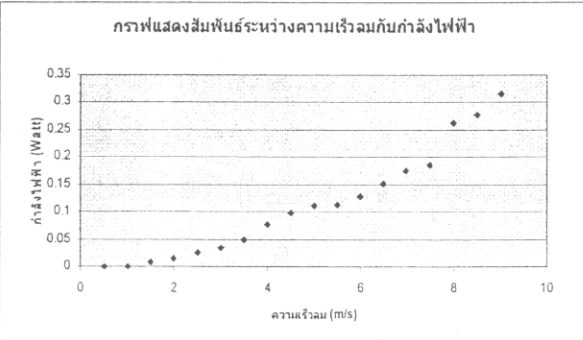
ผลการศึกษาพบว่ากังหันที่สร้างขึ้นมีขนาดพื้นที่รับลมของใบพัด (Swept Area) = 0.158 ตารางเมตร กังหันเริ่มหมุน (start wind speed) ที่ความเร็วลมประมาณ 0.5 เมตร/วินาที เริ่มผลิตกระแสไฟฟ้า (Cut in) ที่ความเร็วลมประมาณ 1.5 เมตร/วินาที ที่ความเร็วลม 10 เมตร/วินาที สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 0.35 วัตต์ มีแรงดันไฟฟ้า 4.9 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 65.7 มิลลิแอมแปร์



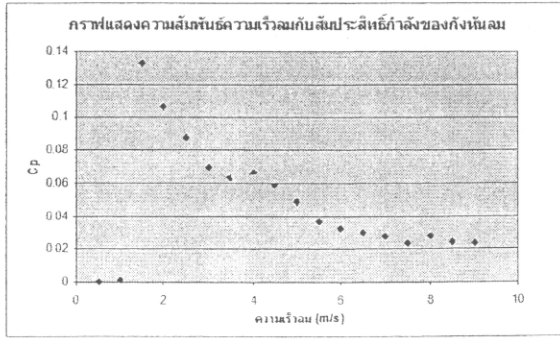
รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบพัดกับความเร็วลม



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความเร็วรอบของใบพัด



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความเร็วลม



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับความเร็วลม

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันลมในช่วงความเร็วลม 0 – 10 เมตร/วินาที พบว่าความเร็วรอบของกังหันแปรตามความเร็วลม ดังกราฟรูปที่ 2 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แปรตามความเร็วลม และความเร็วรอบดังกราฟรูปที่ 3 และ 4 กังหันลมมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อกังหันมีอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip speed ratio) ประมาณ 1.3 และมีความเร็วลมปะทะกังหัน 3 - 4 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมที่ไม่สูง เหมาะสมกับสภาพลมในประเทศไทย กังหันลมที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบ 200 – 300 รอบต่อนาที แต่มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากชุดผลิตไฟฟ้าขดลวด-แม่เหล็กที่ทำขึ้นมีประสิทธิภาพต่ำ ข้อดีที่พบของกังหันลมแกนตั้งที่ทำขึ้น คือ สามารถเริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าได้ที่ความเร็วลมต่ำและกังหันสามารถหมุนได้ไม่ว่าลมจะมีทิศทางอย่างไรก็ตาม

5. สรุปและอภิปรายผล

กังหันลมแนวแกนตั้งที่สร้างขึ้นมีใบพัด 3 ใบ มีพื้นที่รับลม (Swept Area) 0.16 ตารางเมตร ซึ่งเป็นกังหันขนาดเล็กประกอบเข้ากับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้น พบว่าปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของกังหันลม โดยกังหันลมเริ่มหมุนที่ความเร็วลมประมาณ 0.5 เมตร/วินาที และกังหันเริ่มผลิตกระแสไฟฟ้า (Cut in) ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 0.35 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 4.9 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าสูงสุด 65.7 มิลลิแอมแปร์ ที่ความเร็วลมประมาณ 10 เมตรต่อวินาที ซึ่งยังเป็นกำลังไฟฟ้าที่ต่ำ ในการที่จะทำให้งังหันลมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้นจะต้องพัฒนาทั้งส่วนของใบพัดและส่วนของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา ดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ นายสันติชัย เย็นทั่ว และนายวีระชัย แก้วเอียน ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและเป็นพี่เลี้ยงคอยให้ความรู้ คำแนะนำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จลง และขอขอบคุณโครงการครุวิจัยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่และการฝึกทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. หนังสือโครงการศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จัดทำโดย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2549
2. พลังงานลม, กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายพัฒนาและแผนงานโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ไม่ปรากฏปีที่เขียนบทความ
3. Increase in The Savonius Rotors Efficiency Via Parametric Investigation, Jean-Luc Menet, Nachida Bourabaa. Université de Valenciennes - Le Mont Houy, Valenciennes, France
4. Nobuyuki Fujisawa, 1996. Velocity measurements and numerical calculations of flow fields in and around Savonius rotors. Department of Mechanical Engineering, Gunma University, Kiryu, 376 Japan Received 6 February 1995; accepted 23 November 1995 Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 59 (1996) 39-50
5. An Illustrated of Wind Power Development, <http://www.telosnet.com/wind/>

ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมแนวนอน

Study effect about Genarate by Horizontal Axis Wind Turbine

นายวิโรจ หลักมัน⁽¹⁾, นายบุญนำ หมีนยะลา⁽²⁾, นางสาวกษมณ ดอนแก้ว⁽³⁾

(1) โรงเรียนวังทองวิทยา อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาลำปาง เขต 3

E-mail : wirojmeemy@hotmail.com

(2) โรงเรียนบ้านเขาน้อย อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสงขลา เขต 3

E-mail : reddavie@hotmail.com

(3) โรงเรียนเชียงแก้วพิทยาคม อำเภอดาลุสม จังหวัดอุบลราชธานี สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามหาสารคาม เขต 3

E-mail : aminor.amp@hotmail.com

บทคัดย่อ

ออกแบบและสร้างกังหันลมแนวนอน ((Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)) ขนาดเล็ก มีกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่ 670.53 มิลลิวัตต์ ที่ความเร็วลม 10 เมตร/วินาที โดยตัวกังหันลมประกอบขึ้นด้วยใบพัดจากท่อ พีวีซี 4 ใบพัด ตัวใบมีรูปร่างเป็นแพนอากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.10 เมตร พื้นที่หน้าตัด 0.95 ตารางเมตร พันทดลวดทองแดงเบอร์ 24 จำนวน 10 ชุด ชุดละ 250 รอบ โดยต่อแบบอนุกรม ใช้แม่เหล็กถาวร Neodymium magnets 10 ก้อน เรียงแม่เหล็กขั้วเดียวกันเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร

ความเร็วที่ทำให้กังหันลมเริ่มหมุน (Starting) คือ 1 m/s ความเร็วที่ทำให้หลอดไฟติด (Cut-in) คือ 1.517 m/s จากการทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าได้ 119.61 มิลลิแอมแปร์ และความต่างศักย์ 5.606 โวลต์ ความเร็วรอบกังหัน 1073.1 รอบต่อนาที เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สัมประสิทธิ์กำลัง (Cp) เท่ากับ 0.15 อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (tsr) เท่ากับ 6 ประสิทธิภาพ เท่ากับ 0.4 หรือ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไฟฟ้าที่ได้ออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

คำสำคัญ กังหันลมแนวนอน, Starting, Cut-in, สัมประสิทธิ์กำลัง (Cp), อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (tsr) ประสิทธิภาพ

บทนำ

พลังงานมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิต เป็นปัจจัยสำคัญในการตอบสนองความต้องการพื้นฐานของมนุษย์ และมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ปัจจุบันทั่วโลกมีการนำพลังงานหมุนเวียนหลายประเภทมาใช้ ซึ่งเป็นการพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ (Alternative fuels) ไม่ว่าจะเป็น ชีวมวล พลังงานน้ำ พลังงานลม หรือพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ขึ้นมารองรับการใช้พลังงานหมุนเวียนเหล่านี้ สำหรับประเทศไทยนั้นพบว่าขณะนี้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ทั้งนี้ประเทศไทยมีทรัพยากรที่สามารถนำไปผลิตเป็นพลังงานหมุนเวียนได้หลายประเภท ประกอบกับภาครัฐได้กำหนดมาตรการเชิงนโยบายที่เอื้อต่อการลงทุนด้านพลังงานหมุนเวียนมากขึ้นในหลาย ๆ ด้าน พลังงานจากลมซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ไม่ก่อให้เกิดต่อสภาพแวดล้อมใช้แล้วไม่มีวันหมด ได้รับความสนใจนำมาพัฒนาให้เกิด

ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในขณะที่เดียวกันกังหันลมก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้า

วัตถุประสงค์

- (1) สร้างกังหันลมแนวแกนนอนที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า
- (2) ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมแนวแกนนอน ได้แก่ ผลของความเร็วลม (m/s) ความเร็วรอบ (rpm) ต่อแรงดันไฟฟ้า (v) กระแสไฟฟ้า (I) สัมประสิทธิ์กำลัง (Cp) อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (tsr) และกำลังไฟฟ้า (P)
- (3) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุ - อุปกรณ์

- 1) ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาว 100 ซม.
- 2) ขดลวดทองแดงอาบน้ำยา เบอร์ 24
- 3) แม่เหล็กถาวรชนิด Neodymium magnets (rare earth) N 42 ขนาด 3/4" X 1/8" Disc
- 4) ไม้อัดกว้าง 10 ซม. ยาว 10 ซม.หนา 1 ซม. 2 แผ่น
- 5) ไม้อัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม.หนา 1 ซม. 1 แผ่น
- 6) แผ่นพลาสติก กว้าง 25 ซม. ยาว 25 ซม.หนา 3 มม. 1 แผ่น
- 7) แผ่นพลาสติกหรือแผ่นอะคลิลิกรูปวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม.หนา 3 มม. 1 แผ่น
- 8) แผ่นพลาสติกหรือแผ่นอะคลิลิกสำหรับทำแพนหาง
- 9) ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว พร้อมข้อต่อ 3 ทาง 2 อัน
- 10) ตลับลูกปืน 3 อัน
- 11) แผ่นอลูมิเนียม กว้าง 3 ซม. ยาว 30 ซม.หนา 3 มม.
- 12) เหล็กอลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 30 ซม. 1 เส้น
- 13) แผ่นสังกะสีบาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม. 1 แผ่น
- 14) ท่อเหล็ก 1.5 นิ้ว หนา 3 มม. ยาว 0.5 เมตร ทำโครงและเสากังหัน
- 15) เครื่องวัดความเร็วลม (vane-type anemometer)
- 16) เครื่องวัดความเร็วรอบ
- 17) ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
- 18) ที่ยาริเว็ต สว่านไฟฟ้า ฉากเหล็ก ฟุตเหล็ก ค้อน คีมตัด กรรไกร ประแจ ไขควง สก๊อตเทปดำ

พันขดลวด ลวดเส้นเล็ก น็อต สายรัดพลาสติก ฯลฯ

- 19) เคาเตอร์ หรือเครื่องพันขดลวด

2. วิธีการ

- 1) ออกแบบและสร้างใบพัดกังหันลมแนวแกนนอน โดยเลือกวัสดุที่ทำใบพัดคือ ท่อพีวีซี ขนาด 4" x 100 cm สำหรับผลิตใบกังหันลม 4 ใบ
- 2) ออกแบบและสร้างการวางตัวของแม่เหล็กถาวร Neodymium magnets 3/4" X 1/8" Disc rare earth N 42 โดยวางเป็นวงกลม จำนวน 10 ก้อน

- 3) ออกแบบและสร้างการพันขดลวดทองแดงอาบน้ำยา เบอร์ 24 จำนวน 10 ขด พัน 250 รอบ
- 4) ออกแบบและสร้างแพนหางของกังหันลมแนวแกนนอน
- 5) วางแผนการทดสอบกังหันลม โดยออกแบบตารางหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม ความเร็วรอบของกังหัน ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า
- 6) ศึกษาวิเคราะห์ถึงสัมประสิทธิ์กำลัง (Cp) อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (tsr) กำลัง (P) และ ประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป



รูปกังหันลมกังหันลมแนวแกนตั้งชนิดซาโวเนียส (Savonius) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ผลการวิจัย

1. การสร้างกังหันลมแนวแกนนอนที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ได้กังหันลมแนวแกนนอนขนาดเล็ก โดยกังหันลมประกอบขึ้นด้วยใบพัดจากท่อพีวีซี ตัดตามยาวเป็นซี่ใบพัด 4 ใบ ตัวใบมีรูปร่างเป็นส่วนโค้ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบ 1.10 เมตร มีพื้นที่รับลม 0.95 ตารางเมตร พันขดลวดทองแดงเบอร์ 24 จำนวน 10 ขด ขดละ 250 รอบ โดยต่อแบบอนุกรม ใช้แม่เหล็กถาวรชนิด Neodymium magnets ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ นิ้ว หนา $\frac{1}{8}$ นิ้ว จำนวน 10 ก้อน เรียงแม่เหล็กขั้วเดียวกันเป็นวงกลม บนแผ่นพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร กังหันลมสามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วลมตามธรรมชาติ

2. การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมแนวแกนนอน โดยทดสอบการทำงานที่ความเร็วลมตั้งแต่ 1 – 10 m/s พบว่าความเร็วรอบ (rpm) ของกังหันลมมากที่สุดเท่ากับ 1073.1 รอบ ต่อนาที ที่ความเร็วลม 10 m/s แรงดันไฟฟ้า (v) มากที่สุดเท่ากับ 5.606 โวลต์ ที่ความเร็วลม 10 m/s กระแสไฟฟ้า (I) มากที่สุดเท่ากับ 119.61 มิลลิแอมแปร์ ที่ความเร็วลม 10 m/s สัมประสิทธิ์กำลัง (Cp) มีค่าเท่ากับ 0.15 อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (tsr) เท่ากับ 6 และกำลัง (P) มากที่สุดเท่ากับ 670.533 มิลลิวัตต์ ที่ความเร็วลม 10 m/s

3. การศึกษาประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ได้ประสิทธิภาพ เท่ากับ 0.4 หรือ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไฟฟ้าที่ได้ออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบ single phase

สรุปผลการวิจัย

ได้กังหันลมแนวแกนนอนขนาดเล็กที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วลมตามธรรมชาติ จากการทดสอบวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของกังหันลมแนวแกนนอนโดยต่อขนานกับวงจรที่ความเร็วลมต่าง ๆ กัน พบว่า เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ที่ 5.606 โวลต์ และสามารถหาแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ได้คือ 7.927 โวลต์ กระแสไฟฟ้าที่วัดได้สูงสุดโดยต่ออนุกรมกับวงจรอยู่ที่ 119.61 มิลลิแอมแปร์ กังหันลมมีจุด starting อยู่ที่ 1 m/s จุด cut – in อยู่ที่ 1.517 m/s ความเร็ว

รอบสูงสุดคือ 1073.1 รอบต่อนาที ค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (tsr) ประมาณ 6 สัมประสิทธิ์กำลัง (C_p) ตามแนวโค้งของเส้นกราฟ อยู่ที่ประมาณ 0.15 หรือ 15% กำลังสูงสุดเท่ากับ 670.533 มิลลิวัตต์ และค่าประสิทธิภาพของกังหันลม (η_0) ตามแนวโค้งของเส้นกราฟ อยู่ที่ประมาณ 0.4 หรือ 40 %

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของกังหันลมแนวแกนนอน ที่ความเร็วลมต่างๆ กัน สามารถนำมาหาค่ากำลังทางไฟฟ้าได้จากสมการ $P=I.V.(PF)$ พบว่า เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นทำให้กำลังทางไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ H.Dumitrescu and V.Cardos (2000) โดยมีจุด starting อยู่ที่ 1 m/s จุด cut-in อยู่ที่ 1.517 m/s

จากการทดสอบวัดความเร็วรอบของกังหัน ที่ความเร็วลมต่างๆ กัน พบว่า เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นทำให้ความเร็วรอบของกังหันเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ สิทธิพงศ์ สิงห์อินทร์ (2550) ซึ่งมีค่าความเร็วรอบสูงสุดคือ 1073.1 รอบต่อนาที

จากการทดสอบได้ค่า อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (tip speed ratio) อยู่ที่ 6

จากการทดสอบวัดความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (C_p) ที่ความเร็วลมต่างๆ กัน พบว่า สัมประสิทธิ์กำลัง (C_p) ตามแนวโค้งของเส้นกราฟ อยู่ที่ประมาณ 0.15 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ ชโลธร ธรรมแท้ (2550)

จากการทดสอบวัดความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของกังหันลม (η_0) ที่ความเร็วลมต่างๆ กัน พบว่า ประสิทธิภาพของกังหันลม (η_0) ตามแนวโค้งของเส้นกราฟ อยู่ที่ประมาณ 0.4 หรือ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Betz limit (1926)

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1) จากผลการวิจัยพบว่าได้ค่าความต่างศักย์ 5.606 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 119.61 มิลลิแอมป์ แสดงว่ากังหันลมแนวแกนนอนขนาดเล็กสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ควรพัฒนาประสิทธิภาพกังหันลมแนวแกนนอนเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น

2) จากผลการทดสอบกังหันลมแนวแกนนอนสามารถทำงานได้ดีที่สภาพลมตามธรรมชาติ ครูผู้สอนควรลดขนาดของกังหันให้เล็กลงเพื่อใช้เป็นสื่อการสอนในห้องปฏิบัติการ

2. ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งต่อไป

1) ในการติดแผ่นแม่เหล็ก ควรทดลองติดแม่เหล็กให้ขั้วแม่เหล็กสลับกันติดกับขดลวด แล้วทำการทดสอบเปรียบเทียบกับกรณีติดแม่เหล็กหันขั้วเดียวกันติดกับขดลวด

2) การวิจัยครั้งต่อไปควรทดลองต่อวงจรแบบ 3 เฟส เพื่อทดสอบกำลังไฟฟ้าที่กังหันลมสามารถผลิตได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้สนับสนุนทุนในการศึกษาวิจัย โครงการครุวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา

และดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ พี่เลี้ยง นายสันติชัย เย็นทั่ว นายวีระชัย แก้วเอี่ยม ที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะแนวทางในการดำเนินการวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนคณะครูครุวิจัยทุกท่าน ครูช่าง และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งร่างกาย แรงใจ ให้โครงการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี จึงขอประกาศขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- ขจรศักดิ์ พึ่งพวกและคณะ. เครื่องแปลงพลังงานลมเป็นไฟฟ้า. โครงการวิจัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ
- ชโลธร ธรรมแท้. 2550. การออกแบบใบกังหันลมให้ดีที่สุดสำหรับประเทศไทยโดยใช้ ทฤษฎีสตริป. วิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- นักทร วังเทพินทร์และคณะ. 2551. ระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็กเพื่อการศึกษา. โครงการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. พระนครศรีอยุธยา.
- สมาน เสนงาม. 2541. กังหันลมผลิตไฟฟ้าสำหรับชนบท. วิจัย. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- สิทธิพงศ์ สิงห์อินทร์. 2550. การปรับปรุงและพัฒนากังหันลมแบบใบโรมิลล์. โครงการงาน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- อุสาค์ บุญบำรุง และคณะ. 2545. ระบบต้นแบบการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมสำหรับบริเวณความเร็วลมต่ำ. โครงการวิจัย. สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ. กรุงเทพฯ.
- A.E.Filios,D.B.2006 .Broadband noise radiation analysis for an HAWT rotor.research,University of Patras.
- H.Dumitrescu and V.cardos , D.B. 2000 .Predictions of Unsteady Hawt Aerodynamics by Lifting Line Theory .research ,Romanian Academy.
- <https://netfiles.uiuc.edu/mragheb/www/NPRE%20498WP%20Wind%20Power%20Systems/Theory%20of%20Wind%20Machines%20Betz%20Equation.pdf> (April 28, 2009)

การอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตู้

ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน

Drying of chilli by solar cabinet dryers

combined with heat from wood combustion

บังออน จุลพล

โรงเรียนสันติคีรีวิทยาคม อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย 57110

โทร 053 765 248 โทรสาร 053 765 249

E-mail : neuclear_2519@hotmail.com

Bangon Julapol

Santikeeree Wittayakhom School, Amphoe Mae Fah Lhuang, Chiang Rai Province 57110

Tel : 053 765 248 Fax : 053 765 249

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการแห้งตัวของพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตู้ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืนโดยนำพริกชี้ฟ้าแดง พันธุ์หัวเรือมาใช้ในการทดลอง ผลของการศึกษา พบว่า การอบแห้งโดยใช้ความร้อนแบบผสมผสานนั้น อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อยู่ระหว่าง $34.63^{\circ}\text{C} - 39.00^{\circ}\text{C}$ และใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน 136 กิโลกรัมโดยใช้ครั้งละ 70 กิโลกรัม ทุก 24 ชั่วโมง ซึ่งในการอบพริกนั้น ชั้นที่ 1 (ชั้นบนสุด) มีค่าความชื้นเริ่มต้น 307.69% และมีค่าความชื้นสุดท้ายคือ 6.59 % ชั้นที่ 2 (ชั้นล่างสุด) มีค่าความชื้นเริ่มต้น 289.18 % และมีค่าความชื้นสุดท้ายคือ 10.30 % ใช้เวลาในการอบแห้งเป็นเวลา 3 วัน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบรวมอยู่ที่ 0.44 % และพริกที่อบด้วยพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวชั้นที่ 1 (ชั้นบนสุด) มีค่าความชื้นเริ่มต้น 330.05 % และมีค่าความชื้นสุดท้ายคือ 19.17 % ชั้นที่ 2 (ชั้นล่างสุด) มีค่าความชื้นเริ่มต้น 264.86% และมีค่าความชื้นสุดท้ายคือ 38.03 % อัตราการแห้งตัวของผลิตภัณฑ์ในเครื่องอบชั้นบนสุดเร็วที่สุด และในชั้นอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน และใช้เวลาในการอบแห้งเป็นเวลา 3 วัน อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อยู่ระหว่าง $34.63 - 39.00^{\circ}\text{C}$ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบรวมอยู่ที่ 0.44 %

คำสำคัญ: การอบแห้งพริก / การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบ

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง จากการศึกษาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

พบว่าจำนวนรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ มีค่าเท่ากับ $18.2\text{MJ/m}^2 - \text{day}$ จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตรนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่ควรส่งเสริม ซึ่งพริกเป็นผลผลิตทางการเกษตรอีกประเภทหนึ่งที่นิยมปลูกกันมากในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ผลผลิตในแต่ละปีค่อนข้างมาก และบางครั้งพริกสดราคาตกต่ำ ผลผลิตมีมากเกินไปเกินความต้องการของประชาชน ก่อให้เกิดปัญหาสินค้าล้นตลาดและเกิด

การเสียหายแก่ผลผลิตเหล่านั้น ซึ่งปัญหาทั้งหมดส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรในประเทศ การอบแห้งพริกโดยใช้พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการเก็บรักษาหรือยืดอายุของผลผลิตทางการเกษตรให้เก็บไว้บริโภคได้ตลอดทั้งปี แต่เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ ยังมีข้อจำกัดหลายอย่างทั้งในเรื่องของช่วงเวลาและปริมาณของแสง เช่น ความไม่เหมาะสมของอากาศหรือฤดูกาล ในบางครั้งแสงแดดไม่เพียงพอ ฝนตก เกษตรกรไม่สามารถเก็บรักษาผลผลิตโดยใช้วิธีตากแดดโดยธรรมชาติ เพื่อที่จะทำให้แห้งได้ ก่อให้เกิดการเน่าเสีย และมีเชื้อราเกิดขึ้นกับผลผลิตนั้น ทำให้ไม่สามารถจำหน่ายได้ราคาดีและเป็นอันตราย หากนำไปบริโภค การอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งที่มีอยู่ในธรรมชาติ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มีต้นทุนต่ำ ทำง่าย สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้อย่างต่อเนื่อง ลดการสูญเสียของพลังงานเครื่องอบ มีศักยภาพในการใช้งานมากขึ้น และสามารถเพิ่มมูลค่าของสินค้าได้ทั้งปริมาณและคุณภาพ ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรและสามารถเก็บไว้บริโภคได้ตลอดทั้งปี สามารถจำหน่ายเป็นรายได้หลักในราคาที่สูงขึ้น (กุลยา จันทรอรุณ, 2541) รวมถึงเป็นการแก้ปัญหาด้านพลังงานของประเทศไทยโดยการใช้พลังงานทดแทนจากธรรมชาติเพื่อแก้ปัญหาสภาวะวิกฤติด้านพลังงานในปัจจุบัน

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการแห้งตัวของพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตู้ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืนในการอบพริก

3. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ

ได้แก่ พริกชี้ฟ้าแดงพันธุ์หัวเรือ ซึ่งเป็นพริกที่นิยมปลูกมากในทุกภูมิภาคของประเทศไทย หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด และราคาไม่แพง

3.2 อุปกรณ์

- 3.2.1 เครื่องมือวัดความเร็วลม (Anemometer)
- 3.2.2 Termocouple
- 3.2.3 เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
- 3.2.4 ตาชั่งละเอียดสำหรับชั่งตัวอย่าง ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น ELB 3000 ค่าความละเอียด $\pm 0.1\text{g}$
- 3.2.5 ตาชั่งสำหรับชั่งน้ำหนักทั้งหมด
- 3.2.6 ตาชั่งละเอียดสำหรับชั่งไม้ฟืน
- 3.2.7 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic balance)
- 3.2.8 ตู้อบไฟฟ้า (Electronic oven)
- 3.2.9 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)
- 3.2.10 ถาดอลูมิเนียมสำหรับใส่กลุ่มตัวอย่าง

3.3 วิธีการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

1. เตรียมพริกที่จะทำการอบแห้ง

2. ชั่งมวลผลิตภัณฑ์ทั้งหมดก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง
3. ติดตั้ง Thermocouple ตามตำแหน่งที่จะวัดอุณหภูมิภายในตู้จำนวน 2 จุด คือ อุณหภูมิหลังผ่านแผงและอุณหภูมิกลางตู้
4. นำผลิตภัณฑ์เข้าเครื่องอบบันทึกค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความเร็วลมทางเข้าแผงรับรังสี มวลผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง อุณหภูมิภายในอุณหภูมิภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ ทุก 1 ชั่วโมง
5. ชั่งไม้พินที่จะป้อนในเตา ป้อนไม้พินประมาณ 70 กิโลกรัม ในเวลา 15.00 น. ของทุกวันที่ทำการอบด้วยความร้อนจากไม้พิน บันทึกค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทุก 3 ชั่วโมง จนผลิตภัณฑ์แห้งเป็นที่น่าสนใจ แล้วนำตัวอย่างไปอบในตู้อบไฟฟ้าจนแห้งเพื่อหามวลแห้ง และคำนวณหาค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ และหาประสิทธิภาพ เชงความร้อนของตู้อบ
6. นำไม้พินมาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ จำนวน 5 ชิ้น แล้วชั่งมวล บันทึกค่ามวลก่อนอบแห้งและทำการอบแห้งไม้พินพร้อมกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในตู้อบไฟฟ้า จนมวลทั้งสองไม่เปลี่ยนแปลง นำค่ามวลแห้งไปใช้ในการคำนวณค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์
7. ชั่งผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วทั้งหมด พร้อมทั้งนำค่าที่ได้ไปใช้เพื่อการคำนวณต่อไป
8. ระยะเวลาในการอบแห้ง คือ อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 3 วัน สลับกับการใช้ไม้พินเป็นเวลา 2 คืน
9. ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อความละเอียดและถูกต้องของข้อมูล

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตู้และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตู้ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากพิน โดยเก็บข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ไปใช้ในการคำนวณหาค่าสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ดังนี้

4.1. คำนวณหาค่าความชื้นของวัสดุ (ความชื้นฐานแห้ง)

จากสูตร ดังนี้

$$MC(\%d.b.) = \frac{M_w}{M_d} \times 100\%$$

โดยที่ M_w = มวลของน้ำ (kg)

M_d = มวลของวัสดุแห้ง (kg)

4.2 คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานพลังงานความร้อนจากไม้พิน คำนวณจากสูตร ดังนี้

$$\eta_{all} = \frac{m_l L}{ItA_s + HV_{wood} m_{wood}}$$

โดยที่ η_{all} = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมของเครื่องอบแห้ง

L = ความร้อนแฝงของกลายเปลี่ยนไอของน้ำ

m_l = ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์

I = ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวรับรังสี

A_s = พื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์

HV_{wood} = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงไม้พิน

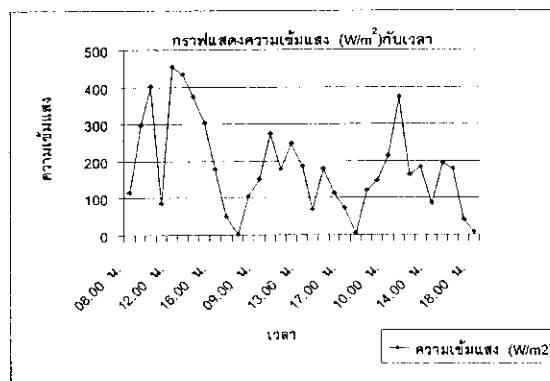
m_{wood} = ปริมาณเชื้อเพลิงไม้พินที่ใช้

T = เวลาที่ใช้ในการอบโดยใช้แสงอาทิตย์

5. ผลการศึกษา / ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล

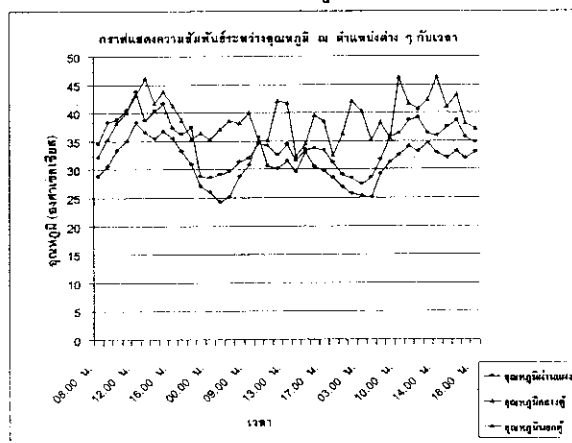
ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองสมรรถนะเครื่องอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตู้ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน ระหว่างวันที่ 20 - 22 เมษายน 2552 ใช้ผลิตผลทางการเกษตร คือ พริกชี้ฟ้าแดงพันธุ์หัวเรือ จำนวน 3 กิโลกรัม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนจากการเผาไม้ฟืน ใช้ไม้ฟืนทั้งหมดจำนวน 136 กิโลกรัม และเริ่มเผาไม้ฟืนเวลา 15.00 นาฬิกาของทุกวัน ผลการทดลอง เป็นดังนี้

5.1 ความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar radiation) ความเข้มแสงอาทิตย์ช่วงระยะเวลาต่างๆ ตลอดการทดลอง เป็นไปตามรูปที่ 1 ซึ่งความเข้มแสงที่มีค่ามากที่สุดอยู่ที่เวลา 12.00 น.- 13.00 น. ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่า 181.91 W/m^2 โดยมีพื้นที่ผิวรับรังสีขนาด 4.8 m^2



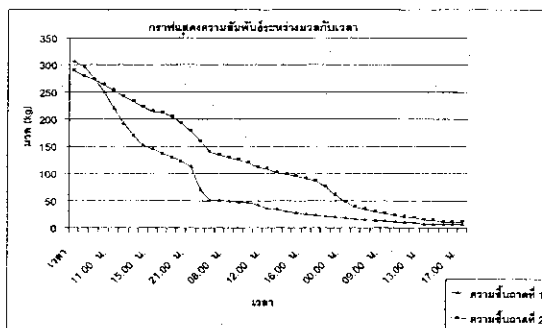
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลา

5.2 อุณหภูมิ (Temperature) จากการทดลองพบว่าในตอนกลางวันอุณหภูมิภายในตู้อบจะสูง โดยเฉพาะชั้นบนสุดคือชั้นที่ 1 รองลงมาคือชั้นที่ 2 ซึ่งเป็นชั้นที่อยู่ล่างสุดและมีอุณหภูมิต่ำที่สุด อุณหภูมิภายในตู้อบเฉลี่ยคือ 39.00°C และอุณหภูมิภายนอกโดยเฉลี่ย คือ 31.19°C ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

5.3 ความเร็วอากาศ (Inlet air velocity) ความเร็วของอากาศเฉลี่ยบริเวณทางเข้าของแผงรับความร้อน ในระยะเวลาต่างๆ แสดงในรูปที่ 3 พบว่า ความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่บริเวณทางเข้าแผงรับความร้อนมีค่าไม่คงที่ ความเร็วลมเฉลี่ยคือ 0.17 m/s



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นเทียบกับฐานแห้งกับเวลา

5.5 ประสิทธิภาพ (Efficiencies) การคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตูแบบผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน โดยมีค่าความร้อนแฝงของกลายเปลี่ยนไอน้ำของน้ำเท่ากับ $2423.70 \times 10^3 \text{ J/kg}$ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 2.71 kg ความเข้มข้นรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวรับรังสีมีค่าเท่ากับ 181.91 W/m^2 พื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ 4.80 m^2 เวลาที่ใช้ในการอบโดยใช้แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ $30 \times 60 \times 60 \text{ s}$ ปริมาณเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ใช้ 136 kg และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงไม้ฟืนมีค่าเท่ากับ $11000 \times 10^3 \text{ J/kg}$ ได้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานพลังงานจากไม้ฟืน มีค่าเท่ากับ 0.44% ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก

6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar radiation) อุณหภูมิ (Temperature) และความเร็วอากาศ (Inlet air velocity) มีผลต่อค่าความชื้น (Moisture content) ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิภายในตูบโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $34.63^\circ\text{C} - 39.00^\circ\text{C}$ ความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดการทดลองอยู่ที่ 181.91 w/m^2 ความเร็วของอากาศที่ตรงทางเข้าแผงรับความร้อนมีค่าไม่คงที่ ความเร็วลมเฉลี่ยคือ 0.17 m/s และในช่วงเวลากลางคืนเครื่องอบแห้งจำเป็นต้องใช้ความร้อนจากการเผาไม้ฟืนในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ ในการทดลองครั้งนี้ใช้ไม้ฟืนทั้งหมด 136 กิโลกรัม โดยใช้ครั้งละ 70 กิโลกรัม ใช้เวลาในการอบผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการตากแดดเพียงอย่างเดียว โดยใช้เวลา 4 วัน ครั้ง ผลิตภัณฑ์จึงแห้งซึ่งในการอบฟริกนั้น ชั้นที่ 1 (ชั้นบนสุด) มีค่าความชื้นเริ่มต้น 307.69% และมีค่าความชื้นสุดท้ายคือ 6.59% ชั้นที่ 2 มีค่าความชื้นเริ่มต้น 255.70% และมีค่าความชื้นสุดท้ายคือ 5.30% ชั้นที่ 4 (ชั้นบนสุด) มีค่าความชื้นเริ่มต้น 289.18% และมีค่าความชื้นสุดท้ายคือ 10.30% ซึ่งทุกชั้นมีค่าความชื้นต่ำกว่า 16% จากมาตรฐานของและค่าความชื้นเริ่มต้นของฟริกที่ตากแดดคือ 214.26% และค่าความชื้นสุดท้ายคือ 94.38% ซึ่งค่าความชื้นสูงกว่ามาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยา (อย.)

7. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร คือ ฟริกชี้ฟ้าแดงพันธุ์หัวเรือ โดยทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์จะใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวและใช้พลังงานความร้อนแบบผสมผสาน คือใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันและเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอหรือในช่วงเวลากลางคืนจะใช้ความร้อนจากการเผาเชื้อเพลิงไม้ฟืน

การอบแห้งโดยใช้ความร้อนแบบผสมผสานในการอบแห้งนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตูบจะอยู่ระหว่าง $34.63^\circ\text{C} - 39.00^\circ\text{C}$ ใช้เวลาในการอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 30 ชั่วโมง และใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน 136 กิโลกรัม

โดยใช้ครั้งละ 70 กิโลกรัม โดยจะเติมเชื้อเพลิงในเตาทุก 24 ชั่วโมง ซึ่งในการอบพริกนั้น ชั้นที่ 1 (ชั้นบนสุด) มีค่าความชื้นเริ่มต้น 307.69% และมีค่าความชื้นสุดท้ายคือ 6.59% ชั้นที่ 2 มีค่าความชื้นเริ่มต้น 255.70% และมีค่าความชื้นสุดท้ายคือ 5.30 % ซึ่งทุกชั้นมีค่าความชื้นต่ำกว่า 16% จากมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) และค่าความชื้นเริ่มต้นของพริกที่ตากแดดคือ 214.26% และค่าความชื้นสุดท้ายคือ 94.38% ซึ่งค่าความชื้นสูงกว่ามาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.)

จากการทดลองที่ได้ พบว่า อัตราการแห้งตัวของผลิตภัณฑ์ในชั้นบนสุดจะเร็วที่สุดและในชั้นอื่นๆ จะมีค่าใกล้เคียงกัน ประสิทธิภาพของเครื่องอบรวมอยู่ที่ 0.44%

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 ในการทดลองทุกครั้งต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไปจนเกิดการไหม้ไหมย เนื่องจากมีผลต่อการคำนวณเพื่อหาค่าปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

8.2 ผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบแห้งในแต่ละถาดควรทำการพลิกกลับในทุก ๆ 2 – 3 ชั่วโมงต่อครั้ง หรือควรมีการสลับสับเปลี่ยนชั้นวางถาดผลิตภัณฑ์ให้ได้รับปริมาณความร้อนได้ทั่วถึงและเท่า ๆ กัน ทั้งนี้เนื่องจากชั้นวางผลิตภัณฑ์แต่ละชั้นมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน การรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอในขณะใช้ความร้อนจากไม้ฟืนนั้นควรใช้ไม้ฟืนครั้งละน้อย ๆ แต่เพิ่มจำนวนที่ใช้ให้มากขึ้น

8.3 ในช่วงที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าสูงควรทำการลดปริมาณของอากาศที่เข้าในตู้อบแห้ง เพื่อให้ปริมาณความชื้นในตู้อบแห้งไม่สูงมาก

8.4 หมั่นทำความสะอาดกระจกแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ทุกครั้งที่ทำกรอบผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการรับแสง

8.5 หากสามารถใช้เครื่องอบแห้งแบบผสมผสานกับการใช้ไม้ฟืนแล้วจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตสินค้าได้อย่างมาก

9. กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ร่วมกับสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล อาจารย์ที่เลี้ยงที่คอยให้คำแนะนำ เป็นที่ปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูลทางวิชาการ และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมช่วยในการทดลองและเก็บข้อมูล เจ้าหน้าที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนามที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

10. เอกสารอ้างอิง

กานต์ บุญฤทธิ์ และ มหิมนต์ธรัตน์ พรหมทอง. 2546. คุณลักษณะการแห้งตัวของผลิตภัณฑ์สมุนไพรโดยใช้เครื่องอบแห้ง

พลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน. โครงการวิศวกรรมเครื่องกล. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

- กุลยา จันทรอรุณ. 2542. กรรมวิธีการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม. พิษณุโลก.
- พัฒนพงศ์ ใจเกลี้ยง และ ฤทธิชัย ขอบชน. 2551. ต้นแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ต้นทุนต่ำ. โครงการวิศวกรรมเครื่องกล. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- พิษณุ สอนน้อย และ คานูพงศ์ รักช่วย. 2551. การทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดย **Impingement hot air oven**. โครงการวิศวกรรมเครื่องกล. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- รัฐพล ข. ละเอียด. 2551. เตาหุงต้มและเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. โครงการวิศวกรรมเครื่องกล. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- วิลาวรรณ คำหาญ. 2547. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์กลมจากวัสดุในท้องถิ่นเพื่อใช้ออบแห้งพริก. วารสารศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร. สกลนคร.
- สุดธิดา อินทผล และคณะ. 2551. การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). 2544. พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์. กรุงเทพมหานคร.
- Meesook, A. and Geant-Mackie, J.A., 1994, **Biostratigraphic correlation of marine Jurassic rocks within Thailand and Southeast Asia**, Bangkok, Thailand, p.160-169.
- Saleh Al-kharabsheh, D. Yoki Goswami, Solar Distillation and Drying. **Encyclopedia of Energy**. Volume 5. 2004. Elsevier Inc.
- เว็บไซต์เพื่อการสืบค้น. พลังงานทดแทน. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2552 จาก:
<http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php> และ <http://www.dede.go.th/dede/index.php>
- เว็บไซต์เพื่อการสืบค้น. พลังงานแสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2552 จาก:
<http://www.dede.go.th/dede/index.php>
- เว็บไซต์เพื่อการสืบค้น. การอบแห้ง. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2552 จาก:
http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php
- เว็บไซต์เพื่อการสืบค้น. การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2552 จาก:
<http://blog.eduzones.com/tenny/3455>

การอบแห้งเนื้อลำไยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

Drying of longan meat by a solar tunnel dryer

สายทอง จีปรานันท์¹

โรงเรียนวัดนครเจดีย์ อำเภอลำพูน จังหวัดลำพูน 51120

E-mail : saithong521@hotmail.com

บทคัดย่อ

ลำไยเป็นไม้ผลเศรษฐกิจหลักชนิดหนึ่งของจังหวัดลำพูน ผลผลิตที่ได้บางส่วนนำไปแปรรูปเป็นลำไยอบแห้ง การแปรรูปลำไยอบแห้ง เกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้แก๊สหรือไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิงในการอบทำให้ต้นทุนของผลผลิตสูง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสิ้นเปลืองของพลังงานอีกด้วย จึงได้ศึกษาหาวิธีการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์และเครื่องมือวัด รวมทั้งทำการทดลองการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยเครื่องอบดังกล่าว ทำการทดลอง 2 ตำแหน่ง คือ 1. อบบริเวณใกล้ช่องแผงรับความร้อน 2. อบบริเวณกลางตู้ จากการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ สามารถอบเนื้อลำไยตำแหน่งที่ 1 ที่ความชื้น 84.32 % (wb) สามารถลดความชื้น จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 15.43 % (wb) และอบเนื้อลำไยตำแหน่งที่ 2 ที่ความชื้น 83.32 % (wb) สามารถลดความชื้น จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 14.85 % (wb) อุณหภูมิภายในเครื่องแปรค่าระหว่าง 31.6- 60.5 องศาเซลเซียส หรือที่อุณหภูมิเฉลี่ยกลางตู้ 42.5 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 26 ชั่วโมง ความเข้มแสงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 227.12 W /m²

คำสำคัญ

การอบแห้ง หมายถึง การไล่น้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อลำไยออกไป แต่ยังคงมีความชื้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 18 % (wb) โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

เนื้อลำไย หมายถึง เนื้อลำไยพันธุ์อีดอที่แกะเอาเมล็ดและเปลือกออกแล้ว

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ หมายถึง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้หลักการเปลี่ยนรังสีแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนโดยใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ทาสีดำเพื่อให้การดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด ความร้อนถูกถ่ายเทให้แก่ผลิตภัณฑ์ และความชื้นจากผลิตภัณฑ์จะถูกดูดออกไปทางปล่องระบายความชื้นหลังตู้อบ

Abstract

Longan fruit is the main type of economic Lamphun province. Have some output to a processing Longan baked dry. Processing Longan baked dry. Most farmers use gas or electricity as fuel in steam costs of production. It also resulted in wastage of energy. The research has studied the work of a solar steam-dry tunnel and measuring tools Try and make the longan meat dry roast with a baked Longan. Found from experiments. Dry-roast the solar tunnel Longan can roast longan meat. Until the final moisture of approximately 14.85% (wb) within the temperature variations between 31.6 to 60.5 degrees celcius or at room temperature averaged 42.5 degrees central cabinet take the roast dry approximately 26 hours.

1. บทนำ

ลำพูนเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคเหนือของประเทศไทยที่ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลิตผลทางการเกษตรมีมากมาย เช่น ผักและผลไม้ต่างๆ ลำไยเป็นไม้ผลเศรษฐกิจหลักชนิดหนึ่งของจังหวัดลำพูน ผลผลิตที่ได้เป็นการบริโภคลำไยสดในประเทศและส่งออก ผลผลิตที่เหลือจะนำไปแปรรูปเป็นลำไยอบแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการแปรรูปเพื่อการส่งออก การแปรรูปลำไยอบแห้ง เกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้แก๊ส และน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการอบ ทำให้ต้นทุนของผลผลิตสูง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสิ้นเปลืองของพลังงาน ดังกล่าวซึ่งนับวันจะมีปริมาณลดลง การใช้เครื่องอบแห้ง

พลังงานแสงอาทิตย์แบบอูโมงค์ มาใช้ในการอบเนื้อลำไยให้แห้งจึงน่าจะเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการแปรรูปผลผลิตลำไยสด เพื่อเก็บรักษาและรอการจำหน่ายต่อไป

การอบแห้งเนื้อลำไยด้วยเตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอูโมงค์ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการครุวิจัยในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อฝึกให้ครูให้รู้จักกระบวนการทำวิจัย และนำไปปรับใช้ในการเรียนการสอนในชั้นเรียน

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจเกี่ยวกับเรื่อง การอบแห้ง ผลิตผลทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และผู้สนใจเกี่ยวกับการนำกระบวนการวิจัยไปใช้ในชั้นเรียนต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

2.1.1 ลำไย

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 ถาดอลูมิเนียมใบใหญ่ จำนวน 1 ถาด ใบเล็ก จำนวน 2 ถาด

2.2.2 มีด ช้อน ถังมือ ถังพลาสติกใส

2.3 เครื่องมือ

2.3.1 เครื่องมือวัดความเร็วลม (Anemometer) ยี่ห้อ Testo รุ่น 405-VI

2.3.2 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ (Thermocouple)

2.3.3 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic balance) ยี่ห้อ UWE รุ่น DB- 600

2.3.4 เครื่องอบไฟฟ้า (Electronic oven) ยี่ห้อ memmert รุ่น 400

2.3.5 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranomete) ยี่ห้อ Kipp & zonen รุ่น CM3

2.3 วิธีการทดลอง

ศึกษาตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิทั่วไป อุณหภูมิหลังผ่านแผงรับความร้อน อุณหภูมิกลางตู้ ความเข้มแสงอาทิตย์ ค่าความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

จุดวัดอุณหภูมิ 3 จุด คือ 1) อุณหภูมิทั่วไป 2) อุณหภูมิหลังผ่านแผงรับความร้อน 3) อุณหภูมิกลางตู้

จุดวัดความเข้มแสงอาทิตย์ คือ วัดบริเวณตรงกลางของแผงรับความร้อน

จุดวัดความชื้นสัมพัทธ์ 2 จุด คือ 1) วัดบริเวณทั่วไป 2) วัดบริเวณช่องระบายอากาศ

จุดวัดความเร็วลม คือ บริเวณช่องทางเข้าของลมด้านหน้าแผงรับความร้อน

จุดตั้งตัวอย่างเพื่อหาค่าความชื้น 2 จุด คือ 1) ตั้งถาดลำไยตัวอย่าง 1 ไกลช่องแผงรับความร้อน 2) ตั้งถาดลำไยตัวอย่าง 2 บริเวณกลางตู้อบ

2.4 ขั้นตอนการทดลอง

1. คัดเลือกลำไยเนื้อสีขาวใส คุณภาพดี ไม่เน่า ใช้ได้ทุกสายพันธุ์ พันธุ์ที่เหมาะสมที่สุดคือ พันธุ์อีดอ
2. คว่ำน้ำเมล็ดและแกะเปลือกออก ล้างน้ำให้สะอาด ใส่ตะกร้าพักไว้ให้สะเด็ดน้ำ
3. ชั่งเนื้อลำไยทั้งหมด ชั่งถาดเปล่าทั้งหมด ได้แก่ ถาดใบใหญ่ 1 ใบ ถาดใบเล็ก 2 ใบ
4. นำลำไยที่ได้ใส่ถาดใบใหญ่ 1 ใบ ใส่ถาดใบเล็ก (ถาดตัวอย่าง) 2 ใบ เกลี่ยลำไยให้ทั่วถาด
5. ชั่งถาดเปล่า + เนื้อลำไยทั้งหมด และนำไปตากในตู้อบ
โดยกำหนดจุดตากของถาดตัวอย่าง 2 จุด คือ ตั้งถาด
ตัวอย่าง 1 วางใกล้ช่องแผงรับความร้อน
ตัวอย่าง 2 วางบริเวณกลางตู้อบ
6. บันทึกตัวแปรต่างๆ ทุก 1 ชั่วโมง
7. รอจนเนื้อลำไยแห้ง แล้วนำไปอบเครื่องอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง จนแห้ง
8. ชั่งผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่แห้งแล้วทั้งหมด
9. คำนวณหาความชื้นฐานแห้งของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ

2.5 ทฤษฎีต่าง ๆ สำหรับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

2.4.1 การวัดความชื้นของผลผลิตโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

1.) ความชื้นฐานแห้ง (Dry Basis) หรือ MC (d.b.) เป็นค่าความชื้นเทียบกับมวลของวัสดุแห้ง

$$(1) \quad MC (\%d.b.) = \frac{M_w}{M_d} \times 100\%$$

โดยที่

M_w = น้ำหนักของน้ำที่อยู่ในเนื้อวัสดุ (kg)

M_d = น้ำหนักของเนื้อวัสดุแห้ง (kg)

3. ผลการทดลอง

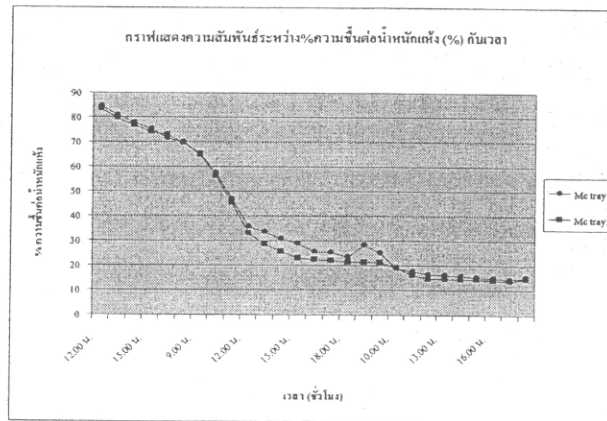
การทดลองอบเนื้อลำไยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ผลการทดลองเป็นดังนี้ ทำการทดลอง 2 ตำแหน่ง คือ

1. อบบริเวณใกล้ช่องแผงรับความร้อน
2. อบบริเวณกลางตู้

จากการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ สามารถอบเนื้อลำไยตำแหน่งที่

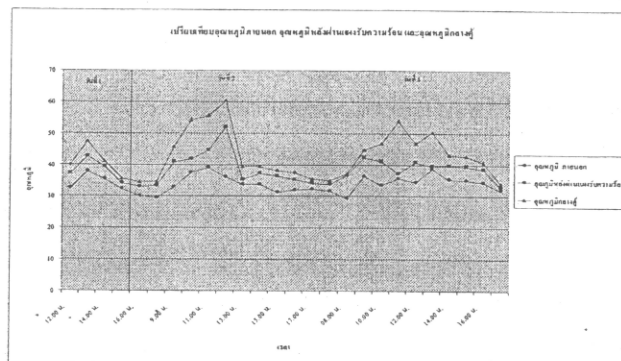
1 สามารถอบเนื้อลำไยที่ความชื้น 84.32 % (wb) สามารถลดความชื้นจนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 15.43

%(wb) และอบเนื้อลำไยตำแหน่งที่ 2 ที่ความชื้น 83.32 % (wb) สามารถลดความชื้นจนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 14.85 %(wb) ใช้เวลาในการอบนาน 26 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ความชื้นต่อแห้ง (%) กับเวลา

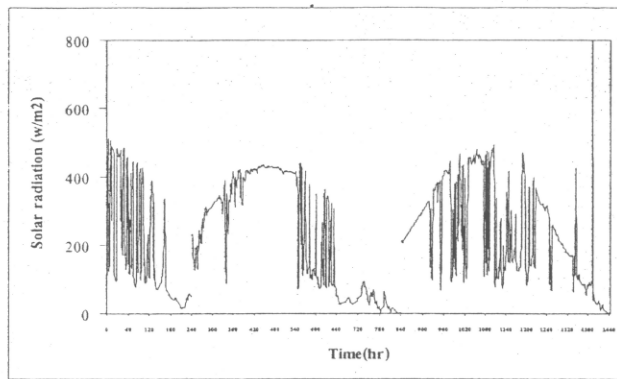
อุณหภูมิ (Temperature) ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ 3 จุดคืออุณหภูมิภายนอก, อุณหภูมิหลังผ่านแผง และอุณหภูมิกกลางตู้อบมีค่า 33.9, 38.3 และ 42.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิภายในเครื่องแปรค่าระหว่าง 31.6 - 60.5 องศาเซลเซียส หรือที่อุณหภูมิเฉลี่ยกลางตู้ 42.5 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.2



รูป 3.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิหลังผ่านแผงรับ

ความร้อน และอุณหภูมิกกลางตู้

ผลการบันทึกความเข้มแสง ณ เวลาต่างๆ ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงที่ผลิตภัณฑ์ได้รับ มีค่า 227.12 W/m² ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงความเข้มแสง ณ เวลา ต่าง ๆ

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองอบเนื้อลำไยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยการอบเนื้อลำไย 2 จุด คือ 1. ตั้งถาดลำไยตัวอย่าง 1 ใกล้ช่องแผงรับความร้อน 2. ตั้งถาดลำไยตัวอย่าง 2 บริเวณกลางตู้ ผลการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ สามารถอบเนื้อลำไยตำแหน่งที่ 1 ที่ความชื้น 84.32 % (wb) จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 15.43 % (wb) และอบเนื้อลำไยตำแหน่งที่ 2 ที่ความชื้น 83.32 % (wb) จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 14.85 % (wb) อุณหภูมิภายในเครื่องแปรค่าระหว่าง 31.6 - 60.5 องศาเซลเซียส หรือที่อุณหภูมิเฉลี่ยกลางตู้ 42.5 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 26 ชั่วโมง ความเข้มแสงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 227.12 W /m²

บริเวณต่างๆ ภายในตู้อมมีผลต่อประสิทธิภาพการแห้งตัวของเนื้อลำไยต่างกัน จากการทดลองพบว่า เนื้อลำไยตัวอย่าง 1 ที่อบใกล้ช่องแผงรับความร้อน จะแห้งตัวช้ากว่าตั้งถาดลำไยตัวอย่าง 2 ที่อบบริเวณกลางตู้ ดังจะเห็นได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายต่างกัน 0.58 % (wb)

วิจารณ์ผลและข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองการหาค่าความชื้นของเนื้อลำไย โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง การอบเนื้อลำไย โดยอบที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส จนเนื้อลำไยมีความชื้นต่ำกว่า 18 % (สิริชัย ส่งเสริมพงษ์. 2541) การทดลองครั้งนี้ได้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลองดังกล่าว

การทดลองการอบเนื้อลำไยครั้งนี้ ได้คุณภาพเนื้อลำไยมีสีเข้ม ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อลำไยได้รับแสงของดวงอาทิตย์โดยตรง ในการอบลำไยเนื้อสีทองจะต้องอบในเครื่องอบที่ไม่ต้องใช้แสงอาทิตย์โดยตรง และต้องแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ ละลายสารเคมี 30 กรัม ต่อน้ำ 10 ลิตร แช่เนื้อลำไย 10 กิโลกรัม นาน 5 นาที เพื่อให้เนื้อลำไยมีสีเหลืองทอง ไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และเก็บรักษาสีไว้ได้นาน (สิริชัย ส่งเสริมพงษ์. 2541) แต่เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นกระบวนการมากกว่าผลผลิตที่มีคุณภาพ จึงไม่ได้สนใจประเด็นดังกล่าว แต่ก็สามารถนำกระบวนการนี้ไปใช้อบผลิตผลทางการเกษตรชนิดอื่น โดยผลิตผลชนิดนั้นต้องการแสงอาทิตย์โดยตรง เช่น อบพริก ปลา เป็นต้น

ปัจจัยทางด้านภูมิอากาศมีผลต่อการแห้งตัวของเนื้อลำไย เพราะบางวันสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการอบ จึงควรจะใช้กระบวนการอื่นช่วยในการอบ เช่นการใช้ฟืนร่วมด้วย นอกจากนี้ปัจจัยด้านคุณภาพของเครื่องอบแห้ง ในเรื่อง ช่องอากาศเข้า และช่องระบายความชื้นก็มีผลต่อการคืบตัวของน้ำหนักผลิตภัณฑ์

เพราะสังเกตได้จากน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นในช่วงรอยต่อของแต่ละวัน ดังนั้นจึงน่าจะมีการพัฒนาเครื่องอบดังกล่าว โดยการสร้างระบบปิดล๊อคทางเข้าของอากาศ ตลอดจนช่องระบายอากาศให้ปลอดภัยกว่าที่เป็นอยู่

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร. พีระพงศ์ ทิมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งกรุณาสละเวลา ให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ลานตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับทำโครงการ

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โดยฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ (ฝ่าย 3) ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณนางสาวณัฐมา แป้นแก้ว นายอรรถ ชาติสาธุรณ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ผู้เป็นที่รักและเคารพ ผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสการศึกษามีค่ายิ่ง

เอกสารอ้างอิง

พีระพงศ์ ทิมสกุล, การอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์, เอกสาร สำเนา, 2552

สิทธิสันต์ กังประเสริฐกุล, รายงานเรื่อง การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

แบบผสมผสานชนิดอุโมงค์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2546

สิริชัย ส่งเสริมพงษ์, การอบแห้งลำไยคุณภาพเพื่อการส่งออก. รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง

เทคโนโลยีการผลิตลำไยครบวงจร 14-15 กันยายน 2541 ณ. โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ, เชียงใหม่. 2541.

การอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดและรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

Squid Drying by Infrared and Combine/Hotair

เจษฎา อินดาวยง

สุภวรรณ ภูิระวณิชกุล² และยุทธนา ภูิระวณิชกุล³

¹โรงเรียนวัยพัฒนวิทยา อำเภอสนัก้าแพง จังหวัดเชียงใหม่ 50130

โทร 053 129 026 โทรสาร 053 129 026

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

³ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ 90112 จ.สงขลา

E-mail: supawan.t@psu.ac.th

E-mail: yutthana.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ปลาหมึก เป็นทรัพยากรทางทะเลและเป็นสินค้าที่สามารถหาได้ในเขตทะเลของประเทศไทย บริเวณภาคใต้ และภาคตะวันออกของประเทศ ที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและกำลังเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ ซึ่งในพื้นที่ภาคใต้ชาวบ้านที่มีอาชีพทำการประมงจับปลาหมึก แล้วมีการนำปลาหมึกมาทำการตากแห้งเพื่อถนอมอาหาร แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประสบปัญหาการเหี่ยวของแผ่นละออง ระยะเวลาการตาก และสภาพอากาศ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการอบแห้งปลาหมึกโดยใช้พลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรด และรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในตัวปลาหมึก โดยการอบด้วยรังสีอินฟราเรดอย่างเดียวทำการทดลอง 3 อุณหภูมิคือ 70°C, 80°C และ 90°C ที่กำลัง 1000 W และการอบด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน 80°C และ 90°C ที่กำลัง 1000 W การทดลองจนปลาหมึกอบแห้งมีอัตราส่วนความชื้นใกล้เคียงกับที่ได้คำนวณไว้ของแต่ละการทดลอง โดยมาตรฐานของปลาหมึกอบแห้งมีความชื้นสุดท้ายที่ 45.5 % มาตรฐานแห้ง สรุปได้ว่า กรณีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่น้อยกว่าการอบด้วยรังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว และสรุปได้ว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียวมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่น้อยกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

คำสำคัญ; การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดและรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน/อบแห้งปลาหมึก/อัตราส่วนความชื้นและค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน

Abstract

Squid is a resource and marine products that are available in the sea area of the torch and the eastern area of the country. Important in the country's economy. As required by the market in both countries and is demanded by international markets. In the southern villagers to make a career catch squid fishery. Have lead to a dry squid to Store long. But the product has a problem of dust contamination. Time and dry weather. Therefore, this research project aims to study the squid by dry baking heat energy from infrared radiation. Together, wind and thermal infrared radiation. Humidity

affects the amount of squid. The roast, with radiation Infrared only experimented 3 temperatures is 70°C , 80°C and 90°C at 1000 W and is baked with infrared radiation by hot air 80°C and 90°C is 1000 W trials and dried squid baked with humidity close to the ratios calculated for each trial. The standard of dried squid baked with 45.5% moisture final standards of the case concluded that the dry steam with infrared radiation by hot winds. A period less than the dry baking with infrared radiation alone. And concluded that the dry steam with infrared radiation alone is the power consumption rate less than the roast dry with hot air with infrared radiation.

Keyword; Baked dry by the infrared radiation and

Infrared radiation with hot air / steam dried squid / humidity ratio and the cost of wasting energy.

1. บทนำ

ปลาหมึก หมายถึง สัตว์น้ำที่อยู่ในวงศ์ (Family) โอลิจินิดี (Loliginidae) ซีปีโอดี (Sepiidae) และออกโตพอดิดี (Octopodidae) หรือที่มีชื่อสามัญว่า ปลาหมึกกล้วย ปลาหมึกกระดอง ปลาหมึกสายตามลำดับ ส่วนปลาหมึกที่ใช้ทำการทดลองในโครงการวิจัยนี้ ใช้ปลาหมึกในวงศ์ (Family) โอลิจินิดี (Loliginidae) หรือปลาหมึกกล้วยที่ชาวประมงท้องถิ่นในจังหวัดสงขลา ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการจับปลาหมึก และมีการนำมาจำหน่ายทั่วไปในตลาดสดในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แล้วนำมาทำการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งเป็นกรรมวิธีในการถนอมอาหารทะเลชนิดหนึ่ง ที่สามารถทำการเก็บรักษาอาหารทะเลได้เป็นระยะเวลานานขึ้นและเป็นที่นิยมบริโภคของคนไทยและประเทศในเอเชีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาหมึกแห้ง ส่วนใหญ่จะบริโภคภายในประเทศมีการส่งออกต่างประเทศบ้าง จากการศึกษาการทำปลาหมึกแห้งของชาวบ้านในท้องถิ่นพบว่าชาวบ้านส่วนใหญ่ใช้วิธีการตากแดดเป็นส่วนใหญ่ โดยชาวบ้านจะตากแห้งภายในบริเวณบ้าน ซึ่งปัญหาที่ตามมาของการตากแดดก็คือ ฝุ่นละอองที่เจือปนในปลาหมึกแห้ง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ระยะเวลาในการตากแดดต้องใช้เวลานาน ซึ่งไม่ทันต่อความต้องการของผู้บริโภค และอีกปัญหาคือ ในจังหวัดสงขลาและในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นที่มีฝนตกตลอดทั้งปี ไม่สามารถทำการตากแห้งได้ตลอดเวลา

การอบแห้งโดยการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้า จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม การอบแห้งสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามควรที่จะคำนึงกระบวนการอบแห้งและความสิ้น

เปลืองพลังงานของระบบทั้งหมดด้วย ในปัจจุบันแหล่งพลังงานที่เลือกใช้มีหลายแบบ เช่น ใช้พลังงานความร้อนจากชีวมวล คลื่นไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด ซึ่งรังสีอินฟราเรดมีสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถทะลุผ่านวัตถุเข้าไปทำให้โมเลกุลของวัตถุ เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้วัตถุนั้นร้อนขึ้นได้ พลังงานที่แผ่ออกจากแท่งความร้อนอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุนั้น ๆ ต้องเสียไปทำให้สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งและใช้ไฟฟ้า

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาผลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน สภาวะที่มีต่อจุลนาผลศาสตร์การอบแห้ง รวมถึงการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบปลาหมึกได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

ปลาหมึกขนาดกลางซื้อจากตลาดสดในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่ผ่านการลอกหนังออกก่อนนำไปต้ม แล้วนำมาหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995)

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 เครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ โดยใช้พลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน ตัวเครื่องอบแห้งมีขนาด $55 \times 55 \times 55 \text{ cm}^3$ บริเวณห้องอบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมทำด้วยเหล็ก มีการควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ซึ่งมีค่าความถูกต้อง $\pm 1^\circ\text{C}$ โดยมีเทอร์มิสเตอร์เป็นตัว sensor ต่อกับกล่องควบคุมอุณหภูมิ

- ถาดที่ใช้ในห้องอบมีขนาด $30 \times 32 \times 2 \text{ cm}^2$ จำนวน 1

ถาด

- ด้านในห้องอบมีหลอดอินฟราเรดขนาดหลอดละ 500 W จำนวน 4 หลอด

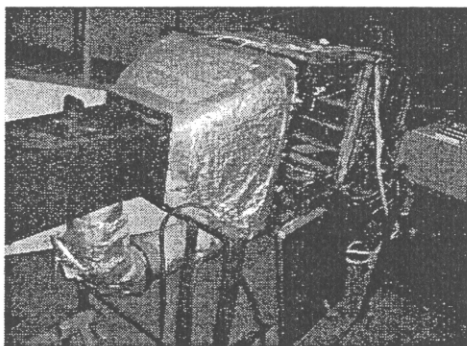
- เครื่องทำความร้อนขนาดตัวละ 1000 W จำนวน 6 ตัว

- บริเวณส่วนหัวของตู้อบมีเครื่องเป่าลม ขนาด 1 แรงม้า ให้ความเร็วลม 1.0–1.2 m/s จำนวน 1 ตัว

2.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ A&D รุ่น GF 3000 ค่าความละเอียด $\pm 0.1 \text{ g}$.

2.2.3 เครื่องวัดยี่ห้อ Supcon ความละเอียด $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ต่อกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ใช้ในการวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.2.4 เวอร์เนีย นาฬิกาจับเวลา มีดและเขียง



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรด และพลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน

2.3 วิธีการทดลอง แบ่งเป็น 4 ส่วน

2.3.1 การเตรียมปลาหมึก

นำปลาหมึกที่หาซื้อได้ตามตลาดสด ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่มีความชื้นเริ่มต้น 445 % dry basis (มาตรฐานแห้ง) ซึ่งหาได้ด้วยวิธี AOAC (1995) นำมาล้างทำความสะอาดโดยลอกหนังออก ดึงส่วนหัวและลำภายในตัวปลาหมึกให้สะอาด แล้วนำปลาหมึกไปต้มในน้ำสะอาดที่เดือด เป็นเวลาประมาณ 2-3 นาที เมื่อต้มเสร็จก็ให้เย็นแล้วนำมาผ่าตัวปลาหมึก เพื่อนำมาจัดเรียงในถาดอบเป็นแผ่นแบน

2.3.2 การอบแห้ง

ภายหลังการจัดเรียงปลาหมึกลงบนถาดอบเรียบร้อยแล้ว จึงนำถาดปลาหมึกเข้าห้องอบ เตรียมการจดบันทึกค่าต่าง ๆ เตรียมจับเวลาโดยแบ่งเวลาการบันทึกค่าตั้งแต่ 0 นาที 10 นาที 3 ครั้ง 30 นาที 1 ครั้ง และ

หลังจากนั้นบันทึกค่าทุก 1 ชั่วโมง จนกว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปลาหมึกมีค่าใกล้เคียงกับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้คำนวณไว้ของแต่ละเล็งการทดลอง โดยแบ่งการอบเป็น 2 สถานะ คือ

สถานะที่ 1 อบแห้งปลาหมึกโดยใช้รังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 70°C , 80°C และ 90°C ที่กำลัง 1000 W

สถานะที่ 2 อบแห้งปลาหมึกโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C และ 90°C และความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 1.0-1.2 m/s ที่กำลัง 1000 W

2.3.3 การหาค่าจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้น

จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาหมึก

สามารถคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio) ได้จากสมการดังนี้

$$MR = \frac{M}{M_{in}}$$

2.3.4 การคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ SEC (MJ/kg water evap.) ที่ใช้ในการอบแห้งปลาหมึก นำข้อมูลที่ได้จากทดลองคือ ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้าย และปริมาณการใช้พลังงานตลอดกระบวนการทดลอง เพื่อนำมาคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งปลาหมึกตามสมการดังนี้

$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_{in} - m_f}$$

เมื่อ M_{in} คือ มวลของวัสดุก่อนอบแห้ง (กิโลกรัม),

M_f คือ มวลของวัสดุหลังอบแห้ง (กิโลกรัม)

E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

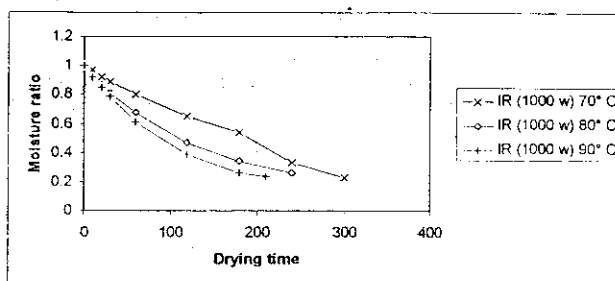
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาหมึก

3.1.1 การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 70°C , 80°C และ 90°C ใช้รังสีอินฟราเรด 1000 W มีแนวโน้มของการลดลงของความชื้นที่เวลาต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2

ในภาพที่ 2 แสดงถึงความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราส่วนความชื้นของปลาหมึกกับเวลาการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดขนาด 500 W 2 หลอด สามอุณหภูมิ พบว่าในการอบแห้งปลาหมึกที่อุณหภูมิ 90°C มีการใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 3 ชั่วโมง 30 นาที และที่อุณหภูมิ 80°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยเป็นลำดับที่สองคือ 4 ชั่วโมง ส่วนที่อุณหภูมิ 70°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งมากที่สุดคือ 5 ชั่วโมง

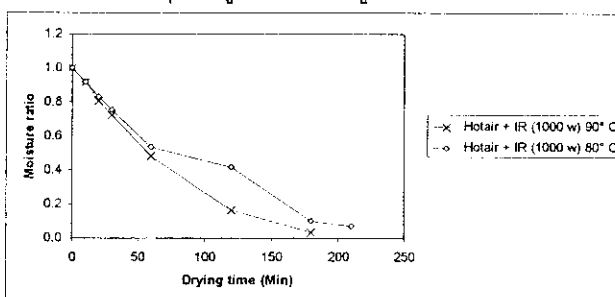


รูปที่ 2 อัตราส่วนความชื้นของปลาหมึกกับเวลาในการอบแห้งของการอบแห้งปลาหมึกด้วยกำลังรังสีอินฟราเรด 1000 W

3.1.2 การอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด (กำลังรังสีอินฟราเรด 1000 W) ร่วมกับลมร้อน อุณหภูมิอบแห้ง 80°C และ 90°C มีแนวโน้มของการลดลงของความชื้นที่เวลาต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3

ในรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราส่วนความชื้นของปลาหมึกกับเวลาการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยใช้หลอดรังสีอินฟราเรดขนาด 500 W 2 หลอด ใช้พัดลมเป่าลมความเร็วลมที่ 1.0–1.2 m/s และใช้เครื่องทำความร้อนกำลัง 1000 W จำนวน 6 ตัว ทำการทดลองสองอุณหภูมิ พบว่าในการอบแห้งปลาหมึกที่อุณหภูมิ 90°C มีการใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 3 ชั่วโมง ส่วนที่อุณหภูมิ 80°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งมากกว่าการอบที่อุณหภูมิ 90°C อยู่ 30 นาที

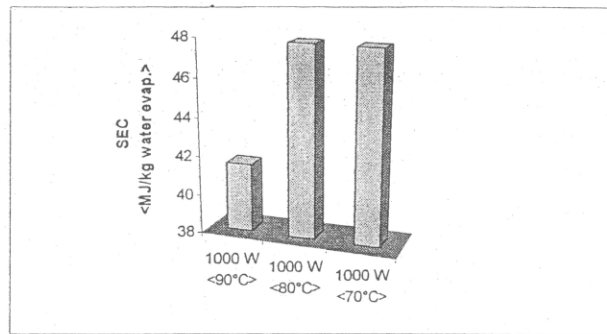


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นของปลาหมึกกับเวลาการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

3.2.1 การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

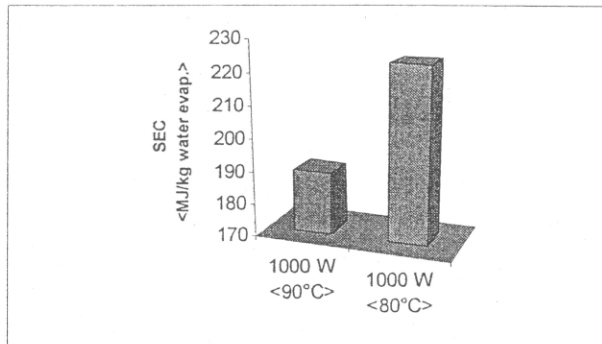
ในภาพที่ 4 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดขนาด 500 W 2 หลอด สามอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 90°C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ 41.538 MJ/kg water evap. ซึ่งเป็นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่น้อยที่สุด ในการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรด และที่อุณหภูมิ 70°C และ 80°C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ 47.787 MJ/kg water evap.



รูปที่ 4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งปลาหมึกด้วยกำลังรังสีอินฟราเรด 1000 W

3.2.2 การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

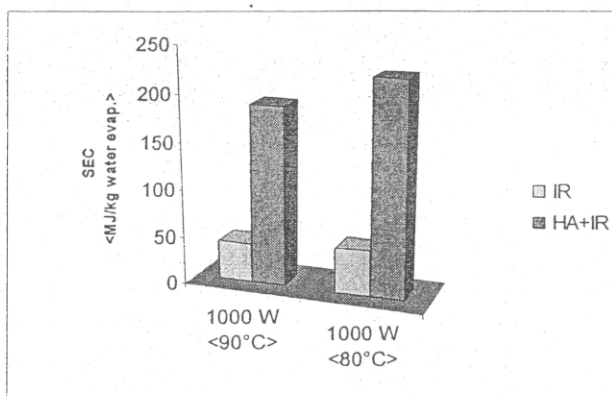
ในรูปที่ 5 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยหลอดรังสีอินฟราเรดขนาด 500 W 2 หลอด พัดลมเป่าลมความเร็วลมที่ 1.0–1.2 m/s และใช้เครื่องทำความร้อนกำลัง 1000 W จำนวน 6 ตัว ทำการทดลองสองอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิ 90°C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ 189 MJ/kg water evap. ซึ่งเป็นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่น้อยที่สุดในการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และที่อุณหภูมิ 80°C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ 223.783 MJ/kg water evap.



รูปที่ 5 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

3.2.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

จากรูปที่ 6 พบว่าการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน



รูปที่ 6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดและการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

4. สรุปผลการทดลอง

1. การทดลองวิจัยอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรด

ร่วมกับลมร้อน ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดอย่างเดียว

2. ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียวมี

การสิ้นเปลืองพลังงานที่น้อยกว่าการอบแห้งปลาหมึกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ รศ.ดร.สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล ผศ.ดร.ยุพนา ฐิระวณิชกุล คณะฟิสิกส์ภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

6. เอกสารอ้างอิง

1. AOAC. 1995. Official Method of Analysis. 16th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington Virginia, USA.
2. Chu, K.J. and Chou, S.K. 2003. Lowre-Cost Drying Methods of Developing Countries. Food Science & Technology, 14:519-528
3. Isengard, H.D. 1995. Rapid Water Determination in Foodstuffs, Food Science & Technology, 6:155-162

การอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ Pandanus Drying with Hot Air and Combined Hot Air-Solar Energy

จุไรรัตน์ สุริยงค์¹ สุสุวรรณ ภูริระณชัยกุล² และยุทธนา ภูริระณชัยกุล³

¹โรงเรียนสันติสุข อ.ดอยหล่อ จ.เชียงใหม่ 50160

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ 90112 จ.สงขลา

³ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ 90112 จ.สงขลา

E-mail: jurairat_19@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ ทำการอบแห้งด้วยลมร้อน อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 40-60 °C และลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอบแห้งที่ 50 และ 60 °C ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของใบเตยอยู่ในช่วง 705-756% มาตรฐานแห้ง (d.b.) และ 8-15% d.b. ตามลำดับ ความเร็วลมร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 ± 0.1 m/s จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนจะมีอัตราการอบแห้งที่ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอัตราการลดลงของความชื้นของใบเตยมีความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียลกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและสัมพันธ์กับอุณหภูมิและการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน เพียงอย่างเดียวซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 3.9-11.5 MJ/kg ของน้ำที่ระเหย โดยที่คุณภาพทางกายภาพที่สังเกตด้วยตา พบว่าใบเตยที่อบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 40-60 °C ในการทดลองนี้ มีคุณภาพทางกายภาพมีลักษณะไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: ลมร้อน/ใบเตย/พลังงานแสงอาทิตย์/อบแห้ง

Abstract

This research aims are to study drying rate of pandanus leaf drying using hot air drying and combined hot air and solar drying and their energy consumption. The hot air drying was tested by using drying temperatures of 40-60°C and drying with combined hot air and solar energy was run under the condition of drying temperatures of 50-60°C. The initial moisture content and final moisture content of this work was varied between 705 and 756% d.b, and 8 and 15% d.b, respectively. An average hot air speed was set at 0.5 ± 0.1 m/s. The results found that hot air drying rate of pandanus was lower than drying with combined hot air and solar energy. The moisture reduction rate was exponential related to drying temperature and temperature. The specific energy consumption of combined hot air and solar energy that was lower than the drying with hot air, which is in the range of 3.9-11.5 MJ/kg of water evaporated. For visual observation, the dried pandanus with temperature of 40-60°C in this works was not much different.

Keywords; Hot air/ pandanus leaf / solar energy / drying

1. บทนำ

ใบเตยเป็นพืชที่นำมาปรุงอาหารได้ทั้งอาหารคาวและหวาน มีกลิ่นหอมเป็นพิเศษ มีคุณค่าทางโภชนาการและทางสมุนไพร ส่วนที่ใช้เป็นยา ได้แก่ ใบ ซึ่งมีรสหวานหอมเย็น บำรุงหัวใจ ขับพิษไข้และช่วยลดน้ำตาลในเลือด เนื่องจากใบเตยเป็นวัตถุดิบที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นและมีขนาดใหญ่ เมื่อนำไปหั่นให้มีขนาดเล็ก ตากแดดให้แห้งจะยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน แต่การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ขั้นตอนดังกล่าวเกิดปัญหาขึ้นมา 2 ประการหลัก คือ 1) การปนเปื้อนจากฝุ่นละออง สิ่งสกปรกเนื่องจากกรรมวิธีและสถานที่สำหรับใช้ในการตากแห้ง รวมทั้งเกิดการรบกวนจากสัตว์เลื้อย ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสะอาดไม่เพียงพอ 2) ระยะเวลาในการตากแห้ง อาจต้องใช้ระยะเวลานานมากขึ้น เนื่องจากปริมาณแสงแดดในแต่ละวันมีความไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีออกน้ำตาลดำและไม่มีกลิ่นหอม ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น ได้มีการเลือกใช้วิทยุการและเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้กระบวนการอบแห้ง เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการในการเลือกใช้และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการผลิต โดยยังคงคุณภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์[1]

การอบแห้งโดยการใช้พลังงานความร้อนร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้า ถือเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นการใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งพลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานที่ได้เปล่า สะอาดและปราศจากมลภาวะให้เป็นประโยชน์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการจัดการและการพัฒนาเทคโนโลยีให้มีความเหมาะสมและคุ้มค่าในการนำมาใช้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมาตรฐาน ดังที่วารัดนาและคณะ (2551) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งกึ่งโดยใช้พลังงานความร้อนร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้า กับการทดลองอบแห้งกึ่งโดยใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว สามารถประหยัดพลังงานได้ 38.1 % [2]

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพของใบเตยและค่าความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะที่ใช้

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ใบเตยขนาด 0.5 cm จำนวน 200 กรัมต่อ 1 ถาด ใช้ทั้งหมด 3 ถาด หาคความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) [3]

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 เครื่องอบแห้ง แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมาโดยมีแหล่งพลังงานความร้อน 3 แหล่ง คือ พลังงานความร้อนจากเครื่องทำความร้อน พลังงานความร้อนจากหลอดอินฟราเรด และพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยมีรายละเอียดของเครื่องอบแห้งดังนี้

(1) ห้องอบแห้งมีปริมาตร $60 \times 80 \times 158.5 \text{ cm}^3$ ภายในบุฉนวนใยแก้วหนา 5 cm

(2) เครื่องทำความร้อนไฟฟ้าขนาด 1000 W 10 ตัว

(3) แท่งรังสีอินฟราเรดขนาด 500W จำนวน 3 แท่ง วางในแนวนอนกับถาดอบแห้งและห่างจากวัสดุอบแห้ง 0.12 m

(4) แผงรับความร้อนทำด้วยแผ่นสังกะสีทาสีดำ เพื่อช่วยในการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ ขนาด $32.5 \times 133 \times 240$ cm³ ด้านบนปิดด้วยพลาสติกใส ผนังด้านนอกทำด้วยสังกะสี ภายในบุด้วยฉนวนที่ทำด้วยโพลีเอทิลีนหนา 1 cm เมื่อประกอบเข้ากับตัวเครื่องอบแห้ง วางทำมุมเอียง 14 องศา กับแนวระดับ

(5) ถาดอบแห้งสแตนเลสมีขนาด $44 \times 70 \times 5$ cm³ จำนวน 3 ถาด โดยถาดที่ 1 จากด้านล่าง (3C) ถาดที่ 2 (3B) และ ถาดที่ 3 (3A) ดังรูปที่ 1

(6) พัดลม มีใบพัดแบบโค้งหน้าขนาด 1 hp จำนวน 1 ตัว

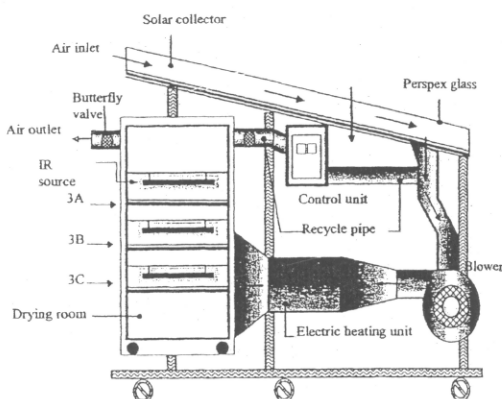
(7) ท่ออากาศไหลกลับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm จำนวน 2 ท่อ

2.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ A&D รุ่น GF 3000 ค่าความละเอียด ± 0.1 g

2.2.3 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ SUPCON ความละเอียด $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ต่อกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.2.4 ตู้อบ ยี่ห้อ Memmert สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง $30\text{--}200^\circ\text{C}$

2.2.5 เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-45 ความละเอียด ± 0.01 m/s



รูปที่ 1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งกึ่งแบบพลังงานความร้อนร่วม (ลมร้อน แสงอาทิตย์ และรังสีอินฟราเรด)

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมใบเตย

ล้างใบเตยให้สะอาด ใช้ขนาด 0.5 cm นำไปใส่ถาด ถาดละ 200 g เกือบให้ทั่วถาด

2.3.2 การทดลองอบแห้งใบเตย

(1) หลังจากเตรียมใบเตยเรียบร้อยแล้ว นำใบเตยส่วนหนึ่งไปหาค่าความชื้นเริ่มต้น ประมาณ ถ้วยละ 10 g จำนวน 2 ถ้วยอบแห้งที่อุณหภูมิ 103°C (72-96 ชม.) ส่วนใบเตยที่นำไปใส่ถาด 3 ถาด นำใบเตยมาทำการทดลองอบแห้ง โดยมีสภาวะดังนี้

- สภาวะที่ 1 การอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนจากเครื่องทำความร้อนอย่างเดียวใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 40 50 และ 60°C

- สภาวะที่ 2 อบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 50 และ 60°C

ทั้งสองสภาวะ ทดลองอบทั้งหมด 3 ถาดและความเร็วลมเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้ง 0.5 ± 0.1 m/s

(2) บันทึกผลการทดลอง ได้แก่ น้ำหนัก อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง และอุณหภูมิอบแห้งภายในตู้อบแห้ง

(3) บันทึกปริมาณพลังงานที่ใช้ด้วย Watt-hour meter

(4) หาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) [3]

2.3.3 การทดสอบคุณภาพใบเตยแห้ง

ทำการทดสอบคุณภาพโดยใช้ประสาทสัมผัส เพื่อสี กลิ่น รสชาติ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ใบเตย นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองคือ ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้าย พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดในแต่ละ สภาวะ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ตามสมการ (1)

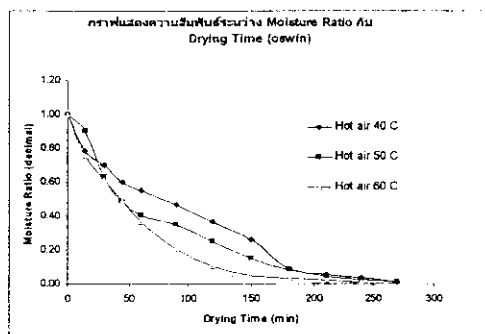
$$SEC = \frac{3.6P}{(M_i - M_f) * W_d}$$

P	คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ เมื่อ	(กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
M_i	คือ ความชื้นเริ่มต้นของตะไคร้	
M_f	คือ ความชื้นสุดท้ายของตะไคร้	
W_d	คือ น้ำหนักแห้ง (กิโลกรัม)	

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตย

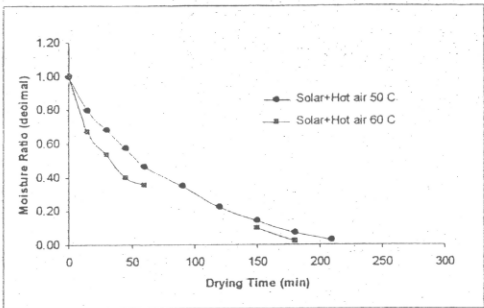
จากผลการทดลองการอบแห้งใบเตย โดยการใช้สภาวะการอบแห้งรูปแบบต่างๆ และคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นที่ เวลาต่าง ๆ ดังสมการที่ (2) และผลการทดลองแสดงรูปที่ 2-3



รูปที่ 2 อัตราส่วนความชื้นของใบเตย อุณหภูมิอบแห้งช่วง 40-60°C ความชื้นเริ่มต้น 705-756% dry-basis ความเร็วลมเฉลี่ย 0.5 m/s

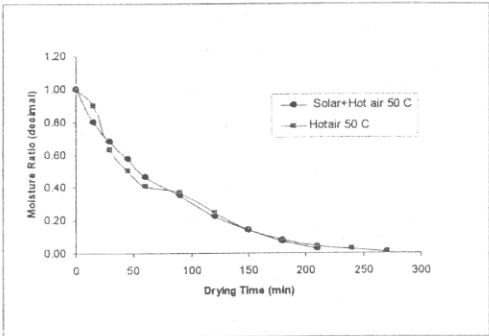
$$MR = \text{Moisture ratio} = \frac{M}{M_{in}} \quad (2)$$

เมื่อ M, M_{in} คือ ค่าความชื้นที่เวลา t ไต ๆ และความชื้นเริ่มต้น (เศษส่วนมาตรฐานแห้ง) ตามลำดับ



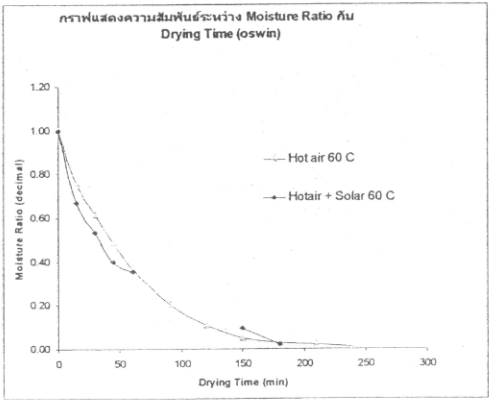
รูปที่ 3 การอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ และอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอบแห้ง 50 และ 60 °C ความชื้นเริ่มต้น 705-756% dry-basis ความเร็วลมเฉลี่ย 0.5 m/s

รูปที่ 2-3 แสดงจลนศาสตร์การอบแห้งใบเตย ความชื้นเริ่มต้นของใบเตยอยู่ในช่วง 705-756% มาตรฐานแห้ง และความชื้นสุดท้ายในช่วง 8-10% มาตรฐานแห้ง พบว่ากรณีการอบแห้งด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์จะให้รูปแบบการอบแห้งในลักษณะเดียวกัน โดยการลดลงของความชื้นมีลักษณะกราฟเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล



รูปที่ 4 การอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนและการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C ความชื้นเริ่มต้น 705-756% dry-basis ความเร็วลมเฉลี่ย 0.5 m/s

3.1.1 ปัจจัยของรูปแบบการอบแห้งต่อการลดความชื้นของใบเตย



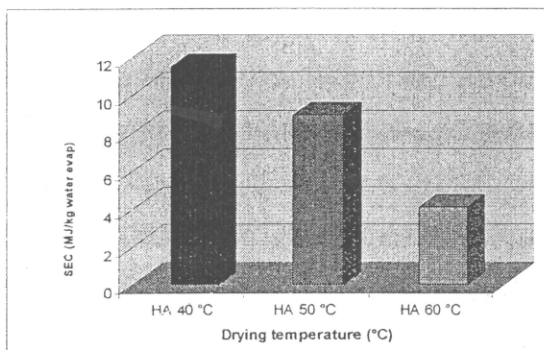
รูปที่ 5 เปรียบเทียบการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนและการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C ความชื้นเริ่มต้น 705-756% dry-basis ความเร็วลมเฉลี่ย 0.5 m/s

จากรูปที่ 4 และรูปที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบกระบวนการอบแห้งที่ต่างกัน พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนจะมีอัตราการอบแห้งที่ต่ำกว่าการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาพร้อมกับการแผ่รังสีทำให้น้ำระเหยได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนซึ่งเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาเพียงอย่างเดียว

3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

3.2.1 การอบแห้งด้วยลมร้อน

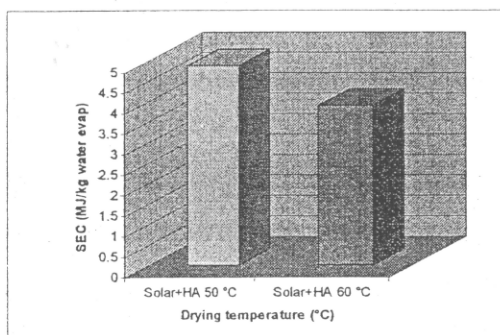
จากรูปที่ 6 เป็นผลการทดลองอบแห้งใบเตยด้วย ลมร้อนที่ 40 50 และ 60 °C พบว่ามีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 11.5 8.92 และ 4.09 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อน

3.2.2 การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 6 เป็นผลการทดลองอบแห้งใบเตยด้วย ลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ 50 และ 60 °C พบว่ามีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 4.87 และ 3.9 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 50 และ 60 °C

เมื่อพิจารณาการอบแห้งใบเตยทั้งสองสภาวะพบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน

3.3 คุณภาพของใบเตย

ผลการทดลองหลังจากพิจารณาสมบัติทางกายภาพโดยใช้ประสาทสัมผัสของใบเตยอบแห้ง พบว่า ใบเตยที่อบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 40-60 °C มีสีเขียวธรรมชาติ เมื่อนำมาชงเป็นชาใบเตยทำให้ได้ชาที่มีกลิ่นธรรมชาติของใบเตย

6. สรุป

1. เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ระยะเวลาการอบแห้งสั้น อัตราการอบแห้งสูงและการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว
2. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งใบเตย พบว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอบแห้งและสภาวะการอบแห้ง โดยเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นลง โดยที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 60 °C จะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งใบเตยน้อยที่สุด
3. จากการตรวจวัดคุณภาพทางกายภาพของใบเตยภายหลังจากอบแห้งด้วยประสาทสัมผัสและประสบการณ์ของผู้ทดลองเอง พบว่าใบเตยที่อบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 40-60 °C ใบเตยอบแห้งมีสีเขียวธรรมชาติ เมื่อนำมาชงเป็นชาใบเตยทำให้ได้ชาที่มีกลิ่นธรรมชาติของใบเตย

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และได้รับความสะดวกด้านสถานที่และการฝึกทำวิจัย ณ สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 338 หน้า.
- [2] วรางคณา ณ พัทลุง สุวรรณ ฐิระวณิชย์กุล และ ยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล. (2551) ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งกึ่งโดยใช้พลังงานความร้อนร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้า : การประชุมเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [3] AOAC, 1995, Official Method of Analysis, 16th ed., The Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia. USA.

การอบแห้งกุ้งด้วยรังสีอินฟราเรด
Shrimp Drying by Infrared Radiation

อาทิตพร แสนจักร¹ สุพวรรณ ฐิระวณิชกุล² ยุทธนา ฐิระวณิชกุล³

โรงเรียนม่วงไข่พิทยาคม อำเภอหนองม่วงไข่ จังหวัดแพร่ 54170

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

³ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

E-mail: kru_khondee@hotmail.com, Supawan.t@psu.ac.th

Arthitiphon Sanjak¹ Supawan Tirawanichakul² Yutthana Tirawanichakul³

Maungkaipittayacom School nongmaungkai, phrae 54170, Thailand

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

³Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: kru_khondee@hotmail.com, Supawan.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการอบแห้งกุ้งด้วยรังสีอินฟราเรดต่อจลนพลศาสตร์ของกุ้งแห้ง และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง โดยทำการทดลองอบแห้งกุ้ง ขนาด 450 ตัวต่อกิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้น 320% มาตรฐานแห้ง และอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 20% มาตรฐานแห้ง โดยเลือกใช้กำลังของรังสีอินฟราเรด 500 วัตต์ และ 1000 วัตต์ ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C, 80°C และ 90°C ผลการทดลอง พบว่า การอบแห้งกุ้งที่ กำลังของรังสีอินฟราเรด 1000 วัตต์ อุณหภูมิ 90°C จะมีอัตราการอบแห้งเร็วที่สุด และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่ำที่สุด เนื่องจากกระบวนการอบแห้งเร็ว โดยมีอัตราการอบแห้งลดลง เป็นฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นอกจากนั้นคุณภาพสังเกตด้วยสายตา พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งแต่ละการทดลอง ขณะที่ร้อยละการหดตัวของกุ้งที่กำลังของรังสีอินฟราเรด 1000 W มีค่าสูงกว่าที่ 500 W ทุกช่วงอุณหภูมิที่ทดลอง

คำสำคัญ; กุ้งแห้ง/ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ/รังสีอินฟราเรด/อบแห้ง

Abstract

The aims of this work were to investigate drying of shrimp by infrared radiation and evaluate the specific energy consumption. The experimental set-up was done by using raw sample with initial moisture content of 320% dry-basis and was dried until final moisture content of 20% dry-basis. Additionally, the drying strategies were followed under the conditions of two different infrared power values of 500 and 1,000 W at drying temperature ranges of 70, 80 and

90°C. The results concluded that the drying rate with temperature of 90°C for shrimp was the fastest drying condition and lowest specific energy consumption. This is because it takes a short period of drying. Additionally the rate of moisture transfer was exponential related to the drying time. Moreover, quality of shrimp in each treatment by visual observation was not much different. While percentage of shrinkage dried shrimp with IR of 1,000 W was higher than the another IR power (500 W) for all drying temperatures.

1. บทนำ

กุ้งแห้ง เป็นอาหารที่รับประทานกันโดยทั่วไป ในการรับประทานนั้นนิยมนำมาประกอบอาหาร โดยการแปรรูปในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ใส่กุ้งแห้งลงในส้มตำ ใส่กุ้งแห้งในแกงจืด แกงเลียง และ ข้าวต้มทรงเครื่อง เป็นต้น

กุ้งแห้งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ประมงที่มีความสำคัญ มีความต้องการสูงทั้งตลาดภายในและภายนอกประเทศ ราคาของกุ้งแห้ง ขึ้นกับคุณภาพ ได้แก่ สี ขนาดและชนิดของกุ้งแห้ง รวมทั้งความชื้นของกุ้งแห้ง

กระบวนการผลิตกุ้งแห้งโดยวิธีตามธรรมชาติ มีวิธีการคือการนำกุ้งมาต้มให้สุกโดยใส่เกลือลงในน้ำเดือด 1 ถ้วยตวงต่อน้ำ 1 หม้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว หรือต้มน้ำเกลือตามพื้นฐานความรู้เดิมของชาวประมง นำกุ้งต้มลงในน้ำเดือด ประมาณ 5-10 นาที จากนั้นนำไปตากให้แห้ง โดยให้เหลือความชื้น 10-25% มาตรฐานแห้ง แล้วจึงทำการแยกเปลือกกุ้งออก คัดขนาดและจำหน่าย พบว่าในกระบวนการผลิตกุ้งแห้ง ขั้นตอนการลดความชื้นของกุ้ง จะมีการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ขั้นตอนดังกล่าวเกิดปัญหาขึ้นสองประการหลัก คือ การปนเปื้อนจากฝุ่นละอองสิ่งสกปรก เนื่องกรรมวิธีและสถานที่สำหรับใช้ในการตากแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสะอาดไม่เพียงพอ และระยะเวลาในการตากแห้งอาจต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น เนื่องจากปริมาณแสงแดดในแต่ละวันมีความไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ในช่วงฤดูฝนก็ยังส่งผลให้เกิดความชื้นในอากาศสูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กุ้งมีความชื้นสูง และเกิดการเน่าเสียเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง

เทคโนโลยีการอบแห้งกุ้งในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งวรางคนาง ณ พัทลุงและคณะ (2550) ได้ศึกษาการอบแห้งกุ้งโดยใช้เครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนร่วม จากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้า พบว่า ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 150 นาที พลังงานรวม 13 kW-hr มีอัตราการอบแห้ง 0.618 kg-water/hr ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 30.283 MJ/kg-water ทำให้ได้กุ้งแห้งที่อบแห้งแล้วมีคุณภาพดี

Tirawanichakul และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาอบแห้งกุ้งด้วยลมร้อน และลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด พบว่า การอบแห้งกุ้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสมเป็นแบบจำลองของ Page และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของกุ้งมีค่าที่กำลัง 10^6 และการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนร่วม จะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว ในการอบแห้งกุ้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะช่วยเพิ่มความแดงของกุ้งแห้ง โดยที่คุณภาพของกุ้งแห้งที่ได้ ได้แก่ ร้อยละการหดตัวและคืนตัวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ

Meeso และคณะ (2004) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับกระบวนการฟลูตโตเซชัน และกระบวนการเทมเปอร์ในการลดความชื้นและคุณภาพหลังผ่านกระบวนการ

โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นของแสง 0.312 , 0.707 วัดต่อตารางเมตร เวลาในการฟลูไดเซชันที่ 1 , 1.5 , 2 นาที จากการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกหลังผ่านการอบโดยกระบวนการฟลูไดเซชันจะไม่ต่ำกว่าร้อยละ 23 มาตรฐานแห้ง แต่เมื่อใช้ร่วมกับรังสีอินฟราเรดปริมาณความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 21 มาตรฐานแห้ง โดยที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อข้าวเปลือก และกระบวนการเทมเปอร์ยังคงมีความสำคัญอยู่ เพื่อที่จะให้ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่ยังคงสูง

Abe and Afzal (1997) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้แสงอินฟราเรด ซึ่งทำการทดลองและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธิบายการอบแห้ง โดยทำการศึกษาที่ความเข้มข้นแสง 0.167, 0.333, 0.500 และ 0.625 วัดต่อตารางเมตร ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25, 35 และ 47 มาตรฐานแห้ง ความเร็วของอากาศอบแห้ง 0.3, 0.5 และ 0.7 เมตรต่อวินาที จากผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นแสงสูง ความเร็วอากาศสูง และความชื้นเริ่มต้นต่ำสามารถลดความชื้นได้มาก และสมการ Page สามารถใช้อธิบายการอบแห้งข้าวเปลือกชั้นบางโดยใช้แสงอินฟราเรดได้ดีที่สุด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดในช่วงอุณหภูมิ 40-70°C ตลอดจนคุณภาพทางกายภาพของกุ้งแห้ง

3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ

กุ้งสำหรับทดลอง

ใช้กุ้งดาแะขนาด 450 ตัวต่อกิโลกรัม ชื้อจากตลาดในตัวอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

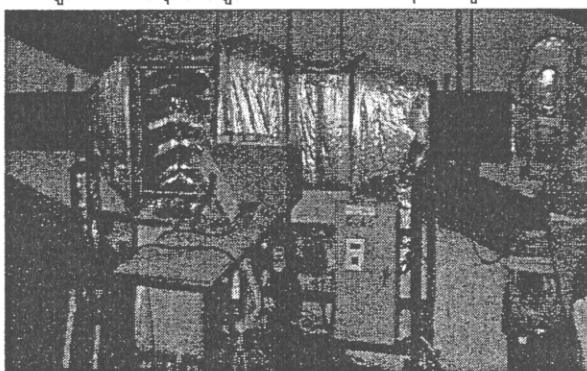
3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้รังสีอินฟราเรด เป็นแหล่งพลังงานดังรูปที่ 1 ห้องอบแห้งเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 52×52×50 เซนติเมตร³ มีหลอดอินฟราเรดเป็นแหล่งพลังงาน ช่วงความยาวคลื่น 0.7 ไมโครเมตรถึง 80 ไมโครเมตรมีขนาด 500 วัตต์ จำนวน 4 หลอด มีเทอร์มิสเตอร์เป็นตัว sensor สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 30–200°C ความละเอียด $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$

3.2.2 ถาดที่ใช้อบแห้งมีขนาด 30×32×2 cm³

3.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ A&D รุ่น 3000 ความละเอียด ± 1.0 กรัม

3.2.4 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ SUPCON ค่าความละเอียด $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ ต่อกับเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิกระเปาะเปียก



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งด้วยใช้เครื่องทำความร้อนแบบรังสีอินฟราเรด

3.3 วิธีการทดลอง

- (1) การเตรียมกุ้งสุกโดยต้มกุ้งในน้ำเกลือความเข้มข้น 3% ที่น้ำหนักระยะเวลา 5 นาที อุณหภูมิ 100°C
- (2) นำกุ้งสุกจากข้อ (1) อบแห้งด้วยสภาวะดังนี้
 - สภาวะที่ 1 อบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรด ที่กำลังไฟฟ้า 1000 วัตต์
 - สภาวะที่ 2 อบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรด ที่กำลังไฟฟ้า 1000 วัตต์

โดยกำหนดอุณหภูมิอบแห้งภายในตู้อบที่ตัวควบคุมในการอบแห้งแต่ละสภาวะ คือ 70°C, 80°C และ 90°C เปรียบเทียบผลการทดลองอบแห้งทั้งสองสภาวะ

- (3) บันทึกผลการทดลองได้แก่ น้ำหนัก อุณหภูมิภายในตู้อบ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิประเปาะเปียก และ ขนาดของกุ้งก่อนและหลังอบแห้ง

- (4) หาความชื้นมาตรฐาน AOAC (1995) ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้าย

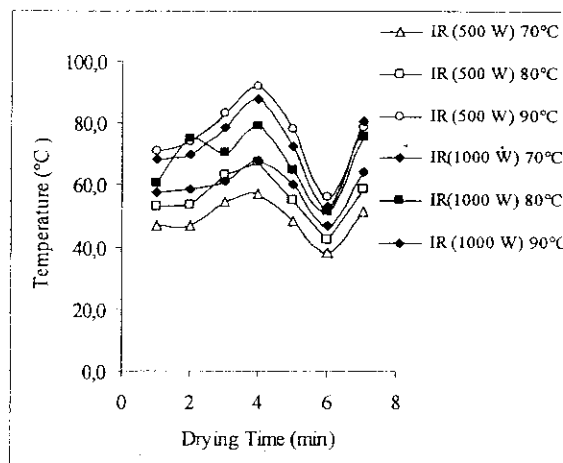
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล แบ่งออกเป็น

- (4.1) ผลการทดลองศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งกุ้ง
- (4.2) วิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งกุ้ง
- (4.3) หาร้อยละการหดตัวของกุ้งแห้ง

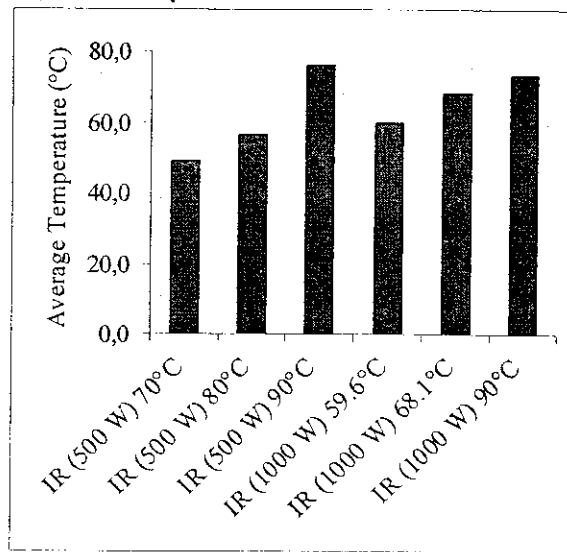
4.1 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกุ้ง

จากการทดลองอบแห้งกุ้งที่สภาวะ IR (1000 W) 70°C, IR (1000 W) 80°C, IR (1000 W) 90°C, IR (500 W) 70°C, IR (500 W) 80°C และ IR (500 W) 90°C ความชื้นเริ่มต้นเป็น 320 % มาตรฐานแห้ง จนได้ความชื้นสุดท้ายเป็น 20% มาตรฐานแห้ง

จากผลการทดลองแสดงการกระจายของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ ตั้งเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง



รูปที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ

พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ได้แต่ละจุดคือ ที่กำลังรังสีอินฟราเรด 1000 W 70°C ได้อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 59.69°C ที่กำลังรังสีอินฟราเรด 1000 W 80°C ได้อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 68.14°C ที่กำลังรังสีอินฟราเรด 1000 W 90°C ได้อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 73.01°C ที่กำลังรังสีอินฟราเรด 500 W 70°C ได้อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 49.2°C ที่กำลังรังสีอินฟราเรด 500 W 80°C ได้อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 56.2°C ที่กำลังรังสีอินฟราเรด 500 W 90°C ได้อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 76.1°C

ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งกุ้งไม่เท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ที่ตัวควบคุมอุณหภูมิ และในที่นี้ได้รายงานค่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งจริงตามสภาวะต่าง ๆ ข้างต้น และจากผลการศึกษา จลนพลศาสตร์การอบแห้งกุ้ง สามารถคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งกุ้งที่เวลาต่าง ๆ ตามสมการ

$$MR = \frac{M}{M_{in}} \quad (1)$$

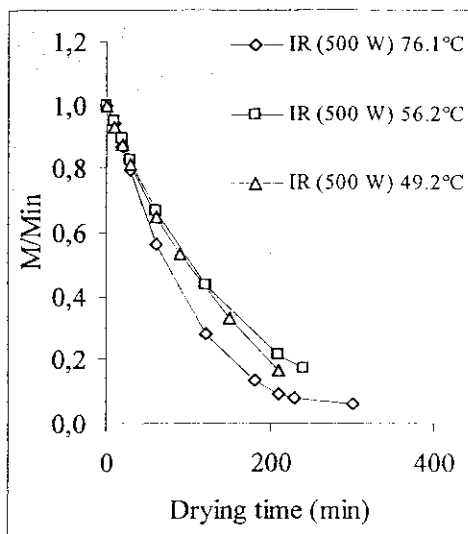
โดยที่

MR คือ อัตราส่วนความชื้น

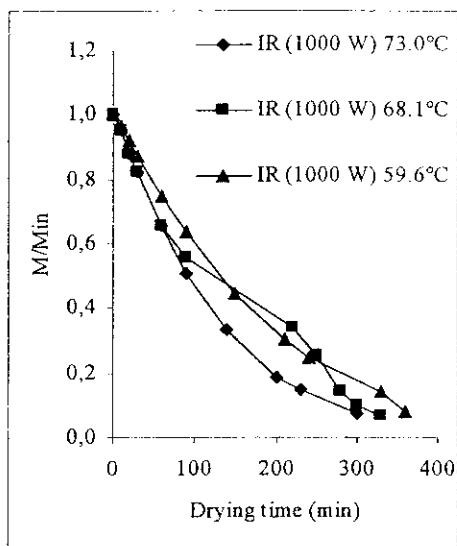
M คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น

จากผลการทดลองหาอัตราส่วนความชื้นเริ่มต้นจากรูปที่ 4 (ก) และ (ข) พบว่า ที่กำลังของรังสีอินฟราเรด 500 W และ 1000 W เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงขึ้น อัตราส่วนความชื้นของกุ้งจะลดลงมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ



(ก) กำลังของรังสีอินฟราเรด 500 W



(ข) กำลังของรังสีอินฟราเรด 1000 W

รูปที่ 4 อัตราส่วนความชื้นของของกึ่งที่เวลาต่าง ๆ กำลังของรังสีอินฟราเรด 500 W และ 1000 W
ความชื้นเริ่มต้น 320% มาตรฐานแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 56-76°C

4.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumptions, SEC) ที่ใช้ในการอบแห้ง

จากข้อมูลการทดลองมวลของกึ่งก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด คำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumptions, SEC) ตามสมการ ที่ (2) ดังนี้

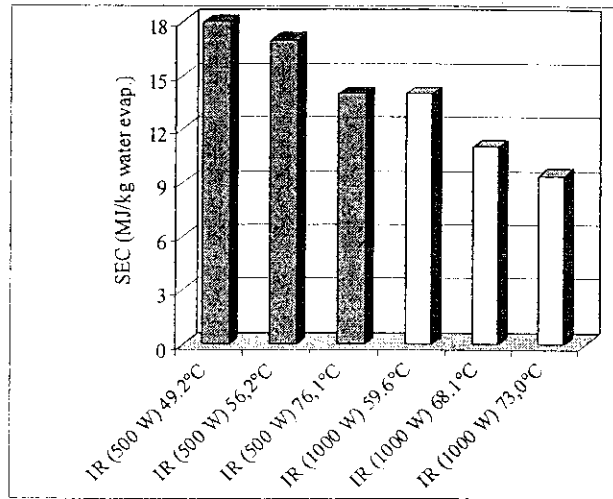
$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_{in} - m_f} \quad (2)$$

โดยที่

m_d คือ มวลของวัสดุก่อนอบแห้ง (กิโลกรัม),

m_f คือ มวลของวัสดุหลังอบแห้ง (กิโลกรัม)

E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)



รูปที่ 5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกึ่งกำลังของรังสีอินฟราเรด 500 วัตต์และ 1000 วัตต์ ความชื้นเริ่มต้น 320% มาตรฐานแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 56-76°C

จากรูปที่ 5 พบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกึ่งเมื่ออบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่กำลังของรังสีอินฟราเรด 500 วัตต์ และ 1000 วัตต์ พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งกึ่งสั้นลง

และเมื่อเปรียบเทียบที่กำลังของรังสีอินฟราเรด 500 วัตต์และ 1000 วัตต์ พบว่าเมื่อใช้กำลังของรังสีอินฟราเรด เพิ่มขึ้นจาก 500 วัตต์ เป็น 1000 วัตต์ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน อธิบายได้ว่า เมื่อกำลังของรังสีอินฟราเรดที่เพิ่มขึ้น พลังงานที่ตกกระทบบนวัสดุต่อหน่วยพื้นที่เนื่องจากรังสีอินฟราเรดจะมีค่าเพิ่มขึ้นผลต่ออัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นอัตราการถ่ายโอนน้ำออกจากวัสดุยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ดังนั้นค่าพลังงานจึงลดต่ำลง

4.4 การหาร้อยละการหดตัวของกึ่งแห้ง

จากข้อมูลการทดลองการวัดขนาดของกึ่งก่อนอบแห้ง และหลังอบแห้ง คำนวณหาร้อยละการหดตัวของกึ่งได้ตามสมการที่ (3) ดังนี้

$$\text{ร้อยละการหดตัว} = \frac{100 \times A}{B} \quad (3)$$

โดยที่

A คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกึ่งที่วัดได้หลังอบแห้ง (cm)

B คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกึ่งที่วัดได้ก่อนอบแห้ง (cm)

ตารางที่ 1 ร้อยละการหดตัวของกึ่ง กำลังของรังสีอินฟราเรด
1000 W และ 500 W อุณหภูมิอบแห้ง 56-76°C

สภาวะในการ อบแห้ง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm.)		% การหดตัว
	ก่อนอบแห้ง	ก่อนอบแห้ง	
รังสีอินฟราเรด 500 W			
59.6°C	1.647	1.358	85.45
68.1°C	1.785	1.486	83.25
73.0°C	1.505	1.171	77.81
รังสีอินฟราเรด 1000 W			
49.2°C	1.7040	1.260	72.41
56.2°C	1.780	1.244	69.89
76.1°C	1.593	1.157	72.63

จากตารางที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกึ่งหลังการอบแห้งที่กำลังของรังสีอินฟราเรด 1000 W จะมีการหดตัวได้ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยกำลังของรังสีอินฟราเรด 500 W และกรณีการอบแห้งที่กำลังของรังสีอินฟราเรด 500 W พบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นร้อยละการหดตัวของกึ่งจะลดลง แต่กรณีการอบแห้งที่กำลังของรังสีอินฟราเรด 1000 W พบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น พบว่าร้อยละการหดตัวของกึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

5. สรุปผลการทดลอง

- 1) จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกึ่ง พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงขึ้น อัตราส่วนความชื้นของกึ่งจะลดลง มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำและลักษณะการลดลงของความชื้นเป็นแบบเอกโปเนนเชียล
- 2) ร้อยละการหดตัวของกึ่งจะลดลง เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น กรณีการอบแห้งที่กำลังของรังสีอินฟราเรด 500 W และกรณีการอบแห้งที่กำลังของรังสีอินฟราเรด 1000 W พบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น พบว่าร้อยละการหดตัวของกึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน
- 3) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งกึ่งพบว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นลง โดยสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งกึ่งด้วยรังสีอินฟราเรดที่กำลัง 1000 W ที่อุณหภูมิ 73.0°C จะมีค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งกึ่งน้อยที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการครุวิจัย สำนักงานสนับสนุนกองทุนการวิจัย (สกว.) ได้รับความสะดวกด้านสถานที่และการฝึกทำวิจัย สถาบันวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณนางสาวจุฑารัตน์ ทะสระ และนางสาววรางคนาง ณ พัทลุง นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ช่วยเหลือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- 1) วรางคนาง ณ พัทลุง สุวรรณ ภิระวณิชกุล และยุทธนา ภิระวณิชกุล. 2551. แนวทางการอบแห้งกั๋งด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6 8-9 พฤษภาคม 2551, สงขลา.
- 2) สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 338 หน้า.
- 3) Abe, T. and Afzal, T.M. 1997. Thin-Layer Infrared Radiation Drying of Rough Rice. Agric. Eng Res. 67:289-297.
- 4) AOAC. 1995. Official Method of Analysis. 16th ed. The Association of Official Analytical Chemists. Arlington. Virginia. USA.
- 5) Meeso, N. and Nathakaranakule, A. 2004. Influence of FIR Irradiation on Paddy Moisture Reduction and Milling Quality after Fluidized Bed Drying. Food Engineering. 65:293-301.
- 6) Tirawanichakul, S., Na Phattalung, W. and Tirawanichakul, Y., 2008. Drying Strategy of Shrimp using Hot Air Convection and Hybrid Infrared Radiation/Hot Air Convection, Walailak J. Sci&Tech. 5(1):77-100.

การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด

Chicken Drying using Hot Air and Infrared Radiation

กุลศิริราณี ศักดิษฐานนท์¹ สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล² ยุทธนา ฐิระวณิชกุล³

¹โรงเรียนอนุบาลวัดพระพุทธรบาท สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสระบุรีเขต 1 จ.สระบุรี 18120

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

³ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

E-mail: Supawan.t@psu.ac.th

Kullsiranee Sakdistanond¹ Supawan Tirawanichakul² Yutthana Tirawanichakul³

¹Anubanwatphaphuttabath Shool Saraburi Province 18120

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

³Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: Supawan.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาการอบแห้งเนื้อไก่ ด้วยลมร้อน และรังสีอินฟราเรดโดยศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและความเข้มของรังสีอินฟราเรดต่อการลดความชื้นไก่อบแห้งค่าความชื้นเริ่มต้นของเนื้อไก่อยู่ในช่วง 274% มาตรฐานแห้ง หลังผ่านการอบแห้งจะมีความชื้นสุดท้ายของเนื้อไก่อยู่ในช่วง 40% มาตรฐานแห้ง ความเร็วของลมร้อนที่เลือกใช้มีค่าเฉลี่ย 1.0 ± 0.2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอบแห้งคือ 65°C , 80°C และ 90°C และอุณหภูมิอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดคือ 80°C กำลังของรังสีอินฟราเรดคือ 500W, 1000 W และ 1500W ผลการทดลองพบว่าการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยรังสีอินฟราเรดใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 80°C ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งเนื้อไก่ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยรังสีอินฟราเรด มีค่าน้อยที่สุด

คำสำคัญ : การอบแห้ง, ความชื้น, ลมร้อน, รังสีอินฟราเรด, ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

Abstract

The purpose of this study was to evaluate chicken drying using hot air and infrared irradiation. Effects of drying temperatures and Intensity of infrared irradiance on moisture of chicken drying. Initial moisture content was 274% dry-basis while final moisture content was 40% dry-basis. Average Air flow rate was 1.0 ± 0.2 m/s. Drying temperature using hot air was 65°C , 80°C and 90°C and dry temperature using infrared radiation was 80°C . Power of infrared radiation was 500W, 1000 W and 1500W. The results showed that drying rate of infrared irradiance was faster than drying using hot air convection. At the same temperature of 80°C . Considering the specific energy consumption, the results showed that drying rate of infrared radiation was relatively low compared to hot air convection..

Keywords: drying, moisture, hot air, infrared radiation, Specific energy consumption

1. บทนำ

เนื้อไก่จัดเป็นอาหารที่มีความสำคัญเป็นที่ต้องการของตลาดภายในประเทศและภายนอกประเทศ เป็นแหล่งโปรตีนสูง บางครั้งเนื้อไก่ที่ได้จากการผลิตและการบริโภคมีมากเกินความต้องการ จึงจำเป็นต้องมีการถนอมหรือแปรรูปเนื้อไก่เพื่อเก็บรักษาไว้ใช้เป็นส่วนประกอบในการปรุงอาหารและเป็นการเพิ่มคุณค่าให้เนื้อไก่ได้

การอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ถนอมและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและเนื้อสัตว์

โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วจะมีความชื้นลดลง ทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์มีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงและผลิตภัณฑ์ไม่เน่าเสียง่าย เนื่องจากปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการเน่าเสียได้เร็วหรือช้าขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นเป็นองค์ประกอบหลัก [1]

การลดความชื้นของผลิตภัณฑ์สามารถนำเทคนิคการอบแห้งด้วยการใช้พลังงานจากแหล่งต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากชีวมวล คลื่นไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรดและพลังงานจากลมร้อน[2] เป็นต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเสนอ เพื่อทดลองอบแห้งเนื้อไก่โดยเลือกใช้แหล่งพลังงาน 2 แบบ คือ การอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดอินฟราเรด โดยทำการอบแห้งแบบ ขั้นตอนเดียว รวมทั้งทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิอบแห้ง กำลังของการแผ่รังสีอินฟราเรด เวลาในการอบแห้ง และความชื้นที่ลดลงในการอบแห้ง

2. วัตถุประสงค์ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

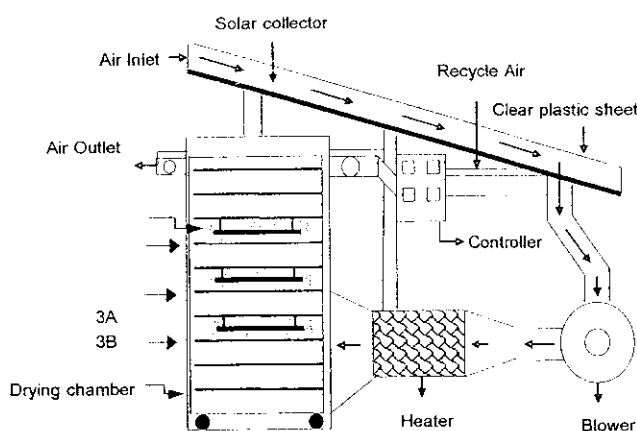
2.1 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลองได้แก่ เนื้อไก่ โดยตัดเนื้อส่วนนอก ซึ่งหมายถึง เนื้อส่วนที่ตัดจากส่วนนอกตั้งแต่ไหล่ถึงส่วนปลายของกระดูกอก (sternum) ขนานตามยาวของกระดูกอก โดยเอากระดูกซี่โครงออก [2] ล้างให้สะอาด หาคความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) [3]

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 เครื่องอบแห้งเนื้อไก่แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมาโดยมีแหล่งพลังงานความร้อน 3 แหล่ง คือ พลังงานความร้อนจากเครื่องทำความร้อน พลังงานความร้อนจากหลอดอินฟราเรด และ พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยมีรายละเอียดของเครื่องอบแห้งดังนี้

- (1) ตู้อบแห้งมีขนาด $55 \times 55 \times 55 \text{ cm}^3$
- (2) ถาดที่ใช้อบแห้งมีขนาด $30 \times 32 \times 2 \text{ cm}^3$ จำนวน 4 ตัว
- (3) เครื่องทำความร้อนขนาดตัวละ 1000 W 6 ตัว
- (4) พัดลมเป่าอากาศ ขนาด 1 แรงม้า จำนวน 1 ตัว
- (5) หลอดอินฟราเรด ขนาดหลอดละ 500 W จำนวน 4 หลอด
- (6) เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ A&D รุ่น GF 3000 ค่าความละเอียด $\pm 0.1 \text{ g}$
- (7) เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ SUPCON ความละเอียด $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ต่อกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิกระเปาะเปียก
- (8) เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-45 ความละเอียด $\pm 0.01 \text{ m/s}$
- (9) เวอร์เนีย



รูปที่ 1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งกึ่งแบบพลังงานความร้อนร่วม (ลมร้อน แสงอาทิตย์ และรังสีอินฟราเรด)

2.3 วิธีการทดลอง แบ่งเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 การเตรียมเนื้อไก่ เนื้อไก่ที่ใช้ในการทดลองเป็นเนื้อบริเวณหน้าอกที่ไม่ได้ทำการหมักเกลือหรือปรุงรส นำมาหั่นให้มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดประมาณ $1.5 \times 6 \text{ cm}^2$ หนาประมาณ 0.3 cm

ส่วนที่ 2 การหาความชื้นเนื้อไก่ ทำโดยนำเนื้อไก่ไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ AOAC, (1995) [2] โดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้งแล้วนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นและอัตราส่วนความชื้นได้ ดังสมการที่ (1) และ (2) และ (3) [4]

การวัดค่าความชื้นโดยตรงโดยวิธี AOAC (The Association of Official Analytical Chemists) โดยการชั่งน้ำหนักวัสดุ (เป็นน้ำหนักเปียก) แล้วนำไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 130°C ประมาณ 3 ชั่วโมง นำไปวางไว้ในเดสสิเคเตอร์ (Desiccator) จนเย็น แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง โดยน้ำหนักของวัสดุที่ผ่านการอบที่อุณหภูมินี้มาแล้วถือว่าเป็นน้ำหนักแห้ง จากนั้นก็สามารถนำไปคำนวณหาความชื้นได้ตามสมการ

$$M_d = \frac{w-d}{d} \quad (1)$$

หรือ

$$M_w = \frac{w-d}{w} \quad (2)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นของวัสดุ, เศษส่วนมาตรแห้ง

M_w คือ ความชื้นของวัสดุ, เศษส่วนมาตรฐานเปียก

d คือ มวลของของแข็ง, กรัม

w คือ มวลของของแข็งและน้ำ, กรัม

การคำนวณอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) สามารถหาได้จากสมการ

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_{in} - M_{eq})} \quad (3)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M_t คือ ความชื้นที่ขณะใดๆ, %มาตรฐานแห้ง

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, %มาตรฐานแห้ง

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, %มาตรฐานแห้ง

ส่วนที่ 3 การทดลองอบแห้งเนื้อไก่

(1) นำไก่มาทำการทดลองอบแห้ง โดยมีสภาวะดังนี้

- สภาวะที่ 1 การอบแห้งไก่ด้วยลมร้อนจากเครื่องทำความร้อนอย่างเดียว โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 65°C , 80°C และ 90°C

- สภาวะที่ 2 อบแห้งไก่ด้วยอินฟราเรดโดยใช้กำลังของรังสีอินฟราเรดเป็น 500W, 1000 W และ 1000 W ใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 80°C

(2) บันทึกผลการทดลอง ได้แก่ น้ำหนัก อุณหภูมิ กระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และอุณหภูมิอบแห้ง ภายในตู้อบแห้ง

(3) บันทึกปริมาณพลังงานที่ใช้ด้วย Watt-hour meter

(4) หาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) [2]

2.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสามารถคำนวณหาจากข้อมูลการทดลองมวลของวัสดุก่อนและหลังอบแห้งได้ตามสมการที่ 4

$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_{in} - m_f} \quad (4)$$

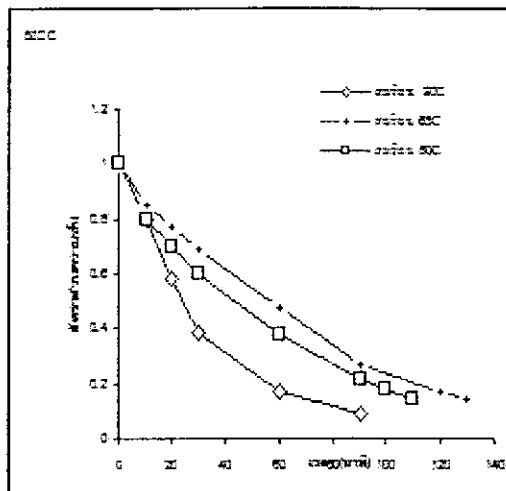
เมื่อ m_{in} คือ มวลของวัสดุก่อนอบแห้ง (กิโลกรัม),
 m_f คือ มวลของวัสดุหลังอบแห้ง (กิโลกรัม)
 E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 จลนศาสตร์การอบแห้งเนื้อไก่

3.1.1 อบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C , 80°C และ 90°C
 ความเร็วลมเฉลี่ย 1.0 ± 0.2 m/s จะได้แนวโน้มการลดลงของความชื้นที่เวลาใดๆ แสดงดังรูปที่ 2

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_{in} - M_{eq})} \quad (3)$$



รูปที่ 2 อัตราส่วนความชื้นของเนื้อไก่ที่อบแห้งด้วยลมร้อน อุณหภูมิอบแห้ง 65°C , 80°C และ 90°C

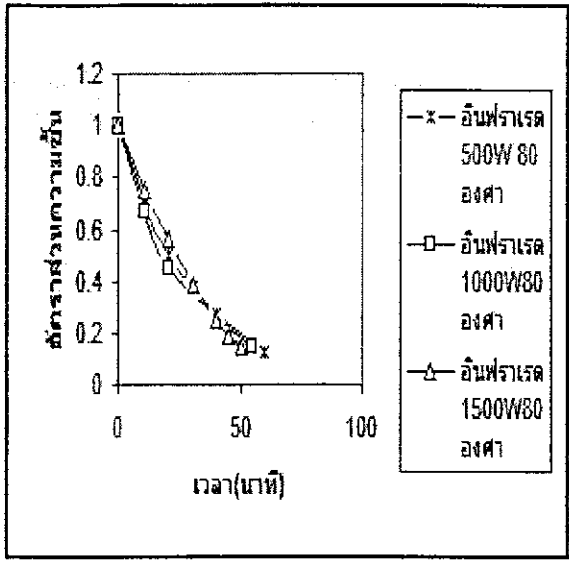
ความชื้นเริ่มต้น 274% dry-basis

ความเร็วลมเฉลี่ย 1.0 ± 0.2 m/s

จากรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นของเนื้อไก่กับเวลาที่อบแห้งด้วยลมร้อน พบว่าผลการทดลองอบแห้งเนื้อไก่ที่อุณหภูมิ 65°C , 80°C และ 90°C จนเนื้อไก่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 40% มาตรฐานแห้ง พบว่าจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 90 – 130 นาที จากรูปพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น จะทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อไก่ลดลง

3.1.2 อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลมเฉลี่ย 1.0 ± 0.2 m/s ที่กำลัง 500W, 1000 W และ 1500W

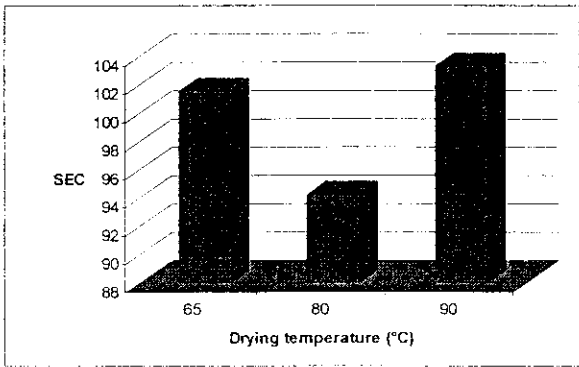


รูปที่ 3 อัตราส่วนความชื้นของเนื้อไก่ที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่กำลัง 500W 1000W, 1500W อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ความชื้นเริ่มต้น 274% dry-basis ความเร็วลมเฉลี่ย 1.0±0.2 m/s

จากรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยรังสีอินฟราเรด ที่กำลัง 500W, 1000 W และ 1500W อุณหภูมิ 80°C จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 50 – 60 นาที จะพบว่าเมื่อกำลังของรังสีอินฟราเรดสูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อไก่ลดลง และการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยรังสีอินฟราเรดที่กำลัง 1500W อุณหภูมิ 80°C จะใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิอบแห้งใกล้เคียงกัน โดยสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อกำลังของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มพลังงานต่อหน่วยพื้นที่มากขึ้นส่งผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลน้ำเพิ่มมากขึ้น ระยะเวลาในการอบแห้งก็ลดน้อยลงไปด้วย

3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงาน(Specific Energy Consumption)

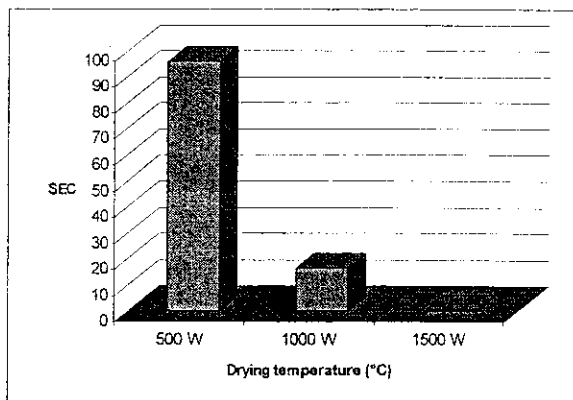
3.2.1 การ อบแห้งด้วยลมร้อน



รูปที่ 4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิ 65°C , 80°Cและ90°C ความชื้นเริ่มต้น 274% มาตรฐานแห้ง

จากรูปที่ 4 เป็นผลการทดลองอบแห้งเนื้อไก่ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C , 80°C และ 90°C พบว่ามีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 101.56, 94.197 และ 103.31 เมกกะจูล ต่อ กิโลกรัมของน้ำที่ระเหยตามลำดับ

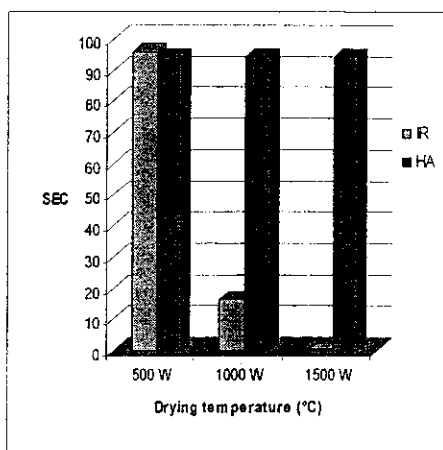
3.2.2 การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด



รูปที่ 5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยรังสีอินฟราเรด ที่กำลัง 500W, 1000W และ 1500W ที่อุณหภูมิ 80°C ความชื้นเริ่มต้น 274% มาตรฐานแห้ง

จากรูปที่ 5 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยรังสีอินฟราเรด ที่กำลัง 500W, 1000 W และ 1500W อุณหภูมิ 80°C พบว่ามีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 95.85, 16.58 และ 0.52 เมกกะจูล ต่อ กิโลกรัมของน้ำที่ระเหยตามลำดับ

3.2.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C และการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยรังสีอินฟราเรด ที่กำลัง 500W, 1000 W และ 1500W ที่อุณหภูมิ 80°C



รูปที่ 6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80°C และรังสีอินฟราเรด ที่กำลัง 500W, 1000W และ 1500W ที่อุณหภูมิ 80°C ความชื้นเริ่มต้น 274% มาตรฐานแห้ง

จากรูปที่ 6 พบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งเนื้อไก่จะมีค่าลดลงเมื่อกำลังของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อกำลังของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มพลังงานต่อหน่วยพื้นที่มากขึ้น ส่งผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลน้ำเพิ่มมากขึ้น ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลงไปด้วย

4. สรุปผลการทดลอง

1. เทคนิคการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยรังสีอินฟราเรดใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นเมื่อเทียบกับเทคนิคการอบแห้งด้วยลมร้อน

2. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งเนื้อไก่ พบว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอบแห้ง โดยเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นลง โดยที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยรังสีอินฟราเรดที่กำลัง 1500 W จะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อไคน้อยที่สุด

3. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C , 80°C และ 90°C ดังแสดงผลในรูปที่ 4 มีค่าความผิดพลาด ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากระดับขั้นตอนในการบันทึกผลการทดลอง และการเปิดเครื่องอบแห้งใช้เวลานานทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) และสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 335 หน้า.
- [2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2528. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไม้สัดเยือกแข็ง, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ,
- [3] วรวิทย์ กรัยวณิชกุล, 2547. การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งร่วมกับบีบความร้อน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 72 หน้า,
- [4] AOAC. 1995. Official Method of Analysis, 16th ed, The Association of Official Analytical Chemists.
- [5] วรวิทย์ กรัยวณิชกุล, 2547. การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งร่วมกับบีบความร้อน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 72 หน้า,
- [6] วรางคณา ณ พัทลุง. 2551. แนวทางการอบแห้งกึ่งด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- [7] นกจร โยธาทักต์, 2552. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพในการอบแห้งข้าวหนึ่งโดยใช้พลังงานลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานและของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรในรูปแบบการหมัก ร่วมกับมูลสุกร

Potential of Biogas Production from Energy Plant and Polution from argriulture Industries by Anaerobic Co-digestion with Pig Manure

วิจิตพร มากมูล¹ ดร.ณิ บันวงศ์² สุเมธ ไชยประพัทธ์³
Wijitporn Makmul¹ Darunee Panwong²

บทคัดย่อ

พลังงานทดแทนเป็นพลังงานทางเลือกที่กำลังได้รับความสนใจ เพราะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาการใช้ทรัพยากรสิ้นเปลือง และช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีพืชพลังงานเป็นจำนวนมากที่จะนำมาผลิตเป็นแหล่งพลังงานและเพิ่มมูลค่าผลผลิตได้ ประกอบกับของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมเกษตรที่มีมาก จึงมีแนวคิดที่จะนำพืชพลังงานได้แก่ ต้นข้าวโพด มันสำปะหลัง และของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ ไขมันและกลีเซอรอลมาหมักร่วมกับมูลสุกร เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้การหมักแบบกะในขวดหมักขนาด 1 L ปริมาตรที่ใช้จริง 0.5 L ภายใต้อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 4^\circ\text{C}$) การทดลองมีชุดควบคุม (มูลสุกร 100 mL) การหมักต้นข้าวโพด และหัวมันสำปะหลังใช้อัตราส่วน 5g/L ของน้ำหนักแห้ง ร่วมกับมูลสุกร 100 mL ส่วนกลีเซอรอลและไขมัน ใช้อัตราส่วน 1% w/v ร่วมกับมูลสุกร 100 mL ผสมกับน้ำจนได้ปริมาตร 0.5 L ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย (VS) ค่าสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 48.23ของการหมักร่วมกับต้นข้าวโพด ส่วนไขมัน กลีเซอรอล และหัวมันสำปะหลัง ประสิทธิภาพการกำจัด VS เท่ากับ 38.48% 31.28% และ 24.52% ตามลำดับ การหมักต้นข้าวโพดสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 0.77 L biogas/g VS_{removed} การหมักหัวมันสำปะหลังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 1.71 L biogas/g VS_{removed} ส่วนการหมักไขมัน และกลีเซอรอลร่วมกับมูลสุกรสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 0.86 และ 0.83 L biogas/g VS_{removed} ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มศักยภาพในการประยุกต์ใช้วัสดุต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนได้สูงขึ้น

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ การหมักร่วมกันแบบไร้อากาศ ต้นข้าวโพด หัวมันสำปะหลัง ไขมัน กลีเซอรอล

¹ คุรุวิจัยพลังงาน รุ่นที่ 2 ปี พ.ศ.2552 สถาบันวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โรงเรียนบ้านแหลมวิทยา สพท.เพชรบุรี1 ; Email : physicskroo_1920@hotmail.com

² คุรุวิจัยพลังงาน รุ่นที่ 2 ปี พ.ศ.2552 สถาบันวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โรงเรียนบ้านบางโหนด สพท.นครศรีธรรมราช3; Email : darunee_dae@yahoo.co.th

³ อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112 Email : sumate.ch@psu.ac.th

Abstract

The pays back energy are choice energy that is receiving the interest , because , in the way that can solve a problem of the using resource consumes , and help conserve the environment well . Thailand is the agrarian country has energy plant greatly can bring to be the resource of Energy and can enhance produce cost , assemble with waste matter that happen from the agro-industry that abounds , then have the idea will to lead energy plant for example , Corn , Tapioca and waste matter from the agro-industry , for example Fat and Glycerol , This research was to study Anaerobic Co-digestion with Pig Manure and concentrations as compared to efficiency of biogas rate. In the batch operation by using a 1 L serum bottle, under ambient temperature ($28\pm 4^{\circ}\text{C}$). the experiment has the group controls is used Pig Manure 100 mL , Corn and Tapioca is used 5g/L ratios of dry weight , cooperate 100 mL Pig Manure , Fat and Glycerol is used 1% w/v ratio cooperates 100 mL Pig Manure mix with the water in the end 0.5 L. The results revealed that the efficiency of volatile solids (vs) , the maximum score that 48.23 percentages of fermenting cooperates with Corn. And the efficiency of volatile solids (vs) for Fat , Glycerol , Tapioca is 38.48% 31.28% , and , 24.52% , respectively. , Fermenting Corn can produce the biogas , equal to 0.77 L biogas/g VS removed and Tapioca can produce the biogas , equal to 1.71 L biogas/g VSremoved , In case of Fat and Glycerol equal to 0.86 and 0.83 L biogas/g VSremoved . The results can be used as information for applying differ material for produce biogas , Increased the efficiency in pay back energy production can tall go up .

Keyword : Biogas , Anaerobic Co-digestion , Pig Manure , Fat , Glycerol , Tapioca , Corn

1. บทนำ

ปัจจุบันทางออกในการเยียวยาปัญหาพลังงานเป็นเรื่องที่กำลังได้รับความสนใจ เพราะเกี่ยวข้องกับวิถีการดำเนินชีวิตทั้งทางตรงและทางอ้อม ราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าครองชีพสูงขึ้น ประกอบกับสภาพแวดล้อมที่ทรุดโทรม ซึ่งเป็นผลพวงของการเผาผลาญพลังงานในอดีต ก่อให้เกิดสารพิษต่างๆ มากมาย จึงต้องหาทางออกเพื่อบรรเทาภาวะวิกฤตินี้ โดยการแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือก ที่จะนำมาใช้ทดแทนพลังงานประเภทใช้แล้วหมดไป โดยใช้แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ ที่หลายประเทศกำลังดำเนินการอยู่ในเวลานี้คือ การนำพืชผลทางการเกษตร ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีในประเทศมาผลิตให้เกิดเป็นพลังงานเชื้อเพลิง แทนที่จะสูญเสียเงินตราออก นอกประเทศทั้งหมด สามารถนำเงินนั้นมาเป็นแหล่งรายได้หมุนเวียนให้กับเกษตรกรในประเทศ ช่วยให้วิถีทางเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับพืชผลทางการเกษตรที่มีราคาตกต่ำและล้นตลาด นอกจากนี้ ยังช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้อีกทางหนึ่ง ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ขานรับและพยายามหาทางออกให้กับเรื่องนี้ด้วยการมองหาวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งก็นับว่ามีความเป็นไปได้ เพราะไทยอุดมด้วยพืชผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ฯลฯ ซึ่งปัจจุบัน ข้าวโพด ส่วนมากปลูกขายฝักหรือทำอาหารสัตว์ ส่วนมันสำปะหลังนำมาทำอาหารสัตว์และผลิตเอทานอล นอกจากนี้ของเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตร ได้แก่ ไขมันและกลีเซอรอล ที่ทิ้งลงสู่แหล่งน้ำก่อให้เกิดน้ำเสีย แต่หากนำมาผลิตก๊าซชีวภาพอาจเพิ่มมูลค่าของวัสดุได้เพิ่มมากขึ้นและยังช่วยรักษาสังแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง ด้วยเหตุผลดังกล่าว การวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากต้น

ข้าวโพด หัวมันสำปะหลัง ไขมัน และกลีเซอรอล ร่วมกับมูลสุกรที่อัตราส่วนผสมและปริมาณความเข้มข้นของแข็งที่ระดับเท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ และเป็นข้อมูลเบื้องต้น สำหรับเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ ดันข้าวโพด หัวมันสำปะหลัง ไขมัน และกลีเซอรอลมาหมักร่วมกับเทคโนโลยีการหมักแบบไร้อากาศที่มีอยู่ต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุหมัก

วัสดุหมักที่ใช้สำหรับหมัก คือ หัวเชื้อไร้อากาศ (Pig Manure) จากบ่อพักมูลสุกร นำมาจากโรงเรียนเลี้ยงสุกร ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ส่วนวัสดุหมักร่วมได้แก่ ดันข้าวโพด นำมาจากอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ไขมัน นำมาจากโรงงานอาหารสัตว์ จังหวัดราชบุรี และกลีเซอรอลบริสุทธิ์ ทั้งนี้ นำดันข้าวโพดมาบด บดมันสำปะหลัง นำกลีเซอรอลและไขมันมาชั่งแล้วหมักร่วมกับหัวเชื้อไร้อากาศ โดยใช้ดันข้าวโพดและหัวมันสำปะหลังในอัตราส่วน 5 g/L ของน้ำหนักแห้ง ใช้กลีเซอรอลและไขมัน 1% w/v แบบจำลองระบบหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digester) มีลักษณะเป็นขวดแก้ว ขนาด 1 L ปริมาตรการใช้งาน 0.5 L ปิดปากขวดด้วยจุกยาง พันทับด้วยพาราฟิล์ม (รูปที่ 1) ใส่อากาศในขวดหมักด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที ทำการวัดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการหมักแบบกะหรือการเติมวัสดุหมักครั้งเดียว (Batch) ทำการหมักหัวเชื้อไร้อากาศร่วมกับดันข้าวโพด โดยผสมกันในอัตราส่วนดันข้าวโพด (Corn) และ มันสำปะหลัง (Tapioca) 5 g/L ของน้ำหนักแห้ง ร่วมกับหัวเชื้อไร้อากาศ 100 mL ส่วนไขมัน (Fat) และกลีเซอรอล (Glycerol) ใช้อัตราส่วน 1% w/v หมักร่วมกับหัวเชื้อไร้อากาศ 100 mL และชุดควบคุม (Control) คือ หัวเชื้อไร้อากาศ 100 mL ผสมกับน้ำจนได้ปริมาตร 0.5 L ทำการหมักภายใต้อุณหภูมิห้อง (28±4 °C) เป็นเวลา 14 วัน ผสมโดยการเขย่าขวดวันละ 1 ครั้ง ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดของการหมัก ทุกวันจะทำการวัดค่า pH โดยควบคุมให้ค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ด้วยNa2HCO₃ 1 N

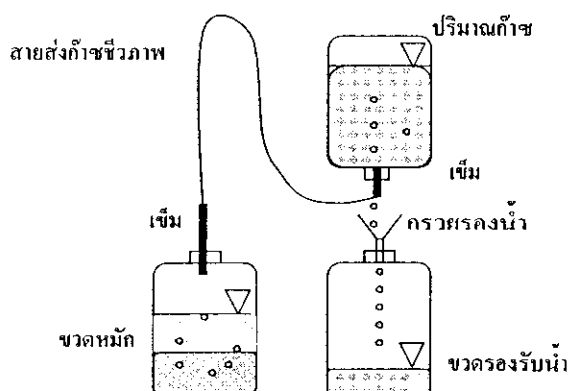
ตารางที่ 1 คุณลักษณะของมูลสุกรและวัสดุหมัก

วิธีการวิเคราะห์	ดันข้าวโพด	หัวมันสำปะหลัง	ไขมัน	กลีเซอรอล	ชุดควบคุมมูลสุกร100 mL
ความชื้น (%)	82.00	21.93	-	-	-
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	-	-	-	-	1,485
VFA (mg/L as CH ₃ COOH)	-	-	-	-	410
VFA/Alkalinity	-	-	-	-	0.28
TS (g/L)	-	-	-	-	212.50
VS (g/L)	-	-	-	-	151.50

2.2 ระบบหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digester)

แบบจำลองระบบหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digester) มีลักษณะเป็นขวดแก้ว ขนาด 1 L ปริมาตรการใช้งาน 0.5 L ปิดปากขวดด้วยจุกยาง พันทับด้วยพาราฟิล์ม (รูปที่ 1) ใส่อากาศในขวดหมักด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที ทำการวัดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ

การศึกษานี้เป็นการหมักแบบกะหรือการเติมวัสดุหมักครั้งเดียว (Batch) ทำการหมักมูลสุกรร่วมกับต้นข้าวโพด โดยผสมกันในอัตราส่วนต้นข้าวโพด 5 g/L ของน้ำหนักแห้ง มูลสุกร 100 mL มันสำปะหลังหมักร่วมกับมูลสุกรในอัตราส่วนเดียวกัน ส่วนไขมันใช้อัตราส่วน 1% w/v มูลสุกร 100 mL กลีเซอรอล 1% w/v มูลสุกร 100 mL เช่นเดียวกัน และชุดควบคุม คือ มูลสุกร 100 mL ผสมกับน้ำจนได้ปริมาตร 0.5 L



รูปที่ 1 ระบบหมักแบบไร้อากาศ

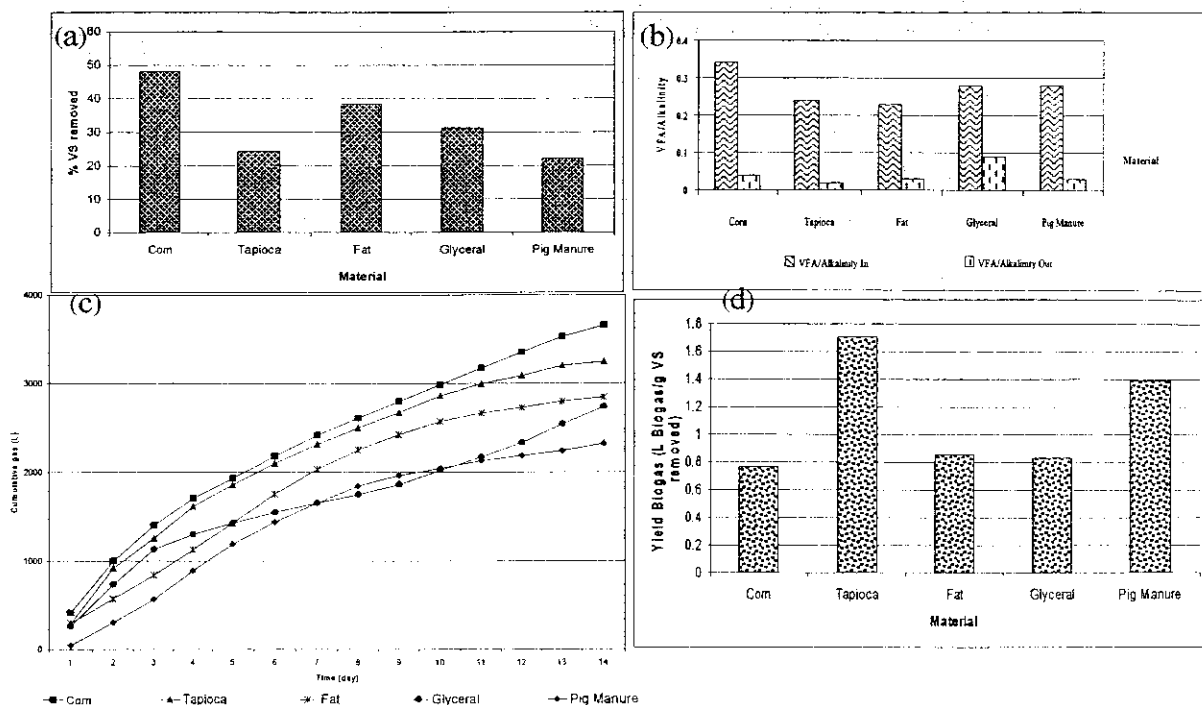
การหมักภายใต้อุณหภูมิห้อง (28 ± 4 °C) เป็นเวลา 14 วัน ผสมโดยการเขย่าขวดวันละ 1 ครั้ง ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดของการหมัก ทุกวันจะทำการวัดค่า pH และ ปรับ pH ในระบบ ให้มีค่าประมาณ 6.5-7.5 ด้วย NaOH 5 M

2.3 การวิเคราะห์

กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ทำการวิเคราะห์ความเป็นด่างรวม (Alkalinity) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid) ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid) และปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ (COD) ทำการวิเคราะห์วันแรกและวันสุดท้าย

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาการหมัก Pig Manure Corn Tapiocal Fat และ Glycerol พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด VS (รูป a) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 48.23% ของการหมักร่วมกับ Corn Fat Glycerol และ Tapiocal ประสิทธิภาพการกำจัด VS เท่ากับ 38.48% 31.28% และ 24.52% ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าในทุกชุดการทดลองได้มีการควบคุมค่า pH ในระบบหมักไร้อากาศให้อยู่ในช่วง 6.5 - 7.5 เพื่อให้เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดและสร้างมีเทน สังเกตได้จาก VFA/Alkalinity ของก่อนและหลังการทดลองมีค่าลดลง (รูป b) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.4 ซึ่งอยู่ในคำแนะนำในการเดินระบบบำบัดแบบไร้อากาศ



รูปที่ 2 การแปรเปลี่ยนของประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (a), VFA/Alkalinity (b)

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของวัสดุต่าง ๆ (c) และ Yield Biogas (d)

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมในแต่ละวัน (รูป c) มีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัด VS อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูง การกำจัด CS สูง อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมในช่วง 14 วัน พบว่า วัสดุที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด คือ Corn เท่ากับ 3658.7 mL และรองลงมาคือ Tapioca Fat และ Glycerol เท่ากับ 3251.6 mL 2848.8 mL และ 2741.4 mL ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า การนำ Corn มาหมักร่วมกับ Pig Manure สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณก๊าซสะสมมากที่สุด ส่วน Tapioca หมักร่วมกับ Pig Manure มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.71 L biogas/g VS removed Fat Glycerol และ Corn มีค่า 0.86, 0.83 และ 0.77 L biogas/g VS removed (รูป d) ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น สูงเนื่องจากระบบมีปริมาณกรดระเหยง่ายสะสมอยู่น้อย pH มีความเหมาะสม แบคทีเรียผลิตก๊าซชีวภาพจึงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2 แสดงประสิทธิภาพหมักแบบไร้อากาศของวัสดุหมักชนิดต่าง ๆ

วิธีการวิเคราะห์	ต้นข้าวโพด		หัวมัน สำปะหลัง		ไซมัน		กลีเซอรอล		ชุดควบคุม	
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	1,105	8,410	985	10,355	790	7,300	1,005	9,615	1,460	6,130
Acid (mg/L as CH ₃ COOH)	380	330	235	235	185	240	280	825	410	210
VFA/Alkalinity	0.34	0.04	0.24	0.02	0.23	0.03	0.28	0.09	0.28	0.03
TS (g/L)	25.45	32.75	26.75	48.80	23.50	45.30	13.95	50.95	21.25	40.10
VS (g/L)	19.80	19.30	15.50	28.40	17.15	29.90	10.55	31.75	15.15	29.30
VS _{removed} (%)	-	48.23	-	24.52	-	38.48	-	31.28	-	22.11
Biogas Yield	-	0.77	-	1.71	-	0.86	-	0.83	-	1.39

4. สรุป

การศึกษาการหมัก Corn Tapioca Fat Glycerol ร่วมกับ Pig Manure แบบไร้อากาศ พบว่า Corn มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด รองลงมาคือ Tapioca Fat และGlycerol ตามลำดับ (3,659 mL, 3,252mL 2,849 mL และ 2,741 mL) การผลิตก๊าซชีวภาพของ Tapioca สามารถผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 1.71 L biogas/g VSremoved Glycerol ร่วมกับ Pig Manureสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 0.86 L biogas/g VSremoved ส่วนการหมัก Fat และ Corn สามารถผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 0.83 L biogas/g VSremoved และ0.77 L biogas/g VSremoved ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ร่วมกับสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ และคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา

6. เอกสารอ้างอิง

ประทีน กุลละวณิชย์ และคณะ 2550.ภาพรวมสถานภาพและศักยภาพของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในประเทศไทย วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ฉบับพิเศษ 30,4 (2550):693-700.

สมฤดี ฤทธิยากุล. 2552. ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับสาหร่ายหนามจาก
ทะเลสาบสงขลา.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
ก๊าซชีวภาพ : จากปัญหาสิ่งแวดล้อมสู่ประโยชน์ทางด้านพลังงาน[ระบบออนไลน์].
<http://www.tj.co.th/optnews/modules/articles/article.phpid=234>(วันที่ 10เม.ย. 2552)

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักวัสดุทะเลลายปาล์มร่วมกับมูลสุกร

Efficiency of Biogas Production by Anaerobic Co-digestion between Palm Bunch and Pig Manure

อารียา พลักษณ์¹ จูรีรัตน์ ช่วยเจริญ² สุเมธ ไชยประพัทธ์³

Areeya Pleekhunt¹ Jureerat Chuayjarearn² Sumate Chaipapat³

บทคัดย่อ

วัสดุเศษเหลือจากการทำอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีหลายชนิด ทั้งเส้นใยปาล์ม ทะลายปาล์ม ใบปาล์ม ซึ่งที่ผ่านมายังไม่มีจัดการหรือใช้ประโยชน์จากวัสดุเหล่านี้ให้คุ้มค่า การนำวัสดุเศษเหลือเหล่านี้มาใช้เพื่อผลิตพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะลดปริมาณวัสดุเศษเหลือและสร้างประโยชน์ให้เกิดขึ้น ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาวัสดุเศษเหลือจากทะเลลายปาล์ม(Palm Bunch) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากการหมักวัสดุทะเลลายปาล์มในชุดการทดลองที่ต่างกันร่วมกับมูลสุกร โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นของแข็งที่ 5%(TS 5%)เนื่องจากที่ความเข้มข้นของแข็ง 5%สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ในสัดส่วนสูงที่สุด(สมฤดีและคณะ2551)

การศึกษาทำโดยการเตรียมวัสดุหมักโดยการตัดทะเลลายปาล์มให้มีขนาดเล็กลงแบ่งเป็น 3 กลุ่มเพื่อเตรียมวัสดุหมักและผสมให้เข้ากันกับสารละลายชนิดต่างๆ คือ ทะลายปาล์มเปล่า ทะลายปาล์มหมักร่วมกับน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:1 (W/V) ทะลายปาล์มหมักร่วมกับสารละลายกากน้ำตาล (กากน้ำตาล:น้ำ 1:1) (W/V) ทำการหมักแบบกะโดยมีปริมาตรของวัสดุหมักรวมกับน้ำกลั่นเป็น 500 mL ในขวดหมักขนาด 1 L การทดลองแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ 1 มูลสุกร(Control) ชุดที่ 2 หมักทะเลลายปาล์มเปล่ากับมูลสุกร (PPM) ชุดที่ 3 ทะลายปาล์มหมักน้ำกลั่นกับมูลสุกร (FPDPM) และชุดที่ 4 ทะลายปาล์มหมักกากน้ำตาลกับมูลสุกร (FPPM) ผลการศึกษาคุณสมบัติของมูลสุกร และวัสดุหมักชนิดต่างๆ ณ วันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่า Alkalinity มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง แสดงว่าระบบมีความสามารถในการรักษาความเป็นกรดต่ำได้เพียงพอ (Buffering Capacity) (วีรวิทย์ 2544) และเมื่อหาอัตราส่วนระหว่าง VFA/Alkalinity ในทุกชุดการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 0.4 แสดงว่าระบบหมักสามารถต้านทานความเป็นกรดได้ดี ทำให้เหมาะต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบหมักแบบไร้อากาศส่งผลให้ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีอีกด้วย

และจากการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในทุกๆวัน พบว่าปริมาณก๊าซสะสมมากที่สุดในทุกชุดการทดลองที่ 2 คือการหมักทะเลลายปาล์มเปล่ากับมูลสุกร และค่า Alkalinity พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง แสดงว่าระบบมีความสามารถในการรักษาความเป็นกรดต่ำได้เพียงพอ (Buffering Capacity) อัตราส่วนระหว่าง VFA/Alkalinity ในทุกชุดการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีค่า ไม่เกิน 0.4 แสดงว่าระบบหมักสามารถต้านทานความเป็นกรดได้ดี จึงสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง และเมื่อพิจารณาการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย(%VS Removal) พบว่าทุกชุดการทดลองมีเปอร์เซ็นต์มากกว่า 57.3 % ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการวัสดุเศษเหลือจากปาล์มน้ำมัน โดยใช้ทะเลลายปาล์มเปล่าหมักร่วมกับมูลสุกร เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานทดแทนทางเลือกต่อไป

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, มูลสุกร, ทะลายปาล์ม, กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

¹ โรงเรียนทำอริศึกษา อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี E-Mail Pleekhunt@hotmail.com

² โรงเรียนวัดชุมประดิษฐ์ อ.เขาชัยสน จ.พัทลุง E-Mail PongPiw1111@hotmail.com

³ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เช่น ข้าว อ้อย ยางพารา ปาล์มน้ำมัน มันสำปะหลัง เป็นต้น ผลผลิตเหล่านี้เมื่อมีการแปรรูปแล้วจะเกิดวัสดุเหลือใช้จำนวนหนึ่ง ในภาคใต้ของประเทศไทยเรามีการทำอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันค่อนข้างมาก และนำมาใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ดังนี้ น้ำมันปรุงอาหาร มาการีนหรือเนยเทียม น้ำมันสำหรับทอด (Frying Fat) เนยขาว น้ำมันปาล์มเติมไฮโดรเจน (Hydrogenated Palm Oil) นมข้นหวาน ไอศกรีม ครีมเทียมและนมเทียม กรดไขมันอิสระ (Palm Fatty Acid Distilled PEAD) สบู่ น้ำมันปาล์มสามารถนำมาใช้ผลิตสบู่ได้ และจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ จะก่อให้เกิดน้ำเสีย รวมถึงเศษวัสดุเหลือจากกระบวนการผลิต อาทิเช่น เส้นใยจากเนื้อผลปาล์ม ทะลาย เปล่า กะลาจากเมล็ดปาล์ม รวมถึงกากตะกอนอีกจำนวนมาก การแปรรูปวัสดุต่างๆนี้เพื่อผลิตพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะลดปริมาณวัสดุเหลือใช้และสร้างประโยชน์ให้เกิดขึ้นอย่างคุ้มค่า เปลือกกะลา ปาล์ม และทะลายปาล์ม เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยปาล์ม 1 ต้น เมื่อนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปจะให้น้ำมันปาล์มประมาณ 140 - 200 Kg ในกระบวนการแปรรูปจะมีเปลือกปาล์ม กะลา ปาล์มเหลือจากกระบวนการประมาณ 190 Kg และได้เป็นทะลายปาล์ม 230 Kg ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 120 KW-Hr และมีน้ำเสียจากโรงงาน ซึ่งสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 20 m³ (www.egmu-oec.org)

สำหรับการแปรรูปชีวมวลโดยใช้กระบวนการทางชีววิทยามีอยู่ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการย่อยสลายในที่ไม่มีอากาศ (Anaerobic digestion) ได้ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์นำไปใช้เป็นพลังงานในการหุงต้มแทนน้ำมันเตาหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว อีกกระบวนการหนึ่งคือกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอลกอฮอล์จากแป้งหรือพืชน้ำตาล (Alcoholic Fermentation) สามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยผสมกับน้ำมันเบนซินหรือใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซล นอกเหนือจากนี้ การผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายในที่ไม่มีอากาศผลิตมาจากมูลสัตว์และน้ำเสียจากโรงงาน จึงเป็นกระบวนการบำบัดทั้งของเสียและผลิตพลังงานไปพร้อมกัน

เนื่องจากเศษวัสดุที่เหลือจากการทำน้ำมันปาล์มนั้นมีหลายชนิด ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาวัสดุทะลายปาล์ม (Palm Bunch) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากการหมักวัสดุทะลายปาล์มในชุดการทดลองที่ต่างกันร่วมกับ มูลสุกร ที่ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ 5% (TS 5%) เพื่อเปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ และเป็นการกำจัดวัสดุเศษเหลือปาล์มน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

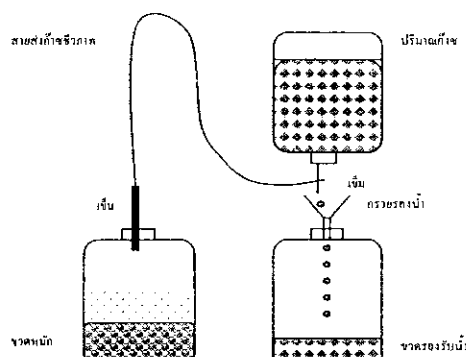
2.1 การเตรียมวัสดุหมัก

การเตรียมวัสดุหมักโดยการโดยตัดทะลายปาล์มให้มีขนาดเล็กลง และเตรียมวัสดุหมักเป็น 3 ชนิด คือ ทะลายปาล์มเปล่า ทะลายปาล์มหมักร่วมกับน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:1 (W/V) ทะลายปาล์มหมักร่วมกับสารละลายกากน้ำตาล (กากน้ำตาล:น้ำ 1:1 (W/V)) ในอัตราส่วน 1:1 (W/V) โดยบรรจุส่วนผสมลงในถุงพลาสติกใโล่อากาศออก พร้อมกับปิดถุงให้แน่นเพื่อรักษาภาวะไร้อากาศ หมักเป็นเวลา 21 วัน เมื่อได้ชุดวัสดุทั้ง 3 ชุดแล้วหาค่าความชื้น (Moisture) ของวัสดุหมักแต่ละชนิด โดยชั่งน้ำหนักของวัสดุหมักและมูลสุกรและ

ทำการอบที่ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อคำนวณหาปริมาณของวัสดุที่จะใช้ในการหมัก โดยการหมักครั้งนี้ กำหนดค่าปริมาณของแข็ง TS ที่ 5% เนื่องจากสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ในสัดส่วนสูงสุด(สมฤดี ฤทธิ์ยากุล 2552) เมื่อได้ค่าความชื้นแล้วคำนวณหาน้ำหนักของวัสดุชนิดต่างๆ(น้ำหนักเปียก) และได้ปริมาณดังนี้ มูลสุกร 32.05 g ทะลายปาล์มเปล่า 13 g ทะลายปาล์มที่หมักด้วยน้ำกลั่น 13.59 g และทะลายปาล์มที่หมักด้วยกากน้ำตาล 10.08 g ตามลำดับ

2.2 ระบบหมักแบบไร้อากาศ

เตรียมชุดทดลองโดยใช้การหมักแบบกะ (Batch) ในขวดหมักโดยใช้ขวดแก้วขนาด 1 L ปริมาตรวัสดุหมักรวม 0.5 L การทดลองแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลองได้แก่ ชุดที่ 1 มูลสุกร (Control) ชุดที่ 2 หมัก ทะลายปาล์มเปล่ากับมูลสุกร (PPM) ชุดที่ 3 ทะลายปาล์มหมักน้ำกลั่นกับมูลสุกร (FPDPM) ชุดที่ 4 ทะลายปาล์มหมักกากน้ำตาลกับมูลสุกร (FPMPM) โดยทำการหมักชุดทดลองละ 2 ขี้ ทำการไล่อากาศในขวดหมัก ด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 3 นาที ทำการหมักเป็นเวลา 14 วัน ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน โดยใช้หลักการแทนที่น้ำ แสดงในรูปที่ 1 เก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาคุณสมบัติดังนี้ Alkalinity, VFA, TS, VS ในวันที่ 0 และวันที่ 14 (วันสุดท้าย) ของการหมัก



รูปที่ 1 ระบบหมักแบบไร้อากาศ

3. การวิเคราะห์

กระบวนการหมักแบบไร้อากาศสามารถทำการวิเคราะห์คุณภาพของระบบหมักก๊าซชีวภาพ ทั้งวัน เริ่มต้น และวันสิ้นสุดการทดลองสำหรับการวิเคราะห์ ค่าความเป็นด่างรวม (Alkalinity) ,กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งระเหยง่าย (VS) และทำการวิเคราะห์ทุกวัน สำหรับการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เพื่อควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 6.5 - 7.5 ซึ่งเป็นช่วงค่าที่เหมาะสม ต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบหมักแบบไร้อากาศ และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (Gas Production) และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (Cumulative Gas Production)

4. ผลการทดลอง

ผลการศึกษาคุณสมบัติของมูลสุกร และวัสดุหมักชนิดต่างๆ ณ วันเริ่มต้น (วันที่ 0) และวันสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) ได้ข้อมูลดังตารางที่ 1 โดยเมื่อพิจารณาค่า Alkalinity พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง แสดงว่าระบบมีความสามารถในการรักษาความเป็นกรดต่ำได้เพียงพอ (Buffering Capacity) (วีรวิทย์ 2544) ซึ่งในระหว่างการทดลองได้มีการเติมสารละลาย NaHCO_3 ความเข้มข้น 0.1 N เพื่อปรับค่า pH ของระบบ แต่หลังจากวันที่ 8 ของการทดลอง ไม่ต้องเติมสารละลาย NaHCO_3 เนื่องจากระบบเริ่มรักษาระดับของ pH ได้ดี

และคงที่ เมื่อหาอัตราส่วนระหว่าง VFA/Alkalinity ในทุกชุดการทดลอง พบว่าส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 0.4 แสดงว่าระบบหมักสามารถต้านทานความเป็นกรดได้ดี ทำให้เหมาะต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบหมักแบบไร้อากาศส่งผลให้ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีอีกด้วย

Parameter	Experiment							
	C		PPM		FPDPM		FPMPM	
	Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	Eff	Inf	Eff
Moisture (%)	60.87	—	52.56	—	50	—	32.56	—
Alkalinity (mg/L as CaCO_3)	535	870	569	6,980	605	6,290	630	8,585
VFA (mg/L as CH_3COOH)	155	45	210	185	235	130	315	225
VFA/Alkalinity	0.29	0.05	0.37	0.03	0.39	0.02	0.5	0.03
TS (mg/L)	7,800	6,000	19,000	16,250	23,600	13,450	23,450	17,700
VS (mg/L)	5,300	1,100	16,650	8,400	20,650	6,450	20,900	9,250
Biogas Yield (L Biogas/g VS Removed)	0.4462		0.2577		0.1200		0.1256	

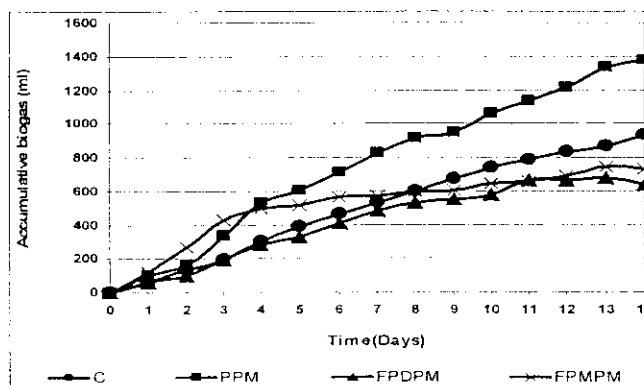
ตารางที่ 1 ตารางแสดงประสิทธิภาพการหมักแบบไร้อากาศของชุดการทดลองต่าง ๆ

ชุดควบคุม 1 คือมูลสุกร (Control) ;C

ชุดทดลองที่ 2 ทะลายปาล์มเปล่า (Palm Bunch) หมักร่วมกับสุกร (Pig Manure) ; PPM

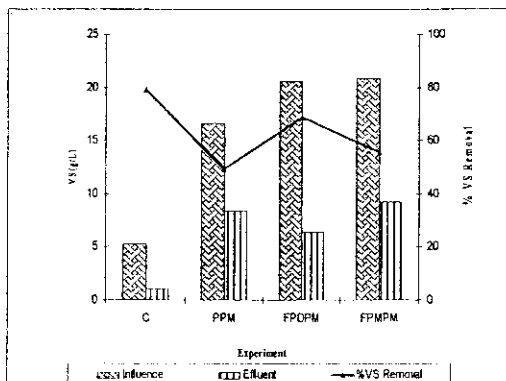
ชุดทดลองที่ 3 ทะลายปาล์มหมักไซเลสจากน้ำกลั่น (Fermented Palm Bunch with Distill Water) หมักร่วมกับมูลสุกร (Pig Manure) ;FPDPM

ชุดทดลองที่ 4 ทะลายปาล์มหมักไซเลสจากกากน้ำตาล (Fermented Palm Bunch with Molasses) หมักร่วมกับมูลสุกร (Pig Manure) ; FPMPM

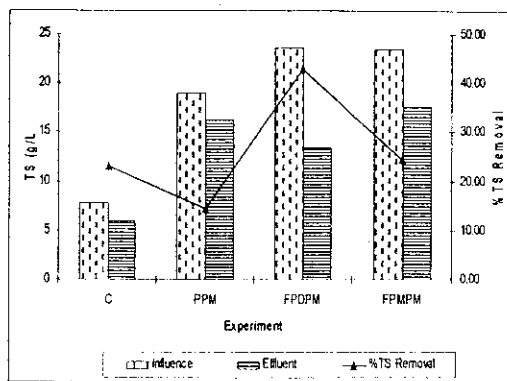


รูปที่ 2 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นจากชุดการทดลองต่าง ๆ

อัตราการผลิตก๊าซสะสมของชุดการทดลองต่างๆพบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราการผลิตก๊าซสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ และมีการผลิตก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง เมื่อพิจารณากราฟในช่วง 3 วันแรกจะพบว่าชุดทดลองที่ 4 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงชันอย่างรวดเร็วอันเนื่องมาจากการหมักทะเลลายปาล์มกับกากน้ำตาลมีผลทำให้จุลินทรีย์สามารถกินสารอาหาร และเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้อย่างรวดเร็ว แต่หลังจากวันที่ 7 ของการทดลองจะพบว่าการผลิตก๊าซเริ่มลดลงและคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2 จึงสรุปได้ว่าวัสดุทะเลลายปาล์มหมักร่วมกับมูลสุกรสามารถให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด



รูปที่ 3 ปริมาณVSและ%VS Removalจากชุดทดลองต่าง ๆ ชุด



รูปที่ 4 ปริมาณTSและ%TS Removal จากชุดทดลองต่าง ๆ

นอกจากนี้ยังพบว่าทุกชุดการทดลองมี % VS Removal มากกว่า 57.3 % แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่ใช้ในการหมักในทุกชุดการทดลอง นั้นมีความเหมาะสมแก่การนำมาหมักในระบบไร้อากาศเพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ (รูปที่ 3)

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสะสม (รูปที่2) ไม่สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย (VS) เช่นเดียวกับกับประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด (TS) จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยง่ายมากที่สุด อาจเป็นเพราะจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์ได้ดี นอกจากนี้ทุกชุดการทดลองยังสามารถรักษาสภาพความเป็นด่างของระบบได้ดี เพราะค่า Alkalinity ในวันสุดท้ายมีค่ามากกว่าวันแรก (วันที่ 0) ซึ่งก็สอดคล้องกับ ค่า VFA ที่ลดลงจากวันแรก เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตมีเทน (ตารางที่ 1)

5. สรุปผล

การศึกษาการหมักวัสดุทะเลลายปาล์มร่วมกับมูลสุกรในสภาวะไร้อากาศ พบว่า การหมักทะเลลายปาล์มเปล่าร่วมกับมูลสุกรมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด คือ 1,378.5 mL รองลงมา คือ การหมักวัสดุทะเลลายปาล์มที่ทำไซเลสจากกากน้ำตาล 731.5 mL และการหมักวัสดุทะเลลายปาล์มที่ทำไซเลสจากน้ำกลั่น 636 mL ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์มีค่าตั้งแต่ 57.3 % ในทุกชุดการทดลอง ซึ่งสามารถนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ต่อไปโดยทดลองเปลี่ยนวัสดุหมักเป็นพืชชนิดอื่นในท้องถิ่นหรือใช้สารเคมีชนิดอื่นในการหมักไซเลส รวมถึงการใช้มูลสัตว์ชนิดอื่นในการหมักก๊าซเพื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อไป

6. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ต่อโดยทดลองเปลี่ยนวัสดุหมักเป็นพืชชนิดอื่นในท้องถิ่นหรือใช้สารเคมีชนิดอื่นในการหมักไซเลส รวมถึงการใช้มูลสัตว์ชนิดอื่นในการหมักก๊าซเพื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสูงสุด และเป็นการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดรายจ่ายในครัวเรือนหรือชุมชนอย่างยั่งยืน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการวิจัยของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ นักศึกษาปริญญาเอก นักศึกษาปริญญาโท คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม อ.สุเมธ ไชยประพัทธ์ และเพื่อนๆร่วมโครงการทุกท่าน

8. เอกสารอ้างอิง

สมฤดี ฤทธิ์ยากุล,สุเมธ ไชยประพัทธ์และปิยะรัตน์ บุญแสง.ม.ป.ป. ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับสาหร่ายหนามจากทะเลสาบสงขลา.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.หาดใหญ่

ดวงสมร สีนเจิมสิริ.อังคณา หาญบรรจงและรักปัญญ์ ถนอมวงศ์วัฒน์.ม.ป.ป. การปรับปรุงคุณภาพของเส้นใย

ปาล์มโดยวิธีเคมีและชีวภาพ.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.หาดใหญ่

วีรวิทย์ วงศ์วัฒนวิศิษฐ์.2544.การผลิตแก๊สชีวภาพจากกากตะกอนของระบบตะกอนเร่งจากโรงงานแปรรูปอาหาร ทะเล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.หาดใหญ่

ก๊าซชีวภาพ.http://www.thaienergydata.in.th/econtent/upload_pic/1190688359.pdf เว็บไซต์ข้อมูลไบโอแก๊ส

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับมูลฝอยอินทรีย์
จากโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

Efficiency of Biogas Production by Anaerobic Co-digestion between Pig Manure and Foodwaste
from Cafeteria Prince of Songkhla University

ฮัฟเสาะ หลีกกันชะ¹ ศิริประภา สุรชน² และสุเมธ ไชยประพัทธ์³
Hafsoh Leekancha¹ Siraprapa Surachon² and Sumate Chaipapat³

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับเศษอาหาร ที่ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ระดับ 5% และ 10% โดยใช้การหมักแบบบะหรือการเติมวัสดุหมักครั้งเดียวในขวดหมักแบบไร้อากาศขนาด 1 L มีปริมาตรใช้งานจริง 0.5 L ภายใต้อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 40^{\circ}\text{C}$) จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย (VS) ที่ FW 5%, FW 10%, CL 5% และ CL 10% มีค่าเท่ากับ 53.5%, 49.7%, 79.2 และ 61.3% ตามลำดับ และมีการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 1.98, 3.08, 0.98 และ 1.69 L ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการหมักเป็นเวลา 14 วัน จากผลการศึกษาบ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อมีการนำเศษอาหารมาหมักร่วมกับมูลสุกรจะช่วยเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพให้เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, การหมักร่วมกันแบบไร้อากาศ, มูลสุกร, เศษอาหาร

¹โรงเรียนบ้านม่วงงาม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสงขลา เขต 1 E-mail:hafsoh_lee@hotmail.com

²โรงเรียนบ้านบงคำ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษานครพนม เขต 2 E-mail:aring2290@hotmail.com

³อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา

E-mail:sumate.ch@psu.ac.th

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ มีโรงอาหารของคณะต่าง ๆ มากถึง 8 แห่งด้วยกัน ดังนั้นปริมาณของเศษอาหารที่เกิดขึ้นในแต่ละวันเมื่อนำเศษอาหารจากทุกแห่งมารวมกันมีน้ำหนักมากถึง 1,050 กิโลกรัม (สำรวจ ณ วันที่ 24 เมษายน 2552) ซึ่งหากการกำจัดเศษอาหารไม่ดีพออาจจะทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่สกปรก และกลิ่นเหม็น แต่ถ้ามมีการนำเศษอาหารมาจัดการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ นับว่าเป็นพลังงานทดแทนที่จะเป็นการให้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า เป็นการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงที่กำลังจะขาดแคลนไปได้อีกทางหนึ่งด้วย นับเป็นการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ดีและมีประโยชน์ทั้งในด้านเกิดพลังงานทดแทน รวมทั้งตะกอนที่ปล่อยทิ้งจากการหมักยังสามารถนำไปเป็นปุ๋ยได้อีก

ปัจจุบันความรู้เกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพมีอย่างแพร่หลาย และจากหลากหลายวัสดุ ดังนั้นการศึกษานี้จึงสนใจในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยใช้ระบบหมักแบบไร้อากาศโดยใช้มูลสุกร

เป็นหัวข้อ เนื่องจากในมูลสุกรอาจมีแบคทีเรียสร้างมีเทนอาศัยอยู่ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ด้วยเหตุผลดังกล่าว การศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับเศษอาหาร อัตราส่วน 1:1 ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ระดับ 5% และ 10 % สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณที่แตกต่างกันอย่างไร และเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับนำไปปรับใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพระบบหมักแบบไร้อากาศ ที่มีปริมาณความเข้มข้นของของแข็งในระดับอื่นหรือวัสดุอื่นได้อีกต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุหมัก

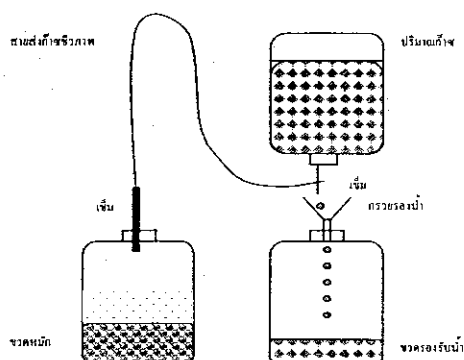
วัสดุที่ใช้สำหรับหมัก คือ มูลสุกรสดนำมาจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ และเศษอาหารนำมาจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ นำมาอบที่อุณหภูมิ 60 °C จนน้ำหนักคงที่ เพื่อหาค่าความชื้น ซึ่งมูลสุกรมีค่าความชื้น 60.87% และเศษอาหารมีค่าความชื้น 83% นำมาคำนวณเพื่อหาค่าน้ำหนักวัสดุหมักในการนำมาผสมรวมกันระหว่างมูลสุกรและเศษอาหาร ในอัตราส่วน 1:1 โดยแยกเป็นปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ 5% (FW 5%) และ ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ 10% (FW 10%) คุณลักษณะของมูลสุกรสดผสมรวมกับเศษอาหาร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของมูลสุกรร่วมกับเศษอาหารที่ความเข้มข้น 5% และ 10%

วิธีการวิเคราะห์	มูลสุกร + เศษอาหาร (FW 5%)	มูลสุกร + เศษอาหาร (FW 10%)
TS (g/L)	62.1	52.8
VS(g/L)	56.7	89.1
pH	6.60	6.54
Alkalinity(mg/L as CaCO ₃)	500	1,750
VFA(mg/L as CH ₃ COOH)	1,470	1,665
VFA/ALK	1.36	0.95

ระบบหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digester)

แบบจำลองระบบหมักแบบไร้อากาศ มีลักษณะเป็นขวดแก้วขนาดจุ 1 L ปริมาตรใช้งาน 0.5 L ปิดปากขวดด้วยจุกยาง พันทับด้วยพาราฟิล์ม (รูปที่ 1) ไล่อากาศในขวดหมักด้วยก๊าซไนโตรเจน เป็นเวลา 3 นาที ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ



รูปที่ 1 ระบบหมักแบบไร้อากาศ

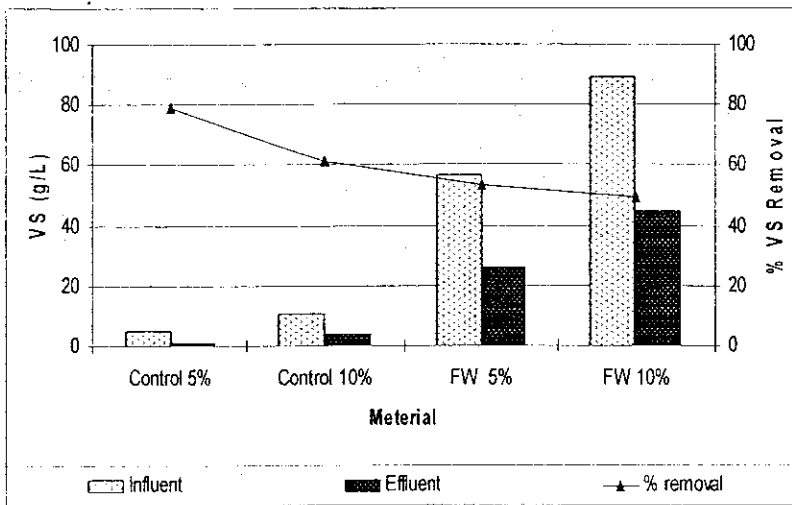
การศึกษาค้างนี้เป็นการหมักแบบกะหรือเติมวัสดุหมักครั้งเดียว (Batch) โดยทำระบบการทดลองไว้ดังนี้ คือ ทำการหมักมูลสุกร (M) ร่วมกับเศษอาหาร (FW) ผสมกันในอัตราส่วน 1M:1F ที่ FW 5% ใช้ น้ำหนักเปียกของมูลสุกร 32 กรัม เศษอาหาร 73.5 กรัม และ ที่ FW 10% ใช้ น้ำหนักเปียกของมูลสุกร 64 กรัม เศษอาหาร 147 กรัม ที่อัตราส่วน 1M:0F ที่ CL 5% ใช้ น้ำหนักเปียกของมูลสุกร 32 กรัม และที่ CL 10% ใช้ น้ำหนักเปียกของมูลสุกร 64 กรัม ทำการหมักภายใต้อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 4^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน โดยเขย่าขวดวันละ 1 ครั้ง เพื่อวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน วิเคราะห์ค่า pH จากชุดควบคุม เพื่อจะได้ปรับค่า pH ในระบบการทดลองให้มีค่า pH ประมาณ 7 ด้วย NaHCO_3 ความเข้มข้น 0.1 Normal

การวิเคราะห์

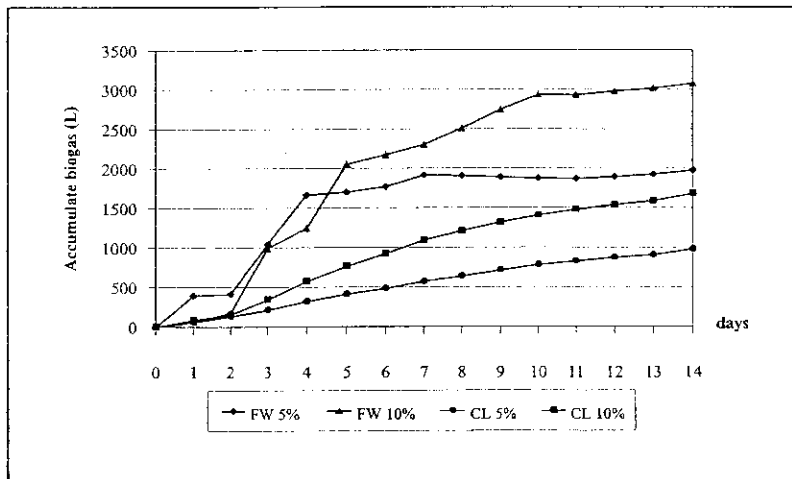
กระบวนการหมักแบบไร้อากาศสามารถวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเป็นด่างรวม (Alkalinity) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid) ของแข็งทั้งหมด (Total Solid)

ผลการทดลอง

ผลการศึกษากการหมักมูลสุกรร่วมกับเศษอาหารในอัตราส่วน 1M:1F ที่ FW 5% และที่ FW 10% และชุดควบคุมในอัตราส่วน 1M:0F ที่ CL 5% และ CL 10% พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด VS ของ FW 5% และ FW 10% มีค่าเท่ากับ 53.48% และ 49.66% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัด VS ของ CL 5% และ CL 10% มีค่าเท่ากับ 79.25% และ 61.29% ตามลำดับ (รูปที่ 2) จากการทดลองปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของ FW 5% และ FW 10% ตลอดการหมัก 14 วัน มีค่าเท่ากับ 1.97 L และ 3.08 L ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของ CL 5% และ CL 10% เท่ากับ 0.97 L และ 1.68 L ตามลำดับ (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (VS)



รูปที่ 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

สรุป

การศึกษาก่อนหน้ากลุ่มสุกรร่วมกับเศษอาหารแบบไร้อากาศ พบว่า มีการผลิตก๊าซชีวภาพสะสม สูงสุดที่ FW 10% เท่ากับ 3.08 L ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัด VS เท่ากับ 49.7% โดยตลอดการทดลองแม้ว่า VFA ในวันสุดท้ายมีค่าสูงกว่าวันแรก แต่ระบบยังคงมี Buffer Capacity เพียงพอ สังเกตได้จาก VFA/Alkalinity เท่ากับ 0.32 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่แนะนำให้สำหรับระบบหมักไร้อากาศเท่ากับ 0.4

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. นำความรู้ที่ได้ไปสร้างระบบการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างง่าย ที่สามารถนำก๊าซชีวภาพมาเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม
2. เพื่อนำไปพัฒนาระบบการผลิตก๊าซชีวภาพที่ปริมาณความเข้มข้นระดับที่เพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

เอกสารอ้างอิง

ประทีน กุลละวณิชย์ และคณะ. 2550. ภาพรวมสถานภาพและศักยภาพของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในประเทศไทย วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ฉบับพิเศษ 30,4 (2550):693-700.

สมฤดี ฤทธิ์ยากุล. 2552. ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับสาหร่ายหนามจากทะเลสาบสงขลา.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. วิทยาเขตหาดใหญ่.

ก๊าซชีวภาพ : จากปัญหาสิ่งแวดล้อมสู่ประโยชน์ทางด้านพลังงาน [ระบบออนไลน์].<http://www.tj.co.th/optnews/modules/articles/article.php?id=234> (วันที่ 10 เม.ย. 2552)

ศักยภาพการเกิดแก๊สชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับใบปาล์ม

Biogas Production By Anaerobic Co – digestion between Pig Manure and Palm Leave

ธนพล กมลหัตถ์¹ กาญจนา มณีรัศยากร² และ สุเมธ ไชยประพัทธ์³

¹โรงเรียนบ้านยางเปียง สพท.เชียงใหม่เขต5

²โรงเรียนบ้านทุ่งโพธิ์ สพท.สงขลาเขต 3

³ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์โยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

ใบปาล์ม เป็นสิ่งเศษเหลือจากการเก็บผลผลิตปาล์มน้ำมันมีจำนวนมากโดยเกษตรกรใช้เพียงเพื่อคลุมโคนเท่านั้น จึงมีแนวคิดที่จะนำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการหมักร่วมกันระหว่างมูลสุกรกับใบปาล์ม มีการปรับปรุงคุณภาพใบปาล์ม คือ ใบปาล์มสด (PL) ใบปาล์มหมักร่วมกับน้ำกลั่น (PLD) ในอัตราส่วน 1:1(W/V) ใบปาล์มหมักร่วมกับสารละลายกากน้ำตาล (กากน้ำตาล:น้ำ 1:1 (W/V) (PLM) ทำการหมักแบบกะในขวดหมักขนาด 1 L ปริมาตรที่ใช้จริง 0.5 L การทดลองแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลองได้แก่ ชุดที่ 1 มูลสุกร(Control) ชุดที่ 2 หมักใบปาล์มกับมูลสุกร (LPM) ชุดที่ 3 โซลัสใบปาล์มหมักน้ำกลั่นร่วมกับมูลสุกร(sPLD) ชุดที่ 4 โซลัสใบปาล์มหมักสารละลายกากน้ำตาลร่วมกับมูลสุกร(sPLM) ที่สัดส่วนการหมัก 1:1 TS เริ่มต้น 5% ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการหมักใบปาล์มโซลัสแล้วกับกากน้ำตาล (sPLM) ผลิตก๊าซมากที่สุดปริมาณที่ปริมาณ 1.4827 L ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย (VS) ของ sPLM มีมากที่สุดคือ 85.22% ซึ่งสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด(TS)ที่ 73.90%

บทนำ

วิกฤตการณ์โลกร้อน สภาพปัญหามลพิษ ภูมิอากาศโลกเปลี่ยนแปลง การแย่งชิงทรัพยากร ความขัดแย้งในชุมชน ปัญหาสุขภาพ ฯลฯ ปัญหาต่างๆที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ เราไม่สามารถปฏิเสธได้เลยว่าสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาเหล่านี้ ล้วนมาจากความต้องการทางด้านพลังงานทั้งสิ้น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงเหล่านี้ถูกเผาผลาญในปริมาณมหาศาลในแต่ละปีเพื่อสร้างสิ่งๆเดียวนั่นก็คือ พลังงาน และผลที่ตามมาอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ก็คือมลพิษ ซึ่งส่งผลกระทบต่อโลกทั้งทางตรงและทางอ้อม เชื้อเพลิงฟอสซิล ถ่านหิน นิวเคลียส ถูกสร้างขึ้นเพื่อต้องการพลังงานไฟฟ้าและต้องแลกมาด้วย ฝุ่นป่า ทรัพยากรธรรมชาติ สภาพแวดล้อมและวิถีชีวิตชุมชน

จากปัญหาดังที่กล่าวมาผู้รู้จากหลาย ๆ สาขาก็พยายามที่จะหาทางออกนั้นก็คือพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ แต่ทางออกหลาย ๆ ทางก็กลายเป็นปลาวายวณในอ่าง แก่ปัญหาเก่าแต่ก่อปัญหาใหม่ พลังงานทดแทนจากหลาย ๆ แหล่งได้ถูกยกขึ้นมาเป็นประเด็นหลักของทางออกแต่ยังมีวิธีคิดแบบเดิมก็คือต้องผลิตในปริมาณมากเพื่อสนองความต้องการในการใช้ ดังนั้นจึงยังจำเป็นที่จะต้องมีการผลิตในแบบรวมศูนย์ ยกตัวอย่างเช่นพลังงานไฟฟ้าจะต้องผลิตจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ แต่เปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นในรูปแบบชีวมวลแทน คำถามที่ตามมาก็คือเชื้อเพลิงชีวมวลมีเพียงพอต่อการผลิตหรือไม่ ฝุ่นที่เข้าจะกำจัดอย่างไร และอีกหลาย ๆ คำถามที่ไม่มีคำตอบให้

ดังนั้นหากเราลองมองย้อนในทางกลับกัน คือ การผลิตพลังงานในขนาดเล็ก โดยให้ผู้ใช้เป็นผู้ที่มีส่วนในการรับผิดชอบในการจัดหาร่วมกับทางภาครัฐ โดยใช้ทรัพยากรที่มีในโรงงานหรือในชุมชนเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งวิธีคิดนี้ไม่ใช่จะให้โรงงานหรือชุมชนทั้งประเทศทำ แต่ใช้โรงงานหรือชุมชนที่มีศักยภาพเพียงพอ ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างที่เป็นรูปธรรมที่เห็นได้ชัดเจน ก็คือ การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์และเศษของเหลือใช้จากการเกษตร

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในวงศ์ *Palmae* หรือ *Arecaceae* และในสกุล *Elaeis* ชื่อวิทยาศาสตร์ *Elaeis oleifera* การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในปัจจุบัน (ข้อมูลปี 2546) มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมดประมาณ 2,100,000 ไร่ มีพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตทะลายสดแล้ว จำนวน 1,750,000 ไร่ ปลูกกันมากในพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศ โดยจังหวัดที่ปลูกมากที่สุดคือ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี และชุมพร ตามลำดับ เมื่อประเมินชนิดและปริมาณวัตถุดิบต่างๆ ที่ได้จากปาล์มน้ำมันทั้งหมดแล้ว พบว่า นอกจากน้ำมันปาล์มแล้ว ผลพลอยได้อื่นๆ ที่ได้จากปาล์มน้ำมันมีความหลากหลายและมีปริมาณสูง หากสามารถนำผลพลอยได้ต่างๆ เหล่านี้มาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าได้อย่างมีประสิทธิภาพก็จะเป็นประโยชน์อย่างมาก

ใบของปาล์มน้ำมัน การนำไปใช้ประโยชน์ในส่วนของทางใบปาล์มน้ำมันคือใช้คลุมโคนต้นปาล์ม หรือระหว่างแถวปาล์ม ซึ่งใบของปาล์มน้ำมันเป็นใบประกอบรูปขนนก (pinnate) แต่ละใบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแกนกลางที่มีใบย่อยอยู่ 2 ข้าง และส่วนก้านทางใบ ซึ่งมีขนาดสั้นกว่าส่วนแรกและมีหนามสั้นๆ อยู่ 2 ข้าง แต่ละทางใบมีใบย่อย 100 – 160 คู่ แต่ละใบย่อยยาว 100 – 120 เซนติเมตร กว้าง 4 – 6 เซนติเมตรเมื่อเกษตรกรจะตัดทะลายผลปาล์มน้ำมันจำเป็นต้องมีการตัดทางใบปาล์มน้ำมันออกด้วย เพื่อให้สามารถตัดทะลายปาล์มได้สะดวกซึ่งเป็นทางใบล่างสุดที่ได้รับแสงน้อย โดยปกติจะเว้นใบให้เหลือจำนวน 45–48 ทางใบ/ต้น และจำนวน ต้นที่ปลูกรวม 22 ต้น/ไร่ (ทางใบที่ตัดทิ้งอายุประมาณ 2 ปี มีน้ำหนักเฉลี่ย 8-10 กิโลกรัม)

ฟาร์มเลี้ยงหมูก็เป็นต้นตอของปัญหาสิ่งแวดล้อมในอีกรูปแบบหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อชุมชนรอบข้าง ทั้งกลิ่นของมูล น้ำเสียที่ไหลนองไปทั่ว นอกจากจะเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค พาหะนำโรคแล้ว ยังเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดความขัดแย้งในหลายพื้นที่ด้วย ดังนั้นการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ หนึ่งในแนวทางในการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่กำลังเป็นที่นิยมและได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐก็คือ

เท ค โ น โล ยี ก าร ผลิต ก ๊าซ ชี ว ภา พ จาก มู ล สัตว์

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเริ่มต้นจากสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่แบคทีเรียหลั่งออกมานอกเซลล์ ผลที่ได้จะทำให้สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน และกรดไขมัน เป็นต้น หลังจากนั้น สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจะถูกแบคทีเรียดังกล่าวดูดซึมเข้าสู่เซลล์และหลังเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในเซลล์ให้กลายเป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนแล้วขับออกมานอกเซลล์ จากนั้นแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทนจะย่อยสลายและเปลี่ยนกรดอะซิติกและไฮโดรเจนให้เป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้น (ก๊าซชีวภาพ) จะลอยตัวขึ้นเหนือผิวน้ำ และกระจายสู่บรรยากาศหรือถูกรวบรวมนำไปใช้ผลิตพลังงานทดแทนต่อไป

ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบก๊าซชีวภาพ 1. ด้านพลังงาน ก๊าซชีวภาพจุดติดไฟ และให้ความร้อนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ใช้หุงต้มอาหาร จุดตะเกียงให้แสงสว่าง ใช้กับเครื่องกลูกหมู เครื่องทำน้ำอุ่น ใช้กับเครื่องยนต์ผสมอาหารสัตว์ เตาอบผลผลิตทางการเกษตรนอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็น

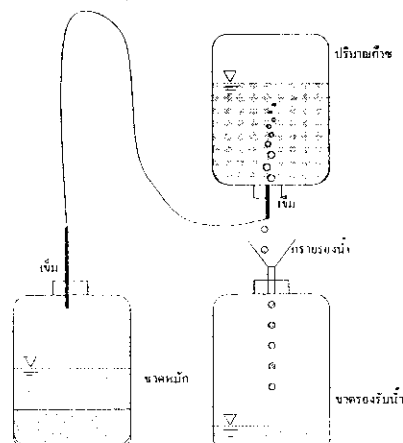
เชื้อเพลิงเพื่อเดินเครื่องยนต์เพื่อใช้ในการผลิตพลังงานกลในการขับพัดลมปรับอากาศหรือใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้า 2.ด้านการป้องกันและรักษาสิ่งแวดล้อม การนำมูลสัตว์ไฟหมักในสภาพไร้อากาศในบ่อก๊าซชีวภาพ มูลสัตว์ที่นำมาหมักจะถูกย่อยสลายทำให้กลิ่นและไข่แมลงต่าง ๆ ที่มีอยู่ในมูลสัตว์จะถูกทำลายลงไปในขณะที่มีการหมัก ซึ่งจะทำให้ผลมลภาวะการระบาดของแมลงและกลิ่นได้ 3.ให้ปุ๋ยอินทรีย์ในการฟื้นฟูสภาพดิน จากกากบ่อล้นประกอบด้วยธาตุอาหารพืชพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมที่เป็นประโยชน์กับพืชและอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที อีกทั้งกากบ่อล้นยังทำให้โครงสร้างดินเกาะตัวกันได้ดีขึ้นซึ่งมีผลทำให้อินทรีย์วัตถุคงสภาพในดินได้นานซึ่งดีกว่าการใช้อินทรีย์วัตถุในรูปอื่น ๆ 4.ลดปริมาณโรคพืชและการระบาดของวัชพืช การหมักสภาพแบบไร้อากาศ ทำให้ปริมาณของเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุของโรคพืชบางชนิดลดลงได้ และยังมีส่วนในการทำลายความงอกงามของเมล็ดวัชพืช เมื่อนำมูลสัตว์ที่ได้จากการหมักไปใช้แล้วไม่ก่อให้เกิดการระบาดของวัชพืช

จากประโยชน์ของก๊าซชีวภาพที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการนำเอาเศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตรคือ ใบปาล์ม และมูลสุกรมาเป็นวัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ อีกทั้งผู้วิจัยยังเปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นในการหมักต่างเพื่อหาอัตราความเข้มข้นที่ทำให้เกิดก๊าซที่มากและคุ้มค่าที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุหมัก

การปรับปรุงคุณภาพใบปาล์ม ทำโดยการเตรียมวัสดุหมักโดยการปรับปรุงคุณภาพใบปาล์ม(Palm) โดยหั่นใบปาล์มให้มีขนาด 2.0 – 2.5 cm และผสมให้เข้ากันกับสารละลายชนิดต่างๆ (ทรีตเมนต์) 3 ทรีตเมนต์ คือ ใบปาล์มสด (PL) ใบปาล์มหมักร่วมกับน้ำกลั่น (PLD) ในอัตราส่วน 1:1 (W/V) ใบปาล์มหมักร่วมกับสารละลายกากน้ำตาล (กากน้ำตาล:น้ำ 1:1 (W/V)) ในอัตราส่วน 1:1 (W/V) (PLM) ทำการเตรียมตัวอย่างก่อนการหมัก โดยผสมวัสดุหมักต่างๆ ลงในถุงพลาสติกใส่อากาศ และปิดปากถุงให้แน่น เพื่อรักษาสภาพไร้อากาศเป็นเวลา 21 วัน ทำการหมักแบบกะ (Batch) ในขวดแก้วขนาด 1 L ปริมาตรที่ใช้งานจริง (Working Volume) 0.5 L การทดลองแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ 1 มูลสุกร(Control) ชุดที่ 2 ใบปาล์มหมักร่วมกับมูลสุกร (LPM) ชุดที่ 3 โซลีสใบปาล์มหมักร่วมกับน้ำกลั่น และมูลสุกร (sPLD) ชุดที่ 4 โซลีสใบปาล์มหมักร่วมกับสารละลายกากน้ำตาล และมูลสุกร(sPLM) สัดส่วนการผสม 1:1 ที่ TS เริ่มต้น 5% จากนั้นใส่อากาศในขวดหมักด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ ชุดทดลองการหมักแบบกะแสดงดังรูปที่ 1

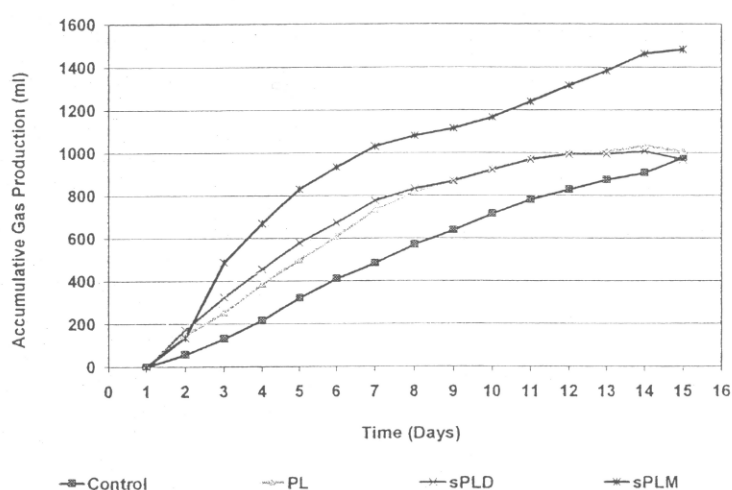


รูปที่ 1 แบบจำลองระบบขวดหมักแบบไร้อากาศ โดยใช้หลักการแทนที่น้ำ

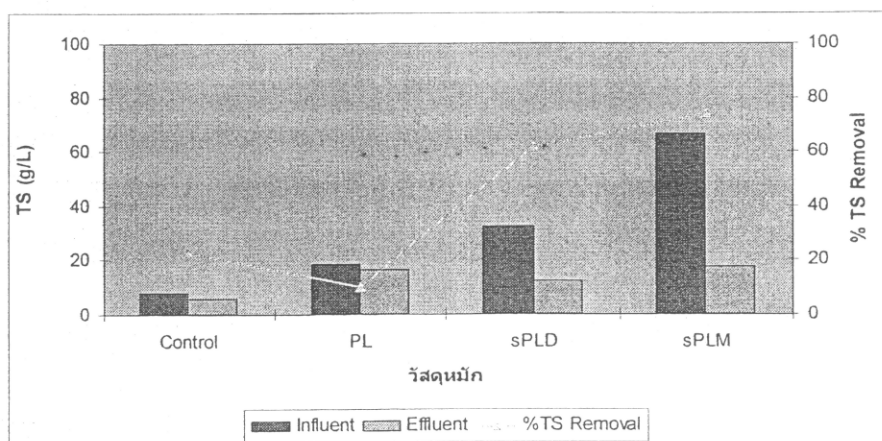
โดยแบบจำลองระบบหมักแบบไร้อากาศ(Anaerobic Digester) มีลักษณะเป็นขวดแก้ว ขนาด 1 L ปริมาตรใช้งาน 0.5 ลิตร ปิดปากขวดด้วยจุกยาง พันพืดด้วยพาราฟิล์ม และอลูมิเนียมแคป (รูปที่1) ใส่อากาศในขวดหมักด้วยก๊าซไนโตรเจน เป็นเวลา 3 นาที ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ

ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก เป็นระยะเวลา 14 วัน โดยควบคุมค่า pH ในขวดหมักให้อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมกับระบบหมักแบบไร้อากาศ คือ 6.5 - 7.5 และทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) VFA, TS และ VS ในวันแรก (วันที่ 0) และวันสุดท้าย (วันที่ 14) ของการหมัก

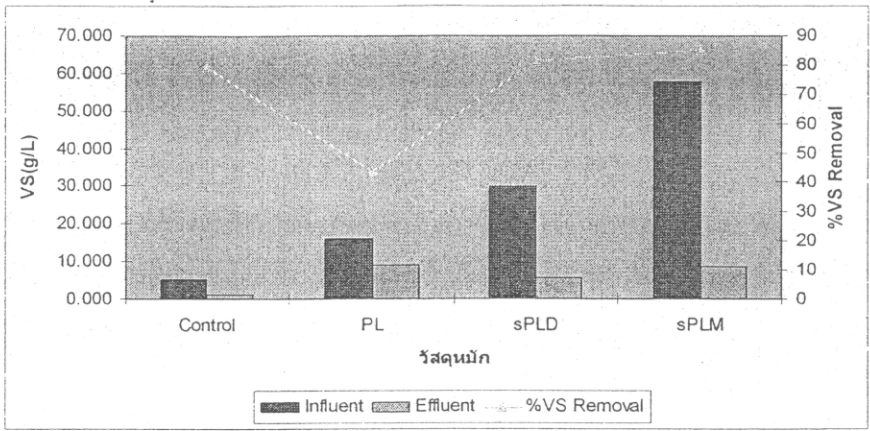
ผลการทดลองและวิจารณ์



รูปที่ 2 กราฟแสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม



รูปที่ 3 กราฟแสดง % TS Removal



รูปที่ 4 กราฟแสดง % VS Removal

Parameter	ชนิดวัสดุหมัก							
	PL		sPLD		sPLM		Control	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
% Moisture	52.06	-	72.18	-	70.14	-	60.87	-
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	420	6890	430	6335	575	7825	535	870
VFA (mg/L as CH ₃ COOH)	165	100	345	180	320	280	155	45
VS (g/L)	16.10	9.05	29.70	5.55	57.85	8.55	5.30	1.10
TS (g/L)	18.50	16.60	32.50	12.40	66.30	17.30	7.80	6.00
%VS Removal	-	43.79	-	81.31	-	85.22	-	79.25
%TS Removal	-	10.27	-	61.90	-	73.90	-	23.08
Biomass Yield	-	0.29	-	0.08	-	0.06	-	0.46

ตารางที่ 1 แสดง Parameter รวมของการหมัก

ผลการศึกษาการหมักทั้ง 4 ชุดการทดลองอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมในแต่ละวัน (รูปที่ 2) พบว่า ไส้เลสไบปาล์มหมักสารละลายกากน้ำตาลร่วมกับมูลสุกร (sPLM) เกิด ก๊าซมากที่สุด เป็นปริมาณ 1.4827 L เนื่องจากการหมักไส้เลสไบปาล์มกับกากน้ำตาล ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากทำให้สามารถสร้างมีเทน ได้มากขึ้นด้วยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสะสม (รูปที่2) มีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่าย (VS) เช่นเดียวกันกับประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด (TS) จะเห็นได้ว่า วัสดุหมัก sPLM มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยง่ายมากที่สุด อาจเป็นเพราะจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์ได้ดี นอกจากนี้ทุกชุดการทดลองยังสามารถรักษาสภาพความเป็นต่างของระบบได้ดี เพราะค่า Alkalinity ในวันสุดท้ายมีค่ามากกว่าวันแรก (วันที่ 0) ซึ่งก็สอดคล้องกับ ค่า VFA ที่ลดลงจากวันแรก เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตมีเทน (ตารางที่ 1)

สรุป

การศึกษาการหมักก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับไบปาล์ม พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยง่ายมากที่สุดคือ sPLM รองลงมาคือ sPLD และsPL ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่า VS ขณะที่

ค่า VFA ที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าเริ่มต้นแสดงว่าทุกวัสดุหมักสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี สังเกตได้จากสภาพต่างในระบบ ค่า Alkalinity ของระบบมีค่ามากกว่า 1,000 mg/L as Ca_3CO_3

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา และ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว)

เอกสารอ้างอิง

- องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ [ระบบออนไลน์].http://thapowergroup.com/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=40&Itemid=66 (วันที่ 10 เม.ย. 2552)
- ก๊าซชีวภาพ : จากปัญหาสิ่งแวดล้อมสู่ประโยชน์ทางด้านพลังงาน[ระบบออนไลน์].<http://www.tj.co.th/optnews/modules/articles/article.php?id=234>(วันที่ 10 เม.ย. 2552)
- การเลี้ยงเชื้อหรือหมักก๊าซชีวภาพ [ระบบออนไลน์].http://thapowergroup.com/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=1(วันที่ 10 เม.ย. 2552)
- ถังกักเก็บก๊าซ [ระบบออนไลน์].<http://thapowergroup.com/index.php?option=comcontent&task=view&id=4&Itemid=1>(วันที่ 10 เม.ย. 2552)

ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักเส้นใยปาล์มร่วมกับมูลสุกร
 Efficiency of Biogas Production by Anaerobic Co-digestion between
 Pig Manure and Palm Press Fiber

พรปวีณ์ โกศลศิริศักดิ์

โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย จังหวัดศรีสะเกษ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาศรีสะเกษเขต 1

หมายเลขโทรศัพท์ 089-7215449 E-mail : warangko@hotmail.com

อรรณพ แก้วพิบูลย์

โรงเรียนธรรมโมสิต จังหวัดสงขลา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสงขลาเขต 1

หมายเลขโทรศัพท์ 081-9630184 E-mail : hadnamom@thaimail.com

บทคัดย่อ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุก ประเทศไทยมีอันดับการผลิตเป็นที่ 4 ของโลก เส้นใยปาล์มเป็นส่วนที่เหลือหลังจากการสกัดน้ำมัน ถูกทิ้งให้กลายเป็น ขยะทางการเกษตร เส้นใยปาล์มเหล่านี้น่าจะถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นและเพิ่มมูลค่าได้ เช่น การผลิตแก๊สชีวภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม (PPF) เส้นใยปาล์มที่ทำการหมักเบื้องต้นด้วยกับน้ำกลั่น (PPFW) และเส้นใยปาล์มที่หมักเบื้องต้นด้วยกับกากน้ำตาล (PPFM) เป็นเวลา 21 วัน โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองจะทำการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ไร้อากาศ จากบ่อพักมูลสุกร ในสัดส่วนการผสม 1:1 ที่ปริมาณ TS เริ่มต้น 10% เป็นเวลา 14 วัน จากการทดลอง พบว่า PPF มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุด โดยมีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม 1,405 ml สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัด VS สูงสุด 61.54% ซึ่งมีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพต่อ VS removed เฉลี่ยเท่ากับ 0.02 Lbiogas/gVSremoved แต่เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพกับชุดการทดลอง PPFW และ PPFM พบว่า ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมน้อยกว่าเท่ากับ 553 และ 1,177 ml ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PPF เป็นวัสดุที่มีศักยภาพผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีกว่า PPFW และ PPFM ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวัสดุที่ผ่านการหมักขั้นต้นเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์เปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยซึ่งมีสภาพเป็นกรด อาจส่งผลให้จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนจึงไม่สามารถเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็นแก๊สชีวภาพได้ทั้งหมด

บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานจากฟอสซิลที่ใช้อยู่ทั่วโลกนั้น เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ต้องใช้ระยะเวลาในการสะสมตัวเป็นเวลานานปีจึงจะเกิดขึ้นได้ และมีราคาสูง ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานจากฟอสซิลสำรองในปริมาณหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้ต่อไปได้ในระยะไม่นาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาพลังงานทดแทน ปัจจุบันเราใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการผลิตพลังงานทดแทนจากวัสดุทางการเกษตรที่เหลือทิ้งมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพสำหรับใช้ในครัวเรือนหรือในอุตสาหกรรม แก๊สชีวภาพจึงเป็นพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าจะพัฒนาเพื่อนำมาใช้ได้

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชตระกูลปาล์มมีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา เป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิด (640-800 กิโลกรัมน้ำมันต่อพื้นที่ปลูก 1 ไร่) ประเทศไทยมีอันดับการผลิตเป็นที่ 4 ของโลก เส้นใยปาล์มเป็นส่วนที่เหลือหลังจากการสกัดน้ำมันออกไปแล้วคิดเป็น 12-13 เปอร์เซ็นต์ของปาล์มทั้งทะลาย จากนั้นจะถูกทิ้งให้กลายเป็นขยะทางการเกษตรจำนวนมาก โดยปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ และการย่อยสลายของเส้นใยปาล์มเหล่านั้นน่าจะถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นและเพิ่มมูลค่าได้ เช่น การผลิตแก๊สชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่ง ด้วยเหตุผลดังกล่าว การวิจัยนี้จึงศึกษาเปรียบเทียบอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพจากการนำเส้นใยปาล์มมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง โดยการหมักไฮโดรไลสจากเส้นใยปาล์ม ร่วมกับหัวเชื้อจาก Digester ของฟาร์มสุกร ในสภาวะไร้อากาศ เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการผลิตแก๊สชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม และเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ ในการผลิตแก๊สชีวภาพต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุหมัก

1.1 เส้นใยปาล์มที่ปรับปรุงคุณภาพ โดยการเตรียมหมักไฮโดรไลสเส้นใยปาล์มผสมให้เข้ากันด้วยสารละลายชนิดต่าง ๆ (ทรีตเมนต์) ในอัตราส่วน 1:3 (W/V) คือน้ำกลั่น (control) สารละลายกากน้ำตาล (กากน้ำตาล:น้ำ=1:1; W/V) ผสมส่วนผสมลงในถุงพลาสติก ปิดจากถุงให้แน่น เก็บไว้เป็นเวลา 21 วัน ได้วัสดุหมักคือเส้นใยปาล์ม (Palm Press Fiber; PPF), เส้นใยปาล์มหมักร่วมกับน้ำกลั่น (Palm Press Fiber with distill water; PPFW), เส้นใยปาล์มหมักร่วมกับกากน้ำตาล (Palm Press Fiber with Molass; PPFM) นำวัสดุหมักทั้งหมดไปตากให้แห้งและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เพื่อหาค่าความชื้น คุณลักษณะของเส้นใยปาล์มและมูลสุกรดังตารางที่ 1

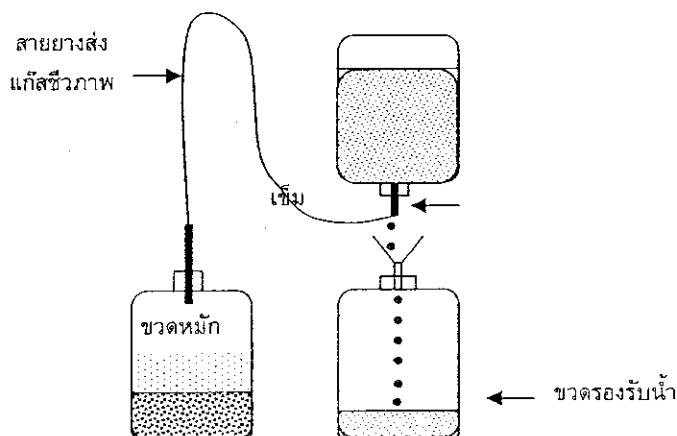
1.2 วัสดุหมักร่วม คือมูลสุกรจากบ่อพักมูลสุกร นำมาจากโรงเรือนเลี้ยงสุกร ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เตรียมมูลสุกรความเข้มข้น 5%

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของเส้นใยปาล์มและมูลสุกร

วัสดุหมัก	Moisture (%)
มูลสุกร (Pig Manure; PM)	60.87
เส้นใยปาล์ม(Palm Press Fiber; PPF)	64
เส้นใยปาล์มหมักกับน้ำกลั่น (Palm Press Fiber with distill water; PPFW)	65
เส้นใยปาล์มหมักกับกากน้ำตาล (Palm Press Fiber with Molass; PPFM)	67

2. ระบบหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digester)

แบบจำลองระบบหมักแบบไร้อากาศ มีลักษณะเป็นขวดแก้ว ขนาด 1 ลิตร ปริมาตรใช้งาน 0.5 ลิตร ปิดปากขวดด้วยจุกยาง พันทับด้วยพาราฟิล์ม ใส่อากาศในขวดหมักด้วยแก๊สไนโตรเจน ทำการวัดปริมาณแก๊สชีวภาพทุกวัน โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงระบบหมักแบบไร้อากาศ

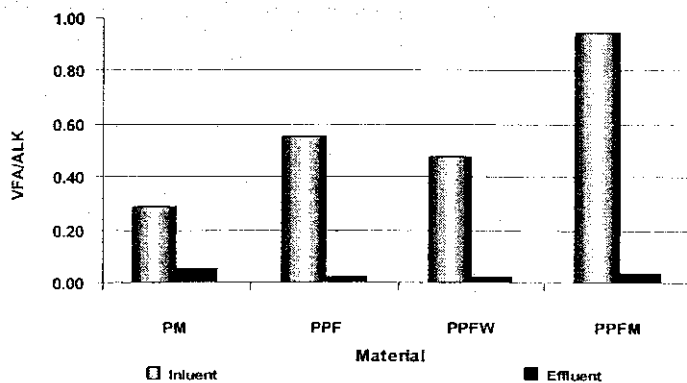
การศึกษารังนี้เป็นการหมักแบบกะหรือการเติมวัสดุหมักครั้งเดียว โดยการหมักไซเลสเส้นใยปาล์ม เส้นใยปาล์มกับน้ำกลั่น และเส้นใยปาล์มกับกากน้ำตาล จากนั้นนำไซเลสทั้ง 3 มาหมักร่วมกับมูลสุกร แบ่งออกเป็น 4 ชุด คือ ชุดที่ 1 ทำการหมักไซเลสเส้นใยปาล์มกับมูลสุกร (Palm Press Fiber and Pig Manure; PPFPM) ชุดที่ 2 ทำการหมักไซเลสเส้นใยปาล์มน้ำกลั่นกับมูลสุกร (Palm Press Fiber with distill water and Pig Manure; PPFWPM) ชุดที่ 3 ทำการหมักไซเลสเส้นใยปาล์มกากน้ำตาลกับมูลสุกร (Palm Press Fiber with Molass and Pig Manure; PPFMPM) ชุดที่ 4 ชุดควบคุมทำการหมักมูลสุกร (Pig Manure; PM) ความเข้มข้น 5% ชุดละ 2 ตัวอย่าง ทำการหมักภายใต้อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 14 วัน วัด pH ของระบบและปรับค่า pH ให้เหมาะสมกับการเกิดก๊าซที่ pH 6.5-7.5 วัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นทุกวัน

3. การวิเคราะห์

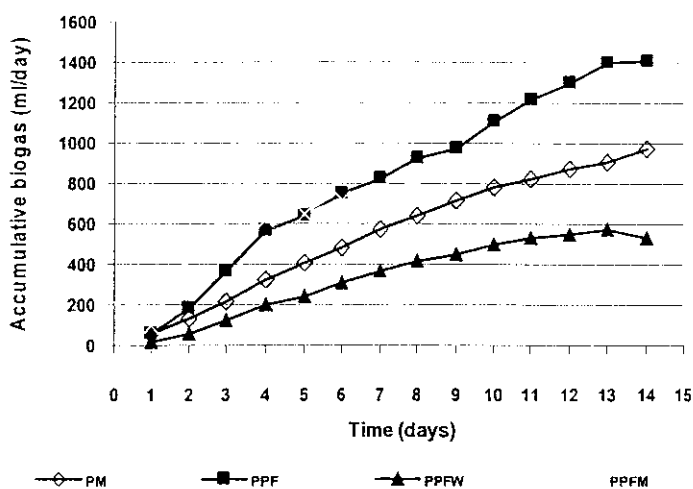
ทำการวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่าง 2 ครั้ง คือ ก่อนทำการหมัก และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก โดยการวิเคราะห์ pH ความเป็นด่างรวม (Alkalinity) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ของแข็งทั้งหมด (Total Solid) และของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid)

ผลการทดลองและวิจารณ์

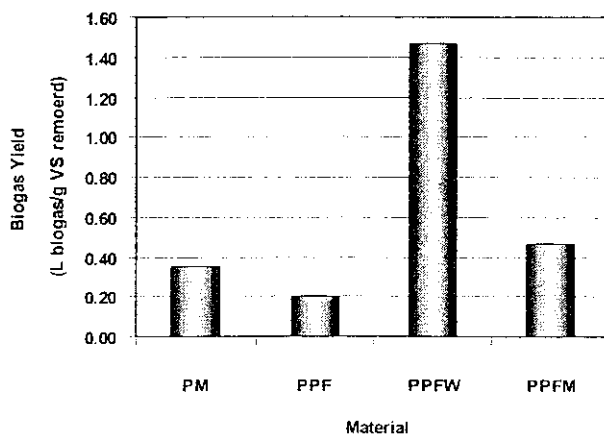
ผลการศึกษการหมักเส้นใยปาล์มกับมูลสุกร 4 ชุด คือ PPFPM ชุดที่ 2 PPFWPM ชุดที่ 3 PPFMPM ชุดที่ 4 ชุดควบคุม PM ชุดละ 2 ตัวอย่าง เปรียบเทียบ VFA/Alkalinity ระหว่างก่อนและหลังการทดลองของชุดการทดลอง (รูปที่ 2) ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมของการทดลองในแต่ละวัน (รูปที่ 3) อัตราการเกิด Biogas ต่อ VS ที่ถูกกำจัด (Biogas Yield) ของชุดการทดลอง (รูปที่ 4) ประสิทธิภาพการกำจัด TS และปริมาณ TS ก่อนและหลังการทดลองของชุดการทดลอง (รูปที่ 5) ประสิทธิภาพการกำจัด VS และปริมาณ VS ก่อนและหลังการทดลองของชุดการทดลอง (รูปที่ 6)



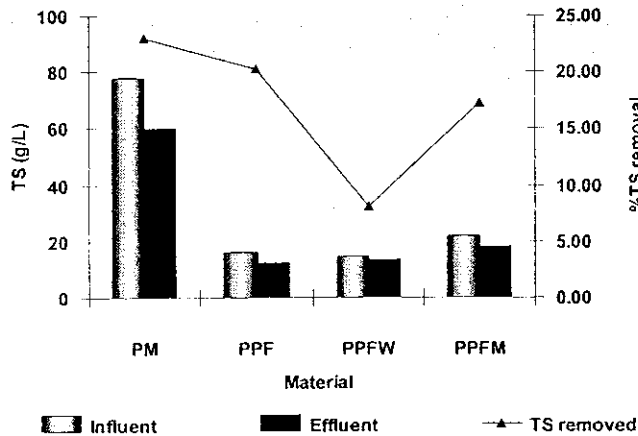
รูปที่ 2 เปรียบเทียบ VFA / Alkalinity ระหว่างก่อนและหลังการทดลองของชุดการทดลองต่างๆ



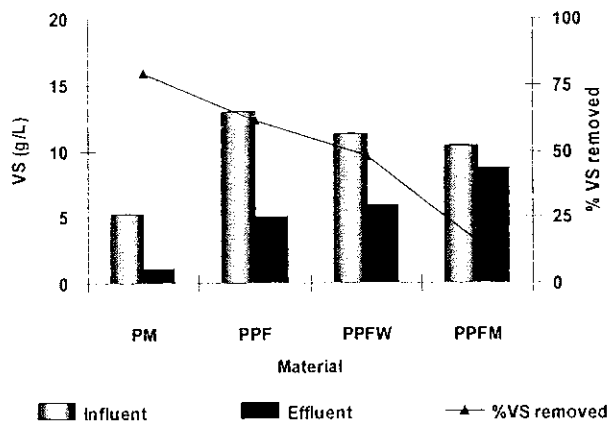
รูปที่ 3 ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมของการทดลองที่วันต่างๆ



รูปที่ 4 อัตราการเกิด Biogas ต่อ VS ที่ถูกกำจัด (Biogas Yield) ของชุดการทดลองต่างๆ



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัด TS และปริมาณ TS ก่อนและหลังการทดลองของชุดการทดลองต่างๆ



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัด VS และปริมาณ VS ก่อนและหลังการทดลองของชุดการทดลองต่างๆ

วิจารณ์ผล

การศึกษาการหมัก PPF, PPFW และ PPFM ทำการหมักร่วมกับ PM ความเข้มข้น 5% แบบไร้อากาศ พบว่า PPF มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุด รองลงมาคือ PPFM, PM และ PPFW ตามลำดับ (1405, 1177, 977 และ 535 ml) การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยปาล์มทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการหมัก ค่า VFA/ALK เท่ากับ 0.3 สอดคล้องตามสัดส่วนของค่ากรดระเหยง่ายต่อความเป็นด่างน้อยกว่า 0.4 อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวันมีความสอดคล้องกับการกำจัดกรดอินทรีย์ระเหยง่าย จากการหมัก PPF, PPFW และ PPFM ตามลำดับ (61.54, 47.79 และ 15.46g/L) อัตราการกำจัดของแข็งออกจากการหมัก PPF, PPFM และ PPFW ตามลำดับ (20.31, 17.34 และ 5.11g/L)

สรุป

พบว่า PPF มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุด โดยมีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม 1,405 ml สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัด VS สูงสุด 61.54% ซึ่งมีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพต่อ VS removed

เฉลี่ยเท่ากับ 0.02 Lbiogas/gVSremoved แต่เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพกับชุดการทดลอง PPFW และ PPFM พบว่า ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมน้อยกว่าเท่ากับ 553 และ 1,177 ml ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PPF เป็นวัสดุที่มีศักยภาพผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีกว่า PPFW และ PPFM ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวัสดุที่ผ่านการหมักขั้นต้นเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์เปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยซึ่งมีสภาพเป็นกรด อาจส่งผลให้จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนจึงไม่สามารถเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็นแก๊สชีวภาพได้ทั้งหมด

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. เป็นแนวคิดในการพัฒนาการผลิตพลังงานทดแทนโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรชนิดอื่น ๆ
2. นำไปประยุกต์ใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้ในสาระวิทยาศาสตร์ สาระการเรียนรู้ที่ 5 พลังงาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัย ขอขอบคุณสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ในการทำวิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ อาจารย์ที่ปรึกษา น.ส.กัญญารัตน์ สฤษฏ์พงศ์ทิม นักศึกษาปริญญาเอกน.ส.อิสรา รักษาม น.ส.พิริภรณ์ ปรีชาเลิศมิตร และน.ส.คันสนีย์ วงศ์ชนะ นักศึกษาปริญญาโทที่เป็นพี่เลี้ยงในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ดวงสมร สีนเจิมสิริ, อังคณา หาญบรรจงและรักบุญญ์ ถนอมวงศ์วัฒนะ. การปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยปาล์ม โดยวิธีเคมีและชีวภาพ. มปป. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.

การผลิตแก๊สชีวภาพ <http://www.yupparaj.ac.th/DigitalLibrary/nk40/nk/data/06/nk6034.htm> วันที่สืบค้น 8 มกราคม 2552.

เทคโนโลยีแก๊สชีวภาพ http://www.organicthailand.com/webboard/358644/1280_en?lang=th วันที่สืบค้น 8 มกราคม 2552.

สมฤดี ฤทธิ์ยกุล, สุเมธ ไชยประพัทธ์และปิยะรัตน์ บุญแสง. ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับสาหร่ายหนามจากทะเลสาบสงขลา. มปป. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่ม 14 ด้านสหวิทยาการพิมพ์ 2549, หน้า 216.

การผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยกระบวนการย่อยเอนไซม์และการหมัก
Ethanol production from agricultural residues by enzymatic hydrolysis and fermentation

ประสิทธิ์ สุขสำราญ ครู คศ.1 โรงเรียนบ้านห้วยหาน
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเชียงราย เขต 4

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ทดลองกระบวนการผลิตเอทานอล และเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตเอทานอลของฟางข้าวและเส้นใยปาล์มโดยกระบวนการย่อยเอนไซม์และการหมัก เริ่มต้นการทดลองโดยทำการปรับสภาพฟางข้าว และเส้นใยปาล์มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 1 ต่อ 10 น้ำหนักปริมาตร ที่ 100 องศาเซลเซียส 30 นาที นำมาล้างจน pH เป็นกลางนำไปผึ่งแดดและเข้าตูอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำมาตัดและบดให้ละเอียดแบ่งใส่ ฟาสก์ ฟาสก์ละ 5 กรัม ใส่ซีเตรตบัฟเฟอร์ pH5 ในปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเติมเอนไซม์เซลลูเลส 6 ยูนิตต่อกรัมสารตั้งต้น และเอนไซม์บีต้ากลูโคซิเดส 3 ยูนิตต่อกรัมสารตั้งต้น ทำการย่อย 2 วัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที นำมากรอง จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาเติมเชื้อยีสต์โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5055 เริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตรปริมาตร 10 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการเก็บตัวอย่าง 5 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และเอทานอล พบว่าในฟางข้าว ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในวันแรกของการทดลองมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 3.5 กรัมต่อลิตร และลดลงเรื่อยๆจนในวันสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 0.21 กรัมต่อลิตร ในขณะที่เอทานอลขึ้นสูงสุดในวันที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2.11 กรัมต่อลิตร และลดลงต่ำสุดในวันที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.78 กรัมต่อลิตร ในเส้นใยปาล์ม ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในวันแรกของการทดลองมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 2.6 กรัมต่อลิตร และลดลงเรื่อยๆจนถึงวันสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 0.34 กรัมต่อลิตร ในขณะที่เอทานอลเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.79 กรัมต่อลิตร หลังจากนั้นลดลงทั้งสองวันจนถึงวันสุดท้ายลดลงต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.5 กรัมต่อลิตร และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟางข้าวกับเส้นใยปาล์มปรากฏว่าฟางข้าวมีศักยภาพภาพในการผลิตเอทานอลสูงกว่า

คำสำคัญ เอทานอล เอนไซม์เซลลูเลส น้ำตาลรีดิวซ์ ฟางข้าว เส้นใยปาล์ม

Abstract:

This paper has objective to study, test about the procedure of Ethanol production and compare latency of rice straw and Palm press fiber in Ethanol production by enzymatic hydrolysis and fermentation. To begin the test by adjust state of s rice straw and palm press fiber to NaOH at 1:10w/v at 100°C for 30 min. wash until pH is medium, make them dry by sun and bake in temperature 60 °C for 24hours, bring them to cut and mince them to powdered, then separate 5 g. in each bottle. Add Citrate buffer pH5 100 mls. and add cellulose enzyme 6 units per gs. of initial and β -glucosidase 3 units per grams initial. Then make them to be digested for 2 days in 50 °C Celsius with shake rate 150 times per min., percolate them and then add yeast in the solution (*Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5055) begin in 1×10^8 cells per capacity ml. 10 ml., ripen in 30 °C Celsius and ทำการเก็บตัวอย่าง 5 days to analyze quantity of reducing sugar and Ethanol. There are

the straw have highest quantity of reducing sugar is 3.5 grams per liter in first day and always reduce until the last day, there is 0.21 grams per liter, while the Ethanol was most highest in the first day, there is 2.11 g/l., and reduce to lowest in third day, there is 0.78 g/l. In palm fiber, the quantity of reducing sugar in the first day was highest, there is 2.6 g/l. and always reduce until the last day, there is 0.34g/l., while Ethanol was highest increase in third day, there is 0.88 g/l. After that, it was reduce both of two last days. Until last day it reduced to lowest, there is 0.5 g/l. And the rice straw at ethanol more than palm press fiber.

1.บทนำ

ในกระบวนการผลิตเอทานอลในปัจจุบันนิยมใช้อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด และมะพร้าว มาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ซึ่งพืชเหล่านี้มีจุดประสงค์หลักคือปลูกเพื่อเป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ จึงมีไม่เพียงพอสำหรับการผลิตเอทานอล จึงถือว่าการนำส่วนแบ่งของตลาดอาหารมาใช้ อาจส่งผลกระทบต่อความต้องการในอนาคตได้ ฟางข้าว และเส้นใยปาล์ม ถือว่าเป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำมาผลิตเอทานอลได้ เพราะทั้งฟางข้าวและเส้นใยปาล์มเป็นพืชที่มีเซลลูโลสอยู่เป็นจำนวนมาก ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเข้าใจกระบวนการในการผลิตเอทานอล เพื่อทดลองผลิตเอทานอล และเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตเอทานอลจาก ฟางข้าว และเส้นใยปาล์ม ที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว

2.วัสดุ อุปกรณ์และวิธี

วัสดุ

2.1 ฟางข้าว Rice straw

2.2 เส้นใยปาล์ม ใต้รับ (Palm press fiber, PPF) เส้นใยที่ปรับสภาพแล้ว ได้รับการอนุเคราะห์จาก ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2.3 เอนไซม์

- เซลลูเลสของเชื้อ *Aspergillus niger*
- บีต้ากลูโคซิเดสของเชื้อ *A. niger*

2.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ

2.4.1 สูตรอาหารสำหรับเก็บรักษาเชื้อ *S.cerevisiae* (YM agar) (Zhu *et al.*, 2005) ซึ่งประกอบด้วย

Peptone	5.5	กรัมต่อลิตร
Yeast extract	3.0	กรัมต่อลิตร
Malt extract	3.0	กรัมต่อลิตร
Glucose	10.0	กรัมต่อลิตร
Agar	15.0	กรัมต่อลิตร

2.4.2 สูตรอาหารสำหรับเตรียมเชื้อ เชื้อ *S.cerevisiae* (Zhu *et al.*, 2005) ซึ่งประกอบไปด้วย

Peptone	5.0	กรัมต่อลิตร
Yeast extract	3.0	กรัมต่อลิตร
Malt extract	3.0	กรัมต่อลิตร
Glucose	36.0	กรัมต่อลิตร

2.4.3 สูตรอาหารที่ใช้สำหรับการผลิตเอทานอล (Kadar et al.,2004) ซึ่งประกอบด้วย

Yeast extract	5.0	กรัมต่อลิตร
(NH ₄) SO	7.5	กรัมต่อลิตร
K ₂ HPO ₄	3.5	กรัมต่อลิตร
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.75	กรัมต่อลิตร
CaCl ₂ O	1.0	กรัมต่อลิตร
น้ำกลั่น	90	มิลลิลิตร

2.4.4 สารเคมี Dinitrosalicylic acid(DNS)

Sodium Potassium tartrate
 NaOH (Commercial grad)
 NaOH (Analytical grad)
 Citrate buffer 0.05 M
 Phosphate buffer 1.0 M
 Glucose standard
 Ethanol standardassium metabisulfite
 (KMS) Tween – 20,80
 Acetone Pot

อุปกรณ์

1. ขวดสำหรับทำการหมัก
2. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อรุ่น ss -325 บริษัท Tomt Seiko Co.,Ltd
3. เครื่องชั่งทศนิยม 3 และ 4 ตำแหน่ง รุ่น BP 2100 S,BP 221 บริษัท Sartorius
4. เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง รุ่น 420 Aบริษัท Orion Reserch,Inc
5. เครื่องปั่นเหวี่ยงชนิดควบคุมอุณหภูมิ รุ่น Model บริษัท Uiversal.32
6. เครื่องอบอากาศร้อน รุ่น MOV.212 บริษัท Sanyo Electric Co.,Ltd
7. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟฟี HEWLETT PACKARD รุ่น HP 6850 Series GC Systems
8. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น U-200 บริษัท Technical Cooperation
9. เครื่องเขย่า รุ่น OS 3 บริษัท Panapolytech Co.,Ltd

วิธีการวิเคราะห์

1.1 วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลดีทิวส์ โดยวิธี DNS reagent ตามวิธีของ Miller (1959)

สารเคมี

1. 3,5-Dinitrosalicylic acid
2. Sodiumhydroxydy
3. Sodium potassium tartrate

DNS (3, 5-Dinitrosalicylic acid) reagent ซึ่งสาร 3,5-Dinitrosalicylic acid 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันใน hot plate เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (32 กรัม ในน้ำกลั่น

300 มิลลิลิตร) ผสมให้เข้าค่อยๆเติม Sodium potassium tartrate 600 กรัม ปรับปริมาตรให้ครบ 2,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ใส่ขวดสีชาในอุณหภูมิห้อง

เตรียมสารละลายมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส

เตรียมสารละลายมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส 1.0 กรัมต่อลิตร โดยการชั่งน้ำตาลกลูโคสที่อบแห้งแล้ว ปริมาณ 0.1000 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เจือจางสารละลายที่ได้ ให้มีความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมต่อลิตร

วิธีการวิเคราะห์หีปเปตสารละลายตัวอย่างที่เจือจางในระดับที่เหมาะสมลงในหลอดทดลอง ปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DNS (Dinitrosalicylic acid reagent) ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันปิดปากหลอดด้วยลูกแก้ว นำไปต้มในน้ำเดือดระยะเวลา 10 นาที ย้ายลงในน้ำเย็นทันที เพื่อหยุดปฏิกิริยา แช่ไว้ 10 นาที เติมน้ำกลั่นลงไป 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร จากนั้นนำไปเทียบค่าปริมาณน้ำตาลกับกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส

1.2 วิเคราะห์ปริมาณเอทานอล

วิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยเครื่อง Gas chromatography (HEWLETT PACKARD รุ่น HP 850 Series GC Stem) โดยใช้ Headspace (Agilent Technologies G188 Network Headspace Sampler) ในการฉีดตัวอย่างลงไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC

สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์

Colummm	: polyethylene glycol HP-INNOWAX 19091 N133E
Columm description	: ท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.25 มิลลิลิตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.25 ไมโครเมตร ความยาว 30 เมตร
Columm Temperature	: 50 องศาเซลเซียส
Inject Tempurature	: 200 องศาเซลเซียส
Detector	: FID (flam-ionized detector)
Carrier gas, flow rate	: Helium อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

วิธีการดำเนินการ 3 ขั้นตอน

1. การปรับสภาพ (pre – teast)

ทำการปรับสภาพฟางข้าวเปล่าโดยวิธีทางกายภาพ และเคมี การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ โดยนำฟางข้าวเปล่ามาตัดให้ขนาดเล็กลง การปรับสภาพตามวิธีทางเคมีทำการเตรียมฟางข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ (ในอัตราส่วนเส้นฟางข้าวเปล่าต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:10) ต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที (ยุทธศักดิ์ สุปการี, 2551) จากนั้นกรองแยกฟางข้าวเปล่าออกจากของเหลว และล้างด้วยน้ำประปาให้สะอาด จนกระทั่งมีค่าพีเอชเป็นกลาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือผึ่งแดดให้แห้ง แล้วนำมาฉีกและตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ

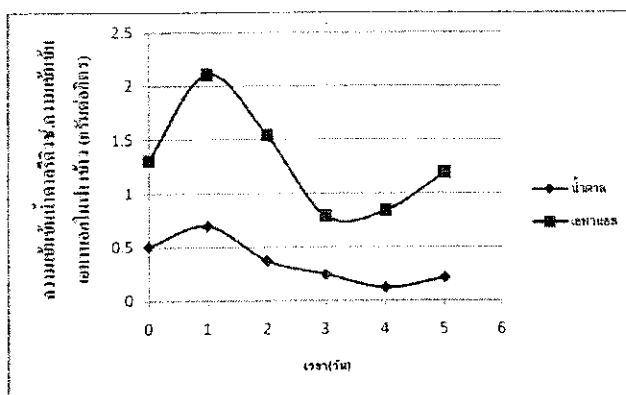
2. การย่อยสลายเอนไซม์ (Hydrolysis)

นำฟางข้าวและเส้นใยปาล์มที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพ ลงในขวดรูปชมพู่ ขวดละละ 5 กรัม เติมซีเตรดบัฟเฟอร์ pH5 ในปริมาตร 100 มิลลิตร และเติมเอนไซม์เซลลูเลส 6 ยูนิตต่อกรัมสารตั้งต้น และเอนไซม์บีต้ากลูโคซิเดส 3 ยูนิตต่อกรัมสารตั้งต้น ไว้ให้เย็น เหย้าให้เข้ากันทำให้ปลอดเชื้อด้วยหม้อนึ่งไอน้ำที่ความดัน 15 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 20 นาที ทั้งไว้ให้เย็น ทำการย่อย 2 วัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที

3. การหมัก (Fermentation)

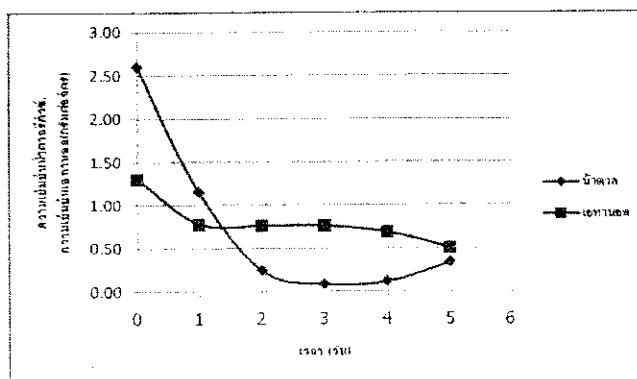
นำฟางข้าวและเส้นใยปาล์มที่ผ่านการย่อยเซลลูเลสมากรองนำตัวอย่างที่เก็บได้ไปหมนเหวี่ยงเอาเซลล์ออกที่ความเร็ว 8,000 รอบ ต่อ นาทีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 20 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาเติมเชื้อยีสต์โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5055 เริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิตรปริมาตร 10 มิลลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 5 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน ปริมาตร 5 มิลลิตร นำส่วนใสที่ได้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และเอทานอล

3. ผลการทดลอง



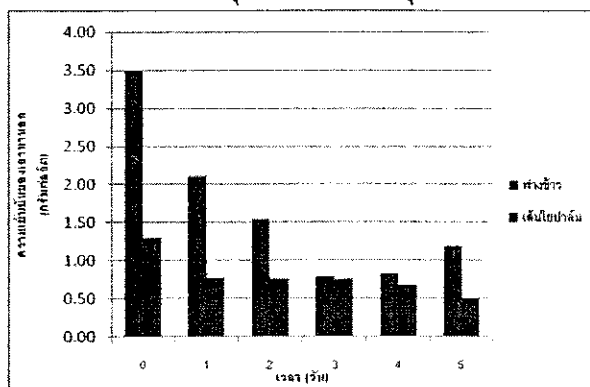
รูปที่ 1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และเอทานอลในฟางข้าว

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในวันแรกของการทดลองมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 3.5 กรัมต่อลิตร และลดลงเรื่อยๆ จนในวันสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 0.21 กรัมต่อลิตร ในขณะที่ เอทานอลขึ้นสูงสุดในวันที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2.11 กรัมต่อลิตร และลดลงต่ำสุดในวันที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.78 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และเอทานอลในเส้นใยปาล์ม

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในวันแรกของการทดลองมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 2.6 กรัมต่อลิตร และลดลงเรื่อยๆ จนถึงวันสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 0.34 กรัมต่อลิตร ในขณะที่เอทานอลเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.76 กรัมต่อลิตร หลังจากนั้นลดลงทั้งสองวันจนถึงวันสุดท้ายลดลงต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.5 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 3 ปริมาณเอทานอลในฟางข้าวและเส้นใยปาล์ม

ปริมาณเอทานอลในฟางข้าวมีปริมาณมากกว่าเอทานอลในเส้นใยปาล์มตั้งแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บข้อมูล โดยวันแรก มีความแตกต่างกันมากที่สุดคือในฟางข้าวมีปริมาณเอทานอล 3.50 กรัมต่อลิตร ในเส้นใยปาล์มมีปริมาณเอทานอล 1.30 กรัมต่อลิตร ในขณะที่วันที่ 3 มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด คือในฟางข้าวมีปริมาณเอทานอล 0.79 กรัมต่อลิตร ในเส้นใยปาล์มมีปริมาณเอทานอล 0.76 กรัมต่อลิตร

4.สรุปผล/วิจารณ์

1.ในขั้นตอนการผลิตเอทานอลมี 3 ขั้นตอน 1) การปรับสภาพวัตถุดิบด้วยไฮเดรโอไลติก 2) การย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 3) การหมัก

2.ผลการเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตเอทานอลของฟางข้าวและเส้นใยปาล์มโดยกระบวนการย่อยเอนไซม์และการหมัก ปรากฏว่าฟางข้าวมีศักยภาพในการผลิตเอทานอลมากกว่าเส้นใยปาล์มตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง (ยุทธศักดิ์ สุกการี , 2551)กล่าวไว้ว่าปริมาณเซลลูโลสในวัตถุดิบแต่ละประเภทจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ

ปัญหา/ข้อเสนอแนะ

ในการทำการทดลองครั้งนี้ ได้เอทานอลในปริมาณที่น้อย เพราะใช้เอนไซม์ ไม่เต็มที่ เนื่องด้วยมีข้อจำกัดเรื่องทุน อีกทั้งความชำนาญ และเทคนิคในการทดลองของผู้วิจัยทำให้เกิดเชื้อราในกระบวนการทดลอง ส่งผลให้ได้ปริมาณเอทานอล ในปริมาณน้อยดังกล่าว

5.การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

นำกระบวนการที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมการเรียนการสอน

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ผู้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐฐิยา วัฒนกิจจานุกูล.2552.สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากทะตายปาล์มเปส่าโดยใช้การย่อยสลาย ร่วมกับการหมัก.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตงมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ยงยุทธ สุการี. 2551. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากเส้นใยปาล์มโดยวิธี Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ระวีวรรณ แก้วกล้า. 2538. การผลิตเอทานอลจากฟางข้าว.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Zhu,S Wu,Yu, Z., Wang, Wang,C.,Yu,F.,S.,Ding,C,R.,lia.2006a Comparation of three microwave/chemical pretreatment processes for enzymatic hydrolysis of rice straw.Biosyst.Eng. 93:279-283.

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

Production of Biodiesel from Coconut Oil by Transesterification

นางสาวกาญจนา สมคิด โรงเรียนมกุฏเมืองราชวิทยาลัย จ.ระยอง

นางสาวพัชรณัฐ กุมภาว โรงเรียนบ้านเขว้าวิทยายน จ.ชัยภูมิ

บทคัดย่อ

มะพร้าวเป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญและมีศักยภาพในการนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเป็นไบโอดีเซล และได้รับความสนใจจากชุมชนโดยมีการพัฒนาไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวและนำไปใช้กับเครื่องยนต์ในภาคเกษตรกรรม งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลได้ของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้อัตราส่วนเนื้อมะพร้าวชูดต่อน้ำในการแยกน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ออกจากกะทิที่คั้นด้วยเครื่องไฮโดรลิก และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) จากการทดลองพบว่า ผลได้ของน้ำมันมะพร้าวมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 20 - 25% โดยอัตราส่วนเนื้อมะพร้าวชูดต่อน้ำ เป็น 1 : 1 มีร้อยละผลได้เท่ากับ 21.38% ดังนั้นการผลิตน้ำมันมะพร้าวจึงควรเลือกใช้อัตราส่วนนี้เนื่องจากใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด และผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ระดับความเข้มข้น 0.35%, 0.40% และ 0.45% โดยน้ำหนักปริมาตรของน้ำมันมะพร้าว และปริมาณเมทานอล 20%, 22% และ 24% โดยปริมาตรของน้ำมัน พบว่าร้อยละความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.45% โดยน้ำหนักปริมาตรของน้ำมันมะพร้าว และปริมาณ Methanol 22% โดยปริมาตรของน้ำมัน เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล โดยมีร้อยละผลได้ของน้ำมันไบโอดีเซล (% yield) เท่ากับ 98.4 และมีความหนาแน่นเท่ากับ 873.8 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล / น้ำมันมะพร้าว / ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

บทนำ

สถานการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงกำลังได้รับความสนใจในหลายประเทศรวมถึงประเทศไทยด้วย ภาครัฐจึงเร่งหาแนวทางแก้ปัญหา เช่น มาตรการประหยัดพลังงาน การหาพลังงานทดแทน เป็นต้น โดยสนับสนุนให้ใช้น้ำมันไบโอดีเซลและมีแผนบังคับใช้น้ำมันไบโอดีเซล B5 B10 ในปี 2554 - 2555 ทั้งภาคยานยนต์และการขนส่งทางบก (สถาบันยานยนต์) น้ำมันมะพร้าวเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการสนใจในการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญและมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลตามรายงานสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ว่ามีการปลูกมะพร้าวมากเป็นลำดับ 2 ในภาคเกษตรกรรม (พิศมัย และลลิตา, 2549) นักวิชาการและนักวิจัยจากหน่วยงานต่างๆ จึงให้ความสนใจศึกษาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ประกอบปริมาณมะพร้าวล้นตลาดหลายปีมาแล้ว ทำให้ราคามะพร้าวตกต่ำต่อเนื่อง ชาวสวนมะพร้าวไม่เห็นความสำคัญและไม่เอาใจใส่ในการปลูกมะพร้าว ทำให้ผลผลิตต่ำ และการแทนที่ตลาดน้ำมันมะพร้าวด้วยน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นสินค้าทดแทนที่มีราคาถูกกว่าและได้รับการสนับสนุนอย่างจริงจังจากภาครัฐบาล (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2546) ประเทศไทยจึงเริ่มพัฒนาอย่างจริงจังและมีผลงานการวิจัย ขบวนการผลิต การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ จนมีข้อมูลมากขึ้น (พิศมัย และลลิตา, 2549) และการใช้น้ำมันพืชของกลุ่มเกษตรกรที่เริ่มมีการเผยแพร่ในวงกว้าง เช่น การเปิด

สถาบันบริการไบโอดีเซลแห่งแรกของประเทศไทย ที่อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยความพยายามของกลุ่มเกษตรกรชาวสวนมะพร้าวในอำเภอทับสะแก น้ำมันไบโอดีเซลที่นำมาจำหน่าย คือ น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด ที่เรียกว่า โคโคดีเซล และจากการวิเคราะห์ของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย พบว่า โคโคดีเซลมีค่าออกเทน แรงบิด แรงอัด ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เครื่องยนต์เดินเรียบ (พจนมพร ถนอมทรัพย์) การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงและการปรับสภาพของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบกรอง น้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันมะพร้าว น้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันพืชกากเก็บ เพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้ น้ำมันมะพร้าวดีเซล โดยการนำเอาน้ำมันมะพร้าวมาผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเล็กสูบเดียว และทำการทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันดีเซลและน้ำมันมะพร้าวดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ กัน (อนุตร จำลองกุล , 2549) เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งศึกษาการผลิตน้ำมันมะพร้าวเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) และมุ่งหวังให้นักเรียน ผู้ปกครอง และชุมชนได้เกิดการเรียนรู้ ตระหนักถึงความสำคัญของพลังงานและสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลได้ของน้ำมันมะพร้าว ที่ใช้อัตราส่วนของน้ำในการแยกน้ำมันแตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification)

ขอบเขตของงานวิจัย

1. อัตราส่วนเนื้อมะพร้าวชูดต่อน้ำที่ใช้ในการแยกน้ำมันมะพร้าว เป็น 1 : 1, 1 : 1.5 และ 1 : 2 ใช้เวลา 48 ชั่วโมง
2. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ คือ น้ำมันมะพร้าว
3. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณแอลกอฮอล์

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาผลได้ของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้อัตราส่วนของน้ำในการแยกน้ำมันแตกต่างกัน

ชั่งน้ำหนักเนื้อมะพร้าวชูดแล้วคั้นด้วยเครื่องไฮโดรลิก โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเนื้อมะพร้าวชูดกับน้ำสะอาด 1 : 1, 1 : 1.5 และ 1 : 2 ตามลำดับ และนำน้ำกะทิที่ได้ใส่ภาชนะตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง แล้ววัดปริมาตรน้ำมันมะพร้าวที่ได้ และคำนวณหาน้ำหนักของน้ำมันมะพร้าวและร้อยละของผลได้เทียบกับน้ำหนักของเนื้อมะพร้าวชูด เก็บน้ำมันมะพร้าวไว้ในภาชนะเพื่อผลิตไบโอดีเซล

ตอนที่ 2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1. วิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันมะพร้าว โดยอุ่นน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ที่อุณหภูมิประมาณ 60°C แล้วเปิดน้ำมันมะพร้าว ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ นำไปชั่งน้ำหนัก และผสม

ไอโซโพรพานอลปริมาตร 1 เท่าของน้ำมันมะพร้าว เติมน้ำมันอัลฟาลีนอินดิเคเตอร์ ลงในสารละลาย จำนวน 3 หยด แล้วจึงนำสารละลายไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 M เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) ตรวจสอบซ้ำอีก 2 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย คำนวณหาค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันมะพร้าว

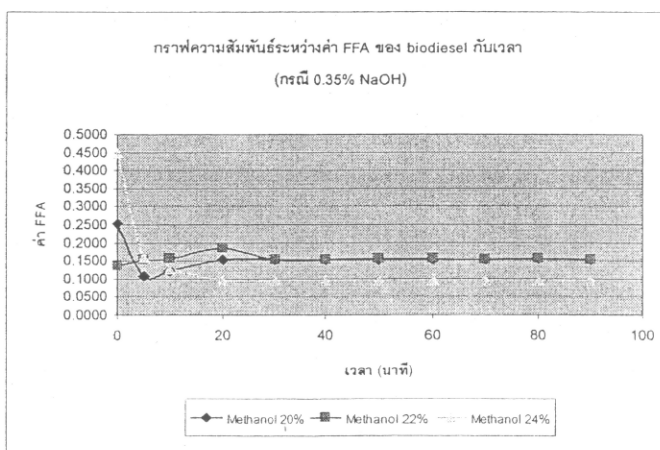
2. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำ ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอล 20% 22% และ 24% โดยปริมาตรของน้ำมัน อุ่นและกวนน้ำมันมะพร้าว โดยใช้ Hotplate Stirrer ที่อุณหภูมิ 60 °C จากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.35% โดยน้ำหนักปริมาตรน้ำมันมะพร้าว ละลายในเมทานอลอัตราส่วน 20%, 22% และ 24% โดยน้ำหนักปริมาตรของน้ำมัน แล้วเติมสารละลายเมทอกไซด์ลงในน้ำมันมะพร้าว กวนตลอดเวลา ด้วย Hotplate Stirrer เก็บตัวอย่างทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 90 นาที และตั้งทิ้งไว้จนแยกชั้นสมบูรณ์ ถ่ายกลีเซอรินออก นำไบโอดีเซลที่ผลิตได้มาผ่านขั้นตอนการล้างจนแน่ใจว่าน้ำมันไบโอดีเซลสะอาด แล้วนำมาให้ความร้อนเพื่อไล่น้ำออกที่อุณหภูมิ 60–80°C ประมาณ 30 นาที แล้วตรวจสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซลด้วยการหาความหนาแน่น ทำการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยเปลี่ยนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็น 0.40% และ 0.45% โดยน้ำหนักปริมาตรน้ำมันมะพร้าว บันทึกผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเปรียบเทียบความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ร่วมกับค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3. ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม คำนวณหาร้อยละผลได้ของไบโอดีเซล (% yield) และวัดความหนาแน่น

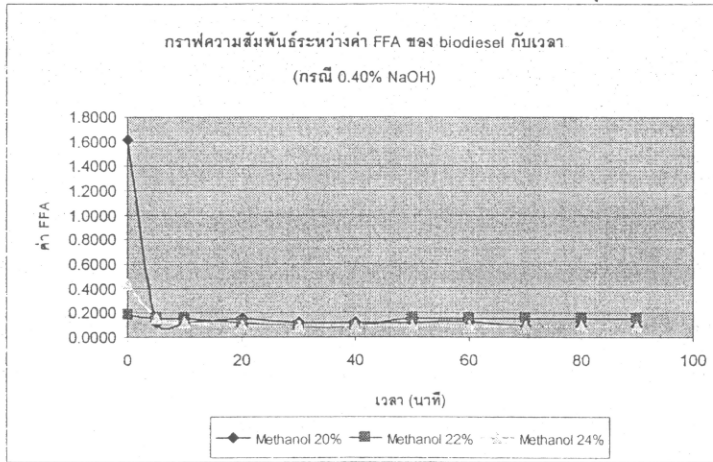
ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ได้ผลดังนี้ **ตอนที่ 1** ผลการศึกษาผลได้ของน้ำมันมะพร้าว โดยใช้อัตราส่วนของน้ำมันมะพร้าวชุดต่อน้ำที่ใช้ในการแยกน้ำมันมะพร้าว เป็น 1 : 1, 1 : 1.5 และ 1 : 2 และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า ร้อยละผลได้ของน้ำมันมะพร้าว เท่ากับร้อยละ 21.38, 21.61 และ 22.07 ตามลำดับ

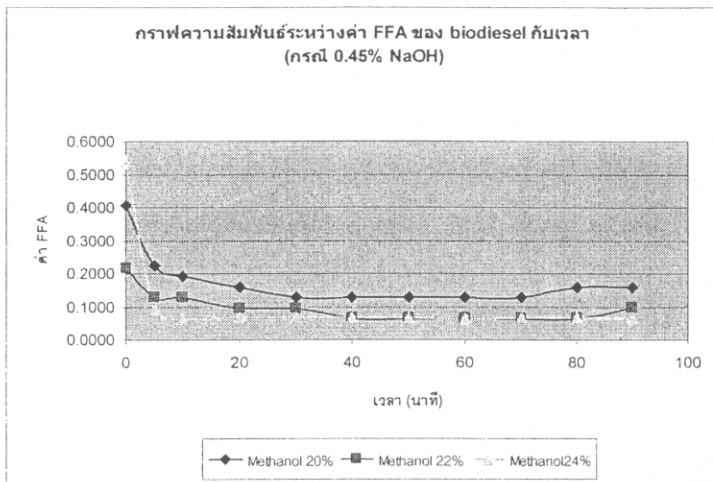
ตอนที่ 2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน แสดงได้ดังรูป



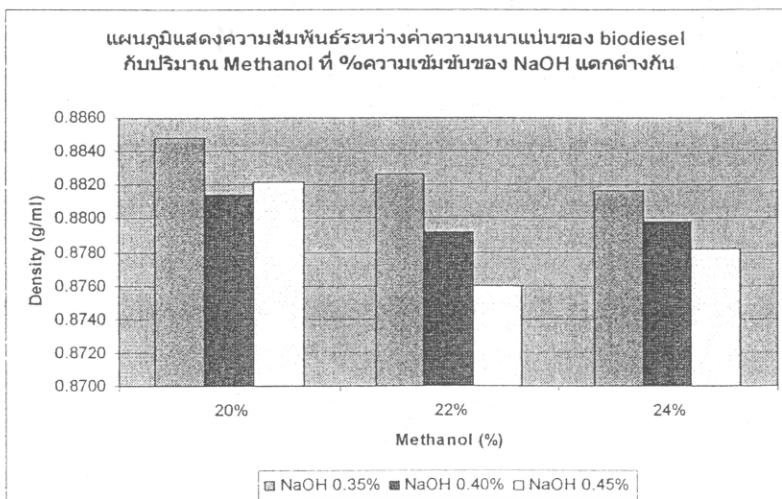
รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า FFA ของ biodiesel กับเวลา (กรณี 0.35% NaOH)



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า FFA ของ biodiesel กับเวลา (กรณี 0.40% NaOH)



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า FFA ของ biodiesel กับเวลา (กรณี 0.45% NaOH)



รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของ biodiesel กับปริมาณ Methanol ที่ % ความเข้มข้นของ NaOH แตกต่างกัน

รูป แสดงผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

สรุปผลและอภิปรายผล

ผลการศึกษาอัตราส่วนในการแยกน้ำมันมะพร้าว พบว่า ควรเลือกอัตราส่วนน้ำมันมะพร้าวชุดต่อน้ำ เป็น 1: 1 เนื่องจากใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด เพื่อเป็นการประหยัดและลดต้นทุนในการผลิต

ผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยาและปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใช้ พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.35%, 0.40% และ 0.45% โดยน้ำหนักปริมาตรของน้ำมันมะพร้าว และใช้ปริมาณ Methanol 24% มีค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) ลดลงมากที่สุด และมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลา 20 – 90 นาที แต่เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซล ด้วยการวัดความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซล พบว่า ความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการศึกษาทุกสภาวะ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน แต่เนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.45% โดยน้ำหนักปริมาตรของน้ำมันมะพร้าว ที่ใช้ปริมาณเมทานอล 22% มีค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซล เท่ากับ 0.8760 กรัมต่อมิลลิลิตร (876 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งน้อยกว่าสภาวะอื่นๆ ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.45% โดยน้ำหนักปริมาตรของน้ำมันมะพร้าว และใช้ปริมาณเมทานอล 22% โดยมีร้อยละผลได้ของน้ำมันไบโอดีเซล (% yield) เท่ากับ 98.4 เทียบกับปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่ใช้ และมีความหนาแน่นเท่ากับ 873.8 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาระยะเวลาในการแยกน้ำมันมะพร้าว และสภาวะที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนเพิ่มเติม
2. ควรปรับใช้เครื่องมือที่ใช้ในการแยกน้ำมันมะพร้าวเพื่อให้สามารถแยกน้ำมันมะพร้าวได้มากที่สุดโดยใช้เวลาน้อยที่สุด
3. มีการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้านอื่นๆ เพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการครุวิจัย ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และขอขอบคุณสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่และเครื่องมือประกอบการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. เอกสารประกอบการอบรม : ไบโอดีเซล (โครงการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานด้วยไบโอดีเซลชุมชน) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
 กล้านรงค์ ศรีวรรต. 2546. รายงานการวิจัย : การศึกษาสถานภาพวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล. สำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ธวัชชัย รูปแก้ว. การสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากกระบวนการหีบเย็น. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 ข้อมูลจาก www.intania.com/upload/EX06.pdf.

พนมพร ถนอมทรัพย์. คอลัมน์โลกสิ่งแวดลอม ตอน ไบโอดีเซล : เชื้อเพลิงแห่งยุค. ข้อมูลจาก www.moph.go.th/ops.doctor/drOct44/world801.doc.

พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และลลิตา อตันโก. 2549. รอบรู้เรื่องราว ไบโอดีเซล. พิมพ์ครั้งที่ 1 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

ภูธร เรืองยิ่ง (2545) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวแบบต่อเนื่องโดยการเร่งปฏิกิริยาด้วยรังสี ไมโครเวฟ.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ลลิตา อตันโก. การผลิตน้ำมันมะพร้าวบีบเย็นคุณภาพสูง (cold pressed coconut oil production) คอลัมน์ : แกะ กล่องงานวิจัย, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(วว.)หน้า67-72.ข้อมูลจาก

pactistr.or.th/Multimedia/ST.JN/4802/4802-12.pdf

สถาบันยานยนต์.ถึงเวลาแล้วสำหรับการใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลในยานยนต์ ข้อมูลจาก

www.technologymedia.co.th/PDF/etoday62_51/auto_today.pdf

อนุตร จำลองกุล. 2549. การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้้ำมันมะพร้าวดีเซล.วารสารอินดัสเทรียล เทคโนโลยี รีวิว ปีที่ 13 ฉบับที่ 153

บทความ

เรื่อง “ การผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการลดยางเหนียว ”

โดยนางสาวปราณี ช่วยหนู ครูโรงเรียนวัดพังตรื อ.ระโนด จ.สงขลา และ
นางสาวรัชฎ์ลักษณ์ จันดีสาร ครูโรงเรียนกัณฑ์รัชวิทยา อ.กัณฑ์รัช จ.ศรีสะเกษ

ในปัจจุบันนี้มีการรณรงค์ให้ทุกคนช่วยกันประหยัดพลังงานในทุก ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือ เชื้อเพลิงต่าง ๆ โดยเฉพาะการใช้น้ำมัน ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำมันดิบในธรรมชาติที่มีอยู่กำลังลดปริมาณลงทุกวัน และในขณะที่ต้องการในการใช้พลังงานมีมากขึ้นเรื่อย ๆ และวิธีการหนึ่งที่จะช่วยในการลดปริมาณการใช้น้ำมันดิบจากธรรมชาติคือ การหาพลังงานอื่นมาทดแทน ในที่นี้การใช้พลังงานจากแหล่งอื่นที่มีอยู่ในธรรมชาติที่จะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนน้ำมันดิบในธรรมชาติก็คือ การใช้น้ำมันจากพืช หรือที่เรียกว่า ไบโอดีเซล นั่นเอง

พืชที่สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้มีด้วยการหลายชนิดเช่น ปาล์ม พืชตระกูลถั่ว และ สับปะรด เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

ก่อนอื่นมาดูความหมายของไบโอดีเซลว่าคืออะไร ไบโอดีเซลคือ

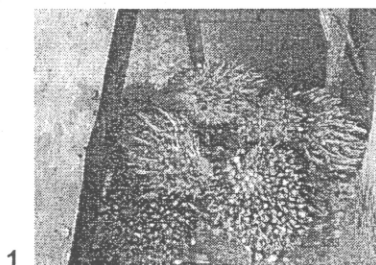
การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่จะกล่าวถึงเป็นการผลิตไบโอดีเซลจากผลปาล์มที่นำมาหีบรวม แล้วนำมาผ่านกระบวนการลดยางเหนียว มาดูขั้นตอนการผลิตกัน เริ่มจาก

ขั้นที่ 1 การหีบเอาน้ำมันจากผลปาล์ม

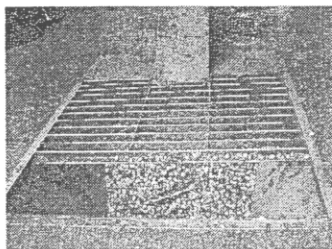
ขั้นที่ 2 การลดจากยางเหนียวจากน้ำมันปาล์ม

ขั้นที่ 3 การนำน้ำมันปาล์มดิบที่ลดยางเหนียวแล้วมาผลิตไบโอดีเซล

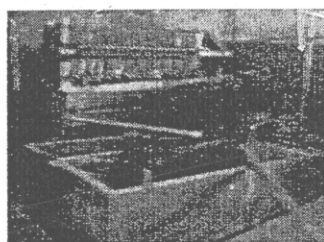
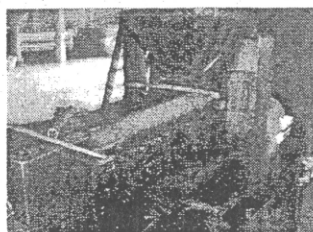
ขั้นที่ 1 การหีบเอาน้ำมันจากผลปาล์ม



1

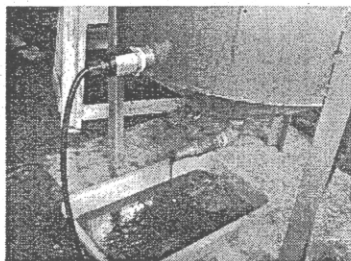


2



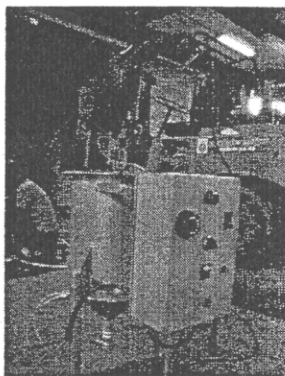
ขั้นที่ 2 การลดจากยางเหนียวจากน้ำมันปาล์ม

- 2.1 เตรียมน้ำมันปาล์มดิบเข้าสู่ถังปฏิกรณ์
- 2.2 เปิดระบบให้ความร้อนกับน้ำมันปาล์มดิบให้มีอุณหภูมิ $80-90^{\circ}\text{C}$
- 2.3 เตรียมสารละลายกรดฟอสฟอริก โดยใช้ฟอสฟอริก 85 % 1 ส่วนละลายน้ำ 9 ส่วนในถังเตรียมฟอสฟอริก
- 2.4 เมื่อน้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิถึง $80-90^{\circ}\text{C}$ เติมสารละลายกรดฟอสฟอริก 1% ของน้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบพร้อมเปิดใบพัดกวน
- 2.5 เมื่อครบ 30 นาทีให้หยุดกวน และพักทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของยางเหนียวและน้ำมันปาล์มดิบ เมื่อครบ 1 ชั่วโมง จึงถ่ายยางเหนียวออกจากถังปฏิกรณ์
- 2.6 เตรียมน้ำล้างด้วยน้ำอุ่น เติมน้ำลงในถังปฏิกรณ์ พร้อมเปิดใบพัดกวน 10 วินาที จากนั้นพักทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้ยางเหนียวที่ยังหลงเหลืออยู่ตกลงที่ก้นถังปฏิกรณ์ และถ่ายน้ำออก ทำการล้างอีกครั้ง
- 2.7 พักทิ้งไว้เพื่อรอให้ยางเหนียวแยกชั้นแล้วถ่ายออกจากถังปฏิกรณ์

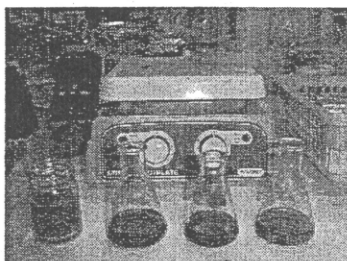


ขั้นที่ 3 การนำน้ำมันปาล์มดิบที่ลดยางเหนียวแล้วมาผลิตไบโอดีเซล

- 3.1 เตรียมน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการลดยางเหนียวแล้ว ปริมาณ 5 ลิตรลงในถังปฏิกรณ์ อุ่นให้ได้ อุณหภูมิ 60°C ในขณะที่อุ่นจนตลอดเวลา (ในที่นี้ถังปฏิกรณ์ที่ใช้อุ่นน้ำมันปาล์มดิบมีส่วนในการกวนติดตั้งไว้และมีความเร็วรอบในการหมุน ประมาณ 300 – 350 รอบ/นาที) การอุ่นในลักษณะนี้ใช้เวลาในการอุ่นประมาณ 25 – 30 นาที ก็จะได้อุณหภูมิ 60°C



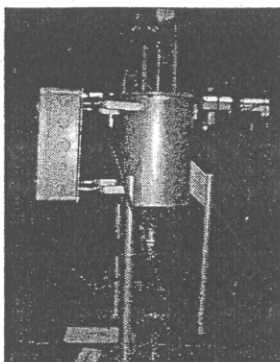
- 3.2 นำน้ำมันส่วนหนึ่งไปไทเทรตเพื่อคำนวณหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณเมทานอล



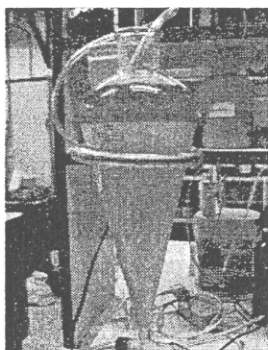
- 3.3 นำโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอลที่คำนวณได้มาละลายให้เข้ากันแล้วค่อยเทลงในถังปฏิกรณ์ แล้วกวนให้เข้ากันใช้เวลาในการกวน ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้โซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอลทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์มดิบ



- 3.4 ตั้งทิ้งไว้ 45 นาที เพื่อรอให้กลีเซอรินแยกชั้นออกจากน้ำมันและตกตะกอนลงสู่ก้นถัง หลังจาก นั้น ให้ถ่ายกลีเซอรินออก ในที่นี้จะได้กลีเซอรินประมาณ 650 - 800 มิลลิลิตร



3.5 นำน้ำมันที่ได้ไปล้างเอาโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากน้ำมัน



3.6 เมื่อล้างแล้วนำน้ำมันที่ได้จากการล้างไปอุ่นไอน้ำแล้วนำไปทดสอบหาค่ามาตรฐานก่อนจะนำไปใช้จริงกับเครื่องยนต์

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่เขียนในบทความนี้เป็นกระบวนการที่ได้จากการฝึกปฏิบัติจริงในห้องทดลองภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขต หาดใหญ่ ในระหว่างวันที่ 1 – 30 เมษายน 2552 โดยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) บทความนี้อาจจะไม่ละเอียดมากนักแต่ก็พอมีประโยชน์บ้าง

ในที่นี้ขอขอบคุณ รศ.กำพล ประทีปชัยกูร อาจารย์ที่ปรึกษา ,นายสุรัชย์ จันทรศรี เจ้าหน้าที่พี่เลี้ยง และเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่าง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขต หาดใหญ่ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดระยะเวลาการฝึกทำวิจัยครั้งนี้

การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

Methyl Ester Production from Used Cooking Oil by Transesterification Process

นางศรีกัลยา เทียนน้อย Srigulya Tiannoi

นางอรนุช เสี่ยงดัง Oranuch Seangdang

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันทอดด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร โดยการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของเอสเทอร์ที่ได้ด้วยการแปรค่าปริมาณเมทานอลที่ 22 24 และ 26 % โดยปริมาตรน้ำมัน ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 3 4 และ 5 % น้ำหนักต่อปริมาตรน้ำมัน อุณหภูมิปฏิกิริยาถูกควบคุมไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของการกวนควบคุมไว้ที่ 90 รอบต่อนาที ค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันวัดได้โดยการไตเตรทผลการศึกษพบว่า เมื่อใช้เมทานอลที่ 24 % โดยปริมาตร และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 5% โดยน้ำหนัก ค่ากรดไขมันอิสระในเมทิลเอสเทอร์ลดลงเหลือ 0.167 และความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์มีค่า 0.8686 ผลได้ร้อยละของเอสเทอร์อยู่ที่ 86 % และปริมาณน้ำล้างที่ใช้มีค่า 7.48 เท่าของปริมาณน้ำมัน

คำสำคัญ เมทิลเอสเทอร์ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน น้ำมันพืชใช้แล้ว ถังปฏิกรณ์

ABSTRACT

The research is to study the methyl ester production from used cooking oil by transesterification process in 10 liters batch reactor. Comparison of the effect of varying methanol and sodium hydroxide used on the quality of methyl ester have been done. 20, 24 and 26 %v/v of methanol to oil and 3,4 and 5%wt/v of sodium hydroxide are used in this study while the reaction temperature is controlled at 60°C and the stirring speed is controlled at 90 rpm. Titration is used to find the free fatty acid of the oil and it is found that free fatty acid left in methyl ester can be reduced to 0.167 and the density of the final product is 0.8686 when 24%v/v of methanol and 5 %wt/v of sodium hydroxide are used. 86% ester yield can be achieved and water washed is 7.48 times of oil.

บทนำ

จากวิกฤตพลังงานที่เกิดขึ้นทั่วโลกซึ่งรวมถึงประเทศไทยที่ประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่พลังงานฟอสซิลที่นับวันจะลดปริมาณเหลือน้อยลงเรื่อยๆ มีการคาดการณ์กันว่าพลังงานฟอสซิลจะสามารถมีรองรับให้ใช้ได้อีกประมาณ 40 ปีเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความพยายามหาแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงอื่นมาใช้ทดแทนซึ่งก็ได้แก่พลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานชีวมวลจากพืชพลังงาน และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม เป็นผู้นำด้านการผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์เกษตรหลายชนิดเช่น ปาล์ม มันสำปะหลัง และ อ้อย เป็นต้น ซึ่งการเพาะปลูกพืชพลังงานนอกเหนือจากการนำไปใช้เพื่อการบริโภคแล้ว การนำพืชเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในเชิงพลังงานน่าจะเป็นแนวทางที่ดีเพื่อให้ประเทศได้มีการผลิตพลังงานใช้เองและเพื่อลดค่าใช้จ่ายการนำเข้าเชื้อเพลิงราคาแพงจากต่างประเทศ

มีการวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชชนิดต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองพบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันจากพืชค่อนข้างสูงกว่าเป็นหลายเท่าของน้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม และค่าความหนืดนี้เองที่ทำให้การแตกตัวของอนุภาคของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นไปไม่ดีนักในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมต่างๆ เช่น การสะสมบนเครื่องยนต์ เป็นต้น จึงได้มีการหาแนวทางแก้ไขปัญหเกี่ยวกับความหนืดของน้ำมันจากพืชด้วยวิธีต่างๆ และวิธีการหนึ่งคือปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

แนวทางแก้ไขด้วยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน นับเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมเป็นอันมาก ซึ่งจากปฏิกิริยาดังกล่าว จะได้โมโนอัลคิลเอสเทอร์ของน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์ ซึ่งปัจจุบันนี้ เรียกว่า “ไบโอดีเซล” กล่าวโดยย่อ ก็คือ การนำน้ำมันจากพืชมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (โดยทั่วไปใช้เมทานอล) และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (นิยมใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) จะได้เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งก็คือ ไบโอดีเซล นั่นเอง

จากงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศพบว่าไบโอดีเซลจะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีความหนืดมากกว่าเล็กน้อย รวมถึงมีรายงานของการนำไบโอดีเซลไปใช้ในเครื่องยนต์พบว่าสามารถใช้ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการใช้ไบโอดีเซลอย่างแพร่หลายในประเทศยุโรปและสหรัฐอเมริกา ดังนั้น ไบโอดีเซล จึงเป็นพลังงานทดแทน หรือพลังงานทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการรับมือกับสถานการณ์วิกฤตพลังงานของประเทศไทย เนื่องจากเศรษฐกิจไทยตั้งอยู่บนพื้นฐานการเกษตร มีน้ำมันจากพืชเศรษฐกิจหลายชนิดในปริมาณที่มากซึ่งเหมาะสมจะนำมาเป็นใช้ประโยชน์ในการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล อีกทั้งเป็นการส่งเสริมเกษตรกร ทำให้ประเทศมีความสามารถในการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานมากขึ้น และลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงราคาแพงจากต่างประเทศ ทั้งยังเป็นการสร้างเสถียรภาพทางพลังงานให้กับประเทศอีกด้วย

ขณะเดียวกันจากการสำรวจพบว่าในแต่ละปีประเทศไทยมีปริมาณน้ำมันประกอบอาหารใช้แล้วเหลือทิ้งเป็นปริมาณมากถึง 74.75 ล้านลิตรต่อปี(กระทรวงพลังงาน) โดยปริมาณน้ำมันพืชเหลือทิ้งมากที่สุดเกิดจากกลุ่มครัวเรือน ซึ่งการกำจัดน้ำมันพืชในส่วนนี้คือการทิ้งสู่ธรรมชาติซึ่งทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมหรือถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยการรับซื้อของพ่อค้าคนกลางโดยการนำกลับมากรองและขายกลับไปยังผู้ประกอบการร้านค้าทำให้เกิดปัญหาสุขภาพต่อผู้บริโภค เนื่องจากในน้ำมันประกอบอาหารใช้แล้วที่นำกลับมาใช้ซ้ำจะมีสารพิษก่อมะเร็งอยู่ 2 กลุ่ม คือ อนุมูลอิสระและไดออกซิน นอกจากนี้ น้ำมันประกอบอาหารใช้แล้วยังมีสารเคมีที่เกิดจากการประกอบอาหารที่มีผลกระทบต่อสุขภาพหลายชนิด ที่สำคัญได้แก่ สารฟิเอเอช สารเอ็นพีเอเอชและสารประกอบโพลาร์ โดยสารชนิดที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะระเหยเป็นไอขณะทอดหรือผัดที่มีผลต่อผู้ประกอบการ ส่วนสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะอยู่ในน้ำมันทอดหรือดูดซับเข้าไปในอาหาร โดยผู้ที่สัมผัสกับสารเคมีดังกล่าวมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดมะเร็ง ความดันโลหิตสูง เกิดความผิดปกติต่อระบบสมอง ระบบประสาท ภูมิคุ้มกันและอวัยวะต่างๆ ทำให้เกิดการกลายพันธุ์และก่อมะเร็งระบบฮอร์โมน ทำให้เกิดความผิดปกติกับระบบสืบพันธุ์ และมีความเสี่ยงที่จะทำให้ตัวอ่อนของทารกในครรภ์ผิดปกติถึงขั้นทำให้เสียชีวิตก่อนกำหนดได้จากปัญหาดังกล่าวจะเห็นได้ว่า การนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตไบโอดีเซล นอกจากจะเป็นการช่วยชาติในการอนุรักษ์พลังงานแล้ว ยังช่วยแก้ปัญหาด้านมลพิษและด้านสุขภาพของผู้บริโภคได้อีกด้วย ดังนั้น น้ำมันประกอบอาหารใช้แล้วจึงนับเป็นวัตถุดิบที่ควรส่งเสริมให้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล

จากประสบการณ์การจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องพลังงานทดแทนไบโอดีเซลในโรงเรียนของผู้วิจัยเองพบว่าผู้เรียนไม่ได้นำความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้จริงเนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องเครื่องมือวัสดุอุปกรณ์และที่สำคัญไม่สามารถขยายผลการเรียนรู้สู่ชุมชนตามที่มุ่งหวังได้ สภาพการผลิตไบโอดีเซลของคนในชุมชนยังเป็นแบบลองผิดลองถูกและไม่เป็นระบบครบวงจรบนพื้นฐานของความรู้ที่แท้จริง ทำให้

นโยบายการส่งเสริมชุมชนผลิตและใช้พลังงานทดแทนหรือโครงการไบโอดีเซลชุมชนไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ทั้งๆที่ในชุมชนมีวัตถุดิบ คือ น้ำมันพืชใช้แล้วอย่างเพียงพอ คนในชุมชนให้ความสนใจและมีความต้องการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วไว้ใช้เอง จึงควรเป็นหน้าที่ของสถานศึกษาที่จะต้องเข้ามามีบทบาทด้วยการพัฒนาหลักสูตรท้องถิ่น ปรับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ตลอดจนกระบวนการเรียนรู้ และสร้างแหล่งเรียนรู้เรื่อง พลังงานทดแทนการผลิตไบโอดีเซลให้มีความเหมาะสม ต่อเนื่องและขยายผลสู่ชุมชนต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification)
2. ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้เมทานอลที่ 22 ,24 และ 26 % โดยน้ำหนักน้ำมัน
3. ศึกษาปริมาณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 3.3,5,4 และ 5 % โดยน้ำหนัก
4. ศึกษาปริมาณน้ำล้างไบโอดีเซลที่เหมาะสมทั้งนี้ ให้มีคุณสมบัติค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) ความหนาแน่น (Density) ของน้ำมันไบโอดีเซลและ pH ของน้ำล้างตามที่กำหนด

อุปกรณ์/วิธีการ

วัตถุดิบและสารเคมี ประกอบด้วย

1. น้ำมันพืชใช้แล้ว
2. เมทานอลความเข้มข้น 99 % (Methanol)
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)
4. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ (Phenolphthalien Indicator)
5. ไอโซโพรพานอล (Iso-propanol)

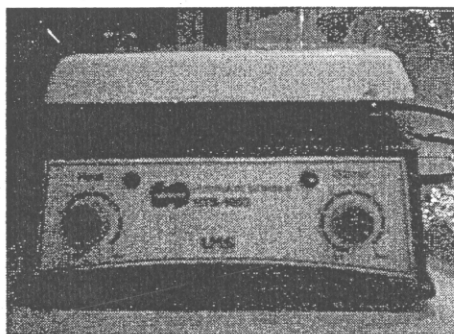
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดเครื่องแก้วพื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง ปิเปต บิวเรต ขวดรูปชมพู่ กรวยแยก เป็นต้น
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ยี่ห้อ SHIMADZU LIBROR EB -3200 H พิกัด 3,120 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม ใช้สำหรับชั่งสารเคมี
3. Hotplate Stirrer ยี่ห้อ CORNING ใช้สำหรับให้ความร้อนและกวนสาร
4. เทอร์โมมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิชนิด K-type thermocouple : -200 °C ถึง 1370 °C ยี่ห้อ FLUKE NO 5111 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา
5. ถังปฏิกรณ์ ขนาด 10 ลิตร
6. ขวดวัดความหนาแน่น ใช้สำหรับหาความหนาแน่นของไบโอดีเซล เทียบกับค่าความหนาแน่นมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

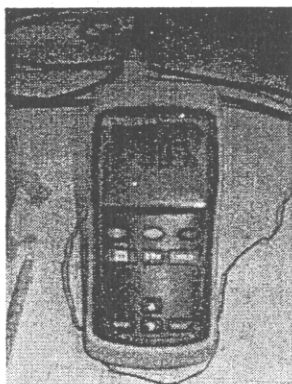
ภาพที่ 1 เครื่องชั่งน้ำหนัก (ตศนิยม 2 ตำแหน่ง)ยี่ห้อ SHIMADZU LIBROR EB -3200 H พิกัด 3,120 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม ใช้สำหรับชั่งสารเคมี



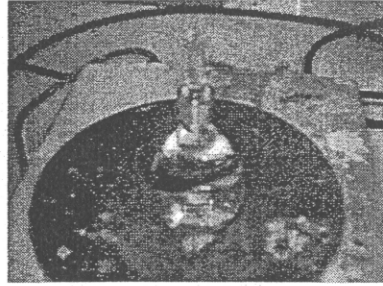
ภาพที่ 2 Hotplate Stirrer ยี่ห้อ CORNING ใช้สำหรับให้ความร้อนและกวนสาร



ภาพที่ 3 เทอร์โมมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิชนิด K-type thermocouple : -200 °C ถึง 1370 °C ยี่ห้อ FLUKE NO 5111 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 4 ขวดวัดความหนาแน่น ใช้สำหรับหาความหนาแน่นของไบโอดีเซล เทียบกับค่าความหนาแน่นมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน



วิธีการศึกษา

- ขั้นที่ 1 ศึกษาสภาวะการใช้เมทานอลที่สัดส่วน 22, 24, 26 % โดยน้ำหนักน้ำมัน
- ขั้นที่ 2 ใช้ผลการทดลองขั้นที่ 1 ศึกษาปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา (NaOH) ที่ 3, 3.5, 4 % โดยน้ำหนัก
- ขั้นที่ 3 นำผลการทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ล้างไบโอดีเซล

ขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา
2. การเตรียมสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium Methoxide)
3. การทำให้เกิดปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์ อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วรอบในการกวน 90 รอบ/นาที
4. การแยกกลีเซอริน
5. การล้างสบู่และหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง
6. การขจัดน้ำออกจากไบโอดีเซลขั้นสุดท้าย
7. การตรวจหาค่า FFA และความหนาแน่นของไบโอดีเซล

ผลการศึกษา / ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยถังปฏิกรณ์ ที่ใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 °C ความเร็วรอบในการกวน 90 รอบต่อนาที คือ ใช้ปริมาณเมทิลแอลกอฮอล์ 24 % โดยน้ำหนักน้ำมัน และตัวเร่งปฏิกิริยา 5gNaOH% โดยน้ำหนัก ให้ผลผลิตเมทิลแอลกอฮอล์คิดเป็นสัดส่วนเมทิลเอสเทอร์ 86 % กลีเซอริน 32 % ค่า FFA 0.167 และมีความหนาแน่น 0.8686 ใช้ในการล้าง 37400 cc. หรือ 7.48 เท่าของน้ำมันพืช ผลการศึกษาสามารถนำไปเป็นแนวทางในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่เหมาะสมและศึกษาพัฒนาในโอกาสต่อไป

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. นำความรู้จากการศึกษาทดลองไปใช้พัฒนาการผลิตเมทิลเอสเทอร์
2. นำรูปแบบการศึกษา ทดลอง ไปปรับใช้ในการศึกษาค้นคว้าเรื่องอื่นๆ
3. นำประสบการณ์การศึกษาทดลองไปออกแบบ ประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอน
4. แลกเปลี่ยนประสบการณ์เพื่อเพิ่มพูนความรู้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ กำพล ประทีปชัยกุล อาจารย์ที่ปรึกษา งานวิจัย ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ศึกษาวิจัย จนกระทั่งสำเร็จลงลงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ ความเข้าใจ เบื้องต้นเกี่ยวกับการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสุรัชย์ จันทรศรี ซึ่งให้การดูแล แนะนำ กระบวนการทดลองและช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการครุวิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และได้รับความสะดวกด้านสถานที่และการฝึกทำวิจัยจากสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

เอกสารอ้างอิง

วสันต์ เขียวสุวรรณ. 2551. "การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว: ผลกระทบของค่าตัวแปรใน กระบวนการ ผลิต" , วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคามฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2551;27(2):167-174.

ศูนย์วิจัยและสาธิตระบบพลังงานทดแทน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขต พัทลุง. 2551คู่มือการผลิตไบโอดีเซลอย่างง่ายจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว. พัทลุง.

คณะกรรมการการพลังงาน สมาผู้แทนราษฎร. 2545. พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล.

กรุงเทพฯ : บริษัท แพลน พรินท์ติ้ง จำกัด.

กำพล ประทีปชัยกุล และ ธีรวัฒน์ อภิชาโด. 2546. "การใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ทางการเกษตร : การทดสอบเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล", วารสารสงขลานครินทร์ฉบับ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2546 25(3) : 317-326.

ชาคริต ทองอุไร, สันต์ชัย กลิ่นพิกุล, จริญญา บุญกาญจน์ และพิมพ์พรณ เกียรติชมกุล. 2544. การผลิตไบโอดีเซลจากผลิตผลปาล์มน้ำมัน. วารสารสงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2544 23(ฉบับพิเศษ) : 831- 841.

การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมโดยใช้กระบวนการผลิตแบบสองขั้นตอน
(Methyl Ester Production from palm Oil by Using Two Stage Process)

สุธีปกา หมื่นชนะ (Suteepaga muenchana)¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปาล์มดิบหีบรวม ที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง 16 % ด้วยกระบวนการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อลดกรดไขมันอิสระโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้กรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 12,14, และ 16% โดยโมลของกรดไขมันอิสระ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ขั้นตอนที่สองเป็นกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อแปลงผลผลิตจากขั้นตอนแรกให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกริเซอร์อล โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 % โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นาที จากผลการทดลองขั้นตอนแรก พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสม โดยใช้ อัตราส่วนเมทานอลต่อ 20, 22 และ 24% โดยโมลของกรดไขมันอิสระ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง สามารถลดกรดไขมันอิสระได้น้อยกว่า 2 % ส่วนขั้นตอนที่สอง พบว่า การใช้อัตราส่วนเมทานอล 20% โมลของน้ำมัน ได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซล มากที่สุด 90 %

คำสำคัญ ; ไบโอดีเซล , เอสเทอร์ฟิเคชัน , ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เมทิลเอสเทอร์

ABSTRACT

Mixed crude palm oil having free fatty acid of more than 16 wt% was used as a raw material to produce biodiesel via the two stage process (esterification followed by transesterification). In the first stage, the amount of methanol at 12, 14 and 16 vol% and the amount of sulfuric acid (catalyst) at 2 vol% were investigated. In addition, the amount of methanol at 22, 24 and 26 vol % and the amount of sodium hydroxide at 0.5 %wt/vol were used to produce biodiesel in the second stage. The reagent in two-stage was reacted around an hour for each stage under the speed of stirrer at 300 rpm and the reaction temperature was controlled at 60 degree Celsius. The result indicated that FFA that containing in MCPO to more than 16 wt% was reduced to less than 2 wt% under the condition of the amount of methanol at 16 vol%. In addition, the amount of methyl ester to more than 90 wt% was obtained when the amount of methanol at 20 wt% was used.

Kew word biodiesel esterification transrification methyeste

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นสิ่งจำเป็น และสำคัญต่อการดำรงชีวิต ของสังคมมนุษย์เป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นปัญหาส่วนใหญ่ของหลายประเทศ เนื่องจากน้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ในประเทศนั้น เป็นส่วนใหญ่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งอยู่ในรูปขอน้ำมันดิบ และน้ำมันสำเร็จรูป มีราคาค่อนข้างสูง โดยที่ปริมาณน้ำมันที่นำเข้าจากต่างประเทศนั้นก็ยังมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ และจะต้องมีมากขึ้นทุกปี ซึ่งอาจจะต้องประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง และทำให้น้ำมันมีราคาแพงมากขึ้นได้ ในอนาคต ตลอดจนปัญหาด้านมลพิษทางอากาศอันมีสาเหตุมาจากไอเสียของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นจึงต้องมีการหาแหล่งน้ำมันหรือพลังงานใหม่เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ได้ ซึ่งไบโอดีเซลก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้ทดแทนน้ำมัน ดีเซล ไบโอดีเซลส่วนใหญ่ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม ไขมันวัว ไขมันไก่ น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว เป็นต้น

ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถผลิตได้เอง เป็นเชื้อเพลิงสะอาด จึงมีความสนใจศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซล เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนการผลิต อุปกรณ์สารเคมีที่ต้องใช้ และเทคนิคในการผลิตไบโอดีเซลให้มีคุณภาพสามารถนำไปใช้ได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของกรุงเทพมหานคร และนโยบายของเขตหลักสี่เรื่องพลังงานทดแทน และทางโรงเรียนการเคหะท่าทรายมีการรับซื้อน้ำมันพืชที่ใช้แล้วร่วมกับ บริษัทน้ำมันพืชทิพย์ จากนั้นนำความรู้ที่ได้ไปเผยแพร่แก่นักเรียน และชุมชนเพื่อให้สามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีคุณภาพใช้เองใน การผลิตไบโอดีเซลใช้เองเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน ใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นคือน้ำมันพืชใช้แล้วให้เกิดประโยชน์ ดำเนินชีวิตตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง เป็นการช่วยลดวิกฤตด้านพลังงาน เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมของประเทศและสังคมโลกได้อีกทางหนึ่ง

1.2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไขมันและน้ำมันเมื่อผ่านการให้ความร้อนจะเกิด ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดกรดไขมันอิสระขึ้นถ้าค่าความเป็นกรดไขมันอิสระสูง จะพบปัญหาในการผลิตไบโอดีเซลแบบทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยตรงเนื่องจากจะทำให้เกิดสบู่และขัดต่อการขัดขวางการแยกตัวกันระหว่างเอสเตอร์และกลีเซอรอล เช่นเดียวที่ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่เกิดจากการประกอบอาหารที่มีค่า ความเป็นกรดสูง $75.92 \pm 0.036 \text{ mgKOH/g}$ โดยลดค่าความเป็นกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรด FeSO_4 ที่ 2 % โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอลตัวทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วน น้ำมัน 10:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 95°C นาน 4 ชั่วโมง สามารถเปลี่ยนรูปกรดไขมันอิสระได้ 97.22 % และนำไตรกลีเซอไรด์จากขั้นตอนแรกมาผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1 % โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน ที่ 6:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65°C นาน 1 ชั่วโมง ให้ผลผลิตกรด ไบโอดีเซลได้ 97.02 % [2]

นอกจากนี้ มันเมล็ดยางพาราที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงก็ไม่สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ต่างได้ [3] จึงเลือกใช้กระบวนการผลิตแบบสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อลดกรดไขมันอิสระให้น้อยกว่า 2% และขั้นตอนที่สองเลือกต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อแปลงผลผลิตจากขั้นตอนแรกให้ได้เป็นโมโนเอสเตอร์และกลีเซอรอล

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1. วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม ดังนี้

2.1.1 ค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid value) ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Cd-3D-63

2.2 การทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม แบบสองขั้นตอน

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม โดยใช้ กระบวนการผลิตแบบสองขั้นตอนด้วยปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชันและปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ตามลำดับ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

2.2.1 ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อลดกรดไขมันอิสระ

เป็นขั้นตอนการลดกรดไขมันอิสระโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาเนื่องจากเป็น แอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กทำให้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันได้ง่ายกว่าเอทานอลและใช้กรดซัลฟูริก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากถ้าใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต่างจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ ทำให้สูญเสียน้ำมันทำการทดลองปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อกระบวนการลดกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยากรด เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

2.2.2 ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซล

เป็นปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์โดยใช้ด่าง หรือกรด หรือ เอนไซม์เป็นตัวเร่ง ได้ผลิตภัณฑ์ คือ เมทิลเอสเทอร์(ไบโอดีเซล)กับกรีเซอร์อล ซึ่งในทางทฤษฎีการเกิด ปฏิกิริยาโดย สมบูรณ์จะต้องใช้จะอัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3:1 แต่เนื่องด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้จึงต้องใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปที่จะช่วยให้ปฏิกิริยาไปทางผลิตภัณฑ์มากขึ้น จึงศึกษาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยนำน้ำมันปลาที่ผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน มาให้ความร้อนที่ 60°C และกวนผสม เมื่ออุณหภูมิคงที่ที่ 60°C เติมสารละลายเมทานอลกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน ปาล์มดิบหีบรวม ที่ 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 % โดยน้ำหนักของน้ำมันปลา ทำ ปฏิกิริยานาน 60 นาที แล้วใส่กรวยแยกตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการแยกชั้นของเมทิลเอสเตอร์และกรีเซอร์อลและนำเมทิลเอสเตอร์ ที่อยู่ส่วนบนมาล้างด้วยน้ำอุ่น และนำน้ำมันที่ได้มาใส่ความชื้นที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีแล้ว นำมาหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้

2.3 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง ดังนี้

2.3.1 ค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์

2.3.2 ความหนาแน่น (Density)

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

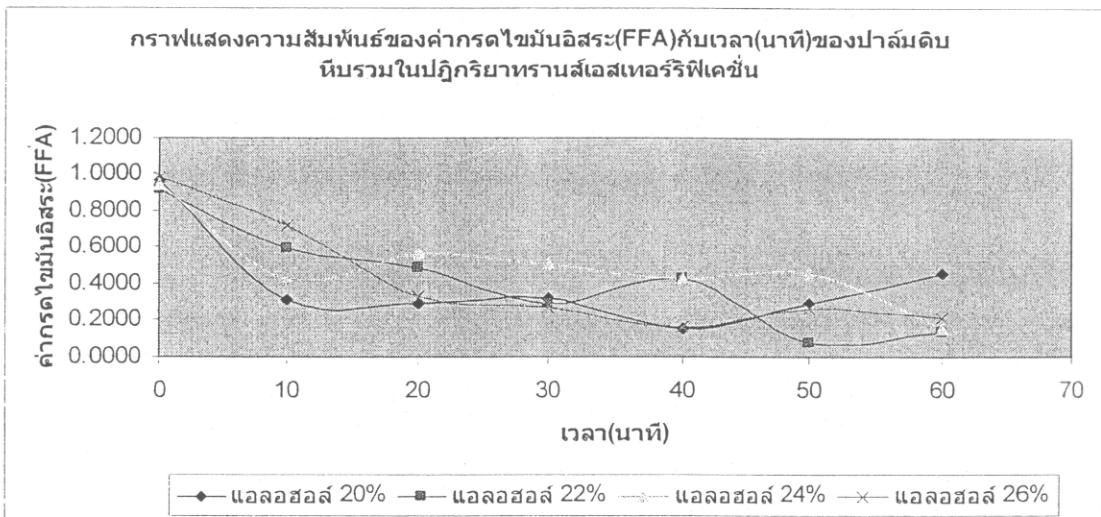
การทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมแบบสองขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมที่ใช้ปริมาณไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ 0.1 % โดยน้ำหนัก อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ 60 นาที ตามลำดับ เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซล

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมที่ใช้ปริมาณไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ 0.1 % โดยน้ำหนัก อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ 60 นาที ตามลำดับ เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลเพิ่มขึ้น ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นตามลำดับ เป็นผลเนื่องมาจากปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ ดังนั้นการเติมปริมาณเมทานอลให้มากเกินไป สมดุลของปฏิกิริยาจะเลื่อนไปในทิศทางของผลิต ภัณฑมากขึ้น ลดปัญหาการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ดีแต่เมื่อปริมาณ เมทานอลเกินพอมากกว่า 9:1 พบว่าไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไบโอดีเซล อาจเป็นผลเนื่องมาจาก ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันถูกใช้ทำปฏิกิริยากับเมทานอลจนหมดแล้ว และอัตราส่วนที่เหมาะสมของโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม คือ 6:1 ซึ่งสามารถให้ปริมาณไบโอดีเซล 83.16 %



ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)ได้กับอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม

4. สรุปผลการทดลอง

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม ที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง 17.41 % ด้วยกระบวนการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อลดกรดไขมันอิสระโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาและใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าปัจจัยที่เหมาะสม อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 โดยโมลของกรดไขมันอิสระ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนที่สองเป็นกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อแปลงผลผลิตจากขั้นตอนแรกให้เป็นเมทิลเอสเตอร์ (ไบโอดีเซล) และกรีเซอร์อล โดยใช้ไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 % โดยน้ำหนัก ของน้ำมัน ที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน โดย โมลของน้ำมัน พบว่า การใช้อัตราส่วนเมทานอล 6:1 โมลของน้ำมัน ได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซล มากที่สุด 90. %

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะกรรมการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร (2545) "พลังงานทดแทนเอทานอลและไบโอดีเซล" หน้า 7 : บริษัท แพลน พรินท์ติ้ง จำกัด
- [2] วัฒนา เสถียรสวัสดิ์ , ศรีวนา พิมูลชาติ , เรณู เอี่ยมธนาภรณ์ . (2525) . "การเตรียมน้ำมันสบู่ดำสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง ทดแทนน้ำมันดีเซล" . รายงานการวิจัย . กรมวิชาการเกษตร
- [3] อัญชนา ยอดเรืองวงศ์ . (2545) . "คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชดิบโดยกระบวนการทรานซ์เอสเทอริ ฟิเคชัน".ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ .

ปั๊มไฮดรอลิกแรม

Hydraulic Ram Pump

ชัชชญา เหมรัตน์* ยุกาภรณ์ มุกดา*

*โรงเรียนหวังดี จังหวัดสงขลา 16 ถนนสะเดา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

*โรงเรียนวัดปลกศรทธา ถนนเจ้าคุณทหาร เขตลาดกระบัง กรุงเทพ

บทคัดย่อ

การทดลองหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำไฮดรอลิกแรมเมื่อใช้ความยาวท่อส่งน้ำความสูง 3 เมตร ของแหล่งส่งน้ำระยะของการเปิดวาล์วความสูงของแหล่งส่งน้ำขึ้นไปใช้งานที่มีค่าแตกต่างกัน เพื่อนำไปเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้และหาค่าประสิทธิภาพสูงสุด ว่าที่ระดับความสูงที่ปั๊มสามารถส่งน้ำได้ดีที่สุดคือระดับใด

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพสูงสุดที่เครื่องไฮดรอลิกแรมสามารถทำได้ใน ระดับความสูง 3 เมตร สามารถส่งน้ำได้สูงถึง 6 เมตร ปริมาณน้ำ ที่สูบได้ ร้อยละ 18 %

ผลจากการทดลองประสิทธิภาพสูงสุดที่เครื่องสูบน้ำไฮดรอลิกแรมทำได้นั้นค่อนข้างต่ำ เพราะน้ำที่ไหล ผ่านวาล์วน้ำทั้งค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สูบได้ เครื่องสูบน้ำชนิดนี้จึงเหมาะใช้กับแหล่งน้ำธรรมชาติ เพราะน้ำที่ไหลออกจากวาล์วน้ำทั้งนั้น ก็จะไหลกลับ สู่แหล่งน้ำธรรมชาติตามเดิม

คำสำคัญ พลังงานน้ำ ตะบันน้ำ ไฮดรอลิกแรม

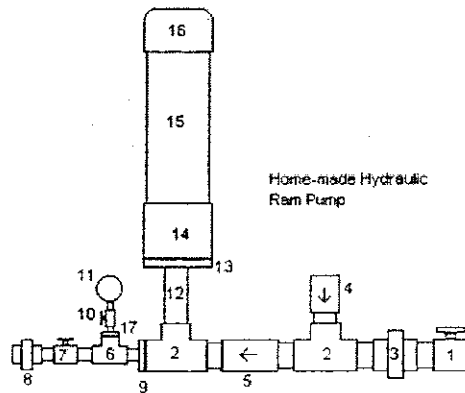
ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันเกษตรกรใช้เครื่องสูบน้ำดีเซลเป็นส่วนใหญ่ มีบางท้องที่ใช้เครื่องสูบน้ำด้วยไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ที่มีไฟฟ้าใช้ การสูบน้ำด้วยไฟฟ้าก็ยังมีข้อจำกัด เฉพาะบริเวณที่มีสายส่งถึงส่วนบริเวณที่ไม่มีสายส่งถึง ที่เป็นบริเวณเพาะปลูกห่างหมู่บ้านหลายกิโลเมตรและมีความต้องการน้ำ จะไม่สามารถสูบน้ำด้วยไฟฟ้าได้ จาก เหตุผลดังกล่าว รวมทั้งการกระจายกระจายของหมู่บ้านเกิดใหม่ ซึ่งมีอยู่ห่างไกลสายส่งไฟฟ้า และแนวโน้มของ ราคาน้ำมันดีเซลจะเพิ่มขึ้น ทำให้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำเอาพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ มาใช้ในการสูบน้ำ เช่นพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ก๊าซชีวภาพและพลังงานน้ำ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีการสูบน้ำด้วยพลังงาน ทดแทนดังกล่าวได้รับการพัฒนา จนอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

Hydraulic Ram Pump หรือที่คนไทยเรียกกันในชื่อว่า ตะบันน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้น และพัฒนา มาอย่างต่อเนื่องตลอดหลายร้อยปี เป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งน้ำขึ้นไปบนที่สูง โดยอาศัยกำลังงานจากการไหลของ น้ำ ปั๊มชนิดนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีอัตราการไหลสูง แต่ความดันต่ำและจะปั๊มน้ำบางส่วน ให้ขึ้นไปยังที่สูง ๆ ได้ โดยไม่ต้องใช้ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์มาเป็นตัวขับเคลื่อน วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อศึกษาลักษณะการ ทำงานของระบบไฮดรอลิกแรม ออกแบบจำลอง และหาประสิทธิภาพของไฮดรอลิกแรม ที่ระดับความสูงของน้ำที่ เข้าสู่ปั๊มต่างกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์การทำเครื่องตะบันน้ำ



ส่วนประกอบ

- | | |
|--|---|
| 1. 1-1/4" valve | 2. 1-1/4" tee (สามทาง) |
| 3. 1-1/4" union | 4. 1-1/4" brass swing check valve(เชควาล์ว แบบบานพับ) |
| 5. 1-1/4" spring check valve (เชควาล์ว แบบมีสปริง) | 6. 3/4" tee (สามทาง) |
| 7. 3/4" valve | 8. 3/4" union |
| 9. 1-1/4" x 3/4" bushing (ท่อลด) | 10. 1/4" pipe cock (วาล์ว) |
| 11. 100 psi gauge (เกจความดัน) | 12. 1-1/4" x 6" nipple (ท่อตรง) |
| 13. 4" x 1-1/4" bushing (ท่อลด) | 14. 4" coupling (ข้อต่อตรง) |
| 15. 4" x 24" PR160 PVC pipe (ท่อPVC ทนความดัน 160 psi) | |
| 16. 4" PVC glue cap 8 3/4" union (ฝาปิด) | 17. 3/4" x 1/4" bushing (ท่อลด) |

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาระบบการทำงานของไฮดรอลิคแรมแล้วออกแบบจำลองชุดทดลองขึ้นเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องไฮดรอลิคแรมที่ระดับความสูงของน้ำที่เข้าสู่ปั๊ม ระยะ 2 เมตร และ 3 เมตร

วิธีทดลอง ปล่อยน้ำใส่ถังโดยให้ระดับน้ำอยู่ที่ความสูง 2 เมตร เปิดวาล์วให้น้ำจากถังไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้าสู่ตัวปั๊ม ปั๊มจะเริ่มทำงาน ทำการวัดอัตราการไหล(q)ของน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำที่ระดับความสูง 2 เมตร ในระยะเวลา 1 นาที ที่ความดัน 0.1 0.2 และ 0.3 kg m/s² ตามลำดับ โดยใช้ถ้วยวัดน้ำจากถังรองรับน้ำ และทดลองในระยะ 3 เมตร ความดันที่ 0.2 0.4 และ 0.6 kg m/s² แล้วทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องไฮดรอลิคแรม

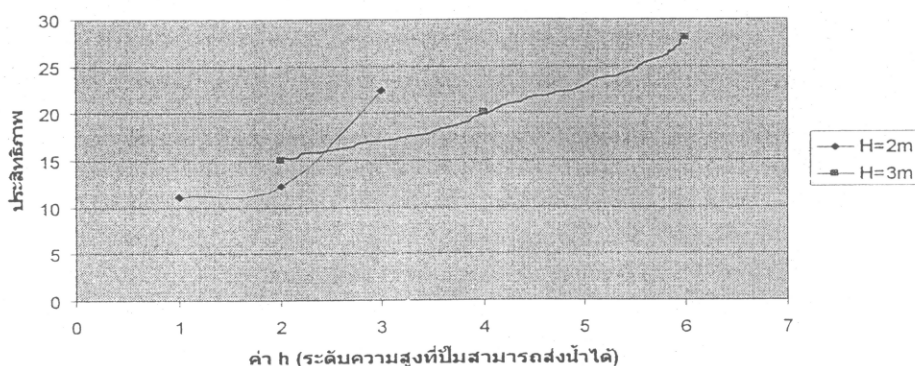
จากสมการ

$$\eta = \frac{qh}{QH}$$

- | | | |
|--------|---|---------------------------------------|
| q | = | อัตราการไหลของน้ำที่สามารถส่งได้ |
| h | = | ระดับความสูงของน้ำที่ปั๊มสามารถส่งได้ |
| Q | = | อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าปั๊ม |
| H | = | ระดับความสูงของน้ำที่ส่งเข้าปั๊ม |
| η | = | ประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรม |

ผลการทดลอง/วิจารณ์ผล

ในขณะที่ไฮดรอลิคแรมทำงานจะเกิดการสูญเสียน้ำมากซึ่งเมื่อเทียบกับน้ำที่ไหลเข้าปั๊มกับปริมาณที่สูบได้ เช่น ที่ในระดับความสูง $H = 2 \text{ m}$ ความดัน เท่ากับ 0.3 kg m/s^2 ประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรม เท่ากับ 22 % และความสูง 2 เมตร ความดัน เท่ากับ 0.2 kg m/s^2 ประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรม เท่ากับ 12 % ในความสูง 2 เมตร ความดันเท่ากับ 0.1 kg m/s^2 ประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรม เท่ากับ 11 % ในระดับความสูง $H = 3 \text{ m}$ ความดัน เท่ากับ 0.6 kg m/s^2 ประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรม เท่ากับ 28 % และในระดับ ความสูง 3 เมตร ความดัน เท่ากับ 0.4 kg m/s^2 ประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรม เท่ากับ 20 % ความสูง 3 เมตร ความดัน เท่ากับ 0.2 kg m/s^2 ประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรม เท่ากับ 15 %



รูป แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับระดับความสูงที่ปั๊ม สามารถส่งน้ำได้ที่ระดับความสูงของน้ำที่เข้าปั๊ม 2 เมตร และ 3 เมตร

การนำผลงานไปใช้ประโยชน์

- นำชุดทดลองไฮดรอลิคแรมไปเป็นสื่อการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น
- สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่ในชุมชนที่อาศัยอยู่และชุมชนใกล้เคียง
- นำทักษะการเรียนรู้ที่ได้ในครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากไฮดรอลิคแรม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงาน สกว. ที่อนุเคราะห์ให้เงินสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับทำวิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ไพโรจน์ ศิริรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัย ให้ความรู้แนะนำอุปกรณ์ พาไปศึกษานอกสถานที่ และกับกับดูแลอย่างใกล้ชิด ขอขอบคุณครูช่างถนัด จิมพลี ที่ให้คำแนะนำในการออกแบบ ดูแลการใช้อุปกรณ์ช่างเป็นอย่างดีทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

สุรพงษ์ เลิศวรลักษณ์, เสกสันต์ ชื่นชม , 2543 . ไฮดรอลิคแรมปั๊ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะกรร ม ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

Ersal W. kindel. 1977 . A hydraulic ram for village use. pp. 1-11.

S.B, Watt. 1978. A Manual on the hydraulic ram for pumping water. pp. 6-39.

การขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็งจากกากกาแฟและถ่านแกลบ
Forming of Solid Fuel from Coffee Pulp and Rice Husk Char

ศิริพร สุคนธ์ สุจิตรา ราศิริตนะ และสมรึก คุ่มเนตร
สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 91000
ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 91000
E-mail : <http://etrc.me.psu.ac.th>

Siriporn Sukon Suchitra Rasrirattana Somrak Khumnetr
Faculty of Engineering, Prince Songkra
E-mail : <http://etrc.me.psu.ac.th>

บทคัดย่อ

การวิจัยการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็งจากกากกาแฟและถ่านแกลบ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากกากกาแฟและถ่านแกลบโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพการนำไปใช้งาน ผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงแข็งจากถ่านแกลบและกากกาแฟสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่ผ่านค่าความทนทาน 90 % โดยใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิกที่แรงอัด 20 ตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

คำสำคัญ เชื้อเพลิงแข็ง
 กากกาแฟ
 ถ่านจากแกลบ

1. บทนำ

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีจำนวนมาก เช่น แกลบ ฟางข้าว เศษไม้ และอื่น ๆ ซึ่งวัสดุเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยเฉพาะแกลบที่เป็นผลผลิตจากการสีข้าว ให้ความร้อนสูงแต่เนื่องจากแกลบมีความหนาแน่นต่ำการใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงอยู่ในขอบเขตจำกัด อีกทั้งมีค่าขนส่งสูง การนำแกลบมาขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงแข็งจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ในการปฏิบัติ และนอกจากนี้ยังมีวัสดุเหลือใช้อื่น ๆ ที่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงแข็งได้ เช่น กากกาแฟ ดังนั้นจึงต้องการศึกษาการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็งจากกากกาแฟและถ่านแกลบ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากกากกาแฟและถ่านแกลบที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ การนำไปใช้งาน โดย การทดลองได้กำหนดขนาดของเชื้อเพลิงแข็งจากถ่านแกลบและกากกาแฟที่นำมาขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่ผ่านค่าความทนทาน 90 % มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ผลการศึกษาค้นคว้าเพื่อนำมาเป็นข้อมูลการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณภาพดี และเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้เหมือนกับถ่านไม้ที่มีใช้อยู่ทั่วไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

- 1. ศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่จะนำมาขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็ง
- 2. ออกแบบการทดลอง
- 3. จัดหาอุปกรณ์
- 4. ทดลองและบันทึกผล

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ได้ดำเนินการเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและตัวประสาน ขั้นตอนการผสม ขั้นตอนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็ง และขั้นตอนการวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงแข็ง

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบและตัวประสาน

วัตถุดิบที่ใช้เป็นถ่านแกลบที่เหลือจากการเผาแกลบ โดยนำถ่านแกลบที่ได้มาทำการร่อนเอาเฉพาะส่วนที่เป็นแกลบดำ และกากกาแฟที่เหลือทิ้งจากการบดกาแฟสดจากร้านกาแฟ

ขั้นตอนที่ 2 การผสม

วัตถุดิบที่ใช้ในการผสม ได้แก่ ถ่านแกลบและกากกาแฟ กับตัวประสาน (แป้งเปียก)ในอัตราส่วน 8:1

ขั้นตอนที่ 3 การขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็ง

วัตถุดิบที่ได้รับการผสมนำไปขึ้นรูปโดยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ที่แรงอัด 10 ตัน และ 20 ตัน ต่อมวล 100 กรัม

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็งจากวัตถุดิบแต่ละชนิด ได้นำมาวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น และการนำไปใช้งานจากการทดสอบระยะเวลาการเผาไหม้

3. ผลการศึกษา / ผลการทดลอง

ตารางผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพ และการใช้งาน

แรงอัด	วัสดุ	ตัว ประสาน	ความ หนาแน่น กก : ลบ.ม	แรงตก กระแทก (%)	แรง กด (N)	ระยะเวลา การเผา ไหม้ (ชั่วโมง)
10 ตัน	แกลบ	แป้ง เปียก	879.19	81	-	3.10
10 ตัน	กาแฟ	แป้ง เปียก	885.47	83	-	2.05
20 ตัน	แกลบ	แป้ง เปียก	946.78	90	10670	3.34
20 ตัน	กาแฟ	แป้ง เปียก	938.22	90	12268	2.32

ผลการทดลอง

ผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งที่แรงอัด 10 ตัน และ 20 ตัน พบว่า เชื้อเพลิงแข็งจากแกลบมีความหนาแน่นมากกว่าเชื้อเพลิงแข็งจากกากกาแฟและเมื่อทดสอบแรงตกกระแทกที่แรงอัด 20 ตัน

ที่ผ่านค่าความหนาแน่น 90 % เท่ากัน เมื่อนำมาทดสอบการใช้งานจากการทดสอบระยะเวลาการเผาไหม้ พบว่าเชื้อเพลิงแข็งจากแกลบจะมีระยะเวลาการเผาไหม้นานกว่าเชื้อเพลิงแข็งจากกากกาแฟ

4. วิจารณ์ผล

จากการทดลองนำกากกาแฟและแกลบมาขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงแข็งโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน พบว่าวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงแข็งได้และมีระยะเวลาการเผาไหม้ที่แตกต่างกันโดยเชื้อเพลิงแข็งจากแกลบจะมีระยะเวลาการเผาไหม้นานกว่าเชื้อเพลิงแข็งจากกากกาแฟโดยเฉพาะเชื้อเพลิงแข็งจากแกลบที่แรงอัด 20 ดัน

5. สรุปผล

การขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็งจากกากกาแฟและถ่านแกลบเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่น และค่าต้านแรงกด พบว่า ค่าความหนาแน่น และต้านแรงกดของถ่านแกลบมีค่ามากกว่าเชื้อเพลิงแข็งจากกากกาแฟที่แรงอัดเท่ากัน ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้เชื้อเพลิงแข็งจากถ่านแกลบ มีคุณภาพดี และเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์เหมือนกับถ่านไม้ที่มีใช้อยู่ทั่วไป

6. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1.เชื้อเพลิงแข็งจากถ่านแกลบและกากกาแฟสามารถนำไปใช้ประโยชน์แทนถ่านไม้ได้
- 2.เชื้อเพลิงแข็งจากแกลบและกากกาแฟ สามารถนำมาผลิตเพื่อการจำหน่ายได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)

โครงการวิจัยพลังงาน รุ่นที่ 2

สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

รศ.ไพโรจน์ ศิริรัตน์

คณาจารย์และบุคลากรคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ทุกท่าน

8. เอกสารอ้างอิง

การส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลของประเทศไทย, วารสารนโยบายพลังงาน, ฉบับที่ 55 ม.ค. – มี.ค.2545.

จิระพงษ์ คูหากาญจน์. คู่มือการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้. กรุงเทพฯ: ออฟเซ็ท ครีเอชั่น จำกัด, 2550.

สถาพร เกษมศรีวิวัฒน์. การเปรียบเทียบการจัดการผลิตและตลาดถ่านจากไม้ยูคาลิปตัสของผู้เผ่าถ่านในกลุ่มและนอกกลุ่มสหกรณ์ผู้ปลูกป่าขอนแก่นจำกัด. รายงานการศึกษาอิสระ วศ.ม ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2546.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ถ่าน : การผลิตที่ถูกวิธีและประโยชน์. กรุงเทพฯ. 2544.

Richard SR, Physical of Fuel Briquettes. Fuel Processing Technology. Vol. 25,pp. 89-100, 1989.

Husain Z,Zainac Z, Addulllah Z, Briquetting of Palm fibber and shell from the Processing of Palm nuts to Palm oil, Biomess and Bioenergy. Vol. 22, No. 10, pp. 505-509, 2002.

ศึกษาก๊าซชีววมวลโดยใช้เตาแก๊สชีววมวลแบบไหลลง

Study of Producer Gas by Downdraft Gasifier

อุไร สายวารี⁽¹⁾ และ ณัฐ วงศ์ยุพล⁽²⁾

⁽¹⁾โรงเรียนต้นยางมัส อำเภอรณะะ จังหวัดนราธิวาส

⁽²⁾โรงเรียนห้วยห้าง อำเภอร่งห้วยช้าง จังหวัดลำพูน

บทคัดย่อ

ก๊าซชีววมวล (Producer Gas) เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาไหม้วัสดุชีววมวลในสภาวะจำกัดปริมาณอากาศ การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเกิดก๊าซชีววมวลจากเตาชนิดไหลลง และออกแบบและสร้างเตาผลิตก๊าซชีววมวล ในการทดลองใช้เชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ถ่าน ไม้พินและแกลบ บันทึกอุณหภูมิของเปลวไฟของการเผาไหม้ก๊าซชีววมวล อัตราการไหลของอากาศ ปริมาณความร้อนความร้อนที่ได้ ระยะเวลาที่จุดก๊าซติด และระยะเวลาของการผลิตก๊าซ ผลการทดลองผลิตก๊าซชีววมวลด้วยเตาแบบไหลลงพบว่า การผลิตก๊าซชีววมวลด้วยถ่านในอัตรา 2.14 kg/h ที่ปริมาณอากาศ 0.367 m³/s จะได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ก๊าซที่อุณหภูมิ 683°C ในอัตรา 1,625 W ส่วนการใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงในอัตรา 2.73 kg/h ที่ปริมาณอากาศ 0.284 m³/s จะได้รับความร้อนจากการเผาก๊าซที่อุณหภูมิ 655°C ในอัตรา 1,121 W การวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบเตาชีววมวลสำหรับให้นักเรียนเรียนรู้ ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm สูง 1 m ที่สามารถเปลี่ยนแปลงชนิดและความหนาของฉนวน และเดินเตาได้ทั้งแบบอากาศไหลขึ้นและไหลลง

คำสำคัญ : Gasifier, Downdraft Gasifier, Producer Gas, Biomass

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานทดแทนกำลังมีบทบาทสำคัญ เนื่องจากสถานการณ์การขาดแคลนพลังงาน การมีปัญหาล้างแวดล้อมเนื่องมาจากการเร่งขยายตัวทางเศรษฐกิจ คุณภาพชีวิตผู้คนในสังคมลดลง และการขาดความสมดุลของระบบนิเวศไปมากจนก่อให้เกิดสภาวะความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมโลก

พลังงานชีววมวลได้มาจากการนำพืชพลังงานมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง ไม่ว่าจะเป็นอยู่ในรูปของผล ต้น กิ่งก้าน ใบ หรือเมล็ด ซึ่งมีมากมายในประเทศเกษตรกรรม เช่น ประเทศไทย

ก๊าซชีววมวล คือ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากการนำวัสดุชีววมวลมาเปลี่ยนรูปด้วยกระบวนการแกสซิฟิเคชัน (gasification) ซึ่งเผาไหม้เชื้อเพลิงชีววมวลแบบจำกัดปริมาณอากาศ ก๊าซชีววมวลที่ได้จะประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO₂) ก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และก๊าซมีเทน (CH₄) เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้มีคุณสมบัติสามารถนำไปเผาไหม้ได้

พิชญ มานะบรรยง (2547) พบว่าระบบเตาก๊าซชีววมวลแบบไหลลงที่ออกแบบ สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยมีอุปกรณ์ที่สามารถเติมเชื้อเพลิงและจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าค่าต่างๆที่วัดได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ออกแบบมีค่าใกล้เคียงกันและประสิทธิภาพของระบบที่ได้ 13.5 % การทำงานต่อเนื่องสามารถทำงานได้ดีทั้งในขณะเติมเชื้อเพลิงและนำแก๊สออก

ปกรณ กุยะพานิช (2526) นำเอาก๊าซที่ได้จากเตาผลิตก๊าซ แบบไหลลงมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 5 แรงม้าเพื่อใช้เป็นต้นกำเนิดกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1 KW จากการทดลองใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซ

ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 200 – 800 W พบว่า เครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องได้โดยไม่มีอาการน็อก เมื่อใช้ก๊าซโดยเฉลี่ย 72 % อีก 28% เป็นน้ำมันดีเซล

พิบูลย์ แซ่จ้ง (2527) พบว่าเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง มีความเหมาะสมใช้ผลิตก๊าซเป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้เป็นอย่างดี ได้ศึกษาถึงขนาดของถังที่มีขนาดเล็กทั้งนี้เพื่อความสะดวก และขนาดของถ่านที่เหมาะสมสำหรับเตาผลิตก๊าซที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่าง ๆ เตาขนาด 17 เซนติเมตรใช้ถ่านไม้โกงกางขนาด 0.5 – 1.0 นิ้ว เป็นเชื้อเพลิงจะให้กำลังผลิตสูงสุด รองลงคือเตาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร ใช้ถ่านไม้โกงกางขนาด 0.5 – 1.0 นิ้ว สุดท้ายเตาขนาด 15 เซนติเมตร

ใช้ถ่านไม้โกงกางขนาด 0.5 นิ้วเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของถังกับขนาดของเชื้อเพลิงมีความสัมพันธ์กัน

จากข้อมูลการวิจัยดังกล่าวจึงได้สนใจทำการศึกษาการเกิดก๊าซชีววมวลจากเตาแบบอากาศไหลลงโดยใช้เชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ถ่าน ไม้พินและแกลบ

2. ทฤษฎีและหลักการ

ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของเตาผลิตก๊าซ ในเตาผลิตก๊าซทั่วไปสามารถถูกแบ่งออกเป็นชั้นที่สำคัญๆ ได้ 4 ชั้น โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปฏิกิริยาและผลที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น (รัตนชัย ไพรินทร์ และคณะ 2541) ในความเป็นจริงแต่ละชั้นอาจจะเหลื่อมล้ำ (Overlap) กันอยู่ก็ได้

1. ชั้นเผาไหม้ (Combustion Zone)

ในบริเวณนี้คาร์บอนจะเผาไหม้กับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศในปริมาณจำกัดด้วยปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



ปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน อุณหภูมิในชั้นนี้อยู่ระหว่าง 900 – 1200 °C ความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นนี้ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนในชั้นรีดักชันและชั้นกลั่นสลายผลผลิตหลักที่ได้จากการทำปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้คือ ความร้อน ถ่าน

2. ชั้นรีดักชัน (Reduction Zone)

ก๊าซ CO ที่ได้จากการเผาไหม้ในชั้นเผาไหม้ เมื่อไหลเข้าสู่ชั้นรีดักชันก็จะเกิดปฏิกิริยาที่เปลี่ยนก๊าซ CO ให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ โดยก๊าซ CO จะไหลผ่านคาร์บอนที่ร้อนและเกิด CO ดังสมการ



ปฏิกิริยาในสมการที่ (2) เรียกว่า Boudouard Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) ในกรณีที่ต้องการเพิ่มปริมาณของ CO สามารถทำได้โดยฉีดไอน้ำร้อนเข้าไปซึ่งไอน้ำจะไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอน ดังสมการที่ (3) ได้ก๊าซ CO และ H₂ เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Watergas Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 °C ภายใต้อุณหภูมิสูงๆ อาจจะไปรวมตัวกับคาร์บอนและผลิต CH₄ ออกมาได้ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Methane Reaction โดยจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความดันสูงๆ และอุณหภูมิไม่สูงมากนัก

3. ชั้นกลั่นสลาย (Pyrolysis Zone)

ในชั้นนี้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากชั้นเผาไหม้ เพื่อสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงให้ได้สารระเหย (Volatile Matter) ต่างๆ ออกมา ซึ่งประกอบไปด้วยเมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิบ ก๊าซที่เผาไหม้ได้และไม่ได้ อุณหภูมิของชั้นนี้จะประมาณ 135 – 600 °C ของแข็งที่เหลืออยู่หลังกระบวนการนี้คือคาร์บอนในรูปถ่าน (Fixed Carbon) ดังสมการ



4. ชั้นลดความชื้น (Drying Zone)

ชั้นนี้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยต่างๆ ความร้อนที่ได้รับมาจากชั้นกลั่นสลาย จะระเหยความชื้นที่มีอยู่ในชีวมวลให้ออกมาในรูปของไอน้ำ อุณหภูมิในชั้นนี้จะอยู่ประมาณ $100 - 135^{\circ}\text{C}$

3. ชนิดของเตาผลิตก๊าซชีวมวล

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ตามชนิดของการไหลของโปรตีนเซอร์แก๊สและการจัดเรียงตัวของชั้นต่างๆ ภายในเตา

1. เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier)

เตาผลิตก๊าซแบบนี้เป็นแบบง่ายที่สุด ชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นเผาไหม้ ชั้นรีดักชัน ชั้นกลั่นสลายและชั้นลดความชื้น เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่ส่วนบนของเตาและอากาศถูกส่งเข้ามาทางด้านล่าง การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นที่จุดแรกของการสัมผัสกับอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดขึ้นในชั้นเผาไหม้จะผ่านขึ้นไปยังชั้นรีดักชันซึ่งมีคาร์บอนที่ร้อนอยู่มาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้เป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จุดเด่นของเตาแบบนี้คือสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนเซอร์แก๊สได้โดยใช้ไอน้ำเข้าช่วย นอกจากนั้นยังสามารถใช้กับชีวมวลที่มีความชื้นสูง อาจสูงได้ถึง 50% อุณหภูมิเฉลี่ยของเตาจะค่อนข้างต่ำคือประมาณ $120 - 150^{\circ}\text{C}$ แต่ปัญหาที่สำคัญคือสารระเหยที่ออกมาพร้อมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส Pan, et al. (1999: 1703 - 1709) ได้ศึกษาการกำจัดน้ำมันดินออกโดยใช้อากาศทุติยภูมิในเตา ฟลูอิดไคเบตที่อุณหภูมิเฉลี่ย $840 - 880^{\circ}\text{C}$ สำหรับเศษไม้ (Forest waste) ใช้อัตราส่วนอากาศทุติยภูมิต่ออากาศปฐมภูมิที่ 10% ปริมาตรต่อปริมาตร จะสามารถลดน้ำมันดินได้มากที่สุดจากปริมาณน้ำมันดินมากกว่า 2.52 g/m เหลือ 0.8 g/m สำหรับลิกไนต์ (Escatron lignite) ใช้อัตราส่วนอากาศทุติยภูมิต่ออากาศปฐมภูมิที่ 20% ปริมาตรต่อปริมาตร ให้ค่าพลังงานความร้อน 4800 kJ/m จะสามารถลดน้ำมันดินได้มากที่สุดจากปริมาณน้ำมันดินมากกว่า 3.70 g/m เหลือ 0.42 g/m ให้ค่าพลังงานความร้อน 3770 kJ/m ซึ่งปัญหาจากสารระเหยจะเป็นอุปสรรคที่สำคัญมากในการนำไปเดินเครื่องยนต์สันดาปภายในเพราะจะทำให้เกิดการอุดตันและทำความเสียหายให้แก่เครื่องยนต์ได้

2. เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier)

เตาแบบนี้จะเป็นแบบที่ใช้ทำการวิจัยและใช้งานจริงกันอย่างแพร่หลายทั่วไปมากที่สุด ชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นรีดักชันตามด้วยชั้นเผาไหม้ ชั้นกลั่นสลายและชั้นลดความชื้นจะอยู่บนสุดอากาศจะถูกส่งให้ไหลสู่ชั้นเผาไหม้และไหลลงไปสู่ชั้นรีดักชันซึ่งอยู่ด้านล่าง สารระเหยจากชั้นกลั่นสลายที่อยู่เหนือชั้นเผาไหม้ก็จะถูกดูดผ่านชั้นเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิ $900 - 1,200^{\circ}\text{C}$ สารระเหยต่างๆ จะถูกเผาไป ทำให้ โปรตีนเซอร์แก๊ส ที่ผลิตออกมาได้นั้นปราศจากสารระเหยจึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ข้อเสียเปรียบของเตาชนิดนี้คือจะเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงในชั้นเผาไหม้จึงต้องใช้วัสดุที่ทนความร้อนสูง อุณหภูมิเฉลี่ยของโปรตีนเซอร์แก๊สที่ออกมาจากเตาจะค่อนข้างสูงประมาณ $450 - 550^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่จึงมีความจำเป็น

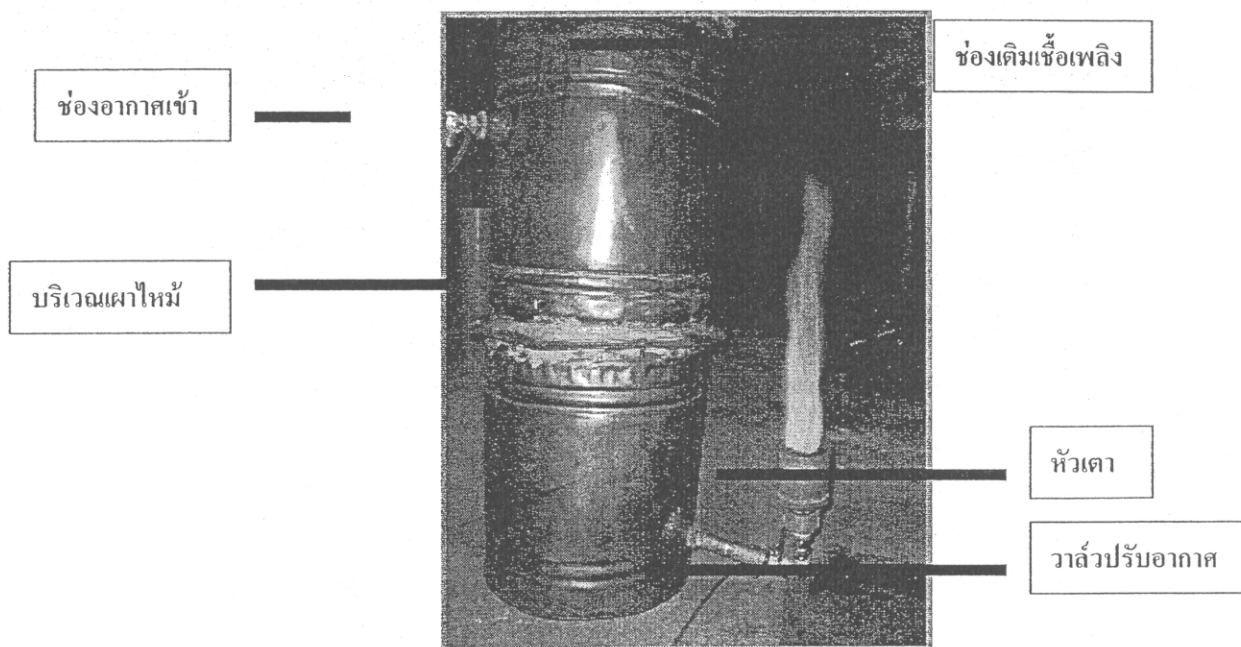
3. เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลตามขวาง (Cross draft Gasifier)

เตาแบบนี้จะเป็นแบบที่เล็กและเบาที่สุดใน 3 แบบ ทิศทางการไหลของอากาศจะตั้งฉากกับแนวแกนของเตา อากาศจะถูกส่งตรงไปชั้นเผาไหม้ และต่อไปยังชั้นรีดักชันซึ่งทั้ง 2 ชั้นนี้ จะเป็นชั้นเล็ก ๆ วางเรียงกันตามแนวนอน อุณหภูมิเฉลี่ยของโปรตีนเซอร์แก๊สที่ออกมาจากเตาจะไม่สูงมากเหมือนเตาแบบไหลลง ชีวมวลจะถูก

ป้อนจากทางด้านบนของเตาเช่นเดียวกันกับเตาทั้งสองแบบที่กล่าวมา ข้อดีของเตาแบบนี้คือ สามารถผลิตโปรติวเซอร์แก๊สได้เร็วกว่าเตาอีกสองแบบ และอุณหภูมิในเตาจะไม่สูงนัก

4. อุปกรณ์และวิธีการ

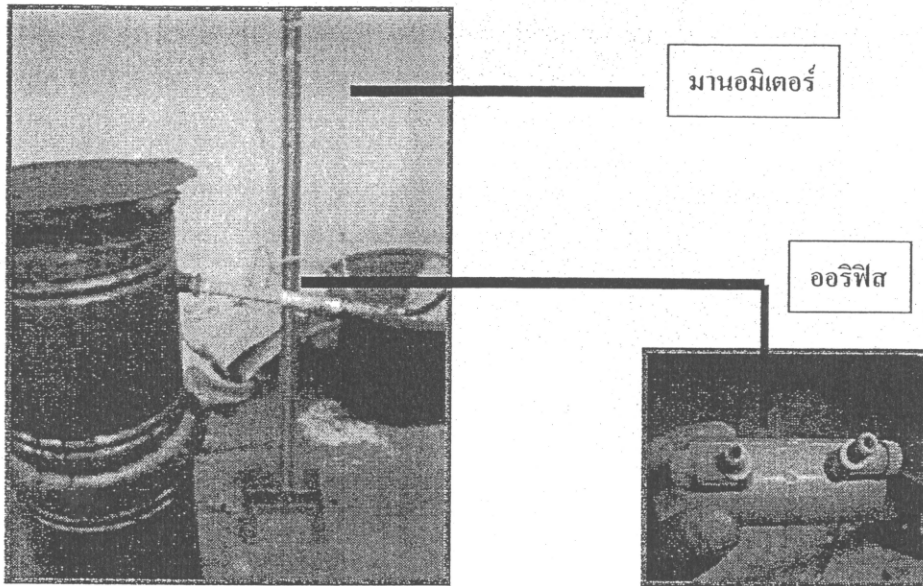
4.1 โครงสร้างเตาก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลลงที่ใช้



รูปที่ 1 เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลลง

4.2 การหาอัตราไหลอากาศ

อัตราการไหลที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดก๊าซชีวมวลในเตาที่เกิดจากการใช้ถ่านและไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ในการทดลองในครั้งนี้หาได้จากเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่เรียกว่าออร์ฟิส(orifice) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ทำงานโดยใช้หลักการลดพื้นที่หน้าตัดของการไหลทำให้ความเร็วของการไหลสูงขึ้นพร้อมกับความดันที่ลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ลดลงและความเร็วที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดเป็นแนวคิดหลักของการวัดอัตราการไหล



รูปที่ 2 การต่อเครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ
สามารถหาอัตราการไหลของอากาศได้จากสมการ

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho[1 - (A_2 - A_1)]}}$$

จากการทดลองวัดค่าต่างๆเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศเมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงดังนี้

$$A_1 = 22.30 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$A_2 = 8.35 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$P_1 - P_2 = \rho gh = 10^3 \times 9.8 \times (10 \times 10^{-2}) \text{ Pa}$$

$$\rho = 1.177 \text{ kg / m}^3$$

เมื่อนำไปแทนค่าในสมการทำให้ได้ค่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดก๊าซชีววมวลจากการใช้ถ่าน คือ 0.367 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

จากการทดลองวัดค่าต่างๆเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศเมื่อใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงดังนี้

$$A_1 = 22.30 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$A_2 = 8.35 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$P_1 - P_2 = \rho gh = 10^3 \times 9.8 \times (6 \times 10^{-2}) \text{ Pa}$$

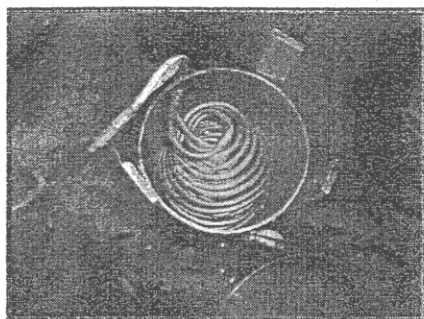
$$\rho = 1.177 \text{ kg / m}^3$$

เมื่อนำไปแทนค่าในสมการทำให้ได้ค่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดก๊าซชีววมวลจากการใช้ไม้พิน คือ 0.284 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

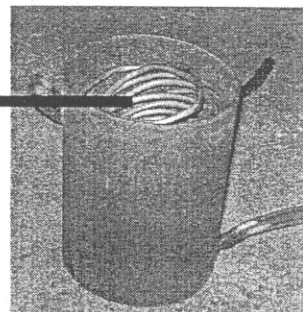
4.3 การหาปริมาณความร้อน

1. นำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไปวางไว้บนเปลวไฟ
2. ปล่อยน้ำให้ไหลผ่านท่อทองแดงลงในภาชนะเพื่อนำน้ำไปชั่งหามวลพร้อมทั้งจับเวลา

3. วัดอุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังไหลผ่านท่อทองแดงเป็นค่า T_1 และ T_2 ตามลำดับ
4. นำผลการทดลองในข้อ 1- 3 ของการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าปริมาณความร้อนได้จากสมการ $Q = mc\Delta T$



ท่อทองแดง



รูปที่ 3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

4.4 การเตรียมวัสดุชีวมวลและจุดเตาก๊าซชีวมวลแบบไหลลง

1. นำไม้พินมาดัดเป็นท่อนสั้นๆขนาด ประมาณ 3 x 6 เซนติเมตร
2. ชั่งให้ได้ 1 กิโลกรัมแล้วนำไปใส่ในเตาที่มีถ่านติดไฟอยู่ด้านล่างปิดฝาเตาให้แน่น
3. ปล่อยอากาศให้เข้าไปในเตาด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสม
4. ปล่อยให้มีการเผาไหม้ประมาณ 2- 3 นาที สังเกตควันที่ลอยออกมาแล้วจุดไฟ
5. ถ่านและแกลบก็จุดแบบเดียวกับไม้พินแต่ต้องปรับอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสม

5. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ตารางที่ 1 ข้อมูลการผลิตก๊าซชีวมวลจากถ่าน ไม้พิน และแกลบ

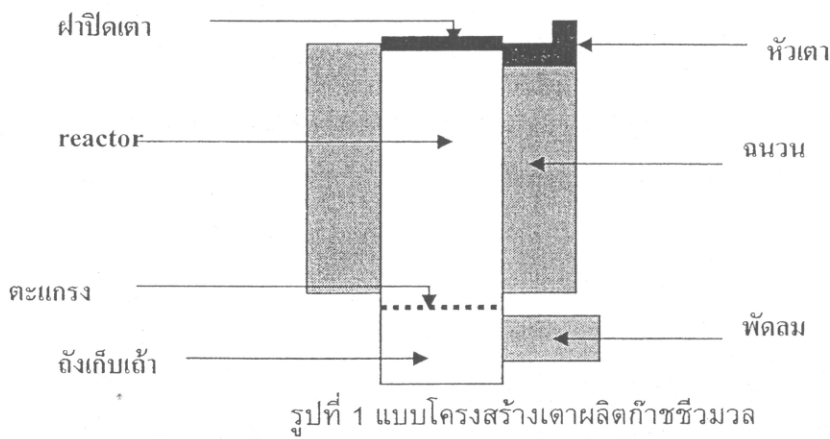
ชนิดของชีวมวล	ถ่าน	ไม้พิน	แกลบ
น้ำหนักของเชื้อเพลิง	1 กิโลกรัม	1 กิโลกรัม	1 กิโลกรัม
เวลาดำเนินการ(Time operate)			
Initial time	10.55 น.	10.50 น.	19.14 น.
Final time	11.38 น.	11.15 น.	-
เวลาที่ก๊าซจุดติดไฟ (นาที)	5 นาที	3 นาที	-
เวลาของการเผาไหม้ก๊าซ (นาที)	28 นาที	22 นาที	-
อุณหภูมิของเปลวของการเผาก๊าซ (°C)	683	655	-
Weight of Char Produced (g)	93	172	-
อัตราการใช้เชื้อเพลิง kg / h	2.14	2.73	-
ปริมาณอากาศ m ³ /s	0.367	0.284	-
ปริมาณความร้อนที่ได้ (W)	1625	1121	-

จากการทดลองพบว่าเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลลงไม่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กอย่างแกลบ เนื่องจากว่าขนาดที่เล็กมากของแกลบจะก่อให้เกิดการอุดตันทำให้การไหลของอากาศภายในเตาไม่ดี อัตราการ

ไหลเข้าและไหลออกของอากาศไม่เหมาะสมกับการเกิดก๊าซ การไหลเข้าของอากาศที่ช้าเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้าเป็นผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยจึงไม่สามารถจุดไฟเพื่อวัดค่าต่างๆได้

6. เตาก๊าซชีววมวลสำหรับการเรียนรู้

จากการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาในการเกิดก๊าซชีววมวลทำให้กลุ่มผู้วิจัยมีความสนใจที่จะสร้างเตาสำหรับผลิตก๊าซชีววมวล โดยเตาที่ออกแบบและสร้างขึ้นจะมีรูปทรงกระบอกโดยเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวเตา (reactor) มีขนาด 8 นิ้วทำจากเหล็ก และมีความสูง 1 เมตรแบ่งเป็นส่วนสำหรับใส่เชื้อเพลิง 60 เซนติเมตร และส่วนที่เป็นถังเก็บก๊าซ 40 เซนติเมตร มีฝาเปิด-ปิดด้านบนสำหรับใส่เชื้อเพลิงและทำการต่อท่อหัวเตาออกด้านข้าง โดยที่ท่อของหัวเตากับท่อที่ใช้ต่อพัดลมทำให้มีขนาดเท่ากันเพื่อที่จะสามารถปรับเตาแก๊สชีววมวลนี้ไว้ศึกษาทั้งในกรณีเตาก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นและแบบอากาศไหลลงโดยการเปลี่ยนสลับตำแหน่งพัดลมกับหัวเตา โครงสร้างอย่างง่ายของเตาแสดงดังรูปที่ 1 ในส่วนของฉนวนที่ห่อหุ้มเตาจะทำให้สามารถปรับเปลี่ยนวัสดุที่นำมาทำฉนวนได้เพื่อศึกษาคุณสมบัติของฉนวนในเตาก๊าซต่อไป



7. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลงสามารถผลิตก๊าซชีววมวลได้ดีเมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงโดยให้เปลวไฟที่มีความร้อน 683 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ถ่าน 1 กิโลกรัมจุดก๊าซติดได้นาน 28 นาที รองลงมาคือไม้ฟืนให้เปลวไฟที่มีความร้อน 655 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ไม้ฟืน 1 กิโลกรัมจุดก๊าซติดได้นาน 22 นาที

อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดก๊าซชีววมวลเมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง คือ 0.367 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดก๊าซชีววมวลเมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง คือ 0.284 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

อัตราการถ่ายเทความร้อนของก๊าซเมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 1,625 วัตต์

อัตราการถ่ายเทความร้อนของก๊าซเมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 1,121 วัตต์

ส่วนในขั้นตอนการออกแบบและสร้างเตากลุ่มผู้วิจัยมีความสนใจที่จะสร้างเตาผลิตก๊าซชีววมวลรูปทรงกระบอกที่สามารถเปลี่ยนชนิดของฉนวนและปรับเปลี่ยนหัวเตากับพัดลมทางเข้าอากาศได้เพื่อทำเป็นเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นและแบบอากาศไหลลงไว้ในตัวเดียวกัน

8. ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาผลที่เกิดจากการใช้ฉนวนต่างชนิดกันในการสร้างเตาแก๊สชีวมวล
2. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเตาที่มีขนาดต่าง ๆ กัน
3. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับช่องที่ให้อากาศเข้าบริเวณหัวเตาว่าจะมีผลต่อการจุดติดของก๊าซอย่างไร

9. การนำไปใช้ประโยชน์

นำความรู้และเตาผลิตก๊าซชีวมวลที่สร้างขึ้นไปถ่ายทอดแก่ผู้เรียนและผู้สนใจเพื่อให้เขาได้รู้และเข้าใจพลังงานทดแทนที่สามารถสร้างขึ้นเองได้จากวัสดุเหลือใช้ในห้องถิ่น

10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สถานฝึกปฏิบัติในการทำวิจัย รศ.ดร.กำพล ประทีปชัยกุล รศ.ดร.ไพโรจน์ ศิริรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้อุปกรณ์และทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ก้องฤทธิ์ บุญเลี้ยง และเกรียงศักดิ์ ชุมบุญเรือง.เตาหุงต้มโดยใช้ชี้อเลื้อยเป็นเชื้อเพลิง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ . 2543.
- จุฑาภรณ์ สิงห์สุถ้ำ. ผลของแร่ธาตุต่อการสลายตัวด้วยความร้อนของชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ. 2550.
- ฉัตรชัย ปาริชัยยันต์. การสร้างชุดทดสอบการวัดอัตราการไหลโดยออร์ฟิส . วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ . 2543.
- ปกรณ์ กุยะพานิช และพิเชษฐดนัย ศรีสุขนันท์. กระแสไฟฟ้าจากโปรตีนเซอร่าแก๊ส . วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2526
- พิชาญ มานะบรรยง.การศึกษาเตาผลิตก๊าซแบบไหลลงและต่อเนื่องโดยใช้เศษถ่านเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา. 2547.
- พิบูลย์ แซ่จั้ง และ เสรี แซ่เต็น. พัฒนาเตาผลิตก๊าซแบบไหลลงขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2527
- พงศชา แก้วแสน และสุริยะ เจริญเกียรติ. เตาหุงต้มเชื้อเพลิงแอลบ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ . 2551
- ภาณุวัฒน์ คุ่มสุด , ยุกา สมบูรณ์.การวัดอัตราการไหลเชิงมวลโดยใช้หลักสมดุลพลังงานทางความร้อน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ .2543.
- ศักดิ์ดา บุญชู และอนวัต บุญทอง. เครื่องต้นกำลังขนาดเล็กจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานชีวมวล. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2551.
- อมร รักญาติ. Wood Gasifier stove .ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ . 2548
- เอกพล เขียวงาม. การปรับปรุงประสิทธิภาพโรงรมยางแผ่นในส่วนของเตาเผา. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2543.

การผลิตก๊าซชีววมวลด้วยเตาชีววมวลแบบไหลขึ้น Production of Producer Gas by Updraft Gasifier

สามิตะ มูเก็ม⁽¹⁾ และพิกุล เอกวงค์ษา⁽²⁾

⁽¹⁾ โรงเรียนภัคดีศึกษามูลนิธิ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสงขลา เขต 1

⁽²⁾ โรงเรียนภูพานวิทยา อำเภอกุดจับ จังหวัดอุดรธานี สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษอุดรธานี เขต 4

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาก๊าซชีววมวลที่ผลิตจากเตาแบบอากาศไหลขึ้น โดยใช้วัสดุชีววมวล 3 ชนิด คือ ถ่าน ไม้พิน และแกลบ ผลศึกษาครั้งนี้พบว่า มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงถ่าน ไม้พิน และแกลบในการผลิตก๊าซเท่ากับ 2.50 2.40 และ 2.22 kg/h เชื้อเพลิงไม้พินสามารถจุดติดไฟได้เร็วที่สุดภายในเวลา 1 min หลังการเดินเตา การเผาไหม้ก๊าซชีววมวลจากแกลบสูงได้อุณหภูมิ 697°C ซึ่งสูงกว่าการใช้ไม้พินและถ่านเป็นเชื้อเพลิง แต่เชื้อเพลิงที่มีปริมาณถ่านน้อยที่สุด คือถ่าน ซึ่งมีถ่านเหลือเพียง 8 % เตาชีววมวลมีประสิทธิภาพ 11.7, 10.7 และ 13.8% เมื่อใช้ถ่าน ไม้พิน และแกลบเป็นเชื้อเพลิงตามลำดับ การวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบเตาชีววมวลสำหรับให้นักเรียนเรียนรู้ ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm สูง 1 m ที่สามารถเปลี่ยนแปลงชนิดและความหนาของฉนวน และเดินเตาได้ทั้งแบบอากาศไหลขึ้นและไหลลง

คำสำคัญ: Biomass, Updraft Gasifier, gasification

1. บทนำ

ก๊าซชีววมวล เป็นพลังงานทดแทนรูปหนึ่ง ที่ได้จากการนำพืชพลังงานมาเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซเชื้อเพลิง ด้วยกระบวนการแกสซิฟิเคชัน (gasification) ซึ่งเป็นการเผาไหม้แบบจำกัดปริมาณอากาศ

ก๊าซที่ได้จะประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้มีคุณสมบัติสามารถนำไปเผาไหม้ได้

กระบวนการแกสซิฟิเคชัน ใช้เตาผลิตก๊าซชีววมวล ที่สามารถจำแนกตามลักษณะการไหลของอากาศหรือก๊าซออกซิเจนในเตาออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ แบบอากาศไหลลง (Downdraft) อากาศไหลขึ้น (Updraft) และแบบอากาศไหลตามขวาง (Crossdraft) ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการผลิตก๊าซชีววมวลจากเศษวัสดุเหลือสำหรับประยุกต์ใช้ในครัวเรือนแทนการใช้ก๊าซหุงต้ม โดยเฉพาะเตาแบบอากาศไหลขึ้นซึ่งเป็นเตาชนิดที่สร้างได้ง่ายและมีใช้มานานแล้ว

Belonio, A. T. (2005) ได้สร้างเตาแบบอากาศไหลขึ้นรูปทรงกระบอกซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เมตร และสูง 1.0 เมตร เมื่อทดสอบสมรรถนะของเตาโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงพบว่าเวลาที่ใช้ในการจุดไฟเชื้อเพลิงในตอนเริ่มต้นจนกระทั่งมีการเผาไหม้ก๊าซที่หัวเตา (Start-up time) ใช้เวลา 1.35 – 1.82 นาที เมื่อใช้แกลบ 1.3 กิโลกรัม เวลาที่เกิดก๊าซทั้งหมด (Time Operate) มีค่า 46.10 – 51.40 นาที อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง (Fuel consumption rate) ของเตามีค่า 1.59 – 2.0 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพความร้อน (Thermal efficiency) ของเตามีค่า 12.3 – 13.3%

Belonio, A. T. and Atmowidjojo Djoewito (2007) ได้สร้างเตาก๊าซชีววมวลสำหรับถ่านไม้ขนาดเล็ก ๆ โดยเตาก๊าซมีโครงสร้างแบบ Top-Lit Updraft (TLUD) ขนาดของเตาด้านนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร

สูง 25 เซนติเมตร ใช้เชื้อเพลิงผสมกับซีเมนต์เป็นฉนวนสามารถบรรจุเชื้อเพลิงได้ประมาณ 288 – 300 กรัม เวลาที่เริ่มจุดเชื้อเพลิงจนกระทั่งเตาสามารถจุดติดก๊าซ (Start-up time) อยู่ในช่วง 3-7 นาที สามารถเกิดก๊าซต่อเนื่องเป็นเวลา 40 – 46 นาที อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง (Fuel consumption rate) ของเตามีค่า 0.39 – 0.43 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพความร้อน (Thermal efficiency) ของเตามีค่า 18 – 20%

อมร รักญาติ. (2548). ได้สร้างเตาผลิตก๊าซชีววมวลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 45 เซนติเมตร ภายในก่อด้วยปูนทนไฟมีท่ออากาศเข้าขนาด 2 นิ้ว จำนวน 6 ท่อ รอบเตาด้านล่างของเตาเป็นส่วนเก็บซีเมนต์มีขนาด 50 x 50 x 20 เซนติเมตร เวลาเริ่มต้นในการจุดติด (Start-up time) ของเตาใช้เวลา 4 – 12 นาที อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเตาที่ใช้ในการทดสอบมีค่าประมาณ 3.91 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ในปี 2551 สถาบันวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ได้ผลิตก๊าซชีววมวลจากแกลบและถ่านไม้ยางพารา โดยใช้เตาผลิตก๊าซชนิดอากาศไหลลง และอากาศไหลขึ้น

จากข้อมูลเหล่านี้จึงทำให้มีความสนใจจะศึกษาการผลิตก๊าซชีววมวลจากเตาก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้น โดยใช้เชื้อเพลิงชีววมวล 3 ชนิด คือ ถ่าน ไม้พื้นและแกลบ นอกจากนี้จะนำความรู้ที่ได้ใช้ในการออกแบบเตาก๊าซชีววมวล สำหรับใช้เป็นชุดทดลองในกิจกรรมการเรียนการสอน

2. ทฤษฎีและหลักการ

ในเตาผลิตก๊าซทั่วไปสามารถถูกแบ่งออกเป็นชั้นที่สำคัญๆ ได้ 4 ชั้น โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปฏิกริยาและผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นในความเป็นจริงแต่ละชั้นอาจจะเหลื่อมล้ำ (Overlap) กันอยู่ก็ได้

1. ชั้นเผาไหม้ (Combustion or Oxidation Zone)

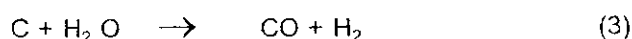
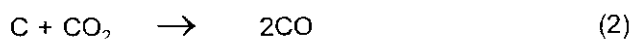
ในบริเวณนี้คาร์บอนจะเผาไหม้กับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศในปริมาณจำกัดด้วยปฏิกริยาดังต่อไปนี้



ปฏิกริยาในชั้นเผาไหม้เป็นปฏิกริยาคายความร้อน อุณหภูมิในชั้นนี้อยู่ระหว่าง 900 – 1200 °C ความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นนี้ถูกนำไปใช้ในปฏิกริยาแบบดูดความร้อนในชั้นรีดักชันและชั้นกลั่นสลายผลผลิตหลักที่ได้จากการทำปฏิกริยาในชั้นเผาไหม้คือ ความร้อน ถ่าน

2. ชั้นรีดักชัน (Reduction Zone)

ก๊าซ CO₂ ที่ได้จากการเผาไหม้ในชั้นเผาไหม้ เมื่อไหลเข้าสู่ชั้นรีดักชันก็จะเกิดปฏิกริยาที่เปลี่ยนก๊าซ CO₂ ให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ โดยก๊าซ CO₂ จะไหลผ่านคาร์บอนที่ร้อนและเกิด CO ดังสมการที่ (2)

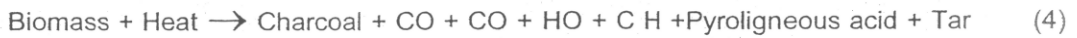


ปฏิกริยาในสมการที่ (2) เรียกว่า Boudouard Reaction ซึ่งเป็นปฏิกริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) ในกรณีที่ต้องการเพิ่มปริมาณของ CO สามารถทำได้โดยฉีดไอน้ำร้อนเข้าไปซึ่งไอน้ำจะไปทำปฏิกริยากับคาร์บอน ดังสมการที่ (3) ได้ก๊าซ CO และ H₂ เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกปฏิกริยานี้ว่า Watergas Reaction ซึ่งเป็นปฏิกริยาดูดความร้อน

ร้อนและจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 800°C ภายใต้ ความดันสูง H_2 อาจจะไปรวมตัวกับคาร์บอนและผลิต CH_4 ออกมาได้ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Methane Reaction โดยจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความดันสูงๆ และอุณหภูมิไม่สูงมากนัก

3. ชั้นกลั่นสลาย (Pyrolysis Zone)

ในชั้นนี้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากชั้นเผาไหม้ เพื่อสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงทำให้ได้สารระเหย (Volatile Matter) ต่างๆ ออกมา ซึ่งประกอบไปด้วยเมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิบ ก๊าซที่เผาไหม้ได้และไม่ได้ อุณหภูมิของชั้นนี้จะประมาณ $135 - 600^{\circ}\text{C}$ ของแข็งที่เหลืออยู่หลังกระบวนการนี้คือคาร์บอนในรูปถ่าน (Fixed Carbon) ดังสมการที่ (4)

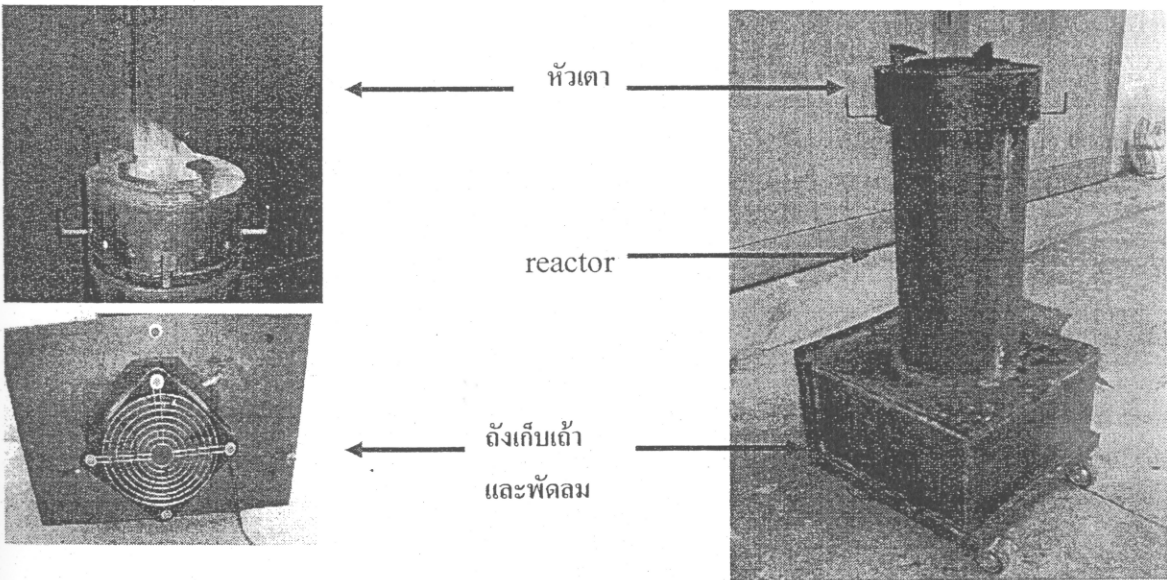


4. ชั้นลดความชื้น (Drying Zone)

ชั้นนี้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยต่างๆ ความร้อนที่ได้รับมาจากชั้นกลั่นสลาย จะระเหยความชื้นที่มีอยู่ในชีวมวลให้ออกมาในรูปของไอน้ำ อุณหภูมิในชั้นนี้จะอยู่ประมาณ $100 - 135^{\circ}\text{C}$

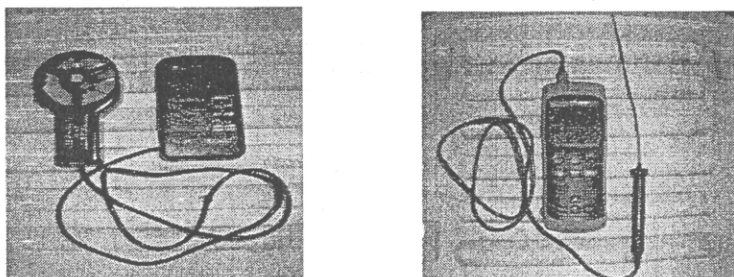
3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 เตาก๊าซชีวมวล



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเตาแก๊สชีวมวล

3.2 เครื่องมือวัด



รูปที่ 2 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วลมและเทอร์โมคัปเปิล

3.3 วิธีการทดลอง

การศึกษากระบวนการและปริมาณที่เกี่ยวข้องในการเกิดก๊าซจากเตาก๊าซชีวมวลชนิดอากาศไหลขึ้น ประกอบด้วย

- 1. เตรียมวัสดุชีวมวล ได้แก่ ถ่าน ไม้พืนขนาด 3 x 2 x 7 cm และแกลบ สำหรับใช้ในการเผา เป็นเชื้อเพลิงอย่างละ 1 กิโลกรัม
- 2. นำวัสดุชีวมวลใส่ลงไปในเตาจุดไฟให้เชื้อเพลิงติดไฟเกิดการเผาไหม้ ปิดฝาเตา และเปิดพัดลมให้อากาศไหลเข้าไปภายในเตา
- 3. จุดไฟที่หัวเตาเมื่อเริ่มมีแก๊สออกมาจากรูบริเวณหัวเตา
- 4. เมื่อจุดติดก๊าซแล้ววัดอุณหภูมิของเปลวไฟ วัดอัตราการไหล ปริมาณแก๊ส จับเวลาในการเกิด แก๊ส เวลาน้ำเดือด
- 5. หาประสิทธิภาพของเตาโดยหาจากอัตราการถ่ายเทความร้อนให้การต้มน้ำเดือด

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดลองเดินเตาก๊าซชีวมวลชนิดไหลขึ้น ด้วยเชื้อเพลิง 3 ชนิด คือ ถ่าน ไม้พืนและแกลบ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการผลิตก๊าซชีวมวลจากเชื้อเพลิงถ่าน ไม้พืน และแกลบ

ชนิดของชีวมวล	ถ่าน	ไม้พืน	แกลบ
มวลของเชื้อเพลิง(kg)	1	1	1
เวลาดำเนินการ (Time Operate)			
Initial time	20.39 น.	21.33 น.	19.58 น.
Final time	21.02 น.	21.58 น.	20.25 น.
Start Up Time (min)	5	1	4
Gas Ignition Time (min)	24	25	27
Gas Temperature (°C)	690	684	697
Weight of Char Produced (%)	8	8.5	10.0
ความเร็วอากาศ (m/s)	0.7	-	1.8
อัตราการไหลของอากาศ (m ³ /s)	0.039	อากาศ	0.102
Fuel consumption Rate (kg/hr)	2.5	2.3	2.2
Heat Input (kcal/kg)	5,893	3,355	3,000
Heat Output(kcal/kg)	692	362	414
Thermal Efficiency(%)	11.7	10.7	13.8

ผลจากการทดลองจุดติดก๊าซชีวมวลด้วยเตาแบบไหลขึ้นพบว่า ชีวมวลต่างชนิดกันที่มีมวลเท่ากัน ใช้เวลาในการจุดติดก๊าซ อุณหภูมิของก๊าซและให้น้ำหนักของชี้่แก๊สที่เหลือต่างกัน จากตารางที่ 1 พบว่าเชื้อเพลิงจากแกลบจะสามารถเกิดแก๊สได้นานกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากแกลบเป็นเชื้อเพลิงที่มีขนาดสม่ำเสมอมากที่สุดในที่สุด จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างต่อเนื่องและสมบูรณ์ (Rajvanshi A. K., 1986) ส่วนปริมาณแก๊สที่

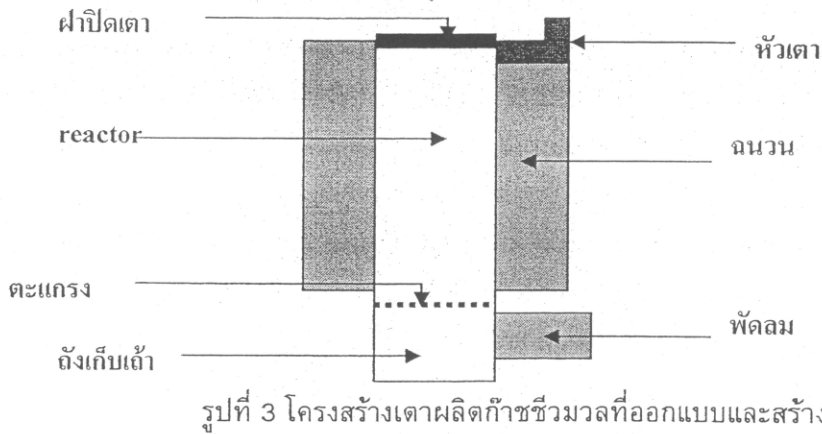
เกิดขึ้นก็คือสารเนื้อที่ผสมอยู่ในเชื้อเพลิงถ่านนี้ถึงแม้ว่าจะไม่เป็นอันตรายต่อการผลิตก๊าซแต่ก็เป็นตัวที่จะบอกว่าเชื้อเพลิงนั้น ๆ จะใช้ได้อย่างประหยัดหรือไม่จากการทดลองนี้จะพบว่าถ่านมีปริมาณถ่านน้อยสุดสอดคล้องกับผลการทดลองของ Remulla, J. A. (1982) ที่ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณถ่านที่เหลือระหว่างถ่านกับไม้ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงของเตาก๊าซชีวมวลแต่ทั้งนี้ปริมาณถ่านอาจจะขึ้นอยู่กับชนิดของไม้พื้นและไม้ที่นำมาทำถ่านนั่นเอง อย่างไรก็ตามถึงแม้เชื้อเพลิงชนิดใดจะมีปริมาณถ่านมากก็ตาม ถ่านถ่านนั้นเกิดในลักษณะที่เหมาะสม ก็จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบมากนัก ลักษณะการเกิดถ่านที่ดีคือ ถ่านที่เกิดจะร่วงลงสู่เบื้องล่างอย่างสม่ำเสมอและอนุภาคของถ่านควรจะร่วงแยกออกจากกันได้ง่ายเมื่อเผาไหม้แล้วควรจะแยกตัวออกจากผิวของเชื้อเพลิงเพื่อเปิดโอกาสให้ผิวของเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ (บรรพพรรณ, 2529)

เมื่อใช้เชื้อเพลิงที่เป็นไม้พื้นเตาจะสามารถจุดติดได้โดยไม่ต้องให้ลมผ่านพัดลมใช้เพียงอากาศธรรมชาติและเตาสามารถจุดติดได้เร็วภายใน 1 นาทีดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 แต่ในการทดสอบจะต้องจุดเชื้อเพลิงที่ด้านล่างของเตาและไม้พื้นที่ใช้จะต้องมีขนาด ประมาณ $3 \times 2 \times 7$ เซนติเมตร เมื่อใช้ไม้พื้นที่มีขนาดใหญ่กว่านี้เตาจะไม่สามารถจุดติดได้นอกจากนี้ยังเกิดน้ำส้มควันไม้และมีควันออกมารอบๆ เตาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการใช้ไม้พื้นที่มีขนาดใหญ่มากเกินไปการจุดเตาจะยากกว่าปกติและช่องว่างชั้นเชื้อเพลิงที่ใหญ่เกินไปนั้นจะทำให้อากาศไหลผ่านได้เร็วเกินไป ปฏิกริยาจึงเกิดได้ไม่สมบูรณ์ (บรรพพรรณ, 2529) และกระบวนการไล่ความชื้นอาจจะเกิดขึ้นได้ซ้ำเนื่องจากเชื้อเพลิงมีชื้นใหญ่ ดังนั้นถ้าจะสร้างเตาชนิดอากาศไหลขึ้นที่ใช้สำหรับไม้พื้นและถ่านส่วนของเตาที่สามารถเปิดปิดได้เวลาปิดควรมีวัสดุสำหรับป้องกันการไหลออกนอกเตาของก๊าซเพื่อให้เกิดปฏิกริยาภายในเตา

ในตารางที่ 3 แสดงให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเตาจากอัตราการถ่ายเทความร้อนของแก๊สผ่านหม้อน้ำที่เดือด พบว่าค่าประสิทธิภาพความร้อน (Thermal Efficiency) ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายๆ คนที่ระบุว่าเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้นสามารถใช้ได้ง่ายกับเชื้อเพลิงชีวมวลแทบทุกชนิด แต่อย่างไรก็ดีขณะที่ทำการทดสอบเตาพบว่าเชื้อเพลิงที่เป็นถ่านและไม้พื้นจะสามารถจุดติดได้ดีจากการจุดเตาที่ด้านล่าง ส่วนถ่านจะจุดติดได้ดีเมื่อจุดไฟที่ด้านบนของเตา เมื่อทำการจุดเตาที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงที่ด้านล่างของเตาพบว่าจะมีควันเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและเมื่อทำการเพิ่มแรงกดอัดขณะทำการใส่เชื้อเพลิงยังทำให้เกิดควันในปริมาณมากกว่าใส่เชื้อเพลิงลงไปตามธรรมดา สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจจะเกิดจากการเพิ่มแรงกดอัดทำให้พื้นที่หรือช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงมีขนาดเล็กเกินไปอากาศไม่สามารถไหลผ่านได้สะดวกทำให้ปฏิกริยาในการเกิดแก๊สไม่สมบูรณ์

5. การออกแบบเตาก๊าซชีวมวล

จากการศึกษาการเกิดปฏิกริยาในการเกิดก๊าซชีวมวลทำให้กลุ่มผู้วิจัยมีความสนใจที่จะสร้างเตาสำหรับผลิตก๊าซชีวมวล โดยเตาที่ออกแบบและสร้างขึ้นจะมีรูปทรงกระบอกโดยเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวเตา (reactor) มีขนาด 8 นิ้วทำจากเหล็ก และมีความสูง 1 เมตรแบ่งเป็นส่วนสำหรับใส่เชื้อเพลิง 60 เซนติเมตร และส่วนที่เป็นถังเก็บก๊าซ 40 เซนติเมตร มีฝาเปิด-ปิดด้านบนสำหรับใส่เชื้อเพลิงและทำการต่อท่อหัวเตาออกด้านข้าง โดยที่ท่อของหัวเตากับท่อที่ใช้ต่อพัดลมทำให้มีขนาดเท่ากันเพื่อที่จะสามารถปรับเตาแก๊สชีวมวลนี้ไว้ศึกษาทั้งในกรณีเตาก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้นและแบบอากาศไหลลงโดยการเปลี่ยนสลับตำแหน่งพัดลมกับหัวเตา โครงสร้างอย่างง่ายของเตาแสดงดังรูปที่ 3 ในส่วนของฉนวนที่ห่อหุ้มเตาจะทำให้สามารถปรับเปลี่ยนวัสดุที่นำมาทำฉนวนได้เพื่อศึกษาคุณสมบัติของฉนวนในเตาก๊าซต่อไป



6. สรุปผล

ในการศึกษากระบวนการเกิดก๊าซชีววมวลจากเตาผลิตก๊าซชีววมวลชนิดอากาศไหลขึ้นโดยเชื้อเพลิง 3 ชนิด ได้แก่ ถ่าน ไม้ฟืนและแกลบ พบว่า ในปริมาณมวลที่เท่ากันแกลบสามารถจุดติดแก๊สได้เป็นระยะเวลานานกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากแกลบเป็นเชื้อเพลิงที่มีขนาดเท่ากันอย่างสม่ำเสมออากาศสามารถไหลผ่านช่องว่างระหว่างมวลแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาได้พอดี ที่อัตราเร็วลม 0.102 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ในขณะที่ไม้ฟืนสามารถจุดติดแก๊สได้ในระยะเวลาที่สั้นและไม่ต้องใช้ลมจากพัดลมช่วยในการเกิดปฏิกิริยาแต่มีข้อเสียคือจะมีควันเกิดขึ้นรอบ ๆ เตาจำนวนมากแต่ไม้ฟืนและถ่านต้องจุดจากด้านล่างของเตาสวนแกลบให้จุดจากด้านบน เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของเตาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหม้อน้ำเดือดพบว่าเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกันแสดงว่าเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นสามารถใช้วัสดุชีววมวลทั้งสามเป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนในขั้นตอนการออกแบบและสร้างเตากลุ่มผู้วิจัยมีความสนใจที่จะสร้างเตาผลิตก๊าซชีววมวลรูปทรงกระบอกที่สามารถเปลี่ยนชนิดของฉนวนและปรับเปลี่ยนหัวเตากับพัดลมทางเข้าอากาศได้เพื่อทำเป็นเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นและแบบอากาศไหลลงไว้ในตัวเดียวกัน

7. ข้อเสนอแนะ

4. ศึกษาผลที่เกิดจากการใช้ฉนวนต่างชนิดกันในการสร้างเตาก๊าซชีววมวล
5. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเตาที่มีขนาดต่าง ๆ กัน
6. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับช่องที่ให้อากาศเข้าบริเวณหัวเตาว่าจะมีผลต่อการจุดติดของก๊าซอย่างไร

8. การนำไปใช้ประโยชน์

นำเตาก๊าซชีววมวลที่สร้างขึ้นไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยทำเป็นกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง เตาผลิตก๊าซชีววมวล

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สถานฝึกปฏิบัติในการทำวิจัย รศ.กำพล ประทีปชัยกูร ผศ.ไพโรจน์ ศิริรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยดูแลให้คำแนะนำและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้โอกาสและทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย

10. เอกสารอ้างอิง

- Belonio, A. T. (2005). **Rice Husk Gas Stove Handbook**. Appropriate Technology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Iloilo City, Philippines.
- Beloneo, A. T. and Atmowidjojo Djoewito (2007)., **Wood Charcoal Gasifier Stove**. Appropriate Technology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Iloilo City, Philippines.
- Rajvanshi, A. K. (1986). **Biomass Gassification**. Chapter (No. 4) in book "Alternative Energy in Agriculture", Vol. II, Ed. D. Yogi Goswami, CRC Press, pp 83 -102.
- Remulla, J. A. (1982), **Gasifier Manufacture in the Philippines : Status and Prospects**. Presented at Technical Consultation meeting between People's Republic of China and Philippines, Manila, June 23-30,.
- บวรพรรณ คติการ. (2529). **ตัวกรองที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์ มหามบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อมร รักญาติ. (2548). **Wood Gasification Stove**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ศึกษาการ เผาถ่านด้วยเตาขนาดเล็ก
Study of Charcoal Making by Small Kiln.

บุญมี ศรีประเสริฐ ตำแหน่งครูโรงเรียนบ้านฝายกวาง อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา

Boonmee Sripasart Ban faikwang School Chiengkham Phayao

ธนาธิป หลีกกันชะ ตำแหน่งครูโรงเรียนบ้านท่าม่วง อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

Thanathip Leekancha Bantamuang School Tepha Songkhla

บทคัดย่อ

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างชุดทดลองเตาเผาถ่านขนาดเล็ก เชื้อเพลิงหน้าเตาใช้ไธความร้อนจากแก๊ส เพื่อทำการศึกษาอุณหภูมิของการเผาถ่าน และความหนาแน่นของถ่าน พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ในช่วง $30 - 35^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิไล่ความชื้นอยู่ในช่วง $150 - 270^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิที่ทำให้ฟืนเป็นถ่านบริสุทธิ์อยู่ในช่วง $300 - 343^{\circ}\text{C}$ ความหนาแน่นของถ่านไม้ยางพาราอยู่ที่ 0.43 g/cm^3

คำสำคัญ เตาเผาถ่านขนาดเล็ก, การเผาถ่าน, รูปแบบของเตาเผาถ่าน

Abstract

The research has created a free trial of small charcoal kiln. Fuel cook using steam from the hot gas. To study the temperature of coal combustion. And density of carbon. Found that Starting temperature in the range $30 - 35^{\circ}\text{C}$ temperature, humidity in the range of gradation $150 - 270^{\circ}\text{C}$. Temperatures that fuel is pure carbon in the range $300 - 343^{\circ}\text{C}$. Density of rubber wood charcoal at 0.43 g/cm^3 .

บทนำ

มนุษย์รู้จักการเผาถ่านมาเป็นเวลานานนับหมื่นปี การเผาถ่านในยุคแรกจะนำฟืนมาเรียงซ้อนกันจุดไฟ แล้วจึงกลบด้วยดิน เช่น เตาผี เตาหลุม วิธีการเช่นนี้เป็นวิธีการให้ความร้อนสัมผัสเนื้อไม้โดยตรงทำให้ไม้ลุกติดไฟ วิธีการผลิตดังกล่าวทำให้ไม่สามารถควบคุมอากาศภายในได้ตามต้องการ ได้ปริมาณถ่านน้อย มีคุณภาพต่ำ มีเขม่ามาก และต้องใช้ไม้ที่มีขนาดใหญ่ หากใช้ไม้ที่มีขนาดเล็กก็就会被เผาเหลือแต่เขม่า ซึ่งเกิดจากอากาศสามารถไหลผ่านดินที่กลบไว้ได้

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเตาเผาถ่านที่สามารถควบคุมการไหลของอากาศได้ โดยใช้ไธร้อนในการเผาไหม้ เช่น เตาเผาถ่านจากถัง 200 ลิตร เตาหลุมฝึกรมป่าไม้ เตาดินเหนียวก่อ เตาอิฐเตะ ความร้อนจากไฟที่จุดไม้ได้ถูกเนื้อไม้โดยตรง ทำให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพดี สร้างเตาเผาได้ง่าย สามารถใช้ไม้ขนาดเล็กและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเผาเป็นถ่านได้ เหมาะสำหรับการผลิตถ่านใช้ในครัวเรือน นอกจากนั้นยังได้น้ำส้มควันไม้เป็นผลพลอยได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้การเผาถ่านที่อุณหภูมิสูงๆยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับสุขภาพ เช่น ทำน้ำแร่สำหรับดื่มและอาบ ใช้ดูดซับกลิ่นและใช้ดูดซับรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น

ในอนาคตปัญหาเกี่ยวกับวิกฤตการณ์น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซหุงต้ม ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ในชนบทนับว่ามีศักยภาพอย่างมากในการใช้พลังงานหมุนเวียนจากทรัพยากรในท้องถิ่น เยาวชนรุ่นหลังจึงจำเป็นต้อง

ถังสี่ชนิดโลหะขนาด 17.5 ลิตร พร้อมฝาปิด

- 3.1 ปูนซีเมนต์ทนไฟ
- 3.2 ดินเหนียวทนไฟ
- 3.3 ปากกาเคมี
- 3.4 วาล์วขนาด 1 นิ้ว
- 3.5 สามทางขนาด 1 นิ้ว
- 3.6 โชนขอ ขนาด 05 นิ้ว , 1 นิ้ว , 2 นิ้ว
- 3.7 วงเวียนเหล็ก
- 3.8 เหล็กฉาก
- 3.9 สังกะสี ยาว 112 เซนติเมตร กว้าง 33 เซนติเมตร
- 3.10 เตาแก๊สขนาด 9.5 กิโลกรัม
- 3.11 ที่ตั้งเตาเผาถ่าน
- 3.12 ท่อเหล็ก ขนาด 1 นิ้ว ยาว 35 เซนติเมตร
- 3.13 นิปปเปิ้ล ขนาด 2×4 นิ้ว
- 3.14 ฟืนจากไม้ยางพารา
- 3.15 ตะแกรงวางฟืน
- 3.16 เทอร์โมมิเตอร์

4. การสร้างเตา มีวิธีการดังนี้

- 4.1 นำถังสี่วางในแนวนอน ใช้ไม้ฉากเหล็กวัดตรงรอยต่อจากกันถังสี่ขึ้นมา 2 นิ้ว นำวงเวียนเหล็กทำวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว และด้านตรงกันข้ามตรงกึ่งกลางทำวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว เจาะออกด้วยโชนขอ นำน็อตขนาด 0.5 นิ้ว และ 2 นิ้ว ใส่ตรงรอยเจาะหมุนให้แน่น
- 4.2 นำสังกะสีเจาะเว้นตรงน็อต นำไปครอบด้านนอกถังสี่ ผสมปูนซีเมนต์กับน้ำหล่อให้มีความหนา 1 นิ้ว
- 4.3 นำฝาปิดถังสี่ขีดเส้นผ่าศูนย์กลางผ่าถึง 1 เส้น ใช้ไม้ฉากวัดจากขอบฝาให้มีระยะห่าง 1 เซนติเมตร ทั้ง 2 ด้าน นำวงเวียนเหล็กเขียนวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ทั้ง 2 ข้าง เจาะออกด้วยโชนขอ หมุนด้วยน็อตขนาด 1 นิ้ว และ สามทาง นำปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำเทบนฝาถึงหนาประมาณ 1 นิ้ว ตั้งทิ้งไว้ 1 คืนให้ปูนแข็งตัว
- 4.4 นำนิปปเปิ้ลประกอบเข้ากับน็อตตัวแรก และนำสามทางประกอบเข้ากับน็อตตัวที่เหลือด้วยท่อเหล็ก สำหรับปล่องควัน
- 4.5 ติดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิด้านบนเตา

5. การไล่ความชื้นออกจากเตา

เตาเผาที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์จะยังคงมีความชื้นอยู่ ก่อนจะนำไปใช้เผาถ่านจะต้องทำให้เตาไม่มีความชื้น โดยการนำไม้ฟืน หรือถ่านจุดให้เกิดความร้อน น้ำในเตาจะค่อยๆ ซึมออกจากเตา จนกระทั่งเตาไม่มีความชื้น

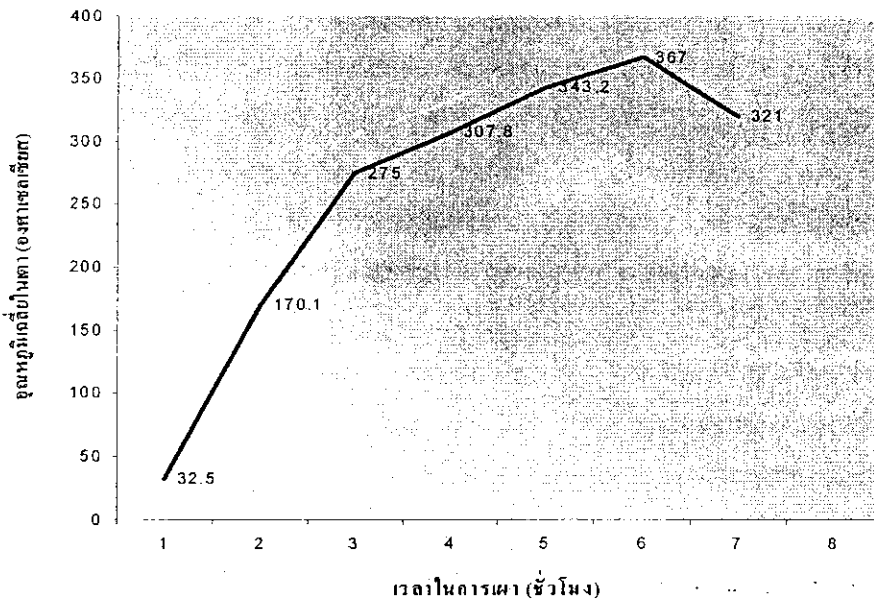
6. การทดลอง

- 6.1 นำเตาเผาถ่านตั้งบนที่ต้
- 6.2 ใส่ถังแก๊สใต้เตาเผาถ่าน โดยให้ปากเตาเผาถ่านตรงกับแก๊สที่ออกมา
- 6.3 วางตะแกรงที่ถ่านเตา
- 6.4 ชั่งพื้น หนัก 4 กิโลกรัม เรียงพื้นบนตะแกรงในแนวนอน
- 6.5 นำฝาลังปิดเตา ใช้ดินเหนียวทนไฟผสมน้ำปิดโดยรอบ ระหว่างฝาและตัวเตาไม่ให้มีอากาศเข้า
- 6.6 นำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิเตา ก่อนเผาบันทึกข้อมูล
- 6.7 วัดอุณหภูมิทุกๆ 20 นาที จนกระทั่งปิดเตา

ผลการทดลอง

อุณหภูมิเฉลี่ยในเตา

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา



ความหนาแน่นของถ่าน

$$\text{ความหนาแน่นของถ่าน} = 0.43 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{จากสูตร} \quad D = \frac{m}{V}$$

สรุปและวิจารณ์ผล

จากการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาอธิบายได้ดังนี้

ชั่วโมงที่ 1-3 จากอุณหภูมิเริ่มต้น 32.5-275 เส้นจะชันเป็นช่วงของการไล่ความชื้นออกจากเนื้อไม้ ในช่วงชั่วโมงที่ 3-4 เป็นช่วงที่ไม้ในเตาเริ่มคายความร้อน เริ่มหรีไฟหน้าเตา ชั่วโมงที่ 5-6 เป็นช่วงของการทำให้ถ่านบริสุทธิ์ หยุดป้อนเชื้อเพลิง เปิดหน้าเตาเล็กน้อยให้อากาศเข้าทำให้ถ่านสุกและบริสุทธิ์ขึ้น ชั่วโมงที่ 6 ปิดหน้าเตา อุณหภูมิจะเริ่มลดลงเรื่อย ๆ

ถ่านไม้ยางพาราที่ได้มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.43 g/cm^3 เป็นถ่านที่มีคุณภาพดี มีชี้เถ้าและรูพรุนน้อย หากอุณหภูมิในเตามีค่าความร้อนไม่ถึง 300° ผลผลิตถ่านที่ได้จะมีคุณภาพไม่ดี มีสันถ่าน และเปราะบาง หากปิดเตาทั้งหมดแล้วต้องควบคุมอากาศไม่ให้เข้าในเตา ถึงจะได้ถ่านที่มีคุณภาพดี หากอากาศเข้าจะได้ถ่านคุณภาพไม่ดี มีชี้เถ้ามาก

การนำผลงานไปใช้ประโยชน์

1. นำกระบวนการจากการวิจัยไปสร้างชุดทดลองเตาเผาถ่านขนาดเล็กสำหรับนักเรียน
2. บูรณาการการเรียนรู้กับกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ การงานอาชีพและเทคโนโลยี คณิตศาสตร์ ศิลปะ

ข้อเสนอแนะ

1. หากต้องการเพิ่มอุณหภูมิในเตา ควรเพิ่มปล่องควันให้สูงขึ้น
2. การเรียงฟืนในเตา ควรเรียงฟืนตามทิศทางการไหลเข้าออกของอากาศ
3. การออกแบบเตาต้องคำนึงถึงหลักการไหลเข้า การไหลออกของอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการวิจัยพลังงาน รุ่นที่ 2 สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ คณะจารย์และบุคลากรคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

- จิระพงษ์ คูหากาญจน์. คู่มือการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้. กรุงเทพฯ: ออฟเซ็ท ครีเอชั่น จำกัด, 2550.
- มูลนิธิศูนย์สื่อเพื่อการพัฒนา. เกษตรกรรมธรรมชาติซูเปอร์อั้งโล่เตาหุงต้มประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ: รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์ จำกัด, 2550.
- มูลนิธิศูนย์สื่อเพื่อการพัฒนา. เกษตรกรรมธรรมชาติพลังงานชุมชนเพื่อการพึ่งตนเอง. กรุงเทพฯ: รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์ จำกัด, 2551.
- สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม. คู่มือเตาเผาถ่าน 200 ลิตร. นครราชสีมา: พิมพ์เนต พรินต์ จำกัด, 2549.

ตารางและภาพ

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาเผาถ่านทุกๆ 20 นาที

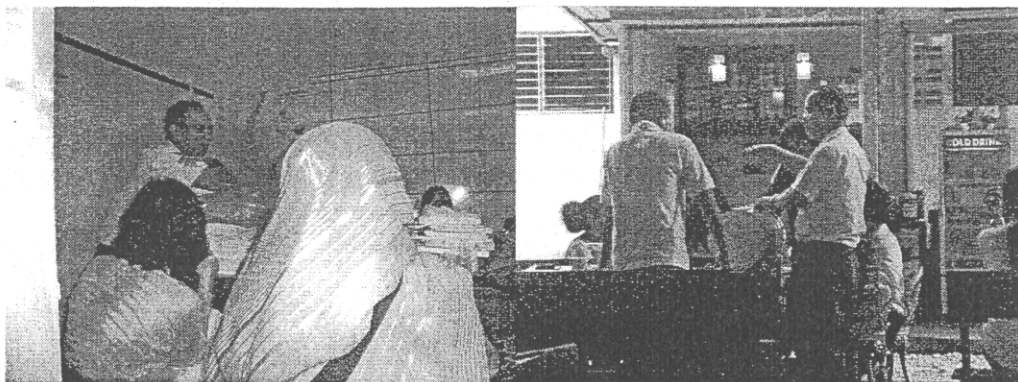
ทดสอบครั้งที่ 1 (° c)	ทดสอบครั้งที่ 2 (° c)	ทดสอบครั้งที่ 3 (° c)	ทดสอบครั้งที่ 4 (° c)
34.5	34	31.2	32.5
70.9	65.9	45	73.2
115.5	99	70.8	134.5
158.5	128	190	170.1
236	161.8	243	248
263.9	196.2	216	263.5
285	213.9	236	275
294.4	225.8	226	277.2
322	252.3	241	280.3
355	272.8	252	307.8
253	303	259	310.9
	317	272	313.5
	331	274	343.2
	345	278	

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นของถ่าน

ถ่านก้อน ที่	น้ำหนักของ กระดาษ	น้ำหนักของ กระดาษรวม กับน้ำหนักถ่าน	น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ปริมาตรของถ่าน (ml)
1	2.57	19.00	16.43	38
2	2.57	15.74	13.17	2
3	2.57	9.49	6.92	9

ภาพกิจกรรม

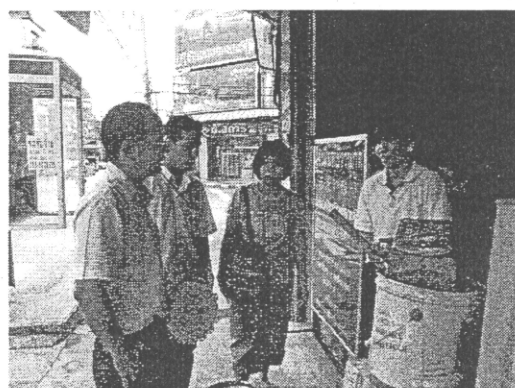
ภาพการพบกลุ่ม และปรึกษางานร่วมกัน



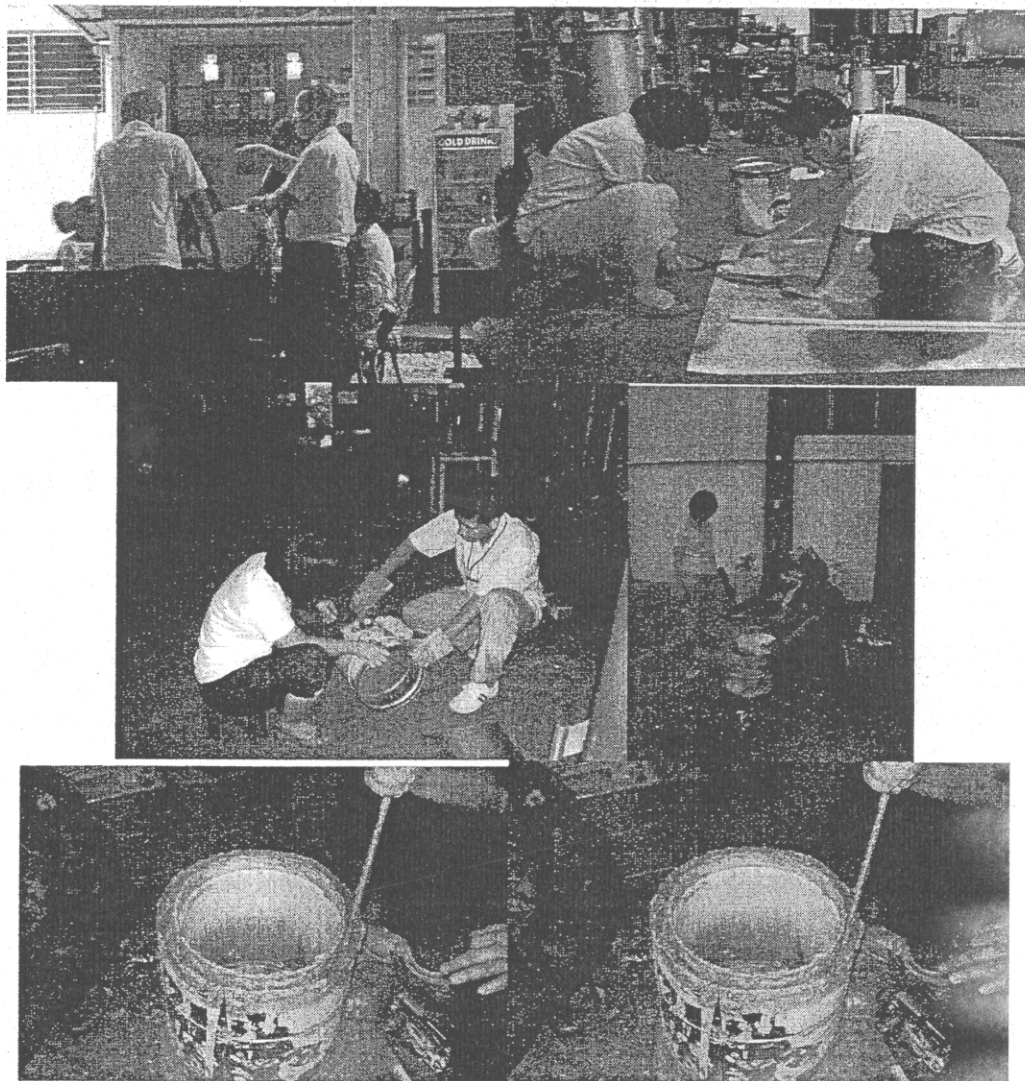
ภาพการศึกษาดูงานนอกสถานที่



ภาพการสำรวจอุปกรณ์ในการทำเตา



ภาพการออกแบบและการสร้างเตาเผาถ่าน



ภาพการทดลองและเก็บข้อมูล



ภาคผนวก จ

สาระการเรียนรู้/แผนการเรียนการสอน

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้

เรื่อง การสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

นายวิโรจ หลักมัน⁽¹⁾, นายบุญนำ หมินยะลา⁽²⁾, นางสาวกษมล ดอนแก้ว⁽³⁾

(1) โรงเรียนวังทองวิทยา อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาลำปาง เขต 3

(2) โรงเรียนบ้านเขาน้อย อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสงขลา เขต 3

คู่มือครู

คู่มือครูนี้ใช้สำหรับประกอบการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย

1. บทบาทของครูผู้สอน

ครูผู้สอนเตรียมตัวให้พร้อม โดยศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ การจัดชั้นเรียน และการเตรียมสื่อการเรียนรู้ที่ใช้ประกอบการจัดการจัดการเรียนรู้

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูจะต้องจัดกิจกรรมให้ครบตามที่ระบุไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้กิจกรรมเป็นไปอย่างต่อเนื่องและบรรลุตามวัตถุประสงค์

ก่อนทำกิจกรรมทุกครั้ง ครูต้องอธิบาย ชี้แจงวิธีการปฏิบัติกิจกรรมให้ชัดเจนให้นักเรียนได้เข้าใจตรงกัน จึงจะทำให้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้บรรลุเป้าหมายและมีประสิทธิภาพ

ครูควรกระตุ้นให้นักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม เพื่อเป็นการฝึกให้นักเรียนรู้จักการทำงานร่วมกัน ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน รับผิดชอบต่อหน้าที่ กล้าแสดงออก สังเกตการณ์ปฏิบัติและให้การช่วยเหลือนักเรียนในยามที่จำเป็นอย่างใกล้ชิด

หลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้เสร็จสิ้นลงในแต่ละกิจกรรม ครูเป็นผู้ประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียน

2. สิ่งที่คุณครูต้องเตรียม

ครูจะต้องเตรียมสื่อการสอนให้ครบตามขั้นตอนการจัดชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

บัตรคำสิ่งที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

บัตรกิจกรรมที่ 1 เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม

แบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 1 เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม

บัตรกิจกรรมที่ 2 เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน

แบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 2 เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน

บัตรกิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน

แบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน

วัสดุ - อุปกรณ์กิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน

บัตรเนื้อหาที่ 1 เรื่อง พลังงานลม

บอร์ดแสดงนิทรรศการพร้อมวัสดุ - อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดบอร์ด

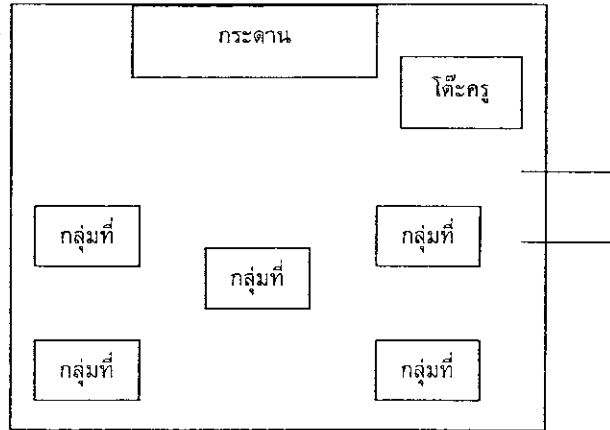
บัตรคำถามที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

บัตรเฉลยบัตรคำถามที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

3. การจัดชั้นเรียน

ในการจัดชั้นเรียนขณะที่ใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนจะทำกิจกรรมเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5-6 คน จำนวนกลุ่มขึ้นอยู่กับจำนวนนักเรียนในชั้นเรียน เมื่อทำการวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนนักเรียนต้องแยกออกจากกลุ่ม และจัดห้องทำการสอบเป็นรายบุคคล

แผนผังการจัดชั้นเรียน



4. การประเมินผลการเรียนรู้

ประเมินจากการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม

ประเมินผลจากคุณภาพชิ้นงาน/ผลการทดลอง จากการตอบคำถาม และจากบัตรคำถาม

ประเมินผลจากการทำแบบทดสอบหลังเรียน

แบบประเมินพฤติกรรม/การสังเกต

แบบประเมินการนำเสนอ

หน่วยการเรียนรู้ การสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การสร้างกังหันลมแนวแกนนอน

1. มาตรฐานการเรียนรู้

มาตรฐาน ว 4.1 เข้าใจธรรมชาติของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงโน้มถ่วง และแรงนิวเคลียร์ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องและมีคุณธรรม

มาตรฐาน ว 4.2 เข้าใจลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของวัตถุในธรรมชาติ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทักษะทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้อข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้น ๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อสร้างกังหันลมแนวแกนนอนที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมแนวแกนนอน ได้แก่ การออกแบบใบพัด การพันขดลวด การติดแม่เหล็ก การประกอบเจนเนอเรเตอร์ การประกอบและติดตั้งกังหันลม ความเร็วลม (Wind speed) และทิศทางลม (Wind Direction)
3. เพื่อทดสอบการทำงานของกังหันลม และหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมที่ระดับต่าง ๆ กับจำนวนรอบการหมุนของใบพัด ความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และกำลังไฟฟ้าที่ได้

3. สาระการเรียนรู้

1. กังหันลมและหลักการทำงาน
2. ประเภทของกังหันลม
3. กังหันลมแนวแกนนอนและส่วนประกอบ
4. การออกแบบและสร้างกังหันลมแนวแกนนอน
5. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมแนวแกนนอน ได้แก่ การออกแบบใบพัด การพันขดลวด การติดแม่เหล็ก การประกอบเจนเนอเรเตอร์ การประกอบและติดตั้งกังหันลม ความเร็วลม (Wind speed) และทิศทางลม (Wind Direction)

4. กิจกรรมการเรียนรู้

ชั่วโมงที่ 1

ขั้นสร้างความสนใจ

1. ครูนำรูปภาพ วีดีโอคลิปกังหันลมชนิดต่าง ๆ ให้นักเรียนดู และร่วมกันอภิปราย
2. นักเรียนและครูร่วมกันสนทนาเรื่องพลังงานทดแทนจากพลังงานลม กังหันลมและหลักการทำงาน ประเภทของกังหันลม กังหันลมแนวแกนนอนและส่วนประกอบ
3. ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ กำหนดเวลา และข้อตกลงอื่น ๆ ให้นักเรียนเข้าใจตรงกันก่อนเข้ากลุ่มทำกิจกรรม

ชั่วโมงที่ 2-12

ขั้นสำรวจและค้นหา

4. แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม ๆ กลุ่มละ 5 – 6 คน แต่ละกลุ่มประกอบด้วยนักเรียนที่ เก่ง ปานกลาง อ่อน คละกัน (ครูจัดกลุ่มนักเรียนไว้ล่วงหน้า)
5. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนออกมาจับบัตรคำสั่งที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และปฏิบัติตามกิจกรรมตามคำสั่งในบัตรคำสั่ง
6. นักเรียนจับบัตรกิจกรรมที่ 1 เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม
7. นักเรียนจับบัตรกิจกรรมที่ 2 เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน
8. นักเรียนจับบัตรกิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน พร้อมด้วยวัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างและทดสอบ

9. นักเรียนรับวัสดุ – อุปกรณ์ ในการจัดบอร์ดนิทรรศการ ซึ่งประกอบด้วย

- กระดาษ
- ปากกา
- กาว
- กรรไกร
- เทป
- สีเมจิก

ฯลฯ

10. นักเรียนในแต่ละกลุ่มร่วมกันวางแผนการสืบค้น เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ ในประเด็นเกี่ยวกับ กังหันลมและหลักการทำงาน ประเภทของกังหันลม กังหันลมแนวแกนนอน และส่วนประกอบ และการออกแบบและสร้างกังหันลมแนวแกนนอน

11. นักเรียนในแต่ละกลุ่มร่วมกันวางแผนการสืบค้น เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้าง ส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ ในประเด็นเกี่ยวกับออกแบบใบพัด การฟันชดลวด การติดแม่เหล็ก การประกอบเจนเนอเรเตอร์ การประกอบและติดตั้งกังหันลม

12. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน พร้อมกับบันทึกผลการทดสอบลงในแบบบันทึกผลการทดสอบ

ชั่วโมงที่ 13-15

ชั้นอธิบายและลงข้อสรุป

13. ตัวแทนนักเรียนทุกกลุ่มนำเสนอผลการสืบค้น การออกแบบส่วนประกอบของกังหัน และสุ่มตัวแทนนักเรียนจำนวน 2 กลุ่มนำเสนอผลการทดสอบกังหันลมแนวแกนนอนหน้าชั้นเรียน

14. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายผลการสืบค้น การออกแบบ และผลการทดสอบ

ชั้นขยายความรู้

15. ครูแจกบัตรเนื้อหาที่ 1 เรื่อง พลังงานลม ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาเนื้อหา

16. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลการสืบค้น เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม และการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ มาจัดบอร์ดแสดงนิทรรศการ

17. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายและสรุปเกี่ยวกับกังหันลม และผลการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ชั้นประเมิน

18. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนออกมาตอบคำถามที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จำนวน 5 ข้อ โดยใช้เวลาทำ 15 นาที และแบบทดสอบหลังเรียน เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จำนวน 10 ข้อ โดยใช้เวลาในการทำ 10 นาที

19. ประธานกลุ่มรวบรวมเก็บบัตรคำถามที่ 1 และแบบทดสอบหลังเรียนของสมาชิกกลุ่ม แล้วนำไปแลกเปลี่ยนกับกลุ่มอื่นเพื่อช่วยกันตรวจ ดังนี้

กลุ่ม 1 ให้กลุ่ม 2 ตรวจ

กลุ่ม 2 ให้กลุ่ม 3 ตรวจ

กลุ่ม 3 ให้กลุ่ม 4 ตรวจ

กลุ่ม 4 ให้กลุ่ม 5 ตรวจ

กลุ่ม 5 ให้กลุ่ม 1 ตรวจ

20. ประธานกลุ่มออกมารับบัตรเฉลยบัตรคำถามที่ 1 และแบบทดสอบหลังเรียน เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และอ่านเฉลยให้สมาชิกในกลุ่มฟังพร้อมกัน และช่วยกันตรวจให้คะแนน

21. ประธานกลุ่มรวบรวมบัตรคำถามที่ 1 บัตรเฉลยบัตรคำถามที่ 1 แบบทดสอบหลังเรียน และบัตรเฉลยแบบทดสอบหลังเรียน พร้อมทั้งคะแนนส่งครูผู้สอน

5. สื่อ / แหล่งเรียนรู้

1. ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
2. ห้องสมุด
3. อินเทอร์เน็ต
4. บัตรคำสิ่งที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
5. บัตรกิจกรรมที่ 1 เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม
6. แบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 1 เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม
7. บัตรกิจกรรมที่ 2 เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน
8. แบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 2 เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน
9. บัตรกิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน
10. แบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน
11. วัสดุ - อุปกรณ์กิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน
12. บัตรเนื้อหาที่ 1 เรื่อง พลังงานลม
13. บอร์ดแสดงนิทรรศการพร้อมวัสดุ - อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดบอร์ด
14. บัตรคำถามที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
15. บัตรเฉลยบัตรคำถามที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
16. แบบประเมินคุณภาพชิ้นงาน/ผลการทดสอบ
17. แบบประเมินพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม
18. แบบประเมินการนำเสนอ

6. การวัดและประเมินผล

1. วิธีการ
 - 1.1 ตรวจผลงานจากการศึกษา/สืบค้น
 - 1.2 การทดสอบ
 - 1.3 ตรวจผลงานจากการจัดบอร์ดนิทรรศการ
 - 1.4 การประเมินพฤติกรรม/สังเกต
2. เครื่องมือ
 - 2.1 บัตรคำถามที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
 - 2.2 แบบทดสอบหลังเรียน
 - 2.3 แบบประเมินคุณภาพชิ้นงาน/ผลการทดสอบ

2.4 แบบประเมินพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม

2.5 แบบประเมินการนำเสนอ

3. เกณฑ์

3.1 บัตรคำถามและแบบทดสอบ ได้ผลการประเมินเฉลี่ยร้อยละ 50 ขึ้นไปให้ “ผ่าน”

3.2 การประเมินคุณภาพชิ้นงาน กำหนดระดับคะแนนเป็น 4 ระดับ ได้ผลการประเมินเฉลี่ยตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปให้ “ผ่าน”

3.3 การสังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม กำหนดระดับคะแนนเป็น 4 ระดับ ได้ผลการประเมินเฉลี่ยตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปให้ “ผ่าน”

3.4 การนำเสนอ กำหนดระดับคะแนนเป็น 4 ระดับ ได้ผลการประเมินเฉลี่ยตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปให้ “ผ่าน”

หมายเหตุ : เครื่องมือ และเกณฑ์การวัดดูที่ภาคผนวก

สื่อสำหรับชุดกิจกรรมการเรียนรู้

เรื่อง การสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

บัตรคำสั่งที่ 1 เรื่อง การสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาและปฏิบัติตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เลือกประธานกลุ่มเพื่อเป็นผู้นำในการดำเนินกิจกรรม และเลขานุการกลุ่มเพื่อบันทึกข้อมูลจากการปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ

2. ศึกษาบัตรกิจกรรมที่ 1 เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม

3. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันออกแบบวางแผนและสืบค้น เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ

4. บันทึกผลการสืบค้นลงในแบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 1 เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม

5. ศึกษาบัตรกิจกรรมที่ 2 เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวนอน

6. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันออกแบบวางแผนและสืบค้น เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวนอน จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ

7. บันทึกผลการสืบค้นลงในแบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 2 เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวนอน

8. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำผลการสืบค้น จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ มาจัดบอร์ดแสดงนิทรรศการ

9. ศึกษาบัตรกิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน วางแผน ออกแบบ และทำการสร้าง

10. บันทึกผลการทดลองลงในแบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

11. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันวิเคราะห์ผลงานของกลุ่มอื่น ๆ แสดงความคิดเห็นและวิพากษ์

12. นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษาบัตรเนื้อหาที่ 1 เรื่อง พลังงานลม

13. นักเรียนแต่ละกลุ่มตอบคำถามลงในบัตรคำถามที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยให้สมาชิกทุกคนช่วยกันหาคำตอบ

14. ประธานกลุ่มรวบรวมคำตอบของสมาชิกแล้วนำไปแลกเปลี่ยนกับกลุ่มอื่นเพื่อแลกเปลี่ยนกันตรวจดังนี้

กลุ่ม 1 ให้กลุ่ม 2 ตรวจ

กลุ่ม 2 ให้กลุ่ม 3 ตรวจ

กลุ่ม 3 ให้กลุ่ม 4 ตรวจ

กลุ่ม 4 ให้กลุ่ม 5 ตรวจ

กลุ่ม 5 ให้กลุ่ม 1 ตรวจ

15. ประธานกลุ่มรับบัตรเฉลยบัตรคำถามที่ 1 เรื่องการสร้างกังหันลมแนวแกนนอนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

16. สมาชิกทุกคนช่วยกันตรวจคำตอบของกลุ่มที่แลกเปลี่ยนกันตรวจ และให้ประธานกลุ่มรวบรวมส่งครูพร้อมเก็บเอกสารและวัสดุ – อุปกรณ์ และชุดการทดลองให้เรียบร้อย

บัตรกิจกรรมที่ 1 เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาและปฏิบัติตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันวางแผนการสืบค้น เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ ในประเด็นเกี่ยวกับ

กังหันลมและหลักการทำงาน

ประเภทของกังหันลม

กังหันลมแนวแกนนอนและส่วนประกอบ

การออกแบบและสร้างกังหันลมแนวแกนนอน

ฯลฯ

2. บันทึกผลการสืบค้นลงในแบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 1 เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม

3. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนนำเสนอผลการสืบค้น เรื่องการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม

4. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำผลงานการสืบค้นมาจัดบอร์ดแสดงนิทรรศการ

บัตรกิจกรรมที่ 2 เรื่องการสืบค้นข้อมูล

และออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาและปฏิบัติตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันวางแผนการสืบค้น เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ ในประเด็นเกี่ยวกับ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมแนวแกนนอน

การออกแบบและการสร้างใบพัด

การออกแบบและการพันขดลวด

การออกแบบและการติดแม่เหล็ก

การออกแบบและการประกอบเจนเนอเรเตอร์

การประกอบและติดตั้งกังหันลม

ฯลฯ

2. กำหนดให้ กลุ่มที่ 1 สืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างใบพัดกังหันลม

กลุ่มที่ 2 สืบค้นข้อมูลและออกแบบการพันขดลวด

กลุ่มที่ 3 สืบค้นข้อมูลและออกแบบการติดแม่เหล็ก

กลุ่มที่ 4 สืบค้นข้อมูลและการประกอบเจนเนอเรเตอร์

กลุ่มที่ 5 สืบค้นข้อมูลการประกอบและติดตั้งกังหันลม

3. บันทึกผลการสืบค้นลงในแบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 2 เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวนอน

4. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนนำเสนอผลการสืบค้น เรื่องการสืบค้นข้อมูลและออกแบบการสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวนอน

5. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำผลงานการสืบค้นและการออกแบบมาจัดบอร์ดแสดงผลนิทรรศการ

กิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาและปฏิบัติตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสร้างส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน ตามที่ได้สืบค้นและออกแบบมาจากวัสดุ – อุปกรณ์ที่กำหนดให้ (หาเพิ่มเติมได้) โดยกำหนดให้

กลุ่มที่ 1 สร้างใบพัดกังหันลม

กลุ่มที่ 2 พันขดลวด

กลุ่มที่ 3 ติดแม่เหล็ก

กลุ่มที่ 4 ประกอบเจนเนอเรเตอร์

กลุ่มที่ 5 ประกอบและติดตั้งกังหันลม

2. นักเรียนร่วมกันทดสอบการหมุนของกังหันลมแนวแกนนอน ในสภาพความเร็วลมธรรมชาติ

3. ทดสอบการหมุนของกังหันลมแนวแกนนอน ด้วยการให้พลังงานลมเข้าไปจากพัดลม ด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน

4. วัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ของกังหันลมแนวแกนนอนด้วยเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า (kW) ที่ได้ โดยวัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดความเร็วลม (vane type) ที่ระดับความเร็วลมตั้งแต่ 0 – 10 m/s บันทึกผลการทดสอบ

5. วัดจำนวนรอบของกังหันลมแนวแกนนอน ในหน่วยของ rpm โดยวัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดความเร็วลม (vane type) ที่ระดับความเร็วลมตั้งแต่ 0 – 10 m/s บันทึกผลการทดสอบ

6. วัดกระแสไฟฟ้าที่ได้ (A) ของกังหันลมแนวแกนนอนด้วยเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ โดยวัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดความเร็วลม (vane type) ที่ระดับความเร็วลมตั้งแต่ 0 – 10 m/s บันทึกผลการทดสอบ

7. บันทึกผลการสร้างและทดสอบลงในแบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน

8. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนนำเสนอผลการสร้างและทดสอบลงในแบบบันทึกผล เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน

9. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำผลการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอนมาจัดบอร์ดแสดงนิทรรศการ

แบบบันทึกผลกิจกรรมที่ 3 เรื่องการสร้างและทดสอบกังหันลมแนวแกนนอน

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

สมาชิกกลุ่มที่.....

1..... 2.....
3..... 4.....

วัสดุ - อุปกรณ์

ลำดับที่	รายการ	จำนวน
1	ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาว 100 ซม.	1 เส้น
2	ริเว็ต dia 1/8" X 1/4"	1 ห่อ
3	ขดลวดทองแดงอาบน้ำยา เบอร์ 24	1 กิโลกรัม
4	แม่เหล็กถาวร Neodymium magnets 3/4" X 1/8" Disc rare earth N 42	10 ก้อน
5	ไม้อัดกว้าง 10 ซม. X ยาว 10 ซม. Xหนา 1 ซม.	2 แผ่น
6	ไม้อัดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม.หนา 1 ซม.	1 แผ่น
7	ลวดเส้นเล็ก	1 มัด
8	น็อตเบอร์ 12 พร้อมแหวนรอง	1 ห่อ
9	สก็อตเทปดำพันขดลวด	
10	แผ่นพลาสติกหรือแผ่นอะคลิลิกรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 25 ซม. X ยาว 25	1 แผ่น
11	ซม. Xหนา 3 มม.	1 แผ่น
12	แผ่นพลาสติกหรือแผ่นอะคลิลิกรูปวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม.หนา	1 แผ่น
13	3 มม.	2 อัน
14	แผ่นพลาสติกหรือแผ่นอะคลิลิกสำหรับทำแพนหาง	3 อัน
15	ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว พร้อมข้อต่อ 3 ทาง	1 ห่อ
16	ดลับลูกปืน	1 อัน
17	สายรัดพลาสติก	1 เส้น
18	เลื่อย	1 เส้น
19	แผ่นอลูมิเนียม กว้าง 3 ซม. X ยาว 30 ซม. Xหนา 3 มม.	1 แผ่น
20	เพลาลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 30 ซม.	1 เส้น
21	แผ่นสังกะสีบาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม.	1 เครื่อง
22	ท่อเหล็ก 1.5 นิ้ว หนา 3 มม. ยาว 0.5 เมตร ทำโครงและเสากังหัน	1 เครื่อง
23	เครื่องวัดความเร็วลม (vane type)ดิจิตอลมัลติมิเตอร์	1 ชุด
24	ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ที่ยี่ห้อ สว่านไฟฟ้า ดอกสว่าน จากเหล็ก ฟุตเหล็ก	1 ชุด
	ค้อน คีมตัด กรรไกร ประแจ ไขควง ฯลฯ ชุดพันขดลวด	

ผลการออกแบบ

ตารางบันทึกผลการทดสอบ

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

สรุปผลการทดสอบ

แผนการจัดการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
กิจกรรมพัฒนาผู้เรียนชุมนุมวิทยาศาสตร์นักเรียนแคว้นลุ่มแม่น้ำ
โดย ปิยะวรรณ มุลาภิ โรงเรียนเมืองพลพิทยาคม

เรื่อง ลมเกิดจากอะไร

สาระสำคัญ

อากาศเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้มีความหนาแน่นน้อยกว่าปกติและลอยตัวสูงขึ้นไป ซึ่งเรียกว่า กระแสอากาศ เมื่ออากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้น อากาศในแนวราบจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเคลื่อนขนานกับแนวราบเข้ามาแทนที่ อากาศที่เคลื่อนที่ขนานกับพื้นผิวของโลก เรียกว่า “ลม” ลมจะพัดจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าหรือบริเวณที่มีความกดอากาศสูงกว่า ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าหรือบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำกว่า

กลางวันอุณหภูมิของอากาศเหนือพื้นดินสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศเหนือพื้นน้ำ เนื่องจากดินและน้ำรับความร้อนจากดวงอาทิตย์ในปริมาณเท่ากันแต่ดินจะมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำ ส่วนกลางคืน อุณหภูมิของอากาศเหนือพื้นดินจะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศเหนือพื้นน้ำ เนื่องจากดินคายความร้อน ได้ดีกว่าน้ำ ปรากฏการณ์นี้จะเกี่ยวข้องกับการเกิด ลมบก ลมทะเล

ลมทะเล เป็นลมแถบบริเวณชายฝั่งที่พัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งในเวลากลางวัน เกิดขึ้นเนื่องจากในเวลากลางวันพื้นดินร้อนกว่าพื้นน้ำ ดังนั้นอากาศเหนือพื้นดินซึ่งร้อนกว่าจะเบา และลอยตัว สูงขึ้น อากาศซึ่งเย็นกว่าจากทะเลจะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ (เข้าสู่ฝั่ง) เพื่อไม่ให้เสียสมดุลความร้อน ทำให้เกิดลมทะเลขึ้น ลมทะเลนี้โบราณเรียกว่า “ลมขึ้น”

ลมบก เป็นลมแถบบริเวณชายฝั่งที่พัดออกจากฝั่งสู่ทะเลในเวลากลางคืน เกิดขึ้นเนื่องจาก ในเวลากลางคืน แผ่นดินเย็นกว่าพื้นน้ำ ดังนั้น อากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งร้อนกว่าจะเบาและลอยตัวสูงขึ้น ลมจึงพัดจากแผ่นดินที่เย็นกว่า จากฝั่งไปสู่บริเวณพื้นน้ำที่ร้อนกว่า(เพื่อไม่ให้เสียสมดุลความร้อน) ทำให้เกิดลมบกขึ้น ลมบกนี้โบราณเรียกว่า “ลมลง”

จากความรู้เรื่องลมบก - ลมทะเลนี้ชาวประมงได้อาศัยลมดังกล่าวแล่นเรือใบออกทะเลในเวลาค่ำและกลับสู่ฝั่งในตอนเช้า

ลมภูเขาและลมหุบเขา (mountain and valley winds) เป็นลมที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสันเขาและหุบเขา โดยลมภูเขาจะพัดจากสันเขาลงสู่หุบเขาในตอนกลางคืนเนื่องจากบริเวณสันเขา อยู่ในที่สูงกว่าจึงเย็นเร็วกว่าหุบเขา ดังนั้นจึงมีลมพัดลงจากยอดเขาสู่หุบเขา ส่วนลมหุบเขาจะพัดจากหุบเขาขึ้นไปสู่สันเขาโดยเกิดขึ้นในตอนกลางวัน เนื่องจากบริเวณหุบเขาเบื้องล่างจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ายอดเขาจึงมีลมพัดขึ้นไปตามความสูงของสันเขา

ลมประจำฤดู เป็นลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางตามฤดูกาล เรียกว่า ลมมรสุม ประเทศไทยมี ลมมรสุมที่มีความสำคัญมากก็คือ

1. ลมมรสุมฤดูร้อน พัดในแนวทิศใต้ และตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเดือนมิถุนายน - สิงหาคม
2. ลมมรสุมฤดูหนาว พัดในแนวทิศเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายสาเหตุของการเกิดลม
2. ระบุอันตรายอันเกิดจากลม เสนอแนะวิธีการป้องกัน และการเตือนภัยเมื่อเกิดพายุ

เนื้อหา 1. การเกิดลม

2. อันตรายจากลม (พายุ)
3. วิธีการป้องกันภัย
4. การเตือนภัยเมื่อเกิดพายุ

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. ขั้นสร้างความสนใจ

- 1.1 นักเรียนและครูร่วมกันสนทนาเกี่ยวกับเรื่อง การเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศในท้องถิ่น เพื่อนำไปสู่คำถามที่ว่า “ลมเกิดขึ้นได้อย่างไร”
- 1.2 นักเรียนตอบข้อซักถามครูว่า “ลมเกิดขึ้นได้อย่างไร” และ ความแตกต่างระหว่างลมบกและลมทะเล มีประโยชน์อย่างไร
- 1.3 นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน จำนวนข้อสอบ 10 ข้อ
- 1.4 แจ้งให้นักเรียนทราบว่า จะได้ศึกษาเกี่ยวกับ การเกิดลม,อันตรายจากลม(พายุ),วิธีการป้องกันภัย, การเตือนภัยเมื่อเกิดพายุ

2. ขั้นสำรวจและค้นหา

- 2.1 นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดลม, อันตรายจากลม (พายุ), วิธีการป้องกันภัย การเตือนภัยเมื่อเกิดพายุ จากแหล่งเรียนรู้ทั้งในและนอกชั้นเรียน แล้วสรุปสาระสำคัญ บันทึกลงในสมุดจดบันทึก
- 2.2 สุ่มนักเรียน นำเสนอผลการสืบค้นข้อมูล

3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป

- 3.1 นักเรียนนำข้อมูลจากขั้นการสืบค้นข้อมูล มาอภิปรายร่วมกับครู
- 3.2 ครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับ การเกิดลม, อันตรายจากลม (พายุ), วิธีการป้องกันภัย การเตือนภัยเมื่อเกิดพายุ

4. ขั้นขยายความรู้

- 4.1 นักเรียนแต่ละกลุ่มเตรียมอุปกรณ์และทำการทดลอง กิจกรรมที่ 1 ลมเกิดขึ้นได้อย่างไร
- 4.2 นักเรียนและครูร่วมกันอภิปราย เกี่ยวกับ กิจกรรมที่ 1 ลมเกิดขึ้นได้อย่างไร

5. ขั้นประเมิน

- 5.1 นักเรียนเขียน Concept mapping สรุปผลการทดลอง กิจกรรมที่ 1 ลมเกิดขึ้นได้อย่างไร
- 5.2 นักเรียนนำ Concept mapping อภิปรายแลกเปลี่ยนกับเพื่อนๆ และประเมินผลงาน
- 5.3 นักเรียนที่เป็นเจ้าของผลงาน Concept mapping ที่ได้รับการประเมินจากเพื่อนมาอภิปรายเกี่ยวกับ

Concept ในงานนั้น โดยการสุมจากครู
5.4 นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน

สื่อการเรียนการสอน / แหล่งเรียนรู้

รายการสื่อ	จำนวน	สภาพการใช้สื่อ
1. แบบทดสอบก่อนเรียน	1 ชุด	ใช้ชั้นสร้างความสนใจ
2. ใบกิจกรรม 1	1 ชุด	ใช้ชั้นประเมินและลงข้อสรุป
3. แบบทดสอบหลังเรียน	1 ชุด	ใช้ชั้นประเมินและลงข้อสรุป
4. ห้องสมุดโรงเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ
5. แหล่งเรียนรู้ในโรงเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ
6. แหล่งเรียนรู้นอกชั้นเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ

การวัดผลและประเมินผล

รายการวัดผลและประเมินผล	เครื่องมือที่ใช้	เกณฑ์ผ่าน
1. การวัดผลคุณธรรม จิตพิสัย	สังเกตพฤติกรรมนักเรียน	-
2. การประเมินผลจากสภาพจริง	แบบทดสอบก่อนเรียน ตรวจใบกิจกรรม 1	ร้อยละ 60 ขึ้นไป ร้อยละ 60 ขึ้นไป
3. การวัดผลหลังเรียน	แบบทดสอบหลังเรียน	ร้อยละ 60 ขึ้นไป

กิจกรรมเสริมทักษะหรือซ่อมเสริม

รายการ	วิธีดำเนินการกิจกรรม
1. ปรับปรุง – แก้ไขข้อบกพร่อง ของผู้เรียน	1. ครูควบคุมดูแลให้อยู่ในกรอบระหว่างเรียน 2. ครูคอยเสริมหรือแก้ไขเมื่อการอภิปรายของนักเรียนไม่ สมบูรณ์ 3. ครูชี้แจงข้อบกพร่องในการทำกิจกรรม 4. ครูเฉลยข้อสงสัยที่นักเรียนทำไม่ได้ 5. สอนซ่อมเสริมนักเรียนที่ไม่ผ่านการประเมินหลังเรียน

เรื่อง การทำเครื่องมือตรวจสอบทิศทางลมอย่างง่าย

สาระสำคัญ

เครื่องมือตรวจสอบทิศทางลมที่สร้างขึ้นต้องมีลักษณะ เป็นลูกศรที่มีหางเป็นแผ่นใหญ่กว่าหัวลูกศรมาก เพราะเมื่อลมพัดมา หางลูกศรจะถูกแรงลมปะทะมากกว่าหัวลูกศร ทำให้หัวลูกศรชี้ไปในทิศทางที่ลมพัดมา เราจึงทราบทิศทางลมว่าพัดมาจากทางทิศใด

จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1. สร้างเครื่องมือวัดทิศทางลมอย่างง่าย
- 2. ทดสอบติดตั้งเครื่องมือทิศทางลมอย่างง่าย

เนื้อหา

1. วิธีการสร้างเครื่องมือวัดทิศทางลมอย่างง่าย

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. ขั้นสร้างความสนใจ

1. นักเรียนและครูร่วมกันสนทนาเกี่ยวกับเรื่อง อันตรายจากลม (พายุ). วิธีการป้องกันภัย จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศในท้องถิ่น เพื่อนำไปสู่คำถามที่ว่า "ลมมาในทิศทางใด"
2. นักเรียนตอบข้อซักถามครูว่า มีวิธีสังเกตทิศทางของลมได้อย่างไร
3. นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน จำนวนข้อสอบ 10 ข้อ
4. แจ้งให้นักเรียนทราบว่า จะได้ศึกษาเกี่ยวกับ วิธีการสร้างเครื่องมือวัดทิศทางลมอย่างง่าย

2. ขั้นสำรวจและค้นหา

1. นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ การทำงานของกรมอุตุนิยมวิทยา หรือการพยากรณ์อากาศในแต่ละวัน จากแหล่งเรียนรู้ทั้งในและนอกชั้นเรียน แล้วสรุปสาระสำคัญ บันทึกลงในสมุดจดบันทึก
2. สุ่มนักเรียน นำเสนอผลการสืบค้นข้อมูล

3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป

1. นักเรียนนำข้อมูลจากขั้นการสืบค้นข้อมูล มาอภิปรายร่วมกับครู
2. ครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตรวจอากาศ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ในแต่ละชั่วโมง แต่ละวัน แต่ละเดือน แต่ละปี มาหาค่าเฉลี่ย ค่าปานกลาง ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด เพื่อทำเป็นแผนภูมิอากาศ หรือลมฟ้าอากาศประจำถิ่นของภาคต่างๆ

3. ครูแนะนำวิธีสร้างเครื่องมือวัดทิศทางลมอย่างง่าย

ขั้นขยายความรู้

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มเตรียมอุปกรณ์และทำการทดลอง กิจกรรมที่ 2 การทำเครื่องมือตรวจสอบทิศทางลมอย่างง่าย
2. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปราย เกี่ยวกับ กิจกรรมที่ 2 การทำเครื่องมือตรวจสอบทิศทางลมอย่างง่าย

4. ขั้นประเมิน

1. นักเรียนเขียน Concept mapping สรุปผลการทดลอง กิจกรรมที่ 2 การทำเครื่องมือตรวจสอบทิศทางลมอย่างง่าย
2. นักเรียนนำ Concept mapping อภิปรายแลกเปลี่ยนกับเพื่อนๆ และประเมินผลงาน
3. นักเรียนที่เป็นเจ้าของผลงาน Concept mapping ที่ได้รับการประเมินจากเพื่อนมาอภิปรายเกี่ยวกับ Concept ในงานนั้น โดยการสุ่มจากครู
4. นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน

สื่อการเรียนการสอน / แหล่งเรียนรู้

รายการสื่อ	จำนวน	สภาพการใช้สื่อ
1. แบบทดสอบก่อนเรียน	1 ชุด	ใช้ชั้นสร้างความสนใจ
2. ใบกิจกรรม 2	1 ชุด	ใช้ชั้นประเมินและลงข้อสรุป
3. แบบทดสอบหลังเรียน	1 ชุด	ใช้ชั้นประเมินและลงข้อสรุป
4. ห้องสมุดโรงเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ
5. แหล่งเรียนรู้ในโรงเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ
6. แหล่งเรียนรู้นอกชั้นเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ

การวัดผลและประเมินผล

รายการวัดผลและประเมินผล	เครื่องมือที่ใช้	เกณฑ์ผ่าน
1. การวัดผลคุณธรรม จิตพิสัย	สังเกตพฤติกรรมนักเรียน	-
2. การประเมินผลจากสภาพจริง	แบบทดสอบก่อนเรียน ตรวจใบกิจกรรม 1	ร้อยละ 60 ขึ้นไป ร้อยละ 60 ขึ้นไป
3. การวัดผลหลังเรียน	แบบทดสอบหลังเรียน	ร้อยละ 60 ขึ้นไป

กิจกรรมเสริมทักษะหรือซ่อมเสริม

รายการ	วิธีดำเนินการกิจกรรม
1. ปรับปรุง – แก้ไขข้อบกพร่องของผู้เรียน	1. ครูควบคุมดูแลให้อยู่ในกรอบระหว่างเรียน 2. ครูคอยเสริมหรือแก้ไขเมื่อการอภิปรายของนักเรียนไม่สมบูรณ์ 3. ครูชี้แจงข้อบกพร่องในการทำกิจกรรม 4. ครูเฉลยข้อสงสัยที่นักเรียนทำไม่ได้ 5. สอนซ่อมเสริมนักเรียนที่ไม่ผ่านการประเมินหลังเรียน

การทำเครื่องมือตรวจสอบทิศทางลมอย่างง่าย

สาระสำคัญ

ลมพัดเกิดจากความกดอากาศในบริเวณสองแห่งแตกต่างกัน ถ้าความกดอากาศในบริเวณ 2 แห่งแตกต่างกันมาก ลมจะพัดด้วยความเร็วสูง และมีทิศทางพัดจากบริเวณความกดอากาศสูงไปสู่บริเวณความกดอากาศต่ำ

เครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย ใช้ลูกถ้วยต่อกับแกนหมุนให้หมุนรอบแกนหลักในแนวตั้งฉาก ถ้ารู้รัศมีของแกนยึดลูกถ้วย สามารถวัดความเร็วลมได้โดยการนับจำนวนรอบที่เครื่องวัดความเร็วลมหมุนไปในช่วงเวลาแล้วคำนวณหา

$$\text{ระยะทางที่หมุนไป} = (\text{จำนวนรอบที่หมุน}) \times \pi r^2$$

เมื่อ R คือรัศมีของลูกถ้วยจากแกน

$$\text{อัตราเร็วลม} = \frac{\text{ระยะทางที่ลูกถ้วยหมุนไป}}{\text{เวลาที่ใช้ในการวัด}}$$

เปรียบเทียบอัตราความเร็วลมที่นักเรียนวัดได้ เทียบกับ เครื่องวัดความเร็วลม(anemometer)

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สร้างเครื่องมือวัดความเร็วลมอย่างง่าย
2. ทดสอบติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลมอย่างง่าย และคำนวณหาอัตราเร็วลม

เนื้อหา

1. วิธีการสร้างเครื่องมือวัดความเร็วลมอย่างง่าย
2. คำนวณหาอัตราความเร็วลม ในบริเวณที่ติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลม ในเวลา 1 สัปดาห์

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. ขั้นสร้างความสนใจ

1. นักเรียนและครูร่วมกันสนทนาเกี่ยวกับเรื่อง อันตรายจากลม (พายุ). และการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศในท้องถิ่น เพื่อนำไปสู่คำถามที่ว่า “ลมพายุเกิดขึ้นเมื่อใด”
2. นักเรียนตอบข้อซักถามครูว่า มีวิธีสังเกตการเกิดลมพายุอย่างไร
3. นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน จำนวนข้อสอบ 10 ข้อ
4. แจ้งให้นักเรียนทราบว่า จะได้ศึกษาเกี่ยวกับ วิธีการสร้างเครื่องมือวัดความเร็วลมอย่างง่าย

2. ขั้นสำรวจและค้นหา

1. นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ อันตรายจากลมพายุในภูมิภาคต่างๆ ในโลก จากแหล่งเรียนรู้ ทั้งในและนอกชั้นเรียนแล้วสรุปสาระสำคัญ บันทึกลงในสมุดจดบันทึก
2. สุ่มนักเรียน นำเสนอผลการสืบค้นข้อมูล

3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป

1. นักเรียนนำข้อมูลจากขั้นการสืบค้นข้อมูล มาอภิปรายร่วมกับครู
2. ครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการคำนวณเกี่ยวกับอัตราเร็วลม เพื่อให้ นักเรียนเก็บข้อมูล จำนวนรอบของการหมุนของเครื่องวัดความเร็วลมมาหาค่าเฉลี่ย ค่าปานกลาง ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด เพื่อทำเป็นแผนภูมิอากาศในท้องถิ่นของนักเรียน
3. ครูแนะนำวิธีสร้างเครื่องมือวัดความเร็วลมอย่างง่าย

4. ขั้นขยายความรู้

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มเตรียมอุปกรณ์และทำการทดลอง กิจกรรมที่ 3 การทำเครื่องมือตรวจสอบความเร็วลมอย่างง่าย
2. การทำเครื่องมือตรวจสอบความเร็วลมอย่างง่าย
3. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปราย เกี่ยวกับ กิจกรรมที่ 2 การทำเครื่องมือตรวจสอบความเร็วลมอย่างง่าย

5. ชั้นประเมิน

1. นักเรียนเขียน Concept mapping สรุปผลการทดลอง กิจกรรมที่ 3 การทำเครื่องมือตรวจสอบความเร็วลมอย่างง่าย
2. นักเรียนนำ Concept mapping อภิปรายแลกเปลี่ยนกับเพื่อนๆ และประเมินผลงาน
3. นักเรียนที่เป็นเจ้าของผลงาน Concept mapping ที่ได้รับการประเมินจากเพื่อนมาอภิปรายเกี่ยวกับ Concept ในงานนั้น โดยการสุ่มจากครู
4. นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน

สื่อการเรียนการสอน / แหล่งเรียนรู้

รายการสื่อ	จำนวน	สภาพการใช้สื่อ
1. แบบทดสอบก่อนเรียน	1 ชุด	ใช้ชั้นสร้างความสนใจ
2. ใบกิจกรรม 3	1 ชุด	ใช้ชั้นประเมินและลงข้อสรุป
3. แบบทดสอบหลังเรียน	1 ชุด	ใช้ชั้นประเมินและลงข้อสรุป
4. ห้องสมุดโรงเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ
5. แหล่งเรียนรู้ในโรงเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ
6. แหล่งเรียนรู้นอกชั้นเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ

การวัดผลและประเมินผล

รายการวัดผลและประเมินผล	เครื่องมือที่ใช้	เกณฑ์ผ่าน
1. การวัดผลคุณธรรม จิตพิสัย	สังเกตพฤติกรรมนักเรียน	-
2. การประเมินผลจากสภาพจริง	แบบทดสอบก่อนเรียน ตรวจใบกิจกรรม 1	ร้อยละ 60 ขึ้นไป ร้อยละ 60 ขึ้นไป
3. การวัดผลหลังเรียน	แบบทดสอบหลังเรียน	ร้อยละ 60 ขึ้นไป

กิจกรรมเสริมทักษะหรือซ่อมเสริม

รายการ	วิธีดำเนินการกิจกรรม
1. ปรับปรุง - แก้ไขข้อบกพร่องของผู้เรียน	1. ครูควบคุมดูแลให้อยู่ในกรอบระหว่างเรียน 2. ครูคอยเสริมหรือแก้ไขเมื่อการอภิปรายของนักเรียนไม่สมบูรณ์ 3. ครูชี้แจงข้อบกพร่องในการทำกิจกรรม 4. ครูเฉลยข้อสงสัยที่นักเรียนทำไม่ได้ 5. สอนซ่อมเสริมนักเรียนที่ไม่ผ่านการประเมินหลังเรียน

ประดิษฐ์กังหันลมแนวแกนตั้งอย่างง่าย

1. มาตรฐานการเรียนรู้

สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม

มาตรฐาน ว2.2 เข้าใจความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติในระดับท้องถิ่น ประเทศและโลก มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ นำความรู้ไปใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

สาระที่ 5 พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ นำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา ระบุว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้อข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สร้างแบบจำลองกังหันลมแนวแกนตั้งเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

3. สาระสำคัญ

กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง

หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลม จะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

4. สาระการเรียนรู้

พลังงานดั้งเดิม (Conventional Energy) ที่เกิดจากการทับถมของซากพืชหรือสัตว์ยุคก่อนประวัติศาสตร์ (Fossil Fuel) เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไปต้องใช้เวลาแสนนับล้านๆ ปี ไม่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ในช่วงชีวิตของมนุษย์ นอกจากนั้นการนำเชื้อเพลิงฟอสซิล มาเผาเพื่อผลิตพลังงานความร้อน และแปรรูปพลังงานความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบอื่นๆ ในกระบวนการแปรรูปพลังงานจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะเพิ่มปริมาณการสะสมมากขึ้นตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่ง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในชั้นบรรยากาศเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) และส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์แปรปรวนของภูมิอากาศโลก (Climate Change)

ลมเป็นแหล่งพลังงานสะอาดอย่างหนึ่งที่นานาประเทศจะพัฒนาให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากลมมีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ที่สำคัญใช้ไม่มีวันหมดและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากลมยังไม่ปล่อยของเสียที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม ลมเกิดจากอากาศเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้มีความ

หนาแน่นน้อยกว่าปกติและลอยตัวสูงขึ้นไป กระแสอากาศเมื่ออากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้น อากาศในแนวราบจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเคลื่อนขนานกับแนวราบเข้ามาแทนที่ โดยลมจะพัดจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าหรือบริเวณที่มีความกดอากาศสูงกว่า ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าหรือบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำกว่า

พลังงานลมเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า “กังหันลม” เป็นตัวสกัดกั้นพลังงานจลน์ของกระแสลม แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานกล จากนั้นจึงนำพลังงานกลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ เช่น สูบน้ำ หรือใช้ผลิตไฟฟ้า เป็นต้น แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม มีอุปกรณ์ความคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมแรง เช่น ลมพายุ และตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบแกนนอน ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์(Windmills) กังหันลมใบเสील้าแพน นิยมใช้กับเครื่องสูบน้ำ กังหันลมแบบกงล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้า แบบพروبเพลเลอร์(Propeller)

2. กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง

หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลม จะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

5. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement)

กิจกรรมที่ 1 สร้างความตระหนักในการกระจายเชื้อเพลิง

1. ครูสร้างสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนตระหนักถึง ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์แปรปรวนของภูมิอากาศโลก (Climate Change) เพื่อให้นักเรียนสนใจค้นคว้าเพื่อเสาะแสวงหาพลังงานทางเลือกสำหรับการกระจายเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า
2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายถึงพลังงานดั้งเดิม(Conventional Energy) และการได้มาซึ่งพลังงานในอดีต รวมถึงการใช้ประโยชน์และผลกระทบอันเกิดจากการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย
3. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม ๆ ละ 5 คน เพื่อให้นักเรียนแต่ละกลุ่มค้นคว้าหาข้อมูลเพื่ออภิปรายในหัวข้อ “พลังงานและการกระจายเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า”

ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration)

กิจกรรมที่ 2 พลังงานลมเป็นพลังงานสะอาด

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ เช่น ห้องสมุด หรืออินเทอร์เน็ต นอกเวลาเรียนเพื่ออภิปรายในหัวข้อ “พลังงานและการกระจายเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า”
2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อหาข้อดีและข้อเสียของวิธีการกระจายเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของโรงเรียนและ ชุมชน

3. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปวิธีการกระจายเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของโรงเรียนและชุมชน คือ พลังงานลม ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสะอาดอย่างหนึ่งที่นานาประเทศจะพัฒนาให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากลมมีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ที่สำคัญใช้ไม่มีวันหมดและกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากลมยังไม่ปล่อยของเสียที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม
4. ครูเสนอแนะให้นักเรียนทราบว่าพลังงานลมในอำเภอพล จังหวัดขอนแก่น เป็นเขตลมสงบ ดังนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มจะต้องค้นคว้าเพื่อหาวิธีนำพลังงานลมมาใช้ได้อย่างเหมาะสม

ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation)

กิจกรรมที่ 3 สืบค้นวิธีสร้างกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ เช่น ห้องสมุด หรืออินเทอร์เน็ต นอกเวลาเรียนเพื่ออภิปรายในหัวข้อ “วิธีการสร้างกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า”
2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายวิธีการสร้างกังหัน 2 แบบ คือ 1. กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) 2. กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เพื่อหาข้อดีและข้อเสีย และให้เหมาะสมกับพลังงานลมที่เกิดขึ้นในเขตอำเภอพล จังหวัดขอนแก่นเพื่อให้ได้ข้อสรุปกังหันลมแนวแกนตั้งมีความเหมาะสมมากกว่ากังหันลมแนวแกนนอนเพราะสามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้าหาลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบการส่งกำลังวางใกล้พื้นดินมากกว่าแบบแกนนอน
3. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายวิธีการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ ขดลวดทองแดงและแม่เหล็ก
4. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอข้อมูลที่ได้อภิปรายวิธีการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้ได้ข้อสรุปการหมุนขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก จะทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง จึงเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ (พ. ศ. 2334-2410) เป็นผู้ค้นพบหลักการที่ว่า “ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวด ”
5. ครูสร้างสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนแต่ละกลุ่มตระหนักว่าถ้าต้องการสร้างไดนาโมให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น สามารถทำได้ดังนี้ 1. เพิ่มจำนวนรอบของขดลวด 2. หมุนขดลวดให้เร็วขึ้น 3. เพิ่มแรงขั้วแม่เหล็ก
6. ครูแนะนำให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบใบพัดเพื่อให้สามารถหมุนได้เร็วมีทั้งแรงยกและแรงผลักรมาเสนอ

ขั้นขยายความรู้ (Elaboration)

กิจกรรมที่ 4 ประดิษฐ์ กังหันแนวแกนตั้งและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอรูปแบบใบพัดของแต่ละกลุ่ม
2. ครูแจกใบความรู้ที่ 1 เรื่องวิธีการสร้างใบพัดกังหันอย่างง่ายและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะใช้ร่วมกันทุกกลุ่ม และสร้างข้อตกลงว่าแต่ละกลุ่มจะพัฒนารูปแบบใบพัดของกลุ่มตามแบบที่นำเสนอเพื่อทดสอบว่าประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้งในการผลิต

- กระแสไฟฟ้า โดยใช้เวลาในการทำงาน 10 สัปดาห์ ทดสอบประสิทธิภาพของกังหัน สรุปรและอภิปรายผลในอีก 2 สัปดาห์พร้อมกับนำเสนอผลการประดิษฐ์กังหันลมแนวแกนตั้งก่อนปิดภาคเรียน
3. ครูแจกใบงานที่ 1 เรื่อง แบบบันทึกผลการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและคำนวณกำลังไฟฟ้า เพื่อให้นักเรียนบันทึกผลการทดลอง

ขั้นประเมิน (Evaluation)

กิจกรรมที่ 5 นำเสนอผลงานการทดสอบประสิทธิภาพของกังหัน

1. ครูประเมินผลงานและนักเรียนจากการทำใบกิจกรรมที่ 1 โดยใช้แบบประเมินกระบวนการทำงาน
2. ครูประเมินผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากใบงานที่ 1
3. ครูและนักเรียนในชุมนุมประเมินผลการนำเสนอผลงานของนักเรียนโดยนักเรียนแต่ละกลุ่มต้องอธิบายวิธีการสร้างใบพัดและข้อดีของใบพัดที่สร้างขึ้น เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อน ๆ

6. วัสดุอุปกรณ์ สื่อ และแหล่งเรียนรู้

รายการสื่อ	จำนวน	สภาพการใช้สื่อ
1. ใบกิจกรรมที่ 1	1 ชุด	ชั้นขยายความรู้
2. ใบงานที่ 1	1 ชุด	ชั้นขยายความรู้
3. อินเทอร์เน็ต		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ, ชั้นสำรวจและค้นหา, ชั้นอภิปรายและลงข้อสรุป
4. ห้องสมุดโรงเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ, ชั้นสำรวจและค้นหา, ชั้นอภิปรายและลงข้อสรุป
5. แหล่งเรียนรู้ในโรงเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ, ชั้นสำรวจและค้นหา, ชั้นอภิปรายและลงข้อสรุป
6. แหล่งเรียนรู้นอกชั้นเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ, ชั้นสำรวจและค้นหา, ชั้นอภิปรายและลงข้อสรุป
7. วัสดุอุปกรณ์ในการประดิษฐ์กังหันลมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า		ตามใบกิจกรรมที่ 1

7. การวัดผลและประเมินผล

พฤติกรรมที่ต้องการ	การวัดและประเมินผล		
	วิธีการประเมิน	เครื่องมือ	เกณฑ์
ผลการทำกิจกรรมประดิษฐ์กังหันลมแนวแกนตั้ง	ครู	ใบงานที่ 1	กังหันลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีความต่างศักย์ 3 โวลต์
การมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม	ครู	แบบประเมินกระบวนการทำงาน	ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80
นำเสนอผลงาน	ครูและนักเรียน	แบบประเมินการนำเสนอผลงาน	ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80

เรื่อง แข่งขันประดิษฐ์ใบพัดกังหันลมแนวแกนตั้ง

สาระสำคัญ

พลังงานลมเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า “กังหันลม” เป็นตัวสกัดกั้นพลังงานจลน์ของกระแสลม แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานกล จากนั้นจึงนำพลังงานกลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ เช่น สูบน้ำ หรือใช้ผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

ชนิดของกังหันลมมีวิธีการจำแนก 2 วิธี

1. การจำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหัน จำแนกได้ 2 ประเภท ได้แก่ กังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวนอน และกังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวตั้ง
2. การจำแนกตามลักษณะแรงขับที่กระแสลมกระทำต่อบางกังหันมี 2 แบบ คือ การขับด้วยแรง ยก และขับด้วยแรงฉุดหรือแรงหน่วง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ศึกษาวิธีการนำพลังงานลมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานทดแทน
2. สามารถประดิษฐ์ใบพัดกังหัน ที่เหมาะสมกับการผลิตกระแสไฟฟ้า

เนื้อหา

1. ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยและการประเมินศักยภาพพลังงานลมเบื้องต้น
2. ชนิดและหลักการทำงานของกังหันลม กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) หรือไดนาโม (Dynamos)
4. ประดิษฐ์ใบพัดของกังหันลม ทั้งในแนวแกนตั้งและแนวนอน (ตามความสนใจของนักเรียน)
5. ทดสอบประสิทธิภาพของใบพัดกังหันลม

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. ขั้นสร้างความสนใจ

1. นักเรียนและครูร่วมกันสนทนาเกี่ยวกับเรื่อง พลังงานลมมีประโยชน์อย่างไร

2. นักเรียนตอบข้อซักถามครูว่า มีวิธีใดที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้
3. นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน จำนวนข้อสอบ 10 ข้อ
4. แจ้งให้นักเรียนทราบว่า จะได้ศึกษาเกี่ยวกับ วิธีนำพลังงานลมเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า

2. ขั้นสำรวจและค้นหา

1. นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ ชนิดของใบพัดกังหันในแนวแกนตั้งและแกนนอน จากแหล่งเรียนรู้ทั้งในและนอกชั้นเรียน แล้วสรุปสาระสำคัญ บันทึกลงในสมุดจดบันทึก
2. สุ่มนักเรียน นำเสนอผลการสืบค้นข้อมูล

3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป

1. นักเรียนนำข้อมูลจากขั้นการสืบค้นข้อมูล มาอภิปรายร่วมกับครู
2. ครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการสร้างใบพัดของกังหันทั้งในแนวแกนตั้งและแกนนอน
3. ครูให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อดีข้อเสียระหว่างกังหันลมในแนวแกนตั้งและกังหันลมในแนวแกนนอน

4. ขั้นขยายความรู้

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มเตรียมอุปกรณ์และทำการทดลอง กิจกรรมที่ 4 แข่งขันประดิษฐ์กังหันในแนวตั้งขนาดเล็กเพื่อ ผลิตกระแสไฟฟ้า
2. นักเรียนออกแบบรูปร่างใบพัดตามความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ และสามารถทดสอบความเร็วรอบได้ก่อนวันแข่งขัน
3. นักเรียนและครูร่วมกันทดสอบประสิทธิภาพของกังหันในแนวตั้ง ขนาดเล็ก เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในสัปดาห์ที่ 15- 16 ของภาคเรียน

5. ขั้นประเมิน

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มตรวจวัดผลการทดลองจากเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า และเครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า นำไปคำนวณ กำลังไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า กังหันลมของกลุ่มใดสามารถให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด เป็นผู้ชนะ
2. นักเรียนผู้เข้าร่วมแข่งขันแต่ละกลุ่มจะต้องอธิบายวิธีการสร้างใบพัดและข้อดีของใบพัดที่สร้างขึ้น เพื่อแลกเปลี่ยนกับเพื่อนๆ และประเมินผลงาน
3. นักเรียนที่เป็นเจ้าของผลงานที่ได้รับรางวัลต่างๆ ต้องสามารถอธิบายข้อดีข้อเสียของใบพัดที่กลุ่มของตนได้สร้างขึ้นได้
4. นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน

สื่อการเรียนรู้การสอน / แหล่งเรียนรู้

รายการสื่อ	จำนวน	สภาพการใช้สื่อ
1. แบบทดสอบก่อนเรียน	1 ชุด	ใช้ชั้นสร้างความสนใจ
2. ใบกิจกรรม 4	1 ชุด	ใช้ชั้นประเมินและลงข้อสรุป
3. แบบทดสอบหลังเรียน	1 ชุด	ใช้ชั้นประเมินและลงข้อสรุป
4. ห้องสมุดโรงเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ
5. แหล่งเรียนรู้ในโรงเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ
6. แหล่งเรียนรู้นอกชั้นเรียน		ใช้สร้างองค์ความรู้, ชั้นสร้างความสนใจ

การวัดผลและประเมินผล

รายการวัดผลและประเมินผล	เครื่องมือที่ใช้	เกณฑ์ผ่าน
1. การวัดผลคุณธรรม จิตพิสัย	สังเกตพฤติกรรมนักเรียน	-
2. การประเมินผลจากสภาพจริง	แบบทดสอบก่อนเรียน ตรวจใบกิจกรรม 1	ร้อยละ 60 ขึ้นไป ร้อยละ 60 ขึ้นไป
3. การวัดผลหลังเรียน	แบบทดสอบหลังเรียน	ร้อยละ 60 ขึ้นไป

กิจกรรมเสริมทักษะหรือซ่อมเสริม

รายการ	วิธีดำเนินกิจกรรม
1. ปรับปรุง - แก้ไขข้อบกพร่องของผู้เรียน	1. ครูควบคุมดูแลให้อยู่ในกรอบระหว่างเรียน 2. ครูคอยเสริมหรือแก้ไขเมื่อการอภิปรายของนักเรียนไม่สมบูรณ์ 3. ครูชี้แจงข้อบกพร่องในการทำกิจกรรม 4. ครูเฉลยข้อสงสัยที่นักเรียนทำไม่ได้ 5. สอนซ่อมเสริมนักเรียนที่ไม่ผ่านการประเมินหลังเรียน

แผนการจัดการเรียนรู้

รายวิชาโครงงานวิทยาศาสตร์ 2 ว 40291 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การทำ
โครงงานวิทยาศาสตร์

เรื่อง การปฏิบัติการโครงงานวิทยาศาสตร์ เวลา 30 ชั่วโมง

โดย

นางนฤมล ธรรมรักษ์เจริญ โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย

สุนทร สำกำบัง โรงเรียนรัตนภูมิวิทยา

จุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้ นักเรียนสามารถ

1. เตรียมสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และเตรียมแบบการบันทึกผลถูกต้องครบถ้วน
2. ปฏิบัติการและรวบรวมข้อมูล
3. วิเคราะห์ข้อมูล แปรผล อภิปราย และสรุป ผลการปฏิบัติการ
4. เสนอแนวทางในการทำวิจัย เพื่อขยายผลต่อไป หรือเพื่อนำไปประยุกต์ใช้

แนวความคิดหลัก

การปฏิบัติการทำโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นขั้นที่มีความสำคัญที่นักเรียนใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อ
แก้ไขปัญหาในการค้นหาคำตอบของปัญหาที่สนใจ อาจเริ่มตั้งแต่การสำรวจข้อมูลเพิ่มเติม จัดเตรียมสถานที่
วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และแบบการบันทึกผล เพื่อให้สอดคล้องกับเค้าโครงของโครงงาน สามารถปฏิบัติและ
รวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ แปรผล อภิปราย และสรุป ผลการปฏิบัติการ เพื่อขยาย
ผลในการทำวิจัยเพิ่มเติม หรือเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งใช้การวิจัยเป็นกระบวนการเรียนรู้ของ
นักเรียน

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. ขั้นสร้างความสนใจ
ครูสอบถามเกี่ยวกับการเตรียมความพร้อมของโครงงานที่จะลงมือปฏิบัติ เช่น การเตรียม
สถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และแผนการทดลอง
2. ขั้นสำรวจและค้นหา
 - 2.1 ศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานโครงงานวิทยาศาสตร์จากวิดิทัศน์หรือเว็บไซต์
 - 2.2 ปฏิบัติการเบื้องต้น และฝึกเทคนิคปฏิบัติการที่ต้องนำมาใช้ให้เกิดความชำนาญ
 - 2.3 ปฏิบัติการตามแผนปฏิบัติงานและขั้นตอนการดำเนินงานที่ได้ออกแบบไว้และติดตามผล
อย่างใกล้ชิด
 - 2.4 บันทึกผลการปฏิบัติการ
3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป
 - 3.1 นักเรียนนำเสนอผลการปฏิบัติการ
 - 3.2 อภิปรายและสรุปผลการปฏิบัติการ
4. ขั้นขยายความรู้
 - 4.1 นักเรียนค้นคว้าความรู้เพิ่มเติมในสิ่งที่สนใจเพื่อขยายผลจากการวิจัย

4.2 นักเรียนระบุปัญหา อุปสรรค และแนวทางในการแก้ปัญหา

4.3 นักเรียนร่วมอภิปรายผลทางการปฏิบัติการโครงงาน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้

5. ขั้นตอนประเมินผล

5.1 ประเมินนักเรียนขณะปฏิบัติโดยดูจากความสนใจ ทักษะการปฏิบัติ และความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

5.2 ประเมินนักเรียนจากการทำกิจกรรมโดยดูการนำเสนอหน้าชั้นเรียน

5.3 นักเรียนประเมินตนเอง จากการปฏิบัติงานและการนำเสนอผลงาน

สื่อการเรียนการสอน

1. วัสดุ อุปกรณ์ ตามที่นักเรียนแต่ละคนนำเสนอ
2. วิดีทัศน์เกี่ยวกับขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และเทคนิคปฏิบัติการเบื้องต้น
3. แผ่นซีดีบันทึกโปรแกรมเพอร์เวอร์พอยต์ (ประกอบนำเสนอผลงาน)

การวัดผลและประเมินผล

1. วิธีวัด

- 1.1 สังเกตพฤติกรรม
- 1.2 สังเกตทักษะการใช้เครื่องมือขณะทำการทดลอง
- 1.3 สังเกตการนำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน

2. เครื่องมือวัด

- 2.1 แบบประเมินพฤติกรรม
- 2.2 แบบประเมินทักษะการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์
- 2.3 แบบประเมินการรายงานหน้าชั้นเรียน

3. เกณฑ์การประเมิน

ได้คะแนนตั้งแต่ร้อยละ 60 ขึ้นไปถือว่าผ่านเกณฑ์

แหล่งเรียนรู้

1. ห้องสมุด
2. อินเทอร์เน็ต เช่น เว็บไซต์ www.scienceproject.com, www.google.com

แผนการจัดการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5

เรื่อง

การใช้ประโยชน์จากพลังงานในการอบแห้ง

โดยนางกุลศิราณี ศักดิษฐานนท์

สาระที่ 5 พลังงาน

สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐานการเรียนรู้ มฐ. ว. 5.1 (1) / 8.1 (1)

1 แนวความคิดหลัก

พลังงานไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่ให้พลังงานแสงสว่างและพลังงานความร้อนที่สำคัญ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีทั่วไป มีไม่จำกัดสะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่นนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายในการดำรงชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการอบแห้งเพื่อแปรรูปอาหารถนอมรักษาไว้บริโภคได้นานและเพิ่มคุณค่าผลิตภัณฑ์ได้ด้วย

2 จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและบอกประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าได้
2. อธิบายการใช้ประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าใน ด้านต่างๆ รวมถึงประโยชน์ในการอบแห้งได้

3 สาระการเรียนรู้

1. พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้า นำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างรวมถึงการนำมาใช้ในการอบแห้ง
2. จุดเด่นของพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ไม่มีวันหมด ไม่ต้องซื้อหาไม่มีค่าใช้จ่ายเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาด ไม่ทำให้เกิดของเสีย เช่น แก้วถ่านหรือก๊าซพิษ ดังเช่นเชื้อเพลิงประเภทน้ำมัน ถ่านหิน หรือก๊าซธรรมชาติ ซึ่งหาวยากขึ้นทุกที และอาจหมดไปในเวลาไม่กี่ปี

4 กระบวนการเรียนรู้

กระบวนการจัดการเรียนรู้ โดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ดำเนินการเรียนการสอนดังนี้

- นักเรียน ทำแบบทดสอบก่อนเรียนโดยใช้ข้อทดสอบแบบปรนัย จำนวน10ข้อพร้อมเฉลย

1. ขั้นนำ

- 1.1 นักเรียนร่วมกันอภิปราย เกี่ยวกับกับพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าโดยตั้งประเด็นปัญหาดังนี้

- พลังงานแสงอาทิตย์นำมาใช้ ประโยชน์ได้อย่างไร
- พลังงานไฟฟ้านำมาใช้ประโยชน์ ได้อย่างไร

- นำพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในการอบแห้งได้อย่างไร

1.2 นักเรียนแบ่งกลุ่มๆละ 6-7 คนตัวแทนรับผิดชอบการสอนและนำเสนอ ศูนย์การเรียนรู้เพื่อปฏิบัติกิจกรรม

1.3 บันทึกพฤติกรรมของนักเรียนเป็นรายกลุ่ม

2. ขั้นสอน

ให้นักเรียนทำกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้เกิดประสบการณ์ตรง ดังนี้

2.1 นักเรียนอ่านบัตรคำสั่ง ทำแบบทดสอบก่อนเรียน และเฉลยตามขั้นตอนในศูนย์

2.2 นักเรียนแต่ละกลุ่มสืบค้นหาข้อมูล จากศูนย์การเรียนรู้ปฏิบัติกิจกรรมตามขั้นตอนในศูนย์และเปลี่ยนศูนย์ดังนี้

ศูนย์ที่ 1 ความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์

ศูนย์ที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า

ศูนย์ที่ 3 ทฤษฎีการอบแห้ง

ศูนย์ที่ 4 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากพลังงานในการอบแห้ง

ศูนย์ที่ 5 การอบแห้งผลิตภัณฑ์

ศูนย์ที่ 6 ศูนย์สำรอง ; จุดเด่นของพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

ตอบคำถามในแต่ละศูนย์ ตรวจสอบคำตอบจากบัตรเฉลย จนครบ5ศูนย์

3. ขั้นสรุป

นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้นข้อมูลตอบคำถามและตรวจสอบคำตอบ จากนั้นครูชี้แนะให้นักเรียนอภิปรายแสดงความคิดเห็นซึ่งควรได้ข้อสรุปดังนี้

พลังงานและการนำมาใช้ประโยชน์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติ ที่ได้แสงสว่างและพลังงานความร้อนที่สำคัญที่สุดของโลก เป็นพลังงานที่ไม่ต้องซื้อหามีมากมายมหาศาล เป็นพลังงานสะอาด อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า คือ เซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้อย่างมากมาย รวมถึงสามารถนำพลังงานไปใช้ประโยชน์ในการอบแห้งเพื่อถนอมอาหาร แปรรูป และเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์ได้ด้วย

กระบวนการวัดและประเมินผล

ลักษณะการวัดและประเมินผล	วิธีการวัด	เครื่องมือ	เกณฑ์ที่ผ่าน
1 ประเมินผลจากความรู้ความสามารถที่จะนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน - แบบทดสอบก่อนหลังเรียน	ตรวจงาน	แบบทดสอบ	-
2 ประเมินจุดประสงค์การเรียนรู้ 2.1 อธิบายและบอกประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าได้ 2.2 อธิบายการใช้ประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าในการอบแห้งได้	ตรวจใบงาน	ชุดการสอน	80% ขึ้นไป
3 ประเมินจากความร่วมมือกระบวนการกลุ่มในการทำกิจกรรม ตั้งแต่การวางแผนการทำกิจกรรม การแบ่งงานในกลุ่ม การนำเสนอผลงานการอภิปราย แลกเปลี่ยนความคิดเห็น การสรุปผลการเรียนรู้ - แบบสังเกต	สังเกตพฤติกรรม	แบบสังเกต	-

แหล่งเรียนรู้

- ชุดการสอนเรื่อง การอบแห้ง
- เอกสาร หนังสือชุดเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ เล่ม 1 รอบรู้เรื่องเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อเสนอแนะ

- ครูแนะนำชี้แจงการเรียนการสอนโดยใช้ชุดการสอน
- ครูควรควบคุมดูแลให้คำปรึกษาเมื่อนักเรียนเกิดปัญหา
- ครูควรจัดเตรียมแหล่งการเรียนรู้ล่วงหน้า

แผนการสอน

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และลมร้อน

โดย จุไรรัตน์ สุริยงค์ โรงเรียนสันติสุข

1. ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่ไม่ใช่ความรู้วิทยาศาสตร์ชนิดของผัก ผลไม้ พืชสมุนไพรในท้องถิ่นที่สามารถนำมาอบแห้งเพื่อเป็นการถนอมอาหารและเพิ่มมูลค่าของพืช ส่วนที่เป็นหลักการวิทยาศาสตร์

- 1.1. พลศาสตร์ของไหล
- 1.2. ความร้อน การถ่ายโอนความร้อน การแผ่รังสีความร้อน
- 1.3. ทฤษฎีการอบแห้ง การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

2. วัตถุประสงค์การเรียนรู้

- 2.1 เพื่อให้รู้จักพืช ในท้องถิ่นที่สามารถนำมาอบแห้งได้
- 2.2 เพื่อศึกษาการอบแห้งพืชด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์

3. ช่วงชั้นและมาตรฐานสาระการเรียนรู้

สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

สาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมฟิสิกส์ ช่วงชั้นที่ 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4- ปีที่ 6

สาระที่ 5 พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์กับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงานปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงานผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

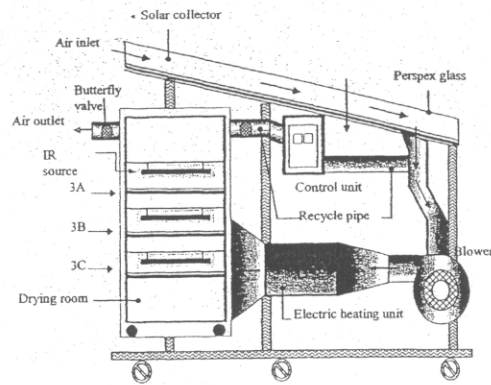
4. กิจกรรมการเรียนรู้

4.1. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

4.1.1 วัสดุพืชจากในท้องถิ่นที่นักเรียนสนใจนำมาทดลอง เช่น พริก กระดุมทอง ลำไย เป็นต้น

4.1.2 อุปกรณ์

- ห้องอบแห้งมีปริมาตร $60 \times 80 \times 158.5 \text{ cm}^3$ ภายในอุณหภูมิเยกั่ว หน้า 5 cm มีส่วนของพลังงานความร้อนจากเครื่องทำความร้อน
- ถาดอบแห้งสแตนเลส มีขนาด $33 \times 32 \times 2 \text{ cm}^3$ จำนวน 3 ถาด
- เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ A&D รุ่น GF 3000 ค่าความละเอียด ± 0.01 กรัม
- พัดลมเป่าอากาศ ขนาด 1 แรงม้า จำนวน 1 ตัว
- หลอดรังสีอินฟราเรด จำนวน 6 หลอด
- เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ความละเอียด $\pm 0.01^\circ \text{C}$ ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิกระเปาะเปียก
- เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-45 ความละเอียด $\pm 0.01 \text{ m/s}$



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งโดยการใช้พลังงานจากลมร้อน รังสีอินฟราเรดและแสงอาทิตย์
หมายเหตุ สำหรับผู้อุปสมารถประยุกต์ใช้ได้อบบที่ออกแบบและสร้างโดยใช้วัสดุที่มีในโรงเรียนได้

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 การเตรียมวัสดุ

นำพืชที่ปลูกในท้องถื่นล้างให้สะอาด ลอกเอาส่วนที่สกปรกออกล้างด้วยน้ำอีกครั้ง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ นำมาหั่นตามแนวขวางหนาประมาณ 0.1 – 0.2 mm หรือหั่นให้มีขนาดเล็กตามความเหมาะสมนำไปใส่ถาด ถาดละ 300 g เกลี่ยให้ทั่วถาด

4.3.2 การอบแห้ง

หลังจากเตรียมพืชเรียบร้อยแล้ว นำพืชส่วนหนึ่งไปหาค่าความชื้นเริ่มต้น ประมาณ ถ้วยละ 10 g จำนวน 2 ถ้วย อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 °C (72-96 ซม.) ส่วนพืชที่นำไปใส่ถาด 3 ถาด จะถูกนำไปเข้าห้องอบแห้งด้วยลมร้อน และลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ตามลำดับโดยแบ่งตามวิธีการคือ

วิธีการที่ 1 อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C อุณหภูมิละ 3 ถาด ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ 0.5 m/s

วิธีการที่ 2 อบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C และความเร็วเฉลี่ยของอากาศ 0.5 m/s ที่กำลัง 1,000 w

4.2.3 การทดสอบคุณภาพของพืช

พิจารณาสมบัติทางกายภาพของพืช โดยสังเกต สี กลิ่น ลักษณะรูปร่าง รสชาติ เปรียบเทียบกับก่อนอบและหลังอบ และเปรียบเทียบกับพืชที่ตากแห้งโดยธรรมชาติ

4.2.4 การคำนวณความสิ้นเปลืองจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งพืช นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองคือความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้าย พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดในแต่ละวิธีการ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งพืช ตามสมการที่ 1

$$SEC = \frac{3.6P}{(M_i - M_f) * W_w}$$

(1)

เมื่อ	P	คือ	ปริมาณพลังงานที่ใช้, kW-h
	M_i	คือ	ความชื้นเริ่มต้นของพืช
	M_f	คือ	ความชื้นสุดท้ายของพืช
	W_w	คือ	น้ำหนักแห้ง, kg

4.3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การอบแห้งด้วยลมร้อน

บันทึกผลการทดลองของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 60 °C และความเร็วเฉลี่ยของอากาศ 0.5 m/s และการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ และวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง ให้นักเรียนสรุปผลการทดลองและนำเสนอเป็นรายงาน

5. ประเมินผล

5.1 นักเรียนเขียน Concept mapping และรายงานเกี่ยวกับการอบแห้งพืช

5.2 นักเรียนนำ Concept mapping และรายงานอภิปรายแลกเปลี่ยนกับเพื่อนๆและประเมินผลงานให้กับเพื่อน

แผนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน (ฟิสิกส์) ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (เวลา 10 ชั่วโมง)
เรื่อง การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
โดย นางสาวบังอร จุลพล โรงเรียนสันติคีรีวิทยาคม จังหวัดเชียงราย

1. ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

- ส่วนที่ไม่ใช่วิทยาศาสตร์ ได้แก่ ผลผลิตทางการเกษตรในชุมชน , หลักภูมิปัญญาท้องถิ่นในการเก็บรักษาและถนอมอาหาร
- ส่วนที่เป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ หลักการและทฤษฎีการอบแห้ง , พลังงานแสงอาทิตย์

2. วัตถุประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อเรียนรู้เกี่ยวกับผลผลิตทางการเกษตรในท้องถิ่นของตนเองรวมถึงหลักการเก็บรักษาและถนอมอาหารโดยใช้ภูมิปัญญา ท้องถิ่น
2. เพื่อศึกษาหลักการพื้นฐานของการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และการนำมาใช้ประโยชน์

3. ช่วงชั้นและสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้อง

สาระที่ 5 พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

4. กิจกรรมการเรียนรู้

1. ครูนำเข้าสู่บทเรียนด้วยการนำรูปภาพ แผนภาพ หรือ วิดีทัศน์ เกี่ยวกับอาชีพต่าง ๆ เกี่ยวกับการเกษตรมาให้ให้นักเรียนดู ให้นักเรียนแต่ละคนแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความสำคัญของแต่ละอาชีพ รวมถึงผลผลิตทางการเกษตรแต่ละประเภท

2. นักเรียนแบ่งกลุ่ม ๆ ละ 4 – 5 คน สมาชิกแต่ละคนร่วมระดมความคิดเห็นเกี่ยวกับผลผลิตทางการเกษตรในชุมชนที่ตนเองอาศัยอยู่ และถ้าผลผลิตทางการเกษตรตามฤดูกาลมีมากเกินไปเกินความต้องการของคนชุมชน และผลผลิตล้นตลาด นักเรียนจะมีวิธีการจัดการกับผลผลิตนั้นอย่างไร

3. ตัวแทนนักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลการอภิปรายกลุ่มหน้าชั้นเรียน ครูคอยกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละคนได้แสดงความคิดเห็นให้มากที่สุด

4. เมื่อนักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลการอภิปรายกลุ่มเสร็จเรียบร้อยแล้ว ครูให้ความรู้เกี่ยวกับผลผลิตทางการเกษตรในชุมชน เช่น กล้วย ปลา พริก ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีมากในชุมชนที่นักเรียนอาศัยอยู่ ถ้ามีมากเกินไปจนจำเป็นต้องรู้จักการถนอมอาหารเพื่อยืดอายุในการเก็บรักษา เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตเพื่อความสะอาดและปลอดภัยของผู้บริโภค และเพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ในครอบครัวและชุมชน

5. ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในธรรมชาติ นั่นคือ พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและปราศจากมลพิษ และสามารถนำมาใช้ในการถนอมอาหาร แปรรูปผลผลิต และเก็บรักษาอาหารเพื่อยืดอายุการใช้งานได้

6. นักเรียนศึกษาค้นคว้าความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์และการนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อน เช่น การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากลงทุนต่ำ ประหยัดงบประมาณในการสร้าง และสามารถนำมาใช้ได้จริงในชุมชนที่นักเรียนอาศัยอยู่

7. นักเรียนแต่ละกลุ่มออกเก็บข้อมูลนอกสถานที่ โดยออกสำรวจและสัมภาษณ์คนในชุมชนเกี่ยวกับการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรที่มีมากเกินความต้องการและเก็บรักษาอย่างไร รวมถึงสอบถามทั้งข้อดีและข้อเสียของการเลือกวิธีในการปฏิบัติ เช่น บางคนมีอาชีพจับปลาขาย ถ้าจับปลาได้คราวละมาก ๆ และราคาตกต่ำ อาจมีวิธีการแปรรูปอาหารโดยการตากแห้งด้วยแสงแดดจากธรรมชาติ แต่อาจประสบปัญหาในเรื่องของความสะอาด มีแมลงวันรบกวน และผลผลิตไม่แห้งตามที่ต้องการ เกิดราเนื่องจากมีความชื้น จะมีวิธีแก้ปัญหาอย่างไร

8. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันระดมความคิดเห็น สืบค้นความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งจากทางอินเทอร์เน็ต และจากเอกสาร ตำรา ในห้องสมุดของโรงเรียน นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบการทดลอง เพื่อทำตู้อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยครูเน้นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ลงทุนน้อย แต่มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง

9. ครูและนักเรียนทุกคนในห้องร่วมกันสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (แบบตู้ทดลองเล็ก ๆ และหางบประมาณสนับสนุนค่าวัสดุ – อุปกรณ์ต่าง ๆ จากทางโรงเรียน เนื่องจากลงทุนไม่เกิน 3000 บาท)

10. เมื่อได้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กสำหรับใช้งานเพื่อเก็บข้อมูลแล้วนักเรียนร่วมทำการทดลองการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เช่น พริก โดยเก็บข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับมวล น้ำหนัก อุณหภูมิ ความชื้น ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ

11. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง เปรียบเทียบการแห้งตัวของผลิตภัณฑ์ในตู้อบกับการตากแดดโดยธรรมชาติ

12. เผยแพร่ความรู้สู่ชุมชน โดยนักเรียนสามารถนำความรู้ที่ได้รับเกี่ยวกับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้ในครอบครัวและชุมชน เนื่องจากตู้อบแห้งสามารถสร้างง่าย ลงทุนน้อย และประหยัดค่าใช้จ่าย รวมถึงเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่ครอบครัว สะอาด ปลอดภัยและยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตให้นานโดยใช้พลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด

แผนการจัดการเรียนรู้
โดย สายทอง จีปราบนันท์ โรงเรียนวัดนครเจดีย์
กลุ่มสาระการเรียนรู้ สุขศึกษาและพลศึกษา
สาระที่ ๔ การสร้างเสริมสุขภาพและการป้องกันโรค
ชั้นประถมศึกษาปีที่ ๖ ภาคเรียนที่ ๒ หน่วยการเรียนรู้ที่ ๑ ร่างกายของเรา
เรื่อง ใส่ใจสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาพที่ดี เวลา ๓ ชั่วโมง

มาตรฐานการเรียนรู้ ช่วงชั้น

มาตรฐาน พ ๔.๑ ข้อ ๑. วิเคราะห์ผลของการมีพฤติกรรมสุขภาพ

สาระการเรียนรู้ช่วงชั้น

มาตรฐาน พ ๔.๑. ข้อ ๒ ผลของการมีพฤติกรรมสุขภาพที่ดี

สาระสำคัญ

สิ่งแวดล้อมมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ถ้าสภาพแวดล้อมดี มนุษย์ก็สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างเป็นสุข แต่ถ้าเมื่อใดก็ตามที่สภาพแวดล้อมถูกทำลาย เกิดมลพิษ และมลภาวะทางอากาศ ย่อมส่งผลเสียต่อสุขภาพโดยรวมของมนุษย์ ดังนั้นเราจึงควรมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

มีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมของชุมชน

จุดประสงค์การเรียนรู้

๑. นักเรียนสามารถบอกสภาพแวดล้อมที่ดี และไม่ดีในชุมชนที่นักเรียนอาศัยอยู่ได้
๒. นักเรียนสามารถสำรวจแหล่งสภาพแวดล้อมที่ดี และแหล่งสภาพแวดล้อมที่ไม่ดี โดยการป้อนจักรยานได้อย่างปลอดภัย
๓. นักเรียนมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมของชุมชนที่ตนเองอาศัยอยู่
๔. นักเรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการสำรวจสภาพแวดล้อมมาเป็นประเด็นในการเลือกหัวข้อในการทำโครงการได้
๕. นักเรียนสามารถทำงานร่วมกับเพื่อน ๆ ในระบบกลุ่มได้เป็นอย่างดี
๖. นักเรียนสามารถปฏิบัติตามกฎ กติกา มารยาท และข้อตกลงร่วมกันได้

สาระการเรียนรู้

การสำรวจสภาพแวดล้อมในชุมชน

- สภาพแวดล้อมที่ดี
- สภาพแวดล้อมที่ไม่ดี

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

กระบวนการ

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

๑. นักเรียนร่วมกันสนทนาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมในชุมชน เช่น

- สถานที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ร่มรื่น เย็นสบาย
- สถานที่ที่อากาศไม่บริสุทธิ์ กลิ่นเหม็น คว้นดำ ฝุ่นละออง

นักเรียนอาสาสมัครออกมาเล่าประสบการณ์ของตนเองในกรณีที่ประสบกับปัญหามลภาวะทางอากาศ

ขั้นสอน

๒. ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ให้นักเรียนทราบ

๓. นักเรียนแบ่งกลุ่มละความสามารถ (เก่ง ปานกลาง อ่อน) กลุ่มละ ๔ นักเรียนแต่ละกลุ่มเลือกหัวหน้า เลขานุการกลุ่ม และกำหนดบทบาทของสมาชิกให้ชัดเจน

๔. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันแสดงความคิดเห็นและอภิปรายสรุปในหัวข้อต่อไปนี้

- ❖ แหล่งที่มีอากาศบริสุทธิ์ เกิดผลดีต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างไร
- ❖ แหล่งที่มีอากาศไม่บริสุทธิ์ เกิดผลเสียต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างไร
- ❖ เราจะมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมในชุมชนได้อย่างไร

๕. ผลการอภิปราย นักเรียนช่วยกันคิดรูปแบบการนำเสนอเอง ลงในใบงานที่ ๑

๖. ส่งตัวแทนนำเสนอหน้าชั้นเรียน

๗. นักเรียนร่วมกันอภิปรายสรุปเพื่อและเปลี่ยนเรียนรู้อีกครั้ง ครูเพิ่มเติมความรู้ที่ถูกต้องและชัดเจนให้กับนักเรียน

๘. นักเรียนร่วมกันวางแผนไปศึกษานอกสถานที่โดยการบันจึกรยานออกสำรวจแหล่งที่มีอากาศบริสุทธิ์ และแหล่งที่มีอากาศไม่บริสุทธิ์ในชุมชน โดยนักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันคิด ข้อตกลง วิธีการศึกษา การเก็บข้อมูล ระเบียบวินัย กระบวนการกลุ่ม ภารกิจหน้าที่ สิ่งที่ต้องกลับมาดำเนินการต่อเพื่อเตรียมตัวออกไปสำรวจเก็บข้อมูล และศึกษารายละเอียด เรื่อง แหล่งที่มีอากาศบริสุทธิ์ กับแหล่งที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ โดยให้ศึกษา และรวบรวมแหล่งที่กล่าวในตอนต้นให้ได้มากที่สุด โดยแต่ละกลุ่มวางแผนลงในใบงานที่ ๒

สิ่งที่ต้องเตรียมร่วมกัน

- กำหนดวัน เวลาในการเดินทาง
- แผนผังการเดินทาง
- วิธีการเดินทาง
- กฎ กติกา มารยาท
- ทำหนังสือขออนุญาตผู้บริหาร
- ทำหนังสือแจ้งของอนุญาตผู้ปกครอง

๙. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำข้อมูลที่ได้ร่วมกันวิเคราะห์ว่า แหล่งใดบ้างที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ แหล่งใดบ้างที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ มีสาเหตุมาจากอะไร ร่วมกันสรุปลงในใบงานที่ ๓

๑๐. นักเรียนแต่ละกลุ่มเลือกทำโครงการจากการสำรวจตามความสนใจ

ขั้นสรุป

๑๒. นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปความรู้ที่ได้จากการทำโครงการ ปัญหา อุปสรรค แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานครั้งต่อไป

๑๓. แต่ละกลุ่มจัดแสดงผลงานที่ป้ายนิเทศ

สื่อ

๑. ใบงานที่ ๑
๒. ใบงานที่ ๒
๓. ใบงานที่ ๓

แหล่งเรียนรู้

บ้านนครเจริญ, บ้านหนองเจริญ

การวัดผล/ประเมินผล

- สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม
- สังเกตการนำเสนอผลงาน
- สังเกตการปฏิบัติตามกฎ กติกา มารยาท
- ประเมินโครงงาน

หมายเหตุ

๑. เป็นแผนการสอนที่มีกิจกรรมต่อเนื่อง จึงปรับเวลาสอนตามความเหมาะสม
๒. กิจกรรมบางขั้นตอนใช้เวลานอกตารางสอน
๓. จุดเน้นคือกระบวนการ

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 22 เรื่อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เวลา 4 ชั่วโมง
หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 ชื่อหน่วยการเรียนรู้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
รายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน รหัสวิชา ว41101 ช่วงชั้นที่ 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
โดย อาทิตพร แสนจักร โรงเรียนม่วงไข่พิทยฯ

สาระที่ 5 พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐานการเรียนรู้ช่วงชั้น ว 5.1-3 สืบค้นข้อมูลและอธิบายสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งประโยชน์และอันตรายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง สืบค้นข้อมูลและอธิบายสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งนำเสนอประโยชน์และอันตรายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สาระสำคัญ

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ถ้าบริเวณใดมีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าจะเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำขึ้นรอบ ๆ และเมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นรอบ ๆ ไม่ว่าบริเวณนั้นจะเป็นตัวนำ ฉนวน หรือที่ว่างเปล่า โดยสนามทั้งสองจะมีการเปลี่ยนแปลงด้วยเฟสตรงกัน

2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดเคลื่อนที่ในสุญญากาศหรืออากาศ ด้วยอัตราเร็ว 3×10^8 m/s เท่ากัน ซึ่งเท่ากับอัตราเร็วแสง (c) แต่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดจะมีความถี่และความยาวคลื่นต่างกัน คลื่นที่มีความถี่มากกว่าจะมีพลังงานมากกว่า

3. อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นไปตามสมการ ซึ่งในตัวกลางเดียวกันที่ไม่ใช่สุญญากาศ อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างชนิดกัน จะไม่เท่ากัน

4. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการสะท้อน หักเห แทรกสอด และเลี้ยวเบนได้

5. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายช่วงความถี่ซึ่งต่อเนื่องกัน เรียกว่า สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งช่วงความถี่ต่าง ๆ มีลักษณะเฉพาะตัว จึงมีชื่อเรียกต่างกัน เรียงลำดับจากความถี่น้อยไปมาก ดังนี้ คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด แสงที่ตามองเห็น รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตและสามารถก่อให้เกิดอันตรายได้แตกต่างกัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อผู้เรียนเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้นี้แล้ว ผู้เรียนสามารถทำสิ่งต่อไปนี้ได้

1. อธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2. สืบค้นข้อมูลและอธิบายสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
แม่เหล็กไฟฟ้า

นำเสนอประโยชน์และอันตรายที่เกิดจากคลื่น

คุณธรรมจริยธรรมที่มุ่งเน้น มีจิตวิทยาศาสตร์

ขอบข่ายสาระการเรียนรู้

1. การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. สมบัติบางประการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
3. สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

กระบวนการจัดการเรียนรู้

กิจกรรมนำเข้าสู่บทเรียน

1. ผู้สอนตั้งคำถามเกี่ยวกับการจำแนกประเภทของคลื่น

1.1 การจำแนกประเภทของคลื่นโดยเอาความจำเป็นในการใช้ตัวกลางเป็นเกณฑ์ คลื่นแบ่งเป็น
กึ่งชนิด อะไรบ้าง (แนวคำตอบ 2 ชนิด คือ คลื่นกลและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า)

1.2 คลื่นทั้งสองประเภทแตกต่างกันอย่างไร (แนวคำตอบ คลื่นกล เป็นคลื่นที่จำเป็นต้องใช้
ตัวกลาง ส่วนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นที่ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่)

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

2. ผู้เรียนแบ่งเป็น 8 กลุ่ม คละความสามารถ (ใช้กลุ่มเดิม) ผู้เรียนรับเอกสารประกอบการ
เรียนรู้ เรื่อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

3. ผู้สอนนำอภิปรายและให้ความรู้เกี่ยวกับการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามรายละเอียด ในเอกสาร
ฯ หน้า 1 โดยใช้แผ่นโปสเตอร์ที่ 1 ในแผ่นโปสเตอร์ชุด คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบ

4. ผู้เรียนในแต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาและอภิปรายเกี่ยวกับสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากเอกสารฯ หน้า 2

5. ผู้เรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันวิเคราะห์และแก้โจทย์ปัญหาในตัวอย่างที่ 1 ในเอกสารฯ หน้า 3 จากนั้นผู้สอน
ให้ผู้เรียนกลุ่มที่ทำเสร็จก่อนและถูกต้อง 2 กลุ่ม เสนอคำตอบ โดยใช้แผ่นโปสเตอร์และเครื่องฉายภาพข้าม
ศีรษะ สำหรับผู้เรียนคนอื่นๆ ให้ตรวจสอบความถูกต้องและแก้ไขหากทำไม่ถูกต้อง

6. ผู้สอนชี้ให้เห็นว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายช่วงความถี่ซึ่งต่อเนื่องกัน เรียกว่า สเปกตรัมคลื่น
แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งช่วงความถี่ต่างๆ มีลักษณะเฉพาะตัว จึงมีชื่อเรียกต่างกัน เรียงลำดับจากความถี่น้อยไป
มาก ดังนี้ คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด แสงที่ตามองเห็น รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ และรังสี
แกมมา

7. ผู้สอนใช้คำถามเพื่อกระตุ้นและเชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน เกี่ยวกับสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น

- 7.1 มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดบ้างที่ผู้เรียนรู้จัก
- 7.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านั้นมีประโยชน์อย่างไร
- 7.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านั้นมีอันตรายหรือไม่ อย่างไร
- 7.4 มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใดบ้างที่ประสาทสัมผัสของผู้เรียนรับได้โดยตรง

8. ผู้สอนชี้แจงให้ผู้เรียนทราบว่าในกิจกรรมการเรียนรู้เกี่ยวกับสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ผู้เรียนจะได้ปฏิบัติกิจกรรม ดังนี้

8.1 แต่ละกลุ่มจะเรียกว่า กลุ่มบ้าน (Home group) ในกลุ่มบ้านจะแบ่งหน้าที่กันเพื่อรับผิดชอบศึกษา รายละเอียดเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิด

8.2 ผู้เรียนที่รับผิดชอบศึกษาในเรื่องเดียวกันจากแต่ละกลุ่มจะมาร่วมกันศึกษา เรื่องนั้นๆ ให้เข้าใจชัดเจนจนสามารถอธิบายให้เพื่อนๆ เข้าใจได้ กลุ่มนี้เรียกว่า กลุ่มเชี่ยวชาญ (Expert group)

8.3 ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนกลับกลุ่มบ้าน อธิบายและร่วมอภิปรายกับเพื่อนในกลุ่ม จนสมาชิกในกลุ่มทุกคนเข้าใจ

8.4 ผู้สอนย้ำกับผู้เรียนว่า สมาชิกทุกคนในกลุ่มบ้านต้องเข้าใจทุกคน ทุกเรื่อง เพราะหลังการอภิปราย ผู้เรียนจะได้ทำแบบทดสอบซึ่งต้องทำเป็นรายบุคคล และจะนำคะแนนของแต่ละคนมารวมกันและหาค่าเฉลี่ยเป็นคะแนนของกลุ่ม สมาชิกในกลุ่มจะได้คะแนนเท่ากันกลุ่มที่ได้คะแนนสูงสุดจะมีรางวัลให้

8.5 เมื่อศึกษาและทดสอบแล้วผู้เรียนแต่ละกลุ่มต้องนำเสนอผลของการศึกษาในรูปแบบภาพวาด ในหัวข้อ “สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับการใช้ประโยชน์” โดยการจัดแสดงภาพวาดผลงานนักเรียนร่วมกับผู้เรียนห้องอื่นๆ มีการประเมินผลงานโดยตัวเอง เพื่อนและผู้สอน โดยผู้สอนนัดหมายกำหนดส่งงานภายใน 1 สัปดาห์

9. ผู้เรียนร่วมกิจกรรมตามขั้นตอนโดยขณะทำกิจกรรมผู้สอนต้องคอยดูแล ให้คำแนะนำ และตอบคำถาม เมื่อผู้เรียนมีปัญหา (ในกระบวนการอภิปรายในกลุ่มเชี่ยวชาญ ใช้เวลาประมาณ 20 นาที และในกระบวนการอภิปรายในกลุ่มบ้าน ใช้เวลาประมาณ 60 นาที)

10. เมื่อผู้เรียนทุกกลุ่มปฏิบัติตามใบงานเรียบร้อยแล้ว ผู้สอนถามเพื่อสรุป ทบทวนและตรวจสอบความเข้าใจอีกครั้ง ในประเด็นต่อไปนี้

10.1 การเรียงลำดับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามความถี่ หรือตามความยาวคลื่น

10.2 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิด ในประเด็น

10.2.1 คุณสมบัติของ

10.2.2 ประโยชน์และการใช้งาน

10.2.3 อันตรายและการป้องกันอันตราย

โดยผู้สอนใช้แผ่นโปสเตอร์ชุด สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบ

11. ผู้สอนทำการทดสอบโดยใช้แบบทดสอบแยกสอบเป็นรายบุคคล (ในการเฉลย ผู้สอนให้ผู้เรียนร่วมกันเฉลย และเปลี่ยนกันตรวจระหว่างกลุ่ม) แจ้งคะแนนของแต่ละกลุ่ม ผู้สอนกล่าวชมเชยและให้รางวัลเพื่อเสริมแรงกลุ่มที่ได้คะแนนสูงสุด และให้กำลังใจกับกลุ่มที่ได้คะแนนต่ำเพื่อให้ผู้เรียนมีความพยายามให้มากขึ้นในโอกาสต่อไป

กิจกรรมการสรุปบทเรียน

12. ผู้สอนใช้คำถามต่อไปนี้ เพื่อเป็นการสรุป โดยให้ผู้เรียนช่วยกันตอบ

12.1 ขณะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ามีลักษณะอย่างไร

12.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จัดเป็นคลื่นตามยาวหรือคลื่นตามขวาง เพราะเหตุใด

12.3 อัตราเร็วคลื่นแม่เหล็กเป็นอย่างไร มีค่าเท่าใด

12.4 เสวอากาศควรมีความยาวเท่าใด

12.5 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียงลำดับตามความถี่น้อยไปมาก

12.6 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดบ้างที่ประสาทสัมผัสมนุษย์รับได้

12.7 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดใช้ประโยชน์อย่างไรบ้าง

12.8 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดมีอันตรายหรือไม่ อย่างไร และจะมีวิธีป้องกันอันตรายได้อย่างไร

13. สมาชิกในกลุ่มร่วมกันทำแบบฝึกหัดท้ายเอกสาร (หน้า 20) แล้วส่งให้ผู้สอนตรวจ

14. ผู้สอนนัดหมายการส่งภาพวาดอีกครั้ง พร้อมกับแนะนำแหล่งเรียนรู้ที่สามารถสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม โดยการสืบค้นทางอินเทอร์เน็ต โดยการเข้าไปในเว็บไซต์ที่เป็น Search Engine แล้วค้นหาด้วยคำว่า สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ ชื่อของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิด ได้แก่ คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด แสง รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา

สื่อการเรียนรู้/ แหล่งเรียนรู้

1. เอกสารประกอบการเรียนรู้ เรื่อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 1 เล่ม/คน
2. แผ่นโปสเตอร์ชุด คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 1 ชุด
3. แผ่นโปสเตอร์เปล่า 2 แผ่น
4. ปากกาเขียนแผ่นโปสเตอร์ 1 ชุด
5. เครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ
6. มุมหนังสือ ห้อง 223
7. ห้องสมุดโรงเรียน
8. <http://www.lesa.in.th/energy/em wave/em wave/em wave.htm>

การวัดผลและประเมินผล

1. สิ่งที่ต้องการวัดผล
 - 1.1 ด้านความรู้

วัดพฤติกรรมที่ระบุในจุดประสงค์การเรียนรู้
 - 1.2 ด้านคุณธรรม จริยธรรม

วัดพฤติกรรมที่แสดงออก (จิตวิทยาศาสตร์)
 - 1.3 ด้านทักษะ/กระบวนการทางวิทยาศาสตร์
 - 1.3.1 การสืบเสาะหาความรู้
 - 1.3.2 การอภิปราย
 - 1.3.3 การสังเกต
 - 1.3.4 การจำแนกประเภท
 - 1.3.5 การใช้ตัวเลข
2. วิธีการวัดผล
 - 2.1 ด้านความรู้
 - 2.1.1 สังเกตการร่วมอภิปราย / การตอบคำถาม
 - 2.1.2 ตรวจการทำแบบฝึกหัดท้ายเอกสาร
 - 2.1.3 ทดสอบเก็บคะแนนรายจุดประสงค์

2.1.4 ทดสอบปลายภาค

2.1.5 ตรวจผลงาน “ภาพวาด สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับการใช้ประโยชน์”

2.2 ด้านคุณธรรม จริยธรรม

2.2.1 สังเกตพฤติกรรมการร่วมกิจกรรมการเรียนการสอนในชั้น

2.3 ด้านทักษะ/กระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2.3.1 สังเกตการร่วมอภิปราย / การตอบคำถาม

2.3.2 ตรวจการทำแบบฝึกหัดท้ายเอกสาร

3. เครื่องมือวัดผล

3.1 แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ในชั่วโมงเรียน

3.2 แบบประเมินคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (จิตวิทยาศาสตร์)

3.3 แบบสังเกตการทำงานกลุ่ม

3.4 แบบฝึกหัดท้ายเอกสารประกอบการเรียนรู้

3.5 แบบประเมินการตรวจผลงานชิ้นงาน

3.6 แบบทดสอบเก็บคะแนนรายจุดประสงค์ จุดประสงค์ที่ 81-82

3.7 แบบทดสอบปลายภาค

4. เกณฑ์การวัดผลและการประเมินผลการเรียนรู้

4.1 เกณฑ์การวัดผล

4.1.1 คะแนนการทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบ ตอบถูกให้ 1 ตอบผิดให้ 0

4.1.2 คะแนนการทำงานกลุ่มและผลงานชิ้นงาน ในแต่ละรายการประเมินพิจารณา ดังนี้

ระดับคุณภาพ ดีมาก ให้ 4 คะแนน

ระดับคุณภาพ ดี ให้ 3 คะแนน

ระดับคุณภาพ พอใช้ ให้ 2 คะแนน

ระดับคุณภาพ ควรปรับปรุง ให้ 1 คะแนน

4.1.3 คะแนนพฤติกรรมที่แสดงออก (จิตวิทยาศาสตร์) ในแต่ละด้านพิจารณาดังนี้

ระดับคุณภาพ ดีมาก ให้ 5 คะแนน

ระดับคุณภาพ ดี ให้ 4 คะแนน

ระดับคุณภาพ ปานกลาง ให้ 3 คะแนน

ระดับคุณภาพ พอใช้ ให้ 2 คะแนน

ระดับคุณภาพ ควรปรับปรุง ให้ 1 คะแนน

4.2 เกณฑ์การประเมินผล

4.2.1 เกณฑ์การสรุปผลการประเมิน

4.2.1.1 คะแนนการทำแบบทดสอบ

ร้อยละ 70 ขึ้นไป ระดับคุณภาพ ดี

ร้อยละ 50 - 69 ระดับคุณภาพ

ปานกลาง ต่ำกว่าร้อยละ 50 ระดับคุณภาพ ปรับปรุง

4.2.1.2 คะแนนการทำแบบฝึกหัด

ร้อยละ 80 ขึ้นไป ระดับคุณภาพ ดี

ร้อยละ 60 - 79 ระดับคุณภาพ ปานกลาง

ต่ำกว่าร้อยละ 60 ระดับคุณภาพ ปรับปรุง

4.2.1.3 คะแนนการทำงานกลุ่ม และผลงาน/ชิ้นงาน

18 – 20 คะแนน ระดับคุณภาพ ดีมาก

15 – 17 คะแนน ระดับคุณภาพ ดี

12 – 14 คะแนน ระดับคุณภาพ ปานกลาง

10 – 11 คะแนน ระดับคุณภาพ พอใช้

5 – 9 คะแนน ระดับคุณภาพ ควรปรับปรุง

4.2.2 เกณฑ์การประเมินผลเพื่อผ่านจุดประสงค์

4.2.2.1 ผู้เรียนได้คะแนนจากการทำแบบทดสอบและทำแบบฝึกหัด ในระดับคุณภาพ ปานกลางถึงดี

4.2.2.2 ผู้เรียนผ่านเกณฑ์การประเมินพฤติกรรมที่แสดงออก (จิตวิทยาศาสตร์) ทุกด้าน การประเมินการทำงานกลุ่ม การประเมินผลงาน/ชิ้นงาน ในระดับคุณภาพดีถึงดีมาก

สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
โดย เฉลิม อดิยาวง โรงเรียนวิพัฒนวิทยา

สาระที่ ๕ พลังงาน

มาตรฐาน ว ๕. ๑ เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงานปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการ การสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ชั้น	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
ป. ๑	๑. ทดลองและอธิบายได้ว่าไฟฟ้าเป็นพลังงานได้ ไฟฟ้าจึงเป็นพลังงาน	- สิ่งมีชีวิตมีลักษณะแตกต่างจากสิ่งไม่มีชีวิตโดยสิ่งมีชีวิตจะมีการเคลื่อนที่ กินอาหารขับถ่าย หายใจ เจริญเติบโต สืบพันธุ์และตอบสนองต่อสิ่งเร้า แต่สิ่งไม่มีชีวิตจะไม่มีลักษณะดังกล่าว
	๒. สังเกตและอธิบายลักษณะและหน้าที่ของโครงสร้างภายนอกของพืชและสัตว์	- โครงสร้างภายนอกของพืชได้แก่ รากลำต้น ใบ ดอกและผล แต่ละส่วนทำหน้าที่ต่างกัน - โครงสร้างภายนอกของสัตว์ ได้แก่ ตา หูจมูก ปาก เท้า และขา แต่ละส่วนทำหน้าที่แตกต่างกัน
	๓. สังเกตและอธิบายลักษณะหน้าที่และความสำคัญของอวัยวะภายนอกของมนุษย์ ตลอดจนการดูแลรักษาสุขภาพ	- อวัยวะภายนอกของมนุษย์มีลักษณะและหน้าที่ที่แตกต่างกัน อวัยวะเหล่านี้มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต จึงต้องดูแลรักษาและป้องกันไม่ให้อวัยวะเหล่านั้นได้รับอันตราย
ป. ๒	๑. ทดลองและอธิบาย น้ำ แสง เป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช	- พืชต้องการน้ำและแสงในกาเจริญเติบโตและการดำรงชีวิต
	๒. อธิบายอาหาร น้ำ อากาศ เป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์	- พืชและสัตว์ต้องการอาหาร น้ำ อากาศ เพื่อการดำรงชีวิตดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต - นำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการดูแลพืชและสัตว์เพื่อให้เจริญเติบโตได้ดี
	๓. สำรวจและอธิบาย พืชและสัตว์สามารถตอบสนองต่อแสง อุณหภูมิและการสัมผัส	- พืชและสัตว์มีการตอบสนองต่อ แสงอุณหภูมิ และการสัมผัส
	๔. ทดลองและอธิบาย ร่างกายของมนุษย์สามารถตอบสนองต่อแสงอุณหภูมิ และการสัมผัส	- ร่างกายมนุษย์สามารถตอบสนองต่อ แสงอุณหภูมิ และการสัมผัส
	๕. อธิบายปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของมนุษย์	- มนุษย์ต้องการอาหาร น้ำ อากาศ เพื่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต

อภิธานศัพท์

กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Process)

เป็นกระบวนการในการศึกษาหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก คือ การตั้งคำถามหรือกำหนดปัญหา การสร้างสมมติฐานหรือการคาดการณ์คำตอบ การออกแบบวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ และแปลความหมายข้อมูล การลงข้อสรุป และการสื่อสาร

การแก้ปัญหา (Problem Solving)

เป็นการหาคำตอบของปัญหาที่ยังไม่รู้วิธีการมาก่อน ทั้งปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในวิทยาศาสตร์โดยตรง และปัญหาในชีวิตประจำวัน โดยใช้เทคนิค วิธีการหรือกลยุทธ์ต่างๆ

การวิเคราะห์ (Analyzing)

เป็นระดับของผลการเรียนรู้ที่ผู้เรียนสามารถแยกแยะข้อมูลหรือข้อสนเทศ เพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์

การสังเกต (Observation)

เป็นวิธีการหาข้อมูลโดยตรงโดยใช้ประสาทสัมผัสทั้งห้า ได้แก่ การดู การดม การฟัง การชิม และการสัมผัส

การสืบค้นข้อมูล (Search)

เป็นการหาข้อมูลหรือข้อสนเทศที่มีผู้รวบรวมไว้แล้วจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ห้องสมุด เครือข่ายอินเทอร์เน็ต ภูมิปัญญาท้องถิ่น เป็นต้น

การสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Inquiry)

เป็นการหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์หรือวิธีการอื่น ๆ เช่น การสำรวจ การสังเกต การวัด การจำแนกประเภท การทดลอง การสร้างแบบจำลอง การสืบค้นข้อมูล เป็นต้น

การสำรวจ (Exploration)

เป็นการหาข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ โดยใช้วิธีการและเทคนิคต่าง ๆ เช่น การสังเกตการสัมภาษณ์ การเก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ จำแนก หรือหาความสัมพันธ์

การสำรวจตรวจสอบ (Scientific Investigation)

เป็นวิธีการหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยผ่านการรวบรวมข้อมูล ใช้ความคิดที่มีเหตุผลในการตั้งสมมติฐาน อธิบายและแปลความหมายข้อมูล การสำรวจตรวจสอบทำได้หลายวิธี เช่น การสังเกต การสำรวจ การทดลอง เป็นต้น

ความเข้าใจ (Understanding)

เป็นระดับของผลการเรียนรู้ที่ผู้เรียนสามารถอธิบาย เปรียบเทียบ แยกประเภท ยกตัวอย่างเขียนแผนภาพ เลือก ระบุ เลือกใช้เกี่ยวกับเรื่องต่าง ๆ

จิตวิทยาศาสตร์ (Scientific mind / Scientific attitudes)

เป็นคุณลักษณะหรือลักษณะนิสัยของบุคคลที่เกิดขึ้นจากการศึกษาหาความรู้โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จิตวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ความสนใจใฝ่รู้ ความมุ่งมั่น อดทน รอบคอบ ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์ ประหยัด การร่วมแสดงความคิดเห็นและยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น ความมีเหตุผล การทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์

เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ (Attitudes Toward Sciences)

เป็นความรู้สึกของบุคคลต่อวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นผลจากการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยผ่านกิจกรรมที่หลากหลาย ความรู้สึกดังกล่าว เช่น ความสนใจ ความชอบ การเห็นความสำคัญและคุณค่า

หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ก๊าซชีวภาพสร้างชาติและชุมชน

โดย วิจิตพร มากมูล

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เวลา 16 ชั่วโมง

โรงเรียน บ้านแหลมวิทยา อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

สังกัด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบุรี เขต 1

ก๊าซชีวภาพ ระบบการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) การวิเคราะห์กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ได้แก่ ค่า pH , ความเป็นด่างรวม (Alkalinity) และ กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) การทดลองปฏิบัติการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้วัสดุในท้องถิ่นหมักร่วมกับมูลสัตว์ในชุมชนของนักเรียน การออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อให้นักเรียนมีพัฒนาการทางด้านการเชื่อมโยงความรู้ โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ และการแก้ปัญหาที่หลากหลาย ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอน มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติจริงอย่างหลากหลาย

มาตรฐานการเรียนรู้

มาตรฐาน ว 2.2 เข้าใจความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติในระดับท้องถิ่น ประเทศและโลก นำความรู้ไปใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

ตัวชี้วัด

ม.4-6/1 วิเคราะห์สภาพปัญหา สาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติในระดับท้องถิ่น ระดับประเทศ และระดับโลก

ม.4-6/3 วางแผนและดำเนินการเฝ้าระวังอนุรักษ์ และพัฒนาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

มาตรฐาน ว 3.2 เข้าใจหลักการและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร การเกิดสารละลาย การเกิดปฏิกิริยา มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ตัวชี้วัด

ม.4-6/1 ทดลอง อธิบาย และเขียนสมการของปฏิกิริยาเคมีทั่วไป ที่พบในชีวิตประจำวัน รวมทั้งอธิบาย ผลของสารเคมีที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

1. ความเข้าใจที่คงทน (enduring understanding)

นักเรียนสามารถ

- 1) รู้จักและบอกวัสดุที่นำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้
- 2) ระบุความหมายของก๊าซชีวภาพ ระบบหมักแบบไร้อากาศ
- 3) อธิบายการตรวจวิเคราะห์และกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ
- 4) แปลความหมายของประสิทธิภาพของระบบการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้ค่า pH , VFA , Alkalinity , VS , TS ได้
- 5) ยกตัวอย่าง/วาดภาพถังหมักก๊าซชีวภาพ ตามระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่สามารถนำมาใช้ได้จริงในครัวเรือน

- 6) ประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องระบบการหมักแบบไร้อากาศไปใช้ออกแบบการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุในท้องถิ่นของตนเอง

2. ทักษะ / กระบวนการ (Process)

ทักษะทั่วไป (trans-disciplinary skills Stand)

นักเรียนสามารถ

- 1) สังเกตเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุต่างชนิดของระบบหมักแบบไร้อากาศได้
- 2) วางแผนการดำเนินการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุในท้องถิ่นตามความสนใจของกลุ่มได้
- 3) ออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพ ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้

ทักษะเฉพาะวิชา (Subject specific Standards)

นักเรียนสามารถ

- 1) ทดลองและสรุปผลเรื่อง ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบการหมักแบบไร้อากาศ โดยใช้วัสดุชนิดต่างๆ ได้
- 2) นำหลักการผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้ในการออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในชุมชน
- 3) ทำกิจกรรมปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่า pH , ความเป็นด่างรวม (Alkalinity) , กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

3. ลักษณะที่พึงประสงค์ (Attribute หรือ disposition standards)

- 1) อธิบายความสำคัญและประโยชน์ของการผลิตก๊าซชีวภาพต่อการดำรงชีวิตประจำวันได้
- 2) ทำกิจกรรมด้วยความมีเหตุผล มีความอยากรู้อยากเห็น ใจกว้าง มีความซื่อสัตย์ และมีความเพียรพยายาม
- 3) หาคำตอบของปัญหาที่ตนเองสนใจติดตาม / สืบค้นอย่างสม่ำเสมอ ตัดสินใจด้วยความมีเหตุผล

คำถามสำคัญ (essential question)

- ก๊าซชีวภาพ ก๊าซหุงต้มคืออะไร มีความเหมือนหรือความแตกต่างกันอย่างไร
- การผลิตก๊าซชีวภาพ การเกิดก๊าซชีวภาพ มีขั้นตอนการเกิดอย่างไร
- ระบบการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digester) คืออะไร มีขั้นตอนการหมักอย่างไร
- ค่า pH , ค่าความเป็นด่างรวม , ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย คืออะไร และขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์ทำอย่างไร
- ระบบการหมักก๊าซชีวภาพมีกี่รูปแบบ และถังหมักก๊าซชีวภาพรูปแบบใด มีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ได้ในชีวิตจริง
- เราเรียนรู้การผลิตก๊าซชีวภาพไปเพื่ออะไร

กำหนดหลักฐาน / ร่องรอยของการเรียนรู้

1. การะงาน / ผลผลิต

- * กิจกรรมการทดลองเกี่ยวกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศและการตรวจวิเคราะห์ค่า pH , Alkalinity , VFA เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้วัสดุในท้องถิ่นชนิดต่างๆ
- * การนำเสนอผลการทำกิจกรรมและผลงานความรู้ใหม่ที่ได้
- * ภาพการออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในครัวเรือน / ชุมชน

2. การประเมินการเรียนรู้

- * แบบประเมินพฤติกรรมขณะเข้าร่วมกิจกรรมกลุ่ม
- * แบบประเมินการทำการทดลอง / การออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพ
- * แบบประเมินผลผลิต / ความรู้ใหม่ที่ได้
- * แบบประเมินตนเองด้วยการเขียนบันทึกการเรียนรู้ได้ศึกษาในแต่ละชั่วโมง
- * แบบสอบถาม / อัดนัย เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หน่วยการเรียนรู้ ก๊าซชีวภาพสร้างชาติและชุมชน

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ พลังงานทดแทนที่แฝงอยู่ในเศษอาหาร
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม) ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
โดย นางสาวศิริประภา สุรชน ตำแหน่ง ครู โรงเรียนบ้านบงคำ

1. ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

เศษอาหารเป็นส่วนหนึ่งของมูลฝอยอินทรีย์ ส่วนใหญ่มาจากส่วนที่เหลือทิ้งจากการรับประทานอาหาร มูลฝอยอินทรีย์สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือเพื่อการผลิตพลังงานได้ โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่สามารถอาศัยอยู่ได้ในสภาวะที่ไร้อากาศและสามารถเปลี่ยนเศษอาหารเหล่านั้นให้กลายเป็นเชื้อเพลิง

ก๊าซมีเทนเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติในการติดไฟ อีกทั้งเป็นตัวการที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก หากปล่อยทิ้งไว้ให้มีการระเหยขึ้นไปในอากาศมากขึ้นเรื่อยๆ จะส่งผลให้ภาวะเรือนกระจกที่รุนแรงย่อมเกิดตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้น ถ้าเรารู้จักการนำก๊าซมีเทนมาใช้ประโยชน์ก็จะเป็นการช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย

หลักการเกิดก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ตามธรรมชาติภายใต้ระบบการหมักแบบไร้อากาศ หรือไร้ออกซิเจน โดยใช้มูลสัตว์เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการหมัก และใช้สิ่งของที่เหลือจากการบริโภค เช่น เศษอาหาร พืชผัก และผลไม้ โดยนำมาบดให้มีขนาดเล็กลง เพื่อง่ายต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการหมักและส่งผลให้เกิดก๊าซมีเทนและก๊าซต่างๆ ขึ้น

2. วัตถุประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อหาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับเศษอาหาร อัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณที่แตกต่างกันอย่างไร
2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับนำไปปรับใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพระบบหมักแบบไร้อากาศ ที่มีปริมาณความเข้มข้นของวัสดุอื่นที่แตกต่างกันได้อีกต่อไป
3. นำชุดการเรียนรู้ที่ได้ไปพัฒนากิจกรรมการเรียนการสอนวิชาชีววิทยาวิทยาศาสตร์
4. เพื่อฝึกให้นักเรียนมีจิตวิทยาศาสตร์

คุณสมบัติก๊าซชีวภาพ

1. ก๊าซชีวภาพจะมีสภาพเบากว่าอากาศ หากมีการรั่วเกิดขึ้นจะลอยขึ้นไปในอากาศ
2. ก๊าซชีวภาพสามารถติดไฟได้เพราะในก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 50 - 70% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
3. การติดไฟของก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นในช่วง 5 - 10% ซึ่งหากมีการรั่วเกิน 15% จะจุดไฟไม่ติด
4. ถ้านำก๊าซชีวภาพไปจุดไฟ ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ 2,000 ลิตร จะเทียบเท่ากับการเผาน้ำมันดีเซล 1 ลิตร

3. ระดับและมาตรฐานการเรียนรู้

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม พลังงานทดแทนที่แฝงอยู่ในเศษอาหาร
 สาระที่ 5 พลังงาน

มาตรฐาน ว.5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

4. กิจกรรมการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

4.1 กำหนดกิจกรรม

- 4.1.1 ค้นหาความรู้จากแหล่งความรู้ต่าง ๆ เช่น ห้องสมุด การสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต เกี่ยวกับการหมักด้วยวัสดุต่างๆ เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ
 - 4.1.2 ออกแบบวิธีการทดลอง การฝึกใช้เครื่องมือ การฝึกปฏิบัติ
 - 4.1.3 ทำการทดลองโดยทดลองหมักแบบไร้อากาศ
 - 4.1.4 การวิเคราะห์ผล สรุปผล ทำรายงาน ทำผลงานเพื่อนำเสนอ
- ตารางที่ 1 แผนดำเนินการทดลอง

กิจกรรมขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา (สัปดาห์)			
	สัปดาห์ที่	สัปดาห์ที่	สัปดาห์ที่	สัปดาห์ที่
	1	2	3	4
1.ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง				
2.ดำเนินการทดลอง				
3.การเก็บรวบรวมข้อมูล				
4.การวิเคราะห์ข้อมูล				
5.การเขียนรายงานการวิจัย				

4.2 อุปกรณ์และวิธีการ

4.2.1 อุปกรณ์

- 4.2.1.1 เศษอาหาร, มูลสุกร
- 4.2.1.2 ขวดแก้วขนาด 500 มิลลิลิตร
- 4.2.1.3 สายยางซิลิโคนหรือสายยางพลาสติกขนาดเล็ก
- 4.2.1.4 พาราฟิล์มหรือเทปกาว
- 4.2.1.5 เครื่องปั่น
- 4.2.1.6 กระบอกตวง
- 4.2.1.7 กรวยน้ำ
- 4.2.1.8 ฝาจุกยางสำหรับใช้ปิดปากขวด

4.2.2 วิธีการทดลอง

- 4.2.2.1 ให้นักเรียนนำเศษอาหารมาบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยใช้เครื่องปั่น

4.2.2.2 นำเข็มฉีดยามาเสียบกับฝาจุกยางด้านในจนปลายเข็มฉีดยาโผล่ออกมาด้านนอกของฝาจุกยาง เพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับปิดขวดแก้ว

4.2.2.3 นำสายยางซิลิโคนหรือสายยางพลาสติกขนาดเล็ก มาตัดให้ได้ขนาดความยาว 60 เซนติเมตร แล้วนำเข็มฉีดยาไปเสียบต่อที่ปลายสายยางทั้งสองด้าน เพื่อใช้เป็นสายลำเลียงตัวอย่างก๊าซชีวภาพ

4.2.2.4 ให้นักเรียนนำมูลสุกรมาผสมร่วมกับเศษอาหาร ในอัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 ดังตารางที่ 1 โดยผสมวัสดุหมักลงในขวดแก้วที่มีปริมาตรใช้งานจริง 500 มิลลิลิตร

ตารางที่ 2 อัตราส่วนในการผสมวัสดุหมัก

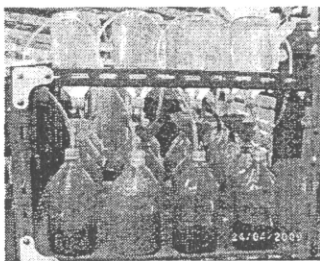
อัตราส่วน วัสดุหมัก	1:1	1:2	1:3
มูลสุกร	100 มิลลิลิตร	100 มิลลิลิตร	100 มิลลิลิตร
เศษอาหาร	100 มิลลิลิตร	200 มิลลิลิตร	300 มิลลิลิตร
น้ำ	300 มิลลิลิตร	200 มิลลิลิตร	100 มิลลิลิตร

4.2.2.5 เมื่อนักเรียนผสมวัสดุหมักลงในขวดแก้วให้ใช้ฝาจุกยางที่เตรียมไว้ (ข้อ 4.2.2.2) ปิดปากขวดแล้วพันทับ ด้วยพาราฟิล์มหรือเทปกาวที่ปากขวดให้สนิทเสร็จแล้วนำไปวางไว้ในที่ชั้นวางด้านล่าง

4.2.2.6 นำขวดแก้วที่มีขนาด 500 มิลลิลิตร มาเติมน้ำเปล่าให้เต็มขวด แล้วปิดฝาด้วยจุกยางที่มีเข็มฉีดยาเสียบเอาไว้ จากนั้นพันทับด้วยพาราฟิล์มหรือเทปกาวที่ปากขวดให้สนิท เสร็จแล้วนำไปวางไว้ในที่ชั้นวางให้อยู่ชั้นบน โดยให้คว่ำปากขวดลง เพื่อใช้เป็นขวดสำหรับการแทนที่น้ำ

4.2.2.7 ใช้สายยางที่ปลายต่อด้วยเข็มฉีดยาที่เตรียมไว้ นำปลายเข็มด้านหนึ่งไปเสียบที่ขวดตรงฝาจุกยางของขวดที่มีวัสดุหมัก และปลายอีกข้างหนึ่งเสียบตรงที่ฝาจุกยางขวดน้ำเปล่า โดยใช้เทปกาวเป็นเป็นด้ายยึดติดไว้กับขวด

4.2.2.8 นำขวดแก้วขนาด 500 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นขวดเปล่าและกรวยน้ำมาใช้สำหรับรองรับน้ำวางไว้ในที่ชั้นล่างของชั้นวางโดยวางข้างขวดที่มีวัสดุหมัก โดยต้องวางให้กรวยรับน้ำตรงกับปลายเข็มของขวดน้ำเปล่าที่อยู่ชั้นบน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบหมักแบบไร้อากาศ

4.2.2.9 ทำการหมักภายใต้อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 4^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วัน

4.2.2.10 วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันโดยใช้วิธีการแทนที่น้ำในเวลา

เดียวกันโดยการเขย่าขวดหมักวันละ 1 ครั้ง และทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที พร้อมจดบันทึกปริมาณน้ำที่เกิดขึ้น

4.2.3 อภิปรายและสรุปผล

ให้นักเรียนสรุปผลจากตารางบันทึกผล ด้วยการแสดงผลเป็นแผนภูมิแท่ง และแสดงการเกิดปฏิกิริยาก๊าซสะสมเป็นกราฟ แล้วอ่านค่าผลการทดลองโดยสังเกตดูว่าอัตราส่วนใดที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด ก็จะแสดงว่าอัตราส่วนผสมของวัสดุหมักนั้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อการผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกัน

4.3 การประเมิน

4.3.1 ให้นักเรียนพิจารณาว่าในหัวข้อที่เรียนมา และในการปฏิบัติกิจกรรมมีจุดใดที่ยังไม่ชัดเจน หรือยังมีข้อสงสัย ถ้ามีช่วยอธิบายเพิ่มเติม

4.3.2 ให้นักเรียนร่วมกันแสดงความคิดเห็นถึงประโยชน์ที่ได้จากหัวข้อที่เรียนจากการปฏิบัติกิจกรรม และการนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์

4.3.3 ร่วมกันประเมินการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม ว่ามีปัญหา/อุปสรรคใด มีการแก้ไขอย่างไร ครูให้คำชมเชยกลุ่มที่ทำงานได้ดี ให้กำลังใจและข้อเสนอแนะแก่กลุ่มที่ควรปรับปรุง

5. การวัดและประเมินผลการเรียนรู้

5.1 ด้านความรู้

5.1.1 วิธีการวัด	ทดสอบ
5.1.2 เครื่องมือประเมิน	แบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน จำนวน 10 ข้อ
5.1.3 วิธีการประเมิน	ตรวจผลการทดสอบ
5.1.4 เกณฑ์การประเมิน	ข้อละ 1 คะแนน รวม 10 คะแนน

5.2 ด้านทักษะกระบวนการ

5.2.1 วิธีการวัด	บันทึกการปฏิบัติกิจกรรมของผู้เรียน
5.2.2 เครื่องมือประเมิน	แบบบันทึกกิจกรรม
5.2.3 วิธีการประเมิน	ตรวจผลการบันทึกข้อมูล
5.2.4 เกณฑ์การประเมิน	3 คะแนน ปฏิบัติอยู่ในระดับดี 2 คะแนน ปฏิบัติอยู่ในระดับพอใช้ 1 คะแนน ควรปรับปรุงการปฏิบัติ

5.3 คุณลักษณะอันพึงประสงค์

5.3.1 วิธีการวัด	ประเมินคุณลักษณะอันพึงประสงค์
5.3.2 เครื่องมือประเมิน	แบบประเมินคุณลักษณะอันพึงประสงค์
5.3.3 วิธีการประเมิน	สังเกตการณ์ปฏิบัติงาน กระบวนการทำงาน
5.3.4 เกณฑ์การประเมิน	3 คะแนน ปฏิบัติอยู่ในระดับดี 2 คะแนน ปฏิบัติอยู่ในระดับพอใช้ 1 คะแนน ควรปรับปรุงในการปฏิบัติ

แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ก๊าซชีวภาพพลังงานครัวเรือนในอนาคต โดย

นางสาวอารียา พลิษฐ์ โรงเรียนบ้านแหลมวิทยา
จूरรัตน์ ช่วยเจริญ โรงเรียนวัดชุมประดิษฐ์

1.สาระการเรียนรู้

- อาชีพในท้องถิ่น
- วัสดุเหลือทิ้งในชุมชนเช่น ฟางข้าว มูลโค เศษอาหาร น้ำเสีย อื่นๆ
- ความหมายของก๊าซชีวภาพ
- กระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน
- กระบวนการเกิดก๊าซมีเทน
- คุณสมบัติหรือparameter ต่างๆของระบบหมักก๊าซชีวภาพ
- ประโยชน์/ข้อดีของก๊าซชีวภาพ และการพัฒนา
- การทดลองหมักก๊าซชีวภาพและการศึกษาระบบหมักในชุมชน

2.วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักเรียนได้สำรวจอาชีพในท้องถิ่น
2. เพื่อให้นักเรียนสำรวจวัสดุเหลือทิ้งในชุมชน
3. เพื่อให้นักเรียนเข้าใจความหมายของก๊าซชีวภาพ
4. เพื่อให้นักเรียนเรียนรู้การหมักแบบไร้ออกซิเจน
5. เพื่อให้นักเรียนเข้าใจและสามารถอธิบายกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน
6. เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้คุณสมบัติหรือ parameter ต่างๆของน้ำที่เกิดจากการหมักก๊าซชีวภาพ
7. เพื่อให้นักเรียนทราบถึงประโยชน์/ข้อดีของก๊าซชีวภาพและแนวทางการพัฒนา
8. เพื่อให้นักเรียนได้ทำการทดลองหมักก๊าซชีวภาพเพื่อดูปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นรวมถึงparameter ต่างๆ

3. ระดับและมาตรฐานการเรียนรู้

ระดับที่ 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 วิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม

สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม

มาตรฐานการเรียนรู้ ว 2.1 เข้าใจสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมกับสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างๆในระบบนิเวศ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐานการเรียนรู้ ว.2.2 เข้าใจความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติในระดับท้องถิ่น ประเทศและโลก มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

4. กิจกรรมการเรียนรู้

คาบที่ 1 เรื่องที่ 1 เพื่อสำรวจอาชีพในท้องถิ่น

ขั้นนำ

- ครูตั้งคำถามกับนักเรียนว่าในชุมชนของพวกเรามีการประกอบอาชีพอะไรบ้าง
- นักเรียนช่วยกันตอบ

ขั้นสอน

- ครูแบ่งกลุ่มนักเรียนเป็น 5 กลุ่ม โดยใช้การจับฉลาก
- ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันระดมความคิดเกี่ยวกับอาชีพในชุมชนโดยมีหัวข้อดังนี้ อาชีพ ขั้นตอนการประกอบอาชีพ สิ่งที่ได้จากการประกอบอาชีพ วัสดุ ของเสียที่เหลือจากการประกอบอาชีพ
- ครูสุ่มให้ตัวแทนนักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอ

ขั้นสรุป

- ครูสรุปเนื้อหาที่สอนร่วมกันกับนักเรียน
- ครูมอบหมายให้นักเรียนแต่ละกลุ่มไปสำรวจอาชีพในชุมชนของนักเรียนเพื่อมานำเสนอกลุ่มละ 5 นาทีในคาบต่อไป

คาบที่ 2 เรื่องที่ 2 เพื่อสำรวจวัสดุเหลือทิ้งในชุมชน

ขั้นสอน

- ครูทบทวนเรื่องที่เรียนเมื่อคาบที่ผ่านมา
- ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอข้อมูลที่ได้สำรวจมากลุ่มละประมาณ 5 นาที
- เมื่อนักเรียนนำเสนอข้อมูลเสร็จแล้วครูตั้งคำถามต่อว่าวัสดุเศษเหลือที่เกิดขึ้นจากการประกอบอาชีพยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้อีกบ้าง
- ครูอธิบายต่อว่าวัสดุเศษเหลือ เช่น ฟางข้าว มูลโค เศษอาหาร และอื่นๆ นั้นหากเราไม่จัดการอย่างถูกวิธีก็จะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในชุมชนของเรา
- ครูตั้งคำถามว่าวัสดุเศษเหลือเหล่านี้สามารถนำไปทำอะไรได้อีกบ้าง
- นักเรียนช่วยกันตอบ

ขั้นสรุป

- ครูสรุปว่าวัสดุเศษเหลือเหล่านี้สามารถนำไปสร้างให้เกิดประโยชน์ได้อีกมากมาย ตัวอย่างสำคัญคือ การนำไปทำก๊าซชีวภาพ และครูจะอธิบายต่อในคาบเรียนต่อไป

คาบที่ 3 เรื่องที่ 3 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ

ขั้นนำ

- ครูตั้งคำถามกับนักเรียนว่าใครมีความรู้เกี่ยวกับ ก๊าซชีวภาพ บ้าง
- นักเรียนช่วยกันตอบ

ขั้นสอน

- ครูให้นักเรียนจับคู่กัน 2 คน และตั้งคำถามกับนักเรียนว่าร่างกายเราผายลมได้อย่างไร และเกิดกลิ่นได้อย่างไร ให้นักเรียนช่วยกันคิดหาคำตอบ
- ครูสุ่มเรียกนักเรียนให้ตอบคำถาม
- ครูอธิบายเรื่องการผายลมให้นักเรียนฟัง

- ครูอธิบายเปรียบเทียบการผายลมกับการเกิดก๊าซชีวภาพ
 - ครูอธิบายการเกิดก๊าซชีวภาพให้นักเรียนฟัง(เอกสารประกอบ)
- ขั้นสรุป
- ครูสรุปเรื่องการเกิดก๊าซชีวภาพร่วมกับนักเรียน

คาบที่ 4 เรื่อง 4 กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

ขั้นนำ

- ครูตั้งคำถามกับนักเรียนเกี่ยวกับการผายลมว่าเกิดขึ้นอย่างไร และมีอะไรเกิดขึ้นบ้าง
- นักเรียนช่วยกันตอบความรู้เดิมที่เรียนมาแล้ว

ขั้นสอน

- ครูอธิบายเกี่ยวกับการผายลมให้นักเรียนฟังอีกครั้งหนึ่ง
- ครูอธิบายกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถนำก๊าซนั้นมาใช้ได้อย่างไรโดยให้ดูรูปประกอบ(อาจเป็นเอกสาร หรือ Power point จากการที่มำทำวิจัย)
- ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนซักถามข้อสงสัยเกี่ยวกับกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

ขั้นสรุป

- ครูสุ่มเรียกนักเรียนให้สรุปเรื่องกระบวนการหมักแบบไร้อากาศให้เพื่อนๆฟัง โดยมีครูเป็นผู้ช่วย

คาบที่ 5 เรื่องที่ 5 การเกิดก๊าซมีเทน

ขั้นนำ

- ครูตั้งคำถามกับนักเรียนว่าวันนี้ใครผลิตก๊าซชีวภาพแล้วบ้างแล้วก๊าซชีวภาพนั้นเกิดจากส่วนผสมใดบ้าง

ขั้นสอน

- ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มละ 5-6 คน โดยใช้การจับฉลาก
- ครูให้นักเรียนร่วมกันศึกษาข้อมูลในหนังสือและเชื่อมโยงความรู้จากคาบเรียนที่ผ่านมาถึงกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน และส่งตัวแทนออกมานำเสนอกลุ่มละ 1 คน
- ครูให้นักเรียนดูภาพระบบหมักก๊าซชีวภาพ และอธิบายการเกิดก๊าซชีวภาพ

ขั้นสรุป

- ครูร่วมกันสรุปเรื่องการเกิดก๊าซมีเทนกับนักเรียน

คาบที่ 6 เรื่องที่ 6 เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้คุณสมบัติหรือ parameter ต่าง ๆ ของน้ำที่เกิดจากการ

หมักก๊าซชีวภาพ

ขั้นนำ

- ครูตั้งคำถามกับนักเรียนว่า นักเรียนทราบหรือไม่ว่าการหมักก๊าซชีวภาพนั้นเราจะต้องมีการทดสอบหรือสังเกตอะไรได้บ้าง

- นักเรียนช่วยกันตอบ

ขั้นสอน

- ครูสุ่มเรียกนักเรียน 2 คน แล้วตั้งคำถามคนละคำถาม ดังนี้

1. นักเรียนทราบได้อย่างไรว่าน้ำที่ดื่มมันสะอาด

2. หากเราจะพิจารณาว่าสิ่งใดว่าดีหรือไม่ดีนั้น เรามีเกณฑ์ในการพิจารณาอย่างไรบ้าง(ให้นักเรียนยกตัวอย่างสิ่งที่พิจารณาเอง)

-นักเรียนตอบตามความคิดเห็นของตัวเอง

-เมื่อนักเรียนตอบแล้ว ครูเชื่อมโยงไปยังเรื่องก๊าซชีวภาพ ว่า ในส่วนของการพิจารณาประสิทธิภาพหรือคุณสมบัติของการหมักก๊าซชีวภาพก็เช่นกันต้องมีการพิจารณาคุณสมบัติต่างๆซึ่งได้แก่ pH ค่าอัลคาไลน์ตี ค่า TS ค่า VS และครูอธิบายให้นักเรียนรู้จักค่าต่างๆ เหล่านี้

-ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มละ 5-6 คน โดยไม่ซ้ำกับกลุ่มเดิม(2 ครั้งที่ผ่านมา)และให้ช่วยกันเลือกวัสดุที่จะนำมาหมักก๊าซชีวภาพในอีก 2 สัปดาห์ข้างหน้า และให้ส่งรายชื่อพร้อมรายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุหมักในคาบต่อไป

ขั้นสรุป

-ครูสรุปเรื่องคุณสมบัติของการหมักก๊าซชีวภาพให้นักเรียนฟังและสั่งให้แต่ละกลุ่มหาข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ของก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาแลกเปลี่ยนกันในคาบถัดไป

คาบที่ 7 เรื่องที่ 7 ประโยชน์ข้อดีของก๊าซชีวภาพและการพัฒนา

ขั้นสอน

-ครูให้ตัวแทนกลุ่มละ 1 คนนำเสนอข้อมูลที่ได้ไปศึกษาค้นคว้ามา

-ครูอธิบายเพิ่มเติมให้นักเรียนทราบถึงประโยชน์ข้อดีของก๊าซชีวภาพ

-ครูให้นักเรียนส่งรายชื่อและแจ้งให้นักเรียนเตรียมหาวัสดุหมักทำก๊าซชีวภาพ เพื่อนำมาในคาบเรียนถัดไป

ขั้นสรุป

-ครูสรุปเนื้อหาให้นักเรียนฟังอีกครั้งหนึ่ง

คาบที่ 8-10 เรื่องที่ 8 การทดลองหมักก๊าซชีวภาพและการศึกษาระบบหมักในชุมชน

ขั้นนำ

-ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันเตรียมอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองหมักก๊าซชีวภาพ

ขั้นสอน

-ครูอธิบายขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ

-นักเรียนสร้างระบบหมักก๊าซชีวภาพของแต่ละกลุ่ม

-ครูมอบหมายให้นักเรียนแต่ละกลุ่มวัดปริมาณก๊าซของระบบหมักในทุกๆวัน เป็นเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

-ครูตรวจข้อมูลของแต่ละกลุ่มในอีก 2 สัปดาห์ที่เหลือ

ขั้นสรุป

-ครูสรุปเรื่องการหมักก๊าซชีวภาพในภาพรวมตั้งแต่คาบที่ 1 จนถึงคาบสุดท้าย

การวิเคราะห์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม ไฟฟ้าเพื่อชีวิต

จัดทำโดย

พรวิทย์ โกศลศิริศักดิ์ โรงเรียนศรีสะเกษ

อรณพ แก้วพิบูลย์ โรงเรียนธรรมโมสิต

สาระ/มาตรฐาน	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้
สาระที่ 5 พลังงาน มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจ ความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานกับการ ดำรงชีวิต การเปลี่ยน รูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงาน ต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบ เสาะหาความรู้ สื่อสาร สิ่งที่ได้รับและนำความรู้ ไปใช้ประโยชน์	1. สืบค้น อธิบาย ความหมายและ ความสำคัญของพลังงาน	1. พลังงานคือความสามารถในการทำงานได้ 2. สิ่งมีชีวิตมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานในการ ดำรงชีวิตตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน
	2. สืบค้น อธิบาย เกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า	1. การใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะผ่าน เครื่องใช้ไฟฟ้า 2. ค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปเรียกว่า กำลังไฟฟ้า 3. การผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากแหล่งพลังงานที่ หลากหลายเช่นพลังงานจากลม คลื่น แก๊สธรรมชาติ ความร้อนใต้พิภพ
	3. สืบค้นข้อมูล นำเสนอ การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า	1. พลังงานมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและ พัฒนาการทางด้านวิทยาศาสตร์ จึงจำเป็นต้องใช้ พลังงานให้มีประสิทธิภาพที่สุดและมีจิตสำนึกในการ อนุรักษ์พลังงาน 2. วิธีการในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานให้มี ประสิทธิภาพ ยั่งยืนและต่อเนื่อง ประกอบด้วย การกำหนดนโยบายและเป้าหมาย การจัดตั้งองค์กรด้าน การอนุรักษ์พลังงานและกำหนดหน้าที่ความ รับผิดชอบ การวิเคราะห์พลังงานเพื่อหาศักยภาพใน การอนุรักษ์พลังงาน และการหามาตรการการอนุรักษ์ พลังงาน
	4. ศึกษาการใช้งานและ บำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า	1. หลักการใช้งานและบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าแบ่ง ออกเป็น 1.1 ระบบปรับอากาศ 1.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 1.3 อุปกรณ์สำนักงานในอาคาร

สาระ/มาตรฐาน	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้
	5. ศึกษาและคำนวณ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ไฟฟ้า	1. การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 1.1 อัตราค่าไฟฟ้า 1.2 โครงสร้างพื้นฐานในการเก็บและคำนวณหาค่า ไฟฟ้า 1.3 การคำนวณหาค่าไฟฟ้า
	6. จัดทำโครงการ สิ่งประดิษฐ์เพื่อการอนุรักษ์ พลังงานไฟฟ้า	1. นำความรู้ที่ได้รับมาจัดทำเป็นโครงการสิ่งประดิษฐ์เพื่อ การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

คำอธิบายรายวิชา

สาระเพิ่มเติมไฟฟ้าเพื่อชีวิต

ศึกษา วิเคราะห์ ความหมาย ความสำคัญของพลังงาน พลังงานไฟฟ้า การอนุรักษ์พลังงาน หลักการใช้และการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นำเสนอโครงการสิ่งประดิษฐ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสำรวจตรวจสอบ การวิเคราะห์ข้อมูล การสังเกต การสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย การอภิปราย สรุปและนำเสนอข้อมูลความรู้

เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ที่ชัดเจนถูกต้อง สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ มีความสามารถในการตัดสินใจ นำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ตัวชี้วัด

1. สืบค้น อธิบาย ความหมายและความสำคัญของพลังงาน
2. สืบค้น อธิบายเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า
3. สืบค้นข้อมูล นำเสนอการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า
4. ศึกษาการใช้งานและบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า
5. ศึกษาและคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า
6. จัดทำโครงการสิ่งประดิษฐ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

หน่วยการเรียนรู้สาระเพิ่มเติม
รายวิชาไฟฟ้าเพื่อชีวิต
เวลา 40 ชั่วโมง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2

หน่วยการเรียนรู้ที่	ชื่อหน่วย	เวลา (ชั่วโมง)
1	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงาน 1.1 ความหมาย 1.2 ความสำคัญ 1.3 ประเภทของพลังงาน	6
2	พลังงานไฟฟ้า 2.1 แหล่งกำเนิดพลังงาน	4
3	การอนุรักษ์พลังงาน 3.1 จิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงาน 3.2 วิธีดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงาน	4
4	หลักการใช้งานและบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า 4.1 ระบบปรับอากาศ 4.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 4.3 อุปกรณ์สำนักงานในอาคาร	10
5	การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า	6
6	โครงการสิ่งประดิษฐ์	6
	สอบกลางภาค	2
	สอบปลายภาค	2
	รวม	40

แผนการจัดการเรียนรู้

สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 แผนการเรียนรู้ เรื่อง นักวิทยาศาสตร์รุ่นเยาว์
เวลา 3 ชั่วโมง ครูผู้สอน นางศรีกัลยา เกียนน้อย
โรงเรียนบ้านหัวทุ่ง สพท.พย.2 ตำบลทุ่งผาสุข อ.เชียงคำ จ.พะเยา

มาตรฐาน

มาตรฐานการเรียนรู้ ว.1.1 เข้าใจหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของระบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ทำงานสัมพันธ์กัน มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ในการดำรงชีวิตของตนเองและดูแลสิ่งมีชีวิต

มาตรฐานการศึกษา (สพฐ) ที่ 6 ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง รักการเรียนรู้และพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง

สาระสำคัญ

การเรียนรู้ด้วย การทำโครงงานแบบวิจัย การสืบสอบด้วยการค้นพบ เป็นรูปแบบที่ผู้เรียนได้เรียนรู้โดยการปฏิบัติจริง เผชิญเหตุการณ์จริง สร้างสรรค์ผลงานจากกระบวนการคิด การทำงานที่เป็นระบบ สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ใช้กระบวนการวิจัยในแก้ปัญหาค้นหาคำตอบจากการสืบค้นและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตนเอง จะช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาศักยภาพในทุก ๆ ด้าน

จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1 เพื่อให้ผู้เรียนมุ่งศึกษาค้นคว้าหาความรู้จากแหล่งความรู้ที่หลากหลาย ใฝ่รู้ใฝ่เรียน
- 2 เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะการคิดขั้นสูงอย่างเป็นระบบเป็นขั้นตอน และมีทักษะการแก้ปัญหา การแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง
- 3 เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเชื่อมโยงความรู้ ประสบการณ์ ของแต่ละกลุ่มสาระการเรียนรู้ ชีวิตจริง โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบค้น ทดลอง ทำโครงงาน จนสามารถค้นพบความรู้และสรุปองค์ความรู้ด้วยตนเองได้

สาระการเรียนรู้

- 1 ร่างกายมนุษย์
- 2 การดำรงชีวิตของสัตว์
- 3 สิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม

ทักษะกระบวนการ

- 1 กระบวนการทางวิทยาศาสตร์
- 2 การแสวงหาความรู้
- 3 กระบวนการกลุ่ม

คุณลักษณะที่ต้องการเน้น

- 1 ใฝ่รู้
- 2 มีเหตุผล
- 3 ทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

กระบวนการจัดการเรียนรู้

ขั้นนำ

สร้างความคุ้นเคย แลกเปลี่ยนประสบการณ์ พื้นฐานความรู้ สาระการเรียนรู้ เสนอสิ่งที่น่าสนใจ ด้วยเทคนิคการใช้คำถาม ร่วมแสดงความคิดเห็น ให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ

ขั้นกิจกรรม

ขั้น 1 สันทนาการประเด็น

สร้างบรรยากาศการเรียนรู้ สันทนาการ กำหนดคำถาม ระบุประเด็นปัญหา กระตุ้นให้คิดและกำหนดปัญหา หรือครูและผู้เรียนแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ตั้งคำถาม และกำหนดปัญหาร่วมกัน เพื่อเป็นทิศทางของการศึกษาหรือทำโครงการ

ขั้น 2 เป็นนักสืบค้น

ศึกษาค้นคว้า หาข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวกับคำถาม รวบรวมข้อมูล ใช้ข้อมูลพื้นฐานที่ได้เป็นแนวทางเขียนสมมติฐาน

ขั้น 3 เริ่มต้นเขียนสมมติฐาน

ฝึกเขียนสมมติฐาน โดยการคาดคะเนถึงผลที่จะเกิดขึ้นจากการทดลอง

ขั้น 4 ร่วมงานวางแผน

ร่วมกันวางแผน เลือกแนวทางการศึกษา ออกแบบการทดลอง กำหนดตัวแปรและปัจจัยควบคุม เป็นขั้นกำหนดวิธีการ หาคำตอบ โดยผู้เรียนแสวงหาวิธีการหรือทางเลือกในการศึกษาคำตอบหลากหลายวิธี และตัดสินใจเลือกวิธีที่เหมาะสมที่ให้ ได้มาซึ่งคำตอบ วางแผนการศึกษา

ขั้น 5 แม่นในการทดลอง

เตรียมการทดลอง เตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษา โดยมีครูคอยสังเกต ติดตาม ประเมินผลเป็นระยะ และ คอยให้การปรึกษา ให้คำแนะนำ และให้การช่วยเหลือ เมื่อผู้เรียนพบปัญหาอุปสรรคและทดลองตามขั้นตอนที่วางแผนไว้ บันทึก ผลการทดลองอย่างละเอียดและตรงไปตรงมา

ขั้น 6 กลั่นกรองสรุปผล

วิเคราะห์ข้อมูล ผลการทดลอง โดยผู้เรียนจัดกระทำกับข้อมูล วิเคราะห์และแปลความหมายของข้อมูล เพื่อสรุปและประเมินผลการทดลอง ตอบคำถามตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ขั้น 7 ค้นพบแล้วเผยแพร่

ออกแบบ วางแผนทำรายงาน เพื่อนำเสนอผลการทดลอง สิ่งที่ค้นพบ จัดนิทรรศการอย่างภาคภูมิใจ

สื่อและแหล่งเรียนรู้

1. ใบกิจกรรม แบบบันทึกกิจกรรม สมุดบันทึก
2. หุ่นจำลอง ของจริง แหล่งน้ำ ป่าไม้ ชุมชน
3. หนังสือ วารสาร ภาพถ่าย รายการโทรทัศน์ อินเทอร์เน็ต
4. ภูมิปัญญาพื้นบ้าน
5. การจัดนิทรรศการ

การวัดผลและประเมินผล

วิธีการ

1. สังเกต สอบถาม
2. ทดสอบ ตรวจแบบบันทึกกิจกรรม
3. ประเมิน ทักษะ
 - กระบวนการทางวิทยาศาสตร์
 - การแสวงหาความรู้
 - กระบวนการกลุ่ม
4. ประเมินผลงาน โครงงาน การจัดนิทรรศการ
5. ประเมินเจตคติ คุณลักษณะ

เครื่องมือวัดและประเมิน

1. แบบสังเกต
2. แบบตรวจผลงาน
3. แบบทดสอบ
4. แบบประเมินทักษะ
5. แบบประเมินเจตคติ คุณลักษณะ
6. แบบประเมินโครงงาน
7. แบบประเมินการจัดนิทรรศการ

สาระการเรียนรู้กลุ่มไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมด้วยปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน

นางสุธิภา หมิ่นชนะ โรงเรียนการเคหะท่าทราย เขตหลักสี่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

นางสาวบุเรียม พรหมปลัด ครูชำนาญการ โรงเรียนกพรพิชากร อำเภอกงหรา จังหวัดพัทลุง

โครงการเกี่ยวกับพลังงานทดแทน

1. ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่ไม่ใช่วิทยาศาสตร์ ความหมาย ประเภท การจำแนกชนิด และ ประโยชน์ของเชื้อเพลิง พลังงานทดแทนที่เกี่ยวข้อง การผลิตเชื้อเพลิงด้วยภูมิปัญญาชาวบ้าน

ส่วนที่เป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คำอธิบายแต่ละขั้นตอนว่า ประกอบด้วยอะไรบ้าง ปฏิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง คุณสมบัติ การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล

2. อยากให้เรียนรู้อะไร

2.1 วัดจุดประสงค์การเรียนรู้ ให้รู้จักความหมาย ประเภท ชนิด และประโยชน์ของไบโอดีเซล ที่มีความสำคัญต่อชุมชน

2.2 วัดจุดประสงค์การเรียนรู้ กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คุณสมบัติ และการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

3. ช่วงชั้นและสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับกรณีนี้ สาระที่ 3 มาตรฐาน ว 3.2

4. กิจกรรมการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ข้อ

4.1 ค้นหาความรู้จากแหล่งเอกสาร อินเตอร์เน็ต และภูมิปัญญา

4.2 การทดลองผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

- ขั้นตอนการผลิต

- วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เช่น น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว สบู่ดำ ไขมันวัว หรือ วัตถุดิบที่สามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ที่มีอยู่ในท้องถิ่น

- ปฏิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิริยาที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่เหมาะสม

- ปรับเปลี่ยนตัวแปรหาสภาวะที่เหมาะสม เช่น ปริมาณแอลกอฮอล์ ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิริยา อุณหภูมิ ระยะเวลาและการล้างไบโอดีเซล

- ทดสอบคุณสมบัติ และคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล เช่น ความหนาแน่น ค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) pH ปริมาณน้ำและตะกอน จดวามไฟ เป็นต้น

- คำนวณหาร้อยละผลได้ของน้ำมันไบโอดีเซลเทียบกับปริมาณน้ำมันที่ใช้

4.3 อภิปรายและสรุปผล

จากผลการทดลองอภิปรายได้ว่า กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล มีขั้นตอนการผลิตที่สำคัญอะไรบ้าง ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ให้ผลเหมือนกันหรือต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

5. เอกสารชุดการเรียนรู้หรือกิจกรรมการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมด้วยปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน

เอกสารประกอบการสอน
เรื่อง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำ
ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน
นางสาวกาญจนา สมคิด โรงเรียนมกุฏเมืองราชวิทยาลัย
นางสาวพัชรณัฐ กุมภาว โรงเรียนบ้านเขว้าวิทยายน

1. ความสำคัญของไบโอดีเซล พลังงานทดแทน

สถานการณ์พลังงานกำลังได้รับความสนใจในหลายประเทศรวมถึงประเทศไทยด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับน้ำมันเชื้อเพลิง ภาครัฐจึงสนับสนุนการใช้น้ำมันไบโอดีเซลและมีแผนบังคับใช้น้ำมันไบโอดีเซล B5 B10 ในปี 2554 - 2555 ทั้งภาคยานยนต์และการขนส่งทางบก (สถาบันยานยนต์) หลายหน่วยงานเร่งหาแนวทางแก้ปัญหาซึ่งมีอยู่หลายแนวทาง เช่น มาตรการประหยัดพลังงาน การหาพลังงานทดแทน เป็นต้น น้ำมันพืชเป็นอีกแหล่งพลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อพัฒนาให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่อาจนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ เช่น ค่าความร้อน ความหนืด ความหนาแน่น และจุดวาบไฟ เป็นต้น พืชน้ำมันที่สำคัญและมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลตามรายงานสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งปลูกมากเป็น 3 ลำดับแรกในภาคเกษตรกรรม ได้แก่ ปาล์ม มะพร้าว ถั่วเหลือง ตามลำดับ (พิศมัย และลลิตา, 2549) นอกจากน้ำมันพืชจะเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถผลิตขึ้นเองได้ในประเทศและจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนแล้ว น้ำมันพืชยังจัดเป็นพลังงานที่สะอาด เนื่องจากไม่มีกัมมะถันเป็นองค์ประกอบ เมื่อเผาไหม้จึงไม่เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และช่วยควบคุมภาวะโลกร้อน หรือภาวะเรือนกระจกด้วย ดังนั้นการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงจึงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันจากพลังงานฟอสซิล

เหตุการณ์ราคาน้ำมันดีเซลสูงขึ้น สวนทางกับราคาน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์มที่มีราคาต่ำลงมาก ประกอบกับสถานการณ์ปริมาณมะพร้าวล้นตลาดหลายปีมาแล้ว ทำให้ราคามะพร้าวตกต่ำต่อเนื่อง ชาวสวนมะพร้าวไม่เห็นความสำคัญและไม่เอาใจใส่ในการปลูกมะพร้าว ทำให้ผลผลิตต่ำ ประกอบกับการแทนที่ตลาดน้ำมันมะพร้าวด้วยน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นสินค้าทดแทนที่มีราคาถูกกว่าและได้รับการสนับสนุนอย่างจริงจังจากภาครัฐบาล (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2546) ประเทศไทยจึงเริ่มพัฒนาอย่างจริงจังและมีผลงานการวิจัยขบวนการผลิต การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ จนมีข้อมูลมากขึ้น (พิศมัย และลลิตา, 2549) และการใช้น้ำมันพืชของกลุ่มเกษตรกรที่เริ่มมีการเผยแพร่ในวงกว้าง เช่น การเปิดสถานีบริการไบโอดีเซลแห่งแรกของประเทศไทย ที่อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยความพยายามของกลุ่มเกษตรกรชาวสวนมะพร้าวในอำเภอทับสะแก น้ำมันไบโอดีเซลที่นำมาจำหน่าย คือ น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด ที่เรียกว่า โคโคดีเซล และจากการวิเคราะห์ของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย พบว่า มีค่าออกเทน แรงบิด แรงอัดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เครื่องยนต์เดินเรียบ (พนมพร ถนอมทรัพย์) การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงและการปรับสภาพของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบกรอง น้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันมะพร้าว น้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันพืชกากเก็บ เพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล โดยการนำเอาน้ำมันมะพร้าวมาผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเล็กสูบเดียว และทำการทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและน้ำมันมะพร้าวดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ กัน (อนุตร จำลองกุล, 2549) เป็นต้น จากเหตุผลหลายประการดังกล่าว การศึกษาวิจัยน้ำมันมะพร้าวเพื่อนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลจึงควรได้รับการพัฒนาและปรับปรุง

แก้ไขให้คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน เนื่องจากตัวแปรต่าง ๆ มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ซึ่งเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน เช่น ปริมาณกรดไขมันอิสระ ชนิดและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนของเมทานอลและน้ำมัน อุณหภูมิ และระยะเวลา เป็นต้น เพื่อให้ตรงตามมาตรฐานสากลที่ยอมรับกัน เช่น มาตรฐานไบโอดีเซล ASTM D-6751 ในการตรวจสอบไบโอดีเซลชนิด B100 ของสหรัฐอเมริกา มาตรฐานไบโอดีเซลสหภาพยุโรป En 14214 : 2003 ซึ่งกรมธุรกิจพลังงานได้ประกาศกำหนดมาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 (กระทรวงพลังงาน) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาถึงการผลิตน้ำมันมะพร้าวเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

2. เรื่องนํารูเกี่ยวกับน้ำมันมะพร้าว

2.1 น้ำมันมะพร้าว

2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำมันมะพร้าวมีสารที่มีลักษณะเด่น ๆ ดังนี้

2.1.1.1 กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) น้ำมันมะพร้าว ประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัว กว่า 90 % อะตอมของคาร์บอนของกรดไขมันที่อิ่มตัวจะต่อกันเป็นเส้น (chain) โดยมีพันธะเดี่ยว (single bond) จับกันเองเป็นเส้นยาวตามจำนวนของคาร์บอน แต่ละอะตอมของคาร์บอนจะมีไฮโดรเจนติดอยู่ 2 ตัว เนื่องจากแต่ละอะตอมของคาร์บอนไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีกเพราะไม่มีพันธะว่าง จึงเรียกน้ำมันที่มีกรดไขมันประเภทนี้ว่า “น้ำมันอิ่มตัว” กรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันมะพร้าวส่วนใหญ่ มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน 8 – 14 ตัว กรดไขมันที่สำคัญได้แก่ กรด คาปริก (capric acid – C10) กรดลอริก (Lauric acid – C12) และกรดไมริสติก (myristic acid – C14) ทำให้โมเลกุลมีความยาวของเส้น (chain) ขนาดปานกลาง กรดไขมันที่มีปริมาณมากในน้ำมันมะพร้าวคือ กรดลอริก (lauric acid) น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันจากพืชชนิดเดียวในโลกที่มีกรดลอริกอยู่ในปริมาณที่สูงมาก ประมาณ 48 – 53 % และกรดลอริกนี้เองที่ทำให้น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติพิเศษในการเสริมสุขภาพและความงามของมนุษย์น้ำมันมะพร้าวยังมีกรดคาปริก (capric acid) ซึ่งแม้ว่าจะมีน้อยกว่ากรดลอริก คือ มีเพียง 6-7 % แต่ก็ช่วยเสริมประสิทธิภาพของกรดลอริก

2.1.1.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) แต่มีเพียง 9 % ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่มีอะตอมของคาร์บอน 1 ตัว ไม่มีไฮโดรเจน 2 ตัวมาจับ จึงต้องจับคู่กันเองด้วยพันธะคู่ (double bond) จึงเป็น กรดไขมันที่มีพันธะคู่เพียงหนึ่งคู่ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ ส่วนใหญ่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมาก จึงทำให้โมเลกุลมีความยาวมาก เช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic acid – C18)

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ มีทั้งชนิดกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่ม ศึกษาได้จากตารางที่ 1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชบางชนิด

สกัดได้จากเนื้อมะพร้าวห้าวโดยการบีบ หรือใช้ตัวทำละลาย ผ่านความร้อนสูง และขบวนการทางเคมี RBD คือ การนำน้ำมันที่สกัดได้ผ่านขบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Refined) การฟอกสี(Bleached) และกำจัดกลิ่น (Deodorized) ก่อนที่จะนำไปบริโภค น้ำมันชนิดนี้บางครั้งจะถูกกล่าวถึงว่าเป็น “น้ำมันธรรมชาติ” (Natural Coconut Oil) แต่ความจริงเป็นน้ำมันมะพร้าวชนิด RBD (Refined, Bleached, Deodorized) น้ำมันชนิดนี้จะมี ความหนืด และมีสีเหลืองอ่อนไม่มีกลิ่นและรสปร่าจากวิตามินอี (เพราะถูกขจัดออกไปโดยขบวนการทางเคมี) มี ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ไม่เกิน 0.1 % ปัจจุบันไม่ค่อยมีจำหน่าย เพราะโรงงานสกัดน้ำมัน มะพร้าวประเภทนี้ส่วนใหญ่เลิกดำเนินการไปนานแล้ว

ขั้นตอนการผลิตน้ำมันมะพร้าว RBD

1. เนื้อมะพร้าวจะถูกนำมาทำให้แห้ง โดยการตากหรืออบในเตา เพื่อให้ให้น้ำในเนื้อมะพร้าว ลดลง จากประมาณ 50% เหลือ 3.5%
2. จากนั้นเนื้อมะพร้าวแห้ง (Copra) จะถูกบด และนำไปผสมกับน้ำเดือด ก่อนที่จะผ่านต่อไปยัง เครื่องนวด เพื่อคั้นน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด
3. หลังจากแยกกากออก ส่วนผสมที่ได้จะถูกเคี่ยวช้า ๆ ด้วยความร้อนต่ำ เป็นเวลานานเพื่อให้ น้ำระเหยออกไป จนเหลือแต่น้ำมัน (หมายเหตุ: ผู้ผลิตบางรายอาจใช้วิธีต้ม Copra ที่บดแล้ว และบางรายอาจ ใช้สารละลาย เพื่อช่วยให้สกัดน้ำมันได้มากขึ้น เศษกากมะพร้าวที่เหลือมีโปรตีนสูง และมักใช้เป็นอาหารสัตว์)

น้ำมันที่ได้จะต้องผ่านขบวนการกรอง เพื่อแยกสิ่งแปลกปลอมออกแล้วนำไปต้มเป็นเวลา หลายชั่วโมง เพื่อขจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์

4. การฟอกสีและการกรองอีกครั้งจะทำให้ได้น้ำมันมะพร้าวที่ไม่มีสี และปราศจากกลิ่นหรือแม้แต่ว่า รสชาติ ผู้ผลิตส่วนมากจะเติมสี เพราะเกรงว่าน้ำมันใสๆจะไม่ถูกใจผู้บริโภค

2.1.2.2 น้ำมันมะพร้าวบีบเย็น (cold-pressed coconut oil) เป็นน้ำมันมะพร้าวอีกชนิดหนึ่ง รู้จักกันในชื่อ “น้ำมันมะพร้าวเวอร์จิน” (Virgin Coconut Oil) หรือน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ซึ่งมี 6 ารผลิตที่ พิถีพิถันมาก ที่เรียกว่า Cold Process หรือ Cold Pressed เพราะไม่มีการใช้ความร้อนเลย ทำ น้ำมันที่มี คุณภาพพิเศษ ที่มีกลิ่นหอม สีใสเหมือนน้ำ รสชาติดี อุดมด้วยวิตามิน E และสาร Antioxidants และได้รับการ กล่าวขวัญว่ามีประโยชน์มากมายต่อสุขภาพ ผลิตจากเนื้อมะพร้าวสดเป็นน้ำมันมะพร้าวที่บริสุทธิ์ที่สุด มีค่า peroxide และกรดไขมันอิสระต่ำมีกลิ่นมะพร้าวอย่างอ่อน ๆ ถึงแรง (ขึ้นอยู่กับขบวนการการผลิต) มีความชื้นไม่ เกิน 0.1 % เรียกน้ำมันมะพร้าวชนิดนี้ว่า น้ำมันมะพร้าวพรหมจรรย์ (Virgin Coconut Oil) เป็นน้ำมันที่ผลิตโดย อุตสาหกรรมขนาดเล็ก หรือในครัวเรือน

ขั้นตอนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil)

ในขบวนการผลิตจะใช้ระบบ Cold Press ซึ่งจะไม่มีการใช้ความร้อนใดๆทั้งสิ้น งานส่วนใหญ่จะ ทำด้วยมือ

1. โดยเริ่มจากการคัดเฉพาะมะพร้าวคุณภาพดี จากนั้นนำเนื้อมะพร้าวสดไป “ชูด” หรือ “บด” โดยใช้เครื่องชูด/บดมะพร้าว
2. เนื้อมะพร้าวที่ชูดแล้ว จะถูกนำไปใส่ถุงตาข่ายพิเศษ และคั้นน้ำกะทิออกด้วยมือหรือเครื่องอัด แบบใช้มือ (Manual Press)
3. น้ำกะทิที่ได้จะถูกนำไปผสมกับน้ำมะพร้าวและปล่อยทิ้งไว้ให้แยกตัว(Culturing) ซึ่งใช้เวลาไม่ เกิน 20 ชั่วโมง ส่วนผสมจะแยกตัวออกเป็น 3 ชั้น ชั้นบนจะเป็นส่วนของโปรตีน ชั้นกลางจะเป็นน้ำมันมะพร้าว

และชั้นล่างสุดจะเป็นน้ำ น้ำมันที่ได้จะถูกแยกออกมา กรอง และแยกส่วนน้ำทิ้งไป แล้วปล่อยให้แยกตัว (Resting)

4. ขบวนการที่ปล่อยน้ำมันทิ้งไว้ (Resting) ตามด้วยการแยกตัวและแยกน้ำออก (Decanting) และกรอง (Filtering) เรียกว่า “Curing” หรือ การบ่ม

5. น้ำมันมะพร้าวจะถูกแยกตัว และกรองครั้งสุดท้าย หลังสิ้นสุด 3 สัปดาห์ น้ำมันที่ได้จะเป็น น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ Virgin Coconut Oil ซึ่งจะมีคุณสมบัติพิเศษคือ นอกจากจะใสบริสุทธิ์แล้ว ยังมีกลิ่นหอม และรสชาติของมะพร้าวอ่อนๆ อีกด้วย สามารถเก็บไว้ได้นานเป็นปีโดยไม่ต้องใส่ตู้เย็น และปราศจากกลิ่นหืนใดๆทั้งสิ้น ทั้งนี้เป็นเพราะสาเหตุอันเนื่องมาจากสาร Tocopherol ในน้ำมันไม่ถูกทำลายลงด้วยขบวนการใช้ความร้อน ซึ่งสารตัวนี้ทำหน้าที่เสมือนสารกันบูด โดยธรรมชาติ น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin) จะแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส

3. กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การผลิตเมทิลเอสเทอร์

เมทิลเอสเทอร์ คือ ผลผลิตที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับ แอลกอฮอล์ชนิดเมทานอล เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ให้มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับ โครงสร้างของน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม เมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) เป็นเอสเทอร์ที่นิยมสังเคราะห์กันมากที่สุดเนื่องจาก เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่มีราคาถูก หาง่าย เป็นแอลกอฮอล์ที่มีโซ่สั้นที่สุด มีหัวซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ NaOH และ KOH (นิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) ยังสามารถละลายง่ายในเมทานอลด้วย

การผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่กระบวนการนี้ไม่สามารถใช้ผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ ถ้าน้ำมันเริ่มต้นมีค่ากรดไขมันอิสระสูง เนื่องจากจะมีสบู่เกิดขึ้น โดยสบู่จะไปรบกวนการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอริน ดังนั้นน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูงต้องลดค่ากรดไขมันอิสระให้มีค่าต่ำกว่า 3 กรัมโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อน ด้วยกระบวนการสะaponิฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และน้ำ ในการทำปฏิกิริยาลดกรดไขมันอิสระ

การผลิตเมทิลเอสเทอร์ในครั้งนี้อยู่เกี่ยวข้องกับทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification)

3.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันหรือไขมันพืชให้เป็น mono alkyl ester โดยการทำปฏิกิริยากับ แอลกอฮอล์ และมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปจะช่วยให้สมดุลเลื่อนไปทางด้านผลิตภัณฑ์มากขึ้น

รุนแรงที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ผสมสารในการผลิตเมทิลเอสเทอร์อยู่ในช่วงระหว่าง 150-600 รอบต่อนาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของถังปฏิกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้

9

4. การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

การศึกษาค้างนี้มุ่งหวังที่จะผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำ โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในการผลิตเมทิลเอสเทอร์

4.1 วัตถุดิบและสารเคมี

4.1.1 น้ำมันมะพร้าว

4.1.2 เมทานอลความเข้มข้น 99 % (Methanol)

4.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH (Sodium Hydroxide)

4.1.4 ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ (Phenolphthalien Indicator)

4.1.5 ไอโซโพรพานอล (Iso-propanol)

4.1.6 น้ำ

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 ชุดเครื่องแก้วพื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง ปิเปต บิวเรต ขวดรูปชมพู่ กรวยแยก เป็นต้น

4.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ยี่ห้อ SHIMADZU LIBROR EB -3200H พิกัด 3,120 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม ใช้สำหรับชั่งสารเคมี

4.2.3 Hotplate Stirrer ยี่ห้อ CORNING ใช้สำหรับให้ความร้อนและกวนสาร

4.2.4 เทอร์โมมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิชนิด K-type thermocouple : -200 °C ถึง 1370 °C ยี่ห้อ FLUKE NO 5111 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

4.2.5 ขวดวัดหนาแน่น ใช้สำหรับหาความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์ เทียบกับค่าความหนาแน่นมาตรฐานของเมทิลเอสเทอร์ ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

4.3 วิธีการทดลอง

การศึกษาระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเค มีขั้นตอนดังนี้

1. วิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันมะพร้าวอุ่นน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ปิเปตน้ำมันมะพร้าว ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ซึ่งน้ำหนักของน้ำมันมะพร้าวผสมไอโซโพรพานอลปริมาตร 1 เท่าของน้ำมันมะพร้าวเติมฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ ลงไปในสารละลาย จำนวน 3 หยดนำสารละลายไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 M เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) ตรวจสอบซ้ำอีก 2 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

คำนวณหาค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันมะพร้าว จากสูตร

$$\text{กรดไขมันอิสระ} = \frac{\text{ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH} \times A}{\text{น้ำหนักของน้ำมันมะพร้าว}}$$

เมื่อ A = มวลโมเลกุลของกรดไขมันอิสระสำหรับน้ำมันมะพร้าว เท่ากับ 217.18×0.1
 $= 21.718$ กรัมต่อโมล

2. การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำ ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยศึกษาปริมาณเมทานอลที่ใช้เป็น 20% 22% และ 24% โดยปริมาณน้ำมันมะพร้าว ให้ความร้อนและกวนน้ำมัน ด้วย Hotplate Stirrer มีวิธีการผลิตดังนี้

- ให้ความร้อนด้วยการอุ่นและกวนน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 3 กรัมโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณน้ำมัน 1 ลิตร จำนวน 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ Hotplate Stirrer ที่อุณหภูมิคงที่ 60°C
- เตรียมสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.35% โดยน้ำหนักปริมาตรน้ำมันมะพร้าว ละลายในเมทานอลอัตราส่วน 20%, 22% และ 24% โดยน้ำหนักปริมาตรน้ำมันมะพร้าว
- เติมน้ำตาลละลายเมทอกไซด์ลงไป กวนตลอดเวลา ด้วย Hotplate Stirrer เก็บตัวอย่างทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 90 นาที ตั้งทิ้งไว้จนแยกชั้นสมบูรณ์ ถ่ายกลีเซอริน ออก
- เทส่วนที่เป็นน้ำมันไบโอดีเซลลงในกรวยแยก ล้างด้วยน้ำอุ่น ประมาณ 3 – 4 ครั้ง จนแน่ใจว่าน้ำมันไบโอดีเซลสะอาด จึงล้างด้วยวิธีการบับเบิล (กวนผสมด้วยการปล่อยฟองอากาศ) จนชั้นน้ำใส ประมาณ 5 – 10 นาที
- นำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการล้างแล้วมาให้ความร้อนเพื่อไล่น้ำออกที่อุณหภูมิ $60-80^{\circ}\text{C}$ ประมาณ 30 นาที
- ทำการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยทำตามขั้นตอนข้อ 2.1 - 2.5 แต่เปลี่ยนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็น 0.40% และ 0.45% โดยน้ำหนักปริมาตรน้ำมันมะพร้าว
- บันทึกผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง
- วัดความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซล

3. เปรียบเทียบความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

4. ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณน้ำมันมะพร้าว 250 มิลลิลิตร คำนวณหาร้อยละผลได้ของไบโอดีเซล และวัดความหนาแน่น

5. คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์

ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของ
กรดไขมัน พ.ศ. 2550 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน
พ.ศ. 2550

รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน
เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน
พ.ศ. 2550

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ ¹
1	เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (% wt.)	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C (Density at 15 °C,	กิโลกรัมลูกบาศก์เมตร (kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (Viscosity at 40 °C,	เซนติสโตกส์ (cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดความไฟ (Flash Point,	องศาเซลเซียส (°C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5	กำมะถัน (Sulphur,	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6	คาร์บอน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue , on 10 % distillation residue,	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)		ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash,	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำ (Water,	ร้อยละโดยน้ำหนัก (wt.)	ไม่สูงกว่า	0.050	EN ISO 12937
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total Contaminate,	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0024	EN 12662
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)		ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (Oxidation Stability at 100 °C,	ชั่วโมง (hours)	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112

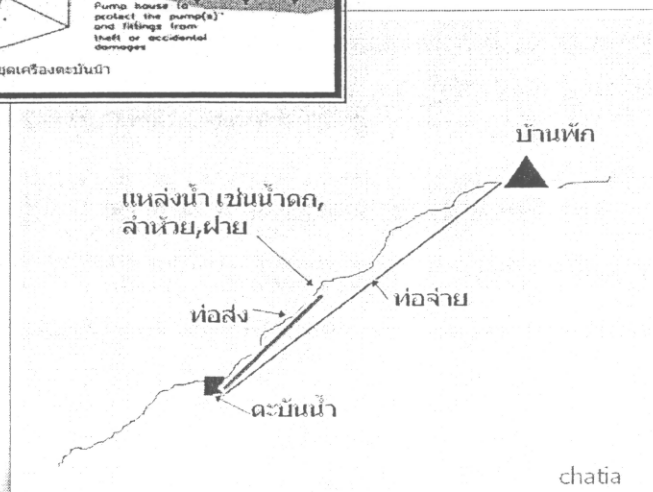
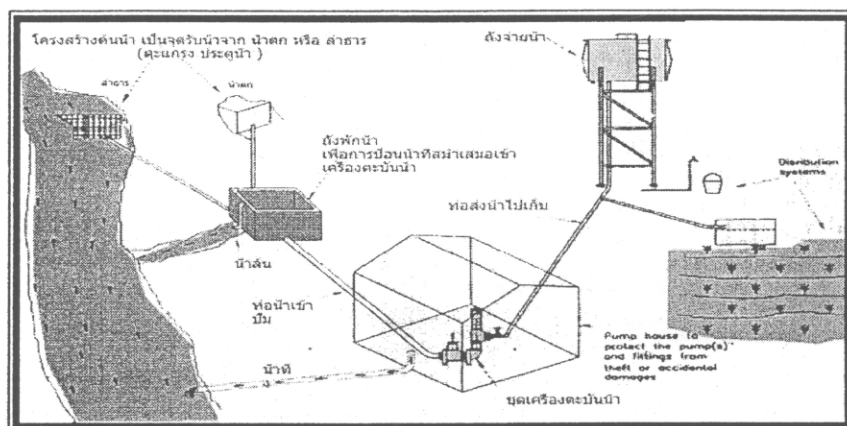
สาระการเรียนรู้ เรื่องปั๊มไฮดรอลิกแรม (Pump Hydraulic Ram)
 จัดทำโดย ยุพภรณ์ มุกดา โรงเรียนวัดปลุกศรัทธา
 สำนักงานเขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

สาระการเรียนรู้ เรื่อง ปั๊มไฮดรอลิก แรม

ตะบันน้ำ (Hydraulic Ram Pump) ปั๊มน้ำที่ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า

Hydraulic Ram Pump เป็นปั๊มน้ำที่ราคาไม่แพง สร้างและติดตั้งง่ายสามารถทำได้เอง ไม่ต้องการเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าในการทำงาน ต้องการการซ่อมบำรุงเพียงเล็กน้อย มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวน้อย ไม่สร้างมลภาวะและทำงานตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน จากข้อดีดังกล่าวมาข้างต้น บทความนี้จึงมีความประสงค์จะนำเสนอข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับ Hydraulic Ram Pump ในด้านของประวัติความเป็นมา หลักการทำงาน การคำนวณหาประสิทธิภาพ และคำแนะนำ Hydraulic Ram Pump ไปประยุกต์ใช้งาน ให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานตามที่ต้องการ ตะบันน้ำนี้มีประโยชน์มากต่อชาวสวน ชาวบ้านที่ขาดแคลนน้ำหรืออยู่ห่างไกลแหล่งน้ำ โดยไม่ต้องพึ่งพิงเครื่องสูบน้ำ และเราสามารถทำได้เอง ในราคาที่ไมแพง น้ำจะไหลตลอดเวลา

ภาพตัวอย่างการใช้งานเครื่องไฮดรอลิกแรมปั๊ม (เครื่องตะบันน้ำ) ในเขตที่มีแม่น้ำหรือน้ำที่มีการไหลตลอดเวลา



ความเป็นมาของปั๊ม

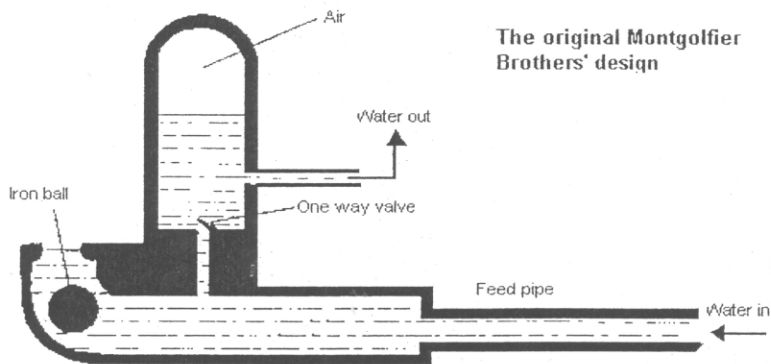
Hydraulic Ram Pump มีชื่อเรียกอื่นๆ อีก เช่น เครื่องตะบันน้ำ ซึ่งเป็นปั๊มน้ำที่ทำงานได้โดยอาศัยกำลังงานจากการไหลของน้ำ ปั๊มชนิดนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีการไหลด้วยอัตราการไหลสูง แต่ความดันต่ำและจะปั๊มน้ำบางส่วน (อัตราการไหลต่ำ) ให้ขึ้นไปยังที่สูง ๆ ได้

ในปี ค.ศ. 1772 ชาวอังกฤษชื่อ John Whitehurst ได้ชื่อว่าเป็นผู้ประดิษฐ์คิดค้นปั๊มน้ำชนิดที่ไม่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง (non-self-acting ram pump) แต่ต่อมาในปี ค.ศ. 1793 พี่น้อง Montgolfier ชาวฝรั่งเศส ได้เพิ่มวาล์วให้กับปั๊มน้ำทำให้ปั๊มสามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง (self-acting ram pump) นั่นคือทำให้ปั๊มน้ำชนิดนี้เป็นเครื่องจักรที่ทำงานได้นิรันดร์ ตราบเท่าที่มีแหล่งน้ำสำหรับจ่ายให้กับปั๊มอย่างสม่ำเสมอ (เป็นการเปรียบเทียบ)

ก่อนปี ค.ศ. 1840 Hydraulic Ram Pump ที่ใช้งานในสหรัฐเป็นการนำเข้ามาจากทวีปยุโรป ต่อมาในปี ค.ศ. 1843 H.H. Strawbrigde แห่ง Louisiana เป็นผู้ที่ได้เริ่มจำหน่ายปั๊มที่ผลิตขึ้นเองในสหรัฐ แต่ในตอนแรกปั๊มยังทำด้วยไม้ซึ่งก่อให้เกิดปัญหา คือ การระเบิดเนื่องจากการทำงานของปั๊มน้ำชนิดนี้จะเกี่ยวข้องกับความดันก่อนที่ข้างสูง จึงทำให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนต่อมาได้มีการผลิตปั๊มน้ำที่ทำขึ้นมาจากเหล็กหล่อ

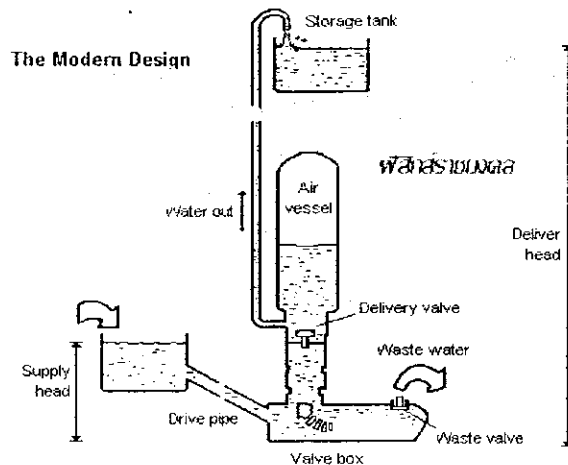
การออกแบบในยุคแรก

ปั๊มน้ำชนิดนี้ในตอนแรกเริ่มมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2 จะมีท่อส่งน้ำต่อกับท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าซึ่งจะเป็นบริเวณที่ใช้สำหรับสร้างความดันที่ปลายของท่อ เจาะช่องบางส่วนสามารถให้น้ำไหลทิ้งออกไปได้ ในท่อขนาดใหญ่กว่านี้บรรจุด้วยลูกบอลเหล็ก 1 ลูก ซึ่งจะต้องมีขนาดที่พอดีกับช่องเจาะสำหรับปล่อยน้ำทิ้งที่ปลายท่อ ลูกบอลเหล็กจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามจังหวะการทำงานของปั๊มน้ำ



รูปที่ 2 Hydraulic Ram Pump ของ Montagolfier

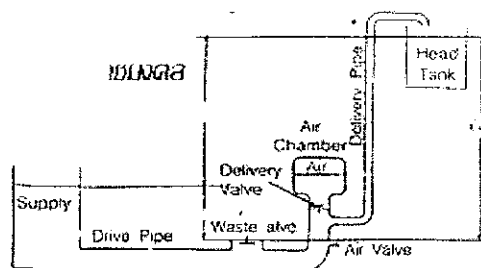
การออกแบบในยุคใหม่ Hydraulic Ram Pump ในปัจจุบันมีความแตกต่างกับเมื่อครั้งเริ่มประดิษฐ์คิดค้น โดย Montagolfier คือ จะแทนที่ลูกบอลเหล็กด้วยวาล์วดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะปั๊มที่มีการใช้งานในปัจจุบันหลักการทำงาน

หลักการทำงาน

ดังในรูปที่ 4 ด้านล่างเป็นลักษณะการติดตั้งและส่วนประกอบที่สำคัญของ Hydraulic Ram Pump

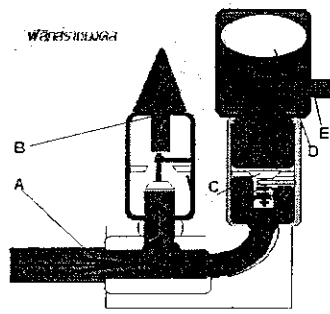


รูปที่ 4 การติดตั้งและส่วนประกอบสำคัญของ Hydraulic Ram Pump

Hydraulic Ram Pump เป็นปั๊มที่ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ เพียงแต่ในตอนเริ่มต้นจะต้องกระตุ้นให้ Waste Valve ทำงานเสียก่อน การทำงานของปั๊มน้ำอาศัยปรากฏการณ์อย่างหนึ่งที่เรียกว่า Water Hammer ในการทำให้เกิดการส่งน้ำขึ้นไปตามท่อส่งสูงถึงเก็บตามที่ต้องการได้

การทำงานจะเริ่มจากน้ำจากแหล่งจ่ายซึ่งอาจเป็นลำธารน้ำ น้ำตก ไหลเข้ามาทางท่อด้านเข้า ในตอนเริ่มต้นวาล์วน้ำล้น (Waste Valve) เปิด และวาล์วส่ง (Delivery Valve) ปิดทำให้น้ำที่ไหลเข้ามาไหลออกทางวาล์วน้ำล้น การเริ่มต้นทำงานของปั๊มจะเริ่มจากการที่เราต้องกระตุ้นวาล์วน้ำล้นให้เกิดการปิดเปิดเป็นจังหวะ หลังจากนั้นปั๊มน้ำจะเริ่มทำงานได้ด้วยตัวเองไปเรื่อย ๆ โดยลำดับขั้นตอนการทำงานของปั๊มน้ำ ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

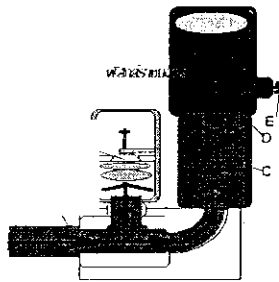
ขั้นตอนการทำงานขั้นตอนที่ 1



รูปที่ 5

น้ำที่ไหลจากแหล่งจ่ายไหลเข้ามาทางท่อ (drive pipe) เข้าสู่ ram pump ผ่านจุด A และไหลออกทางวาล์วน้ำขึ้น B ในขณะที่เช็ควาล์วที่จุด C ยังคงปิดอยู่ด้วยความดันของน้ำที่ยังคงเหลือค้างอยู่ในถัง D อากาศในถังยังไม่ถูกอัด และน้ำยังไม่มีการไหลออกจากถังผ่านท่อส่ง E

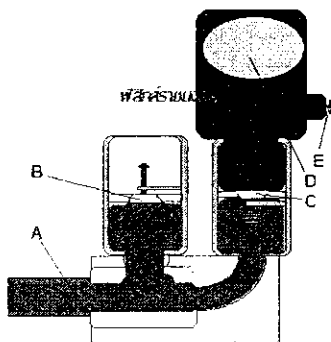
ขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 6

น้ำไหลเข้า ram pump โดยผ่านจุด A เมื่อความเร็วของน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งสามารถปิดวาล์วน้ำ B อย่างทันทีทันใด ทำให้น้ำบริเวณดังกล่าวเกิดความดันขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว (ปรากฏการณ์ Water Hammer) เกิดแรงดันทำให้เช็ควาล์ว C เปิด ยอมให้น้ำบางส่วนไหลเข้าไปสู่ถัง D อากาศที่อยู่ภายในถัง D เกิดการอัดตัวและดันให้น้ำไหลออกจากถัง D สู่ออกส่ง E

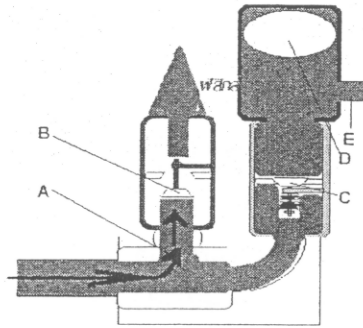
ขั้นตอนที่ 3



รูปที่ 7

ในช่วงระยะภายหลังการทำงานในขั้นตอนที่ 2 จะยังคงมีน้ำไหลออกจากท่อส่งอันเนื่องมาจากการขยายตัวของอากาศภายในถึง D วาล์วน้ำล้น B และเช็ควาล์ว C ปิด

ขั้นตอนที่ 4



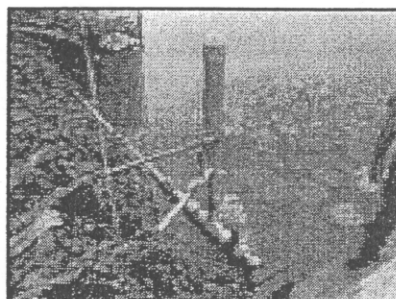
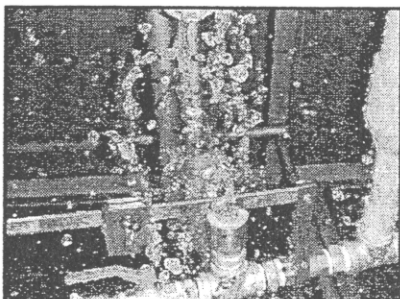
รูปที่ 8

เมื่อความดันน้ำภายในบริเวณ A ลดต่ำลง วาล์วน้ำล้น B จะตกลงมาด้วยน้ำหนักของตัวเอง (หรืออาจจะใช้สปริงเสริมด้านบนเพื่อเพิ่มแรงดันให้วาล์วน้ำล้นเปิดตัวเองได้เร็วขึ้น) น้ำที่ไหลเข้ามาจะค่อย ๆ ไหลออกจากวาล์วน้ำล้น B ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งความเร็วในการไหลของน้ำมากพอที่จะปิดวาล์วน้ำล้นก็จะเกิดปรากฏการณ์ Water Hammer ทำให้น้ำมีความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเริ่มทำงานวนรอบวัฏจักรเดิม โดยจะเริ่มวัฏจักรใหม่ทุก ๆ ประมาณ 2 วินาที

จากสมการ

$$\eta = \frac{qh}{QH}$$

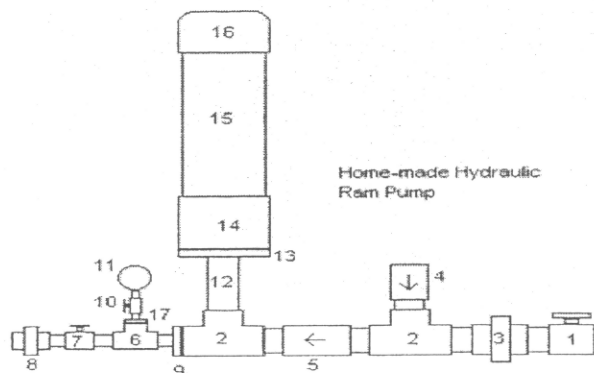
- q = อัตราการไหลของน้ำที่สามารถส่งได้
 h = ระดับความสูงของน้ำที่ปั๊มสามารถส่งได้
 Q = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าปั๊ม
 H = ระดับความสูงของน้ำที่ส่งเข้าปั๊ม
 η = ประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรม



ภาพการทำงานของเครื่องตะบันน้ำแบบจำลองและ แบบติดตั้งในแม่น้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

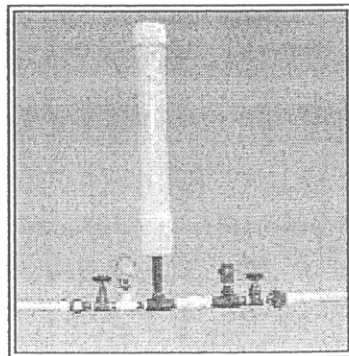
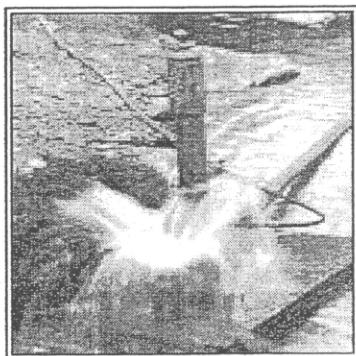
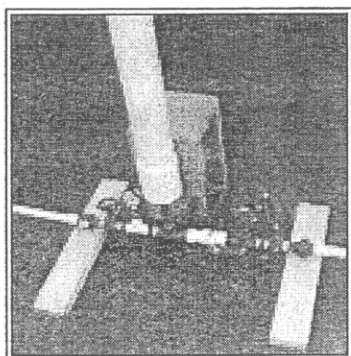
ส่วนประกอบ



- | | |
|--|--|
| 1. 1-1/4" valve | 2. 1-1/4" tee (สามทาง) |
| 3. 1-1/4" union | 4. 1-1/4" brass swing check valve (เชควาล์ว แบบบานพับ) |
| 5. 1-1/4" spring check valve (เชควาล์ว แบบมีสปริง) | |
| 6. 3/4" tee (สามทาง) | 7. 3/4" valve |
| 8. 3/4" union | 9. 1-1/4" x 3/4" bushing (ท่อลด) |
| 10. 1/4" pipe cock (วาล์ว) | 11. 100 psi gauge (เกจ์ความดัน) |
| 12. 1-1/4" x 6" nipple (ท่อตรง) | 13. 4" x 1-1/4" bushing (ท่อลด) |
| 14. 4" coupling (ข้อต่อตรง) | 15. 4" x 24" PR160 PVC pipe (ท่อPVC ทนความดัน 160 psi) |
| 16. 4" PVC glue cap 8 3/4" union (ฝาปิด) | 17. 3/4" x 1/4" bushing (ท่อลด) |

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาระบบการทำงานของปั๊มไฮดรอลิคแรม ได้ออกแบบจำลองชุดทดลองขึ้นอธิบายลักษณะของปั๊มเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องไฮดรอลิคแรมที่ระดับความสูงของน้ำที่เข้าสู่ปั๊ม ระยะ 2 เมตร และ 3 เมตร

ตัวอย่างรูปภาพเครื่องตะบันน้ำ



พลังงาน คือ ความสามารถในการทำงาน เราใช้พลังงานในการทำกิจกรรมหรือทำงานต่างๆ เช่น เดิน หายใจ การเจริญเติบโต เพาะปลูก เป็นต้น พลังงานให้แสงสว่างกับบ้านเรือนหรือที่อยู่อาศัยของเรา พลังงานให้กำลังแก่ยานพาหนะต่างๆ เช่น รถยนต์ รถไฟ จรวด เครื่องบิน เป็นต้น พลังงานทำให้บ้านที่อยู่อาศัย อาคาร สำนักงานต่างๆ ของเราเย็นสบาย ทำให้เกิดรูปภาพในโทรทัศน์มากมาย นอกจากนี้ยังให้กำลังแก่เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมได้ด้วย ดังนั้นถ้าปราศจากพลังงานจะไม่มีสิ่งใดทำงานได้ สัตว์และพืชก็จะตาย เครื่องจักรและสิ่งต่างๆ ก็จะไม่สามารถทำงานได้ ในสภาพความเป็นจริงหากโลกของเราปราศจากพลังงานก็จะมีสิ่งมีชีวิต เพราะทุกๆ ชีวิตต้องการพลังงาน

พลังงานน้ำ เป็นรูปแบบหนึ่งการสร้างกำลังโดยการอาศัยพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ ปัจจุบันนี้พลังงานน้ำส่วนมากจะถูกใช้เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้แล้วพลังงานน้ำยังถูกนำไปใช้ในการชลประทาน การสี การทอผ้า และใช้ในโรงเลื่อย พลังงานของมวลน้ำที่เคลื่อนที่ได้ถูกมนุษย์นำมาใช้มานานแล้วนับศตวรรษ โดยได้มีการสร้างกังหันน้ำ (Water Wheel) เพื่อใช้ในการงานต่างๆ ในอินเดีย และชาวโรมันก็ได้มีการประยุกต์ใช้เพื่อใช้ในการไม่แบ่งจากเมล็ดพืชต่างๆ ส่วนผู้คนในจีนและตะวันออกไกลก็ได้มีการใช้พลังงานน้ำเพื่อสร้าง Pot Wheel เพื่อใช้ในวิดน้ำเพื่อการชลประทาน โดยในช่วงทศวรรษ 1830 ซึ่งเป็นยุคที่การสร้างคลองเพื่อส่งน้ำถึงขีดสุด ก็ได้มีการประยุกต์เอาพลังงานน้ำมาใช้เพื่อขับเคลื่อนเรือขึ้นและลงจากเขา โดยอาศัยรางรถไฟที่ลาดเอียง (Inclined Plane Railroad : Funicular) โดยตัวอย่างของการประยุกต์ใช้แบบนี้ อยู่ที่คลอง Tyrone ในไอร์แลนด์เหนือ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการประยุกต์ใช้พลังงานน้ำในยุคแรกนั้นเป็นการส่งต่อพลังงานโดยตรง (Direct Mechanical Power Transmission) ทำให้การใช้พลังงานน้ำในยุคนี้ต้องอยู่ใกล้แหล่งพลังงาน เช่น น้ำตก เป็นต้น ปัจจุบันนี้พลังงานน้ำได้ถูกใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้า ทำให้สามารถส่งต่อพลังงานไปใช้ในที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำได้

ประเภทของพลังงานน้ำ

ปัจจุบันนี้ พลังงานน้ำได้ถูกนำไปใช้ในหลายรูปแบบด้วยกัน

กังหันน้ำ (Waterwheel) เป็นรูปแบบการใช้พลังงานน้ำที่เก่าแก่ที่สุด

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ (Hydroelectric Energy) โดยมากแล้วจะได้พลังงานประเภทนี้จากเขื่อน หรือกังหันน้ำขนาดเล็กตามกระแสน้ำเชี่ยวต่างๆ Tidal Power Tidal Stream Power พลังงานคลื่น (Wave Power)

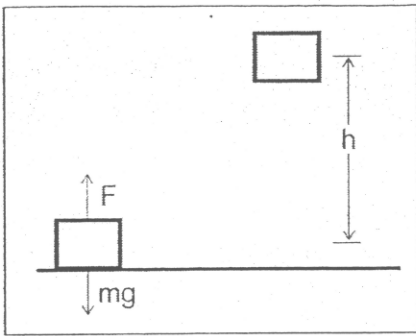
พลังงานศักย์

พลังงานศักย์เป็นพลังงานของวัตถุเนื่องจากตำแหน่งในสนามของแรง เนื่องจากต้องทำงานจากตำแหน่งหนึ่งพลังงานศักย์เป็นพลังงานที่จัดเป็นพลังงานที่สะสมไว้ มี 2 ชนิด คือ พลังงานศักย์เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และพลังงานศักย์ที่ได้จากวัตถุที่ยืดหยุ่น

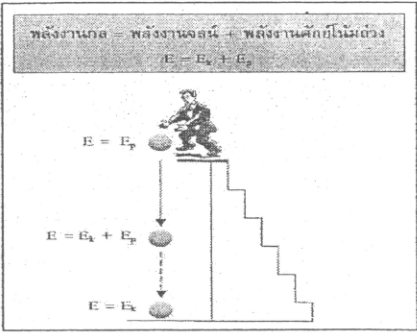
พลังงานศักย์โน้มถ่วง

พลังงานศักย์ที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง หากวัตถุอยู่บริเวณพื้นผิวโลกที่มีแรงดึงดูดของโลก หรือสนามความโน้มถ่วงของโลก พลังงานศักย์ที่อยู่ที่สูงขึ้นซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุ

ถ้าเรายกวัตถุมวล m ให้สูงขึ้นในแนวตั้งจากพื้นดินเป็นระยะ h โดยที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว แล้วเราจะต้องออกแรง F ขนาดหนึ่งที่มีขนาดเท่ากับขนาดของน้ำหนักของวัตถุ mg จึงจะสามารถยกวัตถุขึ้นได้ตามต้องการ



พลังงานศักย์



พลังงานศักย์โน้มถ่วง

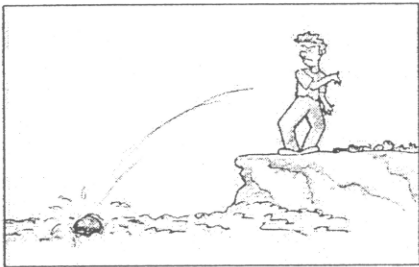
พลังงานจลน์ คือพลังงานที่มีอยู่ในวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น รถยนต์กำลังแล่น เครื่องบินกำลังบิน พัดลมกำลังหมุน น้ำกำลังไหลหรือน้ำตกจากหน้าผา จึงกล่าวได้ว่า "วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ล้วนมีพลังงานจลน์ทั้งสิ้น ปริมาณพลังงานจลน์ในวัตถุจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมวลและความเร็วของวัตถุนั้น"

[แก้] การหาค่าพลังงานจลน์ สามารถหาค่าได้จากสูตรต่อไปนี้

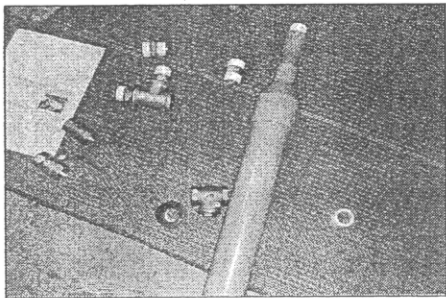
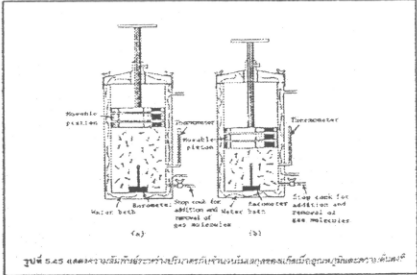
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

เมื่อ

- E_k = พลังงานจลน์ มีหน่วยเป็นจูล (J)
- m = มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)
- v = อัตราเร็วของวัตถุ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)



การสร้างเครื่องไฮดรอลิกแรม
อุปกรณ์แต่ละอย่าง



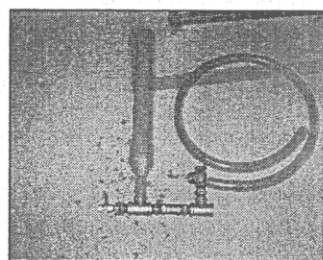
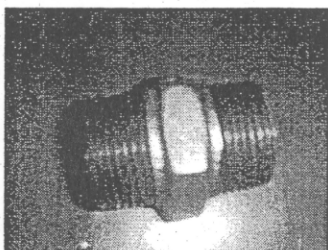
ท่อ พี วี ซี



ฟุตวาล์ว หรือเช็ควาล์ว ,สามทางข้อต่อตรงเกลียวนอก



เช็ควาล์ว ,สามทาง



แบบสำเร็จชุดเครื่องตะบันน้ำ



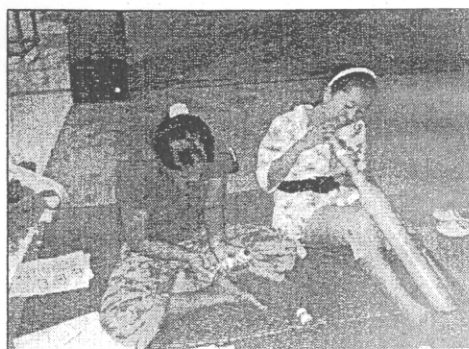
ครูช่างแนะนำการใช้อุปกรณ์

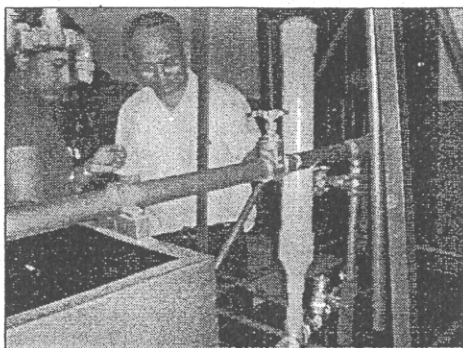


ครูช่าง ช่วยแนะนำวิธีประกอบ

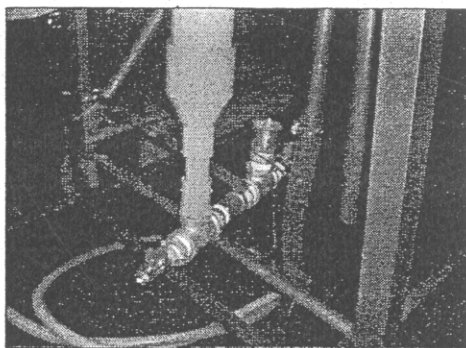


อาจารย์ที่ปรึกษา ช่วยแนะนำในการทำไฮโดรลิคแรมร่วมด้วยช่วยกัน

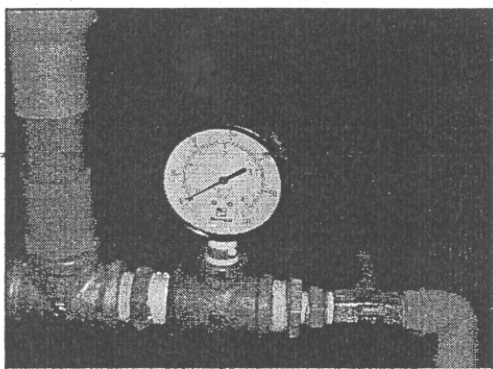




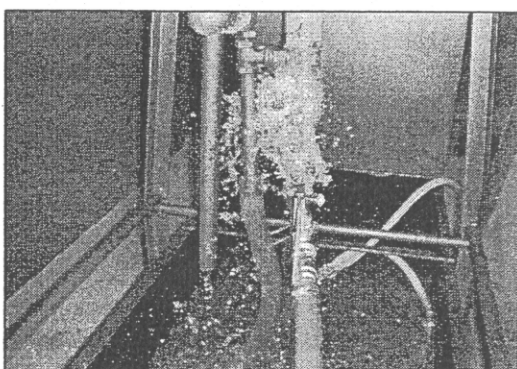
ติดตั้งอุปกรณ์



สำเร็จแล้วจะรอทดสอบ

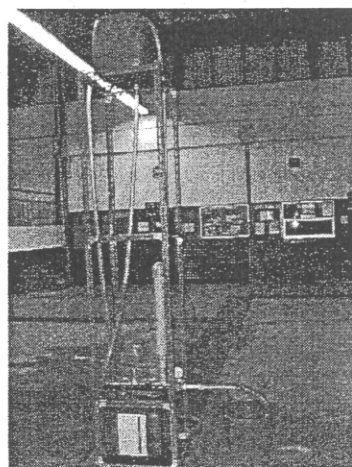
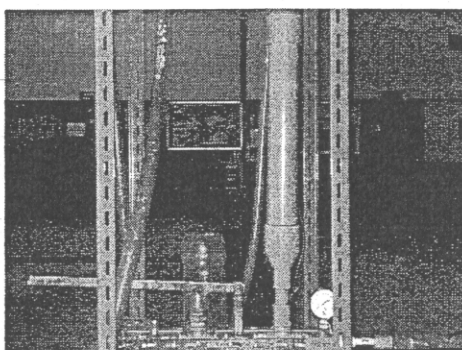
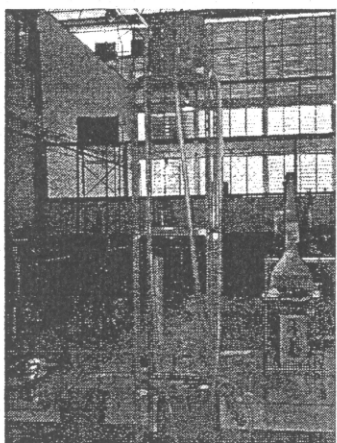


เกิดวัดความดัน



เครื่องทำงาน

ภาพความสำเร็จ



ชุดจำลองไฮดรอลิคแรม

ข้อดีของเครื่องตะบันน้ำ

1. ไม่ต้องการพลังงานจากภายนอก ทำงาน 24 ชม./วัน ไม่กินไฟฟ้า หรือน้ำมัน กินแต่น้ำ
2. มีโครงร่างที่ไม่ซับซ้อน คือมีส่วนเคลื่อนไหวเพียง 2 ส่วน (วาล์ว 2 ตัว) เท่านั้นเอง

เอกสารประกอบการเรียนการสอน เรื่องก๊าซชีวมูล

จัดทำโดย

นายณัฐ วงศ์พล โรงเรียนห้วยห้าง

นางอุไร สายวาริ โรงเรียนตันหยงมัส

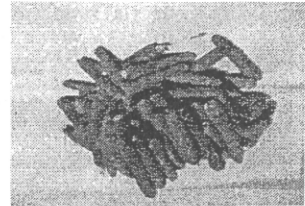
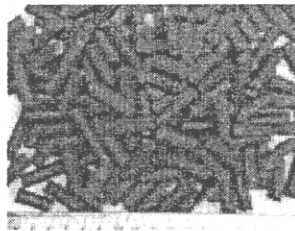
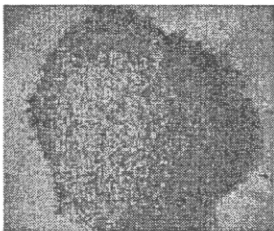
นางสาวพิกุล เอกวงศ์ษา โรงเรียนภูพานวิทยา

นางสาวฮามิตะ มูเก็ม โรงเรียนกักตักศึกษามูลนิธิ

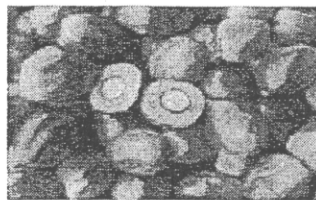
ความหมายของชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานอาจจะทำได้โดย นำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทน พลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่างๆ กัน เช่น พืชผลทางการเกษตร (agricultural crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural residues) ไม้และเศษไม้ (wood and woodresidues) หรือของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน

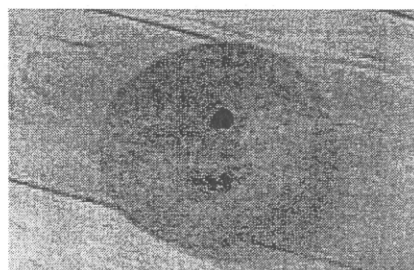
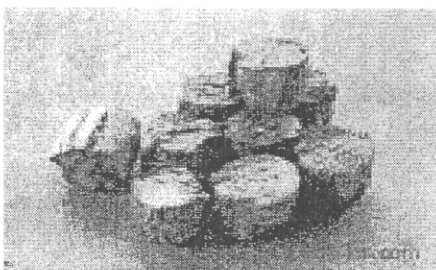
ตัวอย่างวัสดุทางการเกษตรที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงาน



- แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก
- ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย
- ชังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพด



- เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพารา
- กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด



- กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิและน้ำมันมะพร้าว

พลังงานชีวมวล (Bio-energy) หมายถึง พลังงานที่ได้จากชีวมวลชนิดต่างๆ โดยกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ คือ

1.การเผาไหม้โดยตรง (combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผา จะได้รับความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวล ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิ และความดันสูงไอน้ำนี้ จะถูกนำไปขับเคลื่อนไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้

2.การผลิตก๊าซ (gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่า แก๊สชีวภาพ (biogas) มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน แก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถนำไปใช้สำหรับกังหันแก๊ส(gasturbine)

3.การหมัก (fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัว เกิดแก๊สชีวภาพ(biogas) ที่มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้สามารถใช้ขยะอินทรีย์ชุมชน มูลสัตว์ น้ำเสียจากชุมชน หรืออุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งวัตถุดิบชีวมวลได้

4.การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช มีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

4.1 กระบวนการทางชีวภาพ ทำการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน

4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี โดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้น นำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการ transesterification เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

4.3 กระบวนการใช้ความร้อนสูง เช่นกระบวนการไพโรไลซิส เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้รับความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจน จะเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและแก๊สผสมกัน

เชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตก๊าซชีวมวล

- แกลบ

แกลบ คือ เปลือกของข้าว เป็นวัตถุดิบที่ได้เหลือใช้จากการสีข้าว

ประโยชน์ของแกลบ

- ด้านการเกษตร
 - ใช้ผสมเพื่อปรับสภาพดิน
 - ใช้ทำปุ๋ยหมัก
 - ใช้กันความชื้นในคอกสัตว์
 - ใช้เป็นส่วนผสมการผลิตซีเมนต์
- ด้านการก่อสร้าง
 - เป็นส่วนผสมในการทำอิฐ
 - เมื่อเผาเป็นถ่านแล้วเพิ่มสารเคมีบางประเภทใช้เป็นวัสดุถมในงานถนน
- ด้านพลังงานและอุตสาหกรรม

- ใช้เป็นเชื้อเพลิง
- เผาเป็นถ่านขาว จนมีคุณสมบัติเป็นต่าง ใช้เป็นส่วนผสมของสบู่ ยาสระผม และน้ำยาล้างจาน เป็นต้น
- ใช้ทำแท่งถ่านอัดซีเมนต์ถ่านกลบ เพื่อเป็นเชื้อเพลิง
- ใช้ดูดซับก๊าซจากกระบวนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรม

- ฟางข้าว

ลักษณะทั่วไป ขนาดเล็กยาวแต่กลวง ได้มาหลังการเกี่ยวข้าว

แหล่งที่มา ถ้าเกี่ยวข้าวด้วยแรงคน ฟางข้าวจะกองอยู่บริเวณลานตากข้าวตามหมู่บ้าน ถ้าเกี่ยวข้าวด้วยเครื่องจักร ฟางข้าวจะถูกทิ้งไว้ในนาข้าว

การนำไปใช้งาน ฟางข้าวมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น เป็นอาหารสัตว์ คลุมดิน เพาะเห็ดฟาง ทำโครงพวงหรีด ดอกไม้ และใช้ในอุตสาหกรรมทำกระดาษ เป็นต้น แต่ยังมีฟางข้าวอีกมากที่ไม่ได้นำไปใช้ คาดว่าประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนที่เหลือถูกเผาทิ้ง

จุดเด่น ยังมีฟางข้าวอีกมากที่ไม่ได้นำไปใช้ให้เป็นประโยชน์

จุดด้อย รวบรวมได้ยากถ้าใช้แรงคน เพราะอยู่กระจัดกระจาย ต้อง ใช้เครื่องทุ่นแรง (Straw baler) มาช่วยในการรวบรวม

- เศษไม้ยางพารา

ลักษณะทั่วไป ไม้ยางพาราเมื่อมีอายุถึง 20 -25 ปีจะถูกตัด เพื่อปลูกใหม่ ไม้ยางพาราที่ถูกตัดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ รากหรือตอไม้ ปลายไม้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้วลงมา และไม้ท่อนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วขึ้นไป ไม้ท่อนจะถูกตัดให้ได้ความยาว 1.05 ม. เพื่อส่งโรงเลื่อย และโรงงานเฟอร์นิเจอร์ซึ่งจะได้เศษไม้หลายแบบคือ ปีกไม้ ตาไม้(ส่วนที่มีตำหนิ) ชีเลื่อย และชีกบ

แหล่ง ปีกไม้และชีเลื่อย จะหาได้จากโรงเลื่อยไม้ยางพารา ตาไม้และชีกบ จะหาได้จากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา ปลายไม้และรากไม้ จะหาได้จากสวนยางพารา

การนำไปใช้งาน ในส่วนของชีเลื่อยจะนำไปเพาะเห็ด ทำรูป ใช้คลุมเผาถ่าน เศษไม้อื่นๆจะนำไปเป็นเชื้อเพลิง สำหรับโรงบ่มยางพารา เผาถ่าน ใช้ในขบวนการผลิต ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับ ไม้อัดยางพารา (Plywood) Medium density board และ Chip board นอกจากนี้ ยังนำไปใช้ในงานก่อสร้าง เช่น เสาค้ำ ใช้ทำเป็นพาเลท ลังไม้ เป็นต้น

จุดเด่น เศษไม้ยางพารา คือ รากไม้ และกิ่งไม้ เหลืออีกมากที่ยังไม่ได้นำไปใช้งาน

จุดด้อย มีขนาดใหญ่ และถ้าเป็นเศษไม้สดจะมีความชื้นค่อนข้างสูง ประมาณ 50 % ประสิทธิภาพในการเผาไหม้จึงไม่ค่อยสมบูรณ์ ดังนั้นอาจจะต้องเพิ่มขบวนการย่อยและลดความชื้นก่อนนำไปเผา

- กากอ้อย

ลักษณะทั่วไป มีลักษณะเป็นขุย ได้จากการผลิตน้ำตาลดิบ โดยนำอ้อยมาคั้นน้ำออก ส่วนที่เป็นน้ำนำไปผลิตเป็นน้ำตาลดิบ ส่วนที่เหลือคือกากอ้อย

แหล่ง โรงงานน้ำตาล ซึ่งมีอยู่ประมาณ 46 โรง

การนำไปใช้งาน ส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิต น้ำตาลดิบประมาณ 80 % ส่วนที่เหลืออีก 20 % นำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษ และ MDF Board

จุดเด่น ยังมีกากอ้อยเหลืออีกส่วนหนึ่งที่ยังไม่ได้นำไปใช้งาน

จุดด้อย น้ำหนักเบา และความชื้นสูง

-กากปาล์ม

ลักษณะทั่วไป กากปาล์มเป็นเศษเหลือจากการ สกัดน้ำมันปาล์มดิบจากทะลายปาล์มสด มี 3 แบบคือ ไฟเบอร์มีลักษณะเป็นขุย กะลามีลักษณะเป็นคล้ายกะลามะพร้าวแต่มีขนาดเล็กกว่ามาก โดประมาณ 1-2 ซม. และทะลายปาล์มเปล่า

แหล่ง จะได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมาตรฐาน อย่างไรก็ตามยังโรงงานสกัดอีกประเภทหนึ่งคือ นำเฉพาะผลปาล์มสดไม่รวมทะลายมาสกัด เศษที่ได้จะนำมาเป็นอาหารสัตว์

การนำไปใช้งาน ไฟเบอร์นำมาเป็นเชื้อเพลิง ในขบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ จึงมีเหลือไม่มาก ส่วนทะลายเปล่านำไปเพาะเห็ด

จุดเด่น กะลาปาล์มมีค่าความร้อนสูงสุด เหมาะนำมาเป็นเชื้อเพลิง แต่ต้องระวังเศษ น้ำมันที่ตกค้างอยู่ ส่วนทะลายปาล์มเปล่ามีเหลืออีกมากที่ยังไม่ได้นำมาใช้ และถ้านำมาเผา จะได้ซี้เก่าที่มีแร่ธาตุโปตัสเซียมสูงมาก
จุดด้อย การที่จะนำทะลายปาล์มเปล่ามา เป็นเชื้อเพลิง ต้องนำมาผ่านขบวนการย่อย หรือตัดก่อน เพราะมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ ยังมีสารประกอบอัลคาไลน์สูง จะทำให้ท่อไอน้ำหมอน้ำมียางเหนียวเกาะติดได้ง่าย

ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของเตาผลิตก๊าซ

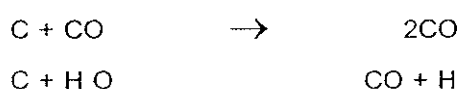
ในเตาผลิตก๊าซทั่วไปสามารถถูกแบ่งออกเป็นชั้นที่สำคัญๆ ได้ 4 ชั้น โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปฏิกิริยาและผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น (รัตนชัย ไพรินทร์ และคณะ. 2541) ในความเป็นจริงแต่ละชั้นอาจจะเหลื่อมล้ำ (Overlap) กันอยู่ก็ได้

1.ชั้นเผาไหม้ (Combustion or Hearth Zone)

ในบริเวณนี้คาร์บอนจะเผาไหม้กับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศในปริมาณจำกัดด้วยปฏิกิริยาดังต่อไปนี้ ปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน อุณหภูมิในชั้นนี้อยู่ระหว่าง 900 – 1200 C ความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นนี้ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนในชั้นรีดักชันและชั้นกลั่นสลายผลผลิตหลักที่ได้จากการทำปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้คือ ความร้อน แก๊ส

2.ชั้นรีดักชัน (Reduction Zone)

ก๊าซ CO ที่ได้จากการเผาไหม้ในชั้นเผาไหม้ เมื่อไหลเข้าสู่ชั้นรีดักชันก็จะเกิดปฏิกิริยาที่เปลี่ยนก๊าซ CO ให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ โดยก๊าซ CO จะไหลผ่านคาร์บอนที่ร้อนและเกิด CO ดังสมการที่ (1.2)

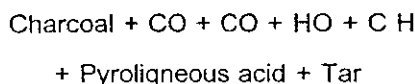
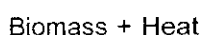


ปฏิกิริยาในสมการที่ (1.2) เรียกว่า Boudouard Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) ในกรณีที่ต้องการเพิ่มปริมาณของ CO สามารถทำได้โดยฉีดไอน้ำร้อนเข้าไปซึ่งไอน้ำจะไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนดังสมการที่ (1.3) ได้ก๊าซ CO และ H₂ เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Watergas Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

ร้อนและจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 C ภายใต้ความดันสูง H อาจจะไปรวมตัวกับคาร์บอนและผลิต CH₄ ออกมาได้ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Methane Reaction โดยจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความดันสูงๆ และอุณหภูมิไม่สูงมากนัก

3. ชั้นกลั่นสลาย (Pyrolysis Zone)

ในชั้นนี้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากชั้นเผาไหม้ เพื่อสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงทำ ให้ได้สารระเหย (Volatile Matter) ต่างๆ ออกมา ซึ่งประกอบไปด้วยเมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิบ ก๊าซที่เผาไหม้ได้และไม่ได้ อุณหภูมิของชั้นนี้จะประมาณ 135 – 600 C ของแข็งที่เหลืออยู่หลังกระบวนการนี้คือคาร์บอนในรูปถ่าน (Fixed Carbon) ดังสมการที่ (1.4)



4. ชั้นลดความชื้น (Drying Zone)

ชั้นนี้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยต่างๆ ความร้อนที่ได้รับมาจากชั้นกลั่นสลาย จะระเหยความชื้นที่มีอยู่ในชีวมวลให้ออกมาในรูปของไอน้ำ อุณหภูมิในชั้นนี้จะอยู่ประมาณ 100 – 135 C

ชนิดของเตาผลิตก๊าซชีวมวล (Type of Gasifier)

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ตามชนิดของการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊สและการจัดเรียงตัวของชั้นต่างๆ ภายในเตาผลิตก๊าซ

1. เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier)

เตาผลิตก๊าซแบบนี้เป็นแบบง่ายที่สุด ชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นเผาไหม้ ชั้นรีดักชัน ชั้นกลั่นสลายและชั้นลดความชื้น เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่ส่วนบนของเตาและอากาศถูกส่งเข้ามาทางด้านล่าง การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นที่จุดแรกของการสัมผัสกับอากาศ CO ที่เกิดขึ้นในชั้นเผาไหม้จะผ่านขึ้นไปยังชั้นรีดักชันซึ่งมีคาร์บอนที่ร้อนอยู่มาก CO ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้เป็น CO₂ จุดเด่นของเตาแบบนี้คือสามารถเพิ่มปริมาณโปรดิวเซอร์แก๊สได้โดยใช้ไอน้ำเข้าช่วย นอกจากนั้นยังสามารถใช้กับชีวมวลที่ความชื้นสูง อาจสูงได้ถึง 50% อุณหภูมิเฉลี่ยของเตาจะค่อนข้างต่ำคือประมาณ 120 – 150 C แต่ปัญหาที่สำคัญคือสารระเหยที่ออกมาพร้อมกับโปรดิวเซอร์แก๊ส Pan, et al. (1999: 1703 – 1709) ได้ศึกษาการกำจัดน้ำมันดินออกโดยใช้อากาศหุติยภูมิในเตา ฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิเฉลี่ย 840 – 880 C สำหรับเศษไม้ (Forest waste) ใช้อัตราส่วนอากาศหุติยภูมิต่ออากาศปฐมภูมิที่ 10% ปริมาตรต่อปริมาตร จะสามารถลดน้ำมันดินได้มากที่สุดจากปริมาณน้ำมันดินมากกว่า 2.52 g/m เหลือ 0.8 g/m สำหรับลิกไนต์ (Escatron lignite) ใช้อัตราส่วนอากาศหุติยภูมิต่ออากาศปฐมภูมิที่ 20% ปริมาตรต่อปริมาตร ให้ค่าพลังงานความร้อน 4800 kJ/m³ จะสามารถลดน้ำมันดินได้มากที่สุดจากปริมาณน้ำมันดินมากกว่า 3.70 g/m เหลือ 0.42 g/m ให้ค่าพลังงานความร้อน 3770 kJ/m³ ซึ่งปัญหาจากสารระเหยจะเป็นอุปสรรคที่สำคัญมากในการนำไปเดินเครื่องยนต์สันดาปภายในเพราะจะทำให้เกิดการอุดตันและทำความเสียหายให้แก่เครื่องยนต์ได้ นิรมล ชูลีเลิศวิทยาภรณ์ (2537) ได้หาสภาวะการทำงานที่ดีที่สุดของเครื่องผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลขึ้นโดยมีไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ การหาภาวะที่ดีที่สุดจะใช้วิธีการค้นหาแบบ Simplex โดยใช้ผลการทดลองในแต่ละครั้งเป็นแนวทางในการกำหนดภาวะการทดลองต่อไป จากการศึกษาโดยมี 3 ตัวแปรคือความยาวของไม้ อัตราการไหลของอากาศและของ CO พบว่าภาวะที่ดีที่สุดคือ ไม้ยาว 4 cm อากาศไหลด้วยความเร็ว 0.18 kg/min และใช้ CO 4.49 x 10 kg/min ได้ก๊าซชีวมวลที่ประกอบด้วย CO 21.35%

2. เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier)

เตาแบบนี้จะเป็นแบบที่ใช้ทำการวิจัยและใช้งานจริงกันอย่างแพร่หลายทั่วไปมากที่สุด ชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นรีดักชันตามด้วยชั้นเผาไหม้ ชั้นกลั่นสลายและชั้นลดความชื้นจะอยู่บนสุดอากาศจะถูกส่งให้ไหลสู่ชั้นเผาไหม้และไหลลงไปสู่ชั้นรีดักชันซึ่งอยู่ด้านล่าง สารระเหยจากชั้นกลั่นสลายที่อยู่เหนือชั้นเผาไหม้ก็จะถูกดูดผ่านชั้นเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิ 900 – 1,200 C สารระเหยต่าง ๆ จะถูกเผาไป ทำให้ Producer Gas ที่ผลิตออกมาได้นั้นปราศจากสารระเหยจึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ข้อเสียเปรียบของเตาชนิดนี้คือจะเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงในชั้นเผาไหม้จึงต้องใช้วัสดุที่ทนความร้อนสูง อุณหภูมิเฉลี่ยของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ออกมาจากเตาจะค่อนข้างสูงประมาณ 450 – 550 C ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่จึงมีความจำเป็น

3.เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลตามขวาง (Cross draft Gasifier)

เตาแบบนี้จะเป็นแบบที่เล็กและเบาที่สุดใน 3 แบบ ทิศทางการไหลของอากาศจะตั้งฉากกับแนวแกนของเตาอากาศจะถูกส่งตรงไปชั้นเผาไหม้ และต่อไปยังชั้นรีดักชันซึ่งทั้ง 2 ชั้นนี้ จะเป็นชั้นเล็ก ๆ วางเรียงกันตามแนวนอน อุณหภูมิเฉลี่ยของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ออกมาจากเตาจะไม่สูงมากเหมือนเตาแบบไหลลง ชีวมวลจะถูกป้อนจากทางด้านบนของเตาเช่นเดียวกันกับเตาทั้งสองแบบที่กล่าวมา ข้อดีของเตาแบบนี้คือ สามารถผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สได้เร็วกว่าเตาอีกสองแบบ และอุณหภูมิในเตาจะไม่สูงนัก

การใช้พลังงานจากเตาผลิตก๊าซ

การนำก๊าซชีวมวลที่ผลิตได้จาก Gasifier ไปใช้นั้นแบ่งออกได้ 2 แบบใหญ่ๆ คือ

การนำไปใช้งานโดยตรง (Direct Use)

ได้แก่การอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ซึ่งจุดเด่นที่สำคัญในการใช้พลังงานความร้อนที่ได้รับจากก๊าซชีวมวล ไปใช้ที่สำคัญคือ สามารถทำการอบแห้งได้อย่างต่อเนื่องสามารถควบคุมอุณหภูมิที่จะใช้ในการอบให้คงที่ตลอดการอบให้คงที่ตลอดการอบแห้ง หรือปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะใช้อบได้ ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถทำได้เช่น ในการอบแห้งพริกโดยใช้ความร้อนจากก๊าซชีวมวล (ชนากานต์ อาษาสุจริต, 2538) ซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 17,319 kJ/m ระบบอบแห้งนี้มีการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งเป็นระบบบังคับ โดยใช้พัดลมขนาด 760 W มีระบบควบคุมอัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งตามต้องการได้ และระบบอบแห้งนี้สามารถทำงานได้ 24 ชั่วโมง ตู้บรรจุผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความกว้าง 0.6 m ยาว 1 m สามารถวางถาดบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ 8 ถาดในการทดลองนี้สามารถควบคุมคุณภาพของพริกชี้ฟ้าได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะปราศจากสิ่งปนเปื้อนและฝุ่นละออง โดยตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง อัตราการไหลอากาศ ส่วนการอบแห้งเนื้อวัว ชีรพงษ์ ภาระบุญ (2538) ได้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับก๊าซชีวมวลนั้นสามารถประหยัดพลังงานไปได้ถึง 49% การนำพลังงานจาก Producer Gas ไปขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายนอก (External Combustion Engine) (दनัย อร่ามธรรมพร, 2539) จากการทดสอบการขับเคลื่อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถให้กำลังแรงม้าสูงสุดทางทฤษฎี 3.92 แรงม้า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 2200 rpm และสามารถนำไปใช้ในการขับเคลื่อนปั๊มสูบน้ำได้โดยมี Head Pump = 23.8 m ที่ความเร็วรอบ 1300 rpm

การนำไปใช้ทางอ้อม (Indirect Use)

ในกรณีนี้จะมุ่งนำไปใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) ซึ่งสามารถใช้เดินเครื่องยนต์ได้ทั้งเครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีการปรับเครื่องยนต์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยเฉพาะตอนเริ่มต้นเครื่องยนต์จะใช้เชื้อเพลิงดีเซลไปก่อนและหลังจากนั้นจึงเปลี่ยนมาเป็น โปรดิวเซอร์แก๊ส

แทน พลังงานที่ได้รับออกมานั้นสามารถนำไปใช้เดินปั๊มน้ำหรือนำไปขับเคลื่อนเครื่องปั่นไฟได้ เพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าก็ได้

การนำก๊าซชีววมวลไปใช้ประโยชน์

-องค์ประกอบของชีววมวลที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า

ชีววมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะอย่าง คุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดเด่น คุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดด้อย เช่น

- การกระจายตัวของแหล่งชีววมวล
- ขนาด
- ความชื้น
- สิ่งเจือปน
- ปริมาณซีเถ้า

ดังนั้น ถ้าจะนำชีววมวลใดมาผลิตไฟฟ้า ต้องออกแบบเครื่องจักรให้เหมาะสมกับชีววมวลนั้นๆ เพื่อประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติอย่างหนึ่งของชีววมวลที่เหมือนกันคือ มีน้ำหนักเบา เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ โรงไฟฟ้าชีววมวลจึงควรอยู่ใกล้กับแหล่งผลิตชีววมวลเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งให้มากที่สุด

การกระจายตัวของแหล่งชีววมวล

รูปแบบการกระจายตัวของแหล่งชีววมวล มี 2 ลักษณะคืออยู่รวมเป็นกลุ่ม และอยู่กระจัดกระจาย ชีววมวลที่อยู่รวมเป็นกลุ่มคือเศษชีววมวลจากกระบวนการแปรรูป ณ ที่ใดที่หนึ่ง เช่น โรงสีข้าว, โรงงานผลิตน้ำตาลทราย, โรงงานแปรงมันสำปะหลัง, โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา เป็นต้น ที่อยู่กระจัดกระจายตามพื้นที่เพาะปลูกหรือไม่มีการรวบรวม เช่น การสีข้าวโพดโดยอาศัยอุปกรณ์สีข้าวโพดที่เคลื่อนที่ได้ และเศษไม้-ปลายไม้จากสวนป่ายางพารา เป็นต้น ส่วนการนำชีววมวลที่อยู่กระจัดกระจายมา เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า จะมีข้อเสียเปรียบคือเสียค่าใช้จ่ายในการรวบรวมเพิ่มขึ้น

ขนาด

ขนาดของชีววมวล เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ต้อง พิจารณา ถ้าชีววมวลมีขนาดใหญ่ เช่น เศษไม้หรือปลายไม้จากสวนป่ายางพารา และปึกไม้ที่ได้จากโรงเลื่อยไม้ยางพารา เป็นต้น จะมีขนาดใหญ่เกินไปจึงไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้เป็น เชื้อเพลิงโดยตรง เพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้จะต่ำ ดังนั้นควรจะนำมาย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ความชื้น

ความชื้นของชีววมวลเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีววมวลมีความชื้นสูงมาก เช่น กากมันสำปะหลังหรือสาเหล้ม ซึ่งมีความชื้นประมาณ 80-90% ไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้ แต่อาจจะนำมาผ่านกระบวนการบีบอัด(Dewatering)เพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเผา หรือนำมาผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน ในกรณีของเศษไม้ มีความชื้นประมาณ 50-60% ถ้า

นำมาเก็บไว้ล่วงหน้าระยะหนึ่ง ความชื้นจะลดลงโดยธรรมชาติ แต่มีข้อเสียคือ เสียพื้นที่ในการจัดเก็บ และถ้าเก็บไว้นานไปไม่มีโอกาสใช้ได้

สิ่งเจือปน

สิ่งเจือปนในชีวมวลมีหลายอย่างเช่น เศษดิน หิน กรวดทราย และคราบน้ำมันปาล์ม เป็นต้น สิ่งเจือปนที่ต้องระมัดระวังให้มากคือ สารอัลคาไลในทะลายปาล์ม เพราะเมื่อถูกความร้อนที่อุณหภูมิระดับหนึ่งจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดท่อน้ำในห้องเผาไหม้ ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลง ดังนั้นในการออกแบบห้องเผาไหม้ต้องพิจารณาจุดนี้เป็นพิเศษ

ปริมาณขี้เถ้า

ปริมาณขี้เถ้าของชีวมวล มีผลต่อการเผาไหม้เช่นกัน โดยเฉพาะแกลบจะมีปริมาณขี้เถ้า 16% โดยน้ำหนัก ดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

มีวิธีการวัด 3 แบบคือ

1. ค่าความร้อนต่ำ หรือ Lower Heating Value (LHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ต่อ กิโลกรัม
2. ค่าความร้อนสูง หรือ Higher Heating Value (HHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนสูง (HHV) ต่อ กิโลกรัมและมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังนี้

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 5.72(9H + M) \text{ kcal/kg หรือ}$$

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 23.95(9H + M) \text{ kJ/kg}$$

เมื่อ H เท่ากับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล และเมื่อ M เท่ากับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล

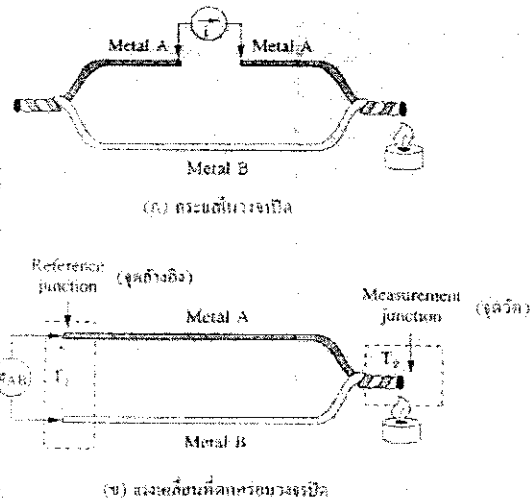
3. ค่าความร้อนแห้ง หรือ Dry Heating Value หมายถึงการนำชีวมวลจำนวนหนึ่งมาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นแบ่งมา 1 กิโลกรัม เพื่อนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนแห้งต่อ กิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูงดังนี้

$$\text{Dry Heating Value} = \text{HHV} / (1-M/100)$$

เมื่อ M เท่ากับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้เกิดการนำกระแสในวงจร เทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1821 ในรูปที่ 2 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีเบ็คดังกล่าว



รูปที่2 แสดงผลของซีเบ็ค

ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Termoelectric Effect)

ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่าอิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปรเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะว่า โลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกันนั่นเอง

1. ผลของซีเบ็ค (Seebeck Effect) โดยใช้ทฤษฎีโซลิตัสเดต เราสามารถวิเคราะห์ค่าได้จากสมการอินทิเกรตค่าจากย่านของอุณหภูมิดังกล่าวนั้นคือ

$$\mathcal{E} = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B) dT$$

สมการนี้จะอธิบายผลของซีเบ็ค ซึ่งพบว่า

1. ค่า emf. ที่เกิดจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของ ค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ
2. ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาทำเทอร์โมคัปเปิลค่า emf. ที่ได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์
3. ถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่า emf. ก็จะเป็นศูนย์

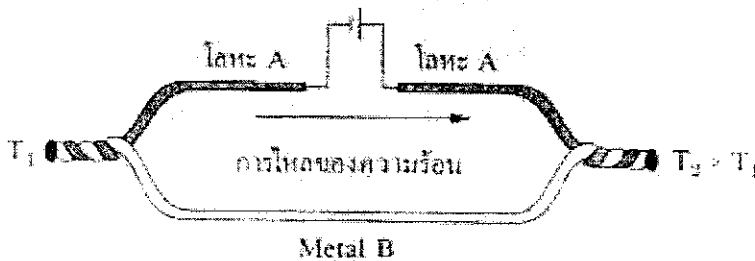
โดยสูตรที่ง่ายและสามารถนำมาคำนวณได้เช่นกันคือ

$$\mathcal{E} = \alpha(T_2 - T_1)$$

เมื่อ α = ค่าคงที่หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค ; volts/K

T_1, T_2 = อุณหภูมิที่จุดต่อ ; K

2. ผลของเพลเทียร์ (Peltier Effects) หากคิดย้อนกลับจากผลของซีเบ็ค นั่นคือใช้โลหะที่แตกต่างกันสองชนิดมาเชื่อมต่อทั้งสองเข้าด้วยกันแล้วจ่ายพลังงานจากภายนอกเข้าไป ก็จะเป็นเหตุให้เกิดกระแสไหลในวงจร เพราะจากคุณสมบัติในการส่งไฟฟ้าและความร้อนของโลหะ พบว่าขั้วหนึ่งจะเกิดความร้อน (T_2) และอีกขั้วหนึ่งจะเกิดความเย็น (T_1) ขึ้น โดยผลดังกล่าวเรียกว่า “ผลของเพลเทียร์” (Peltier effect) และถูกนำไปใช้งานพิเศษสำหรับการทำความเย็นกับส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้กระทั่งเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก



รูปที่ 3 แสดงผลของเพลเทียร์

ตารางแสดงแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Table)

ตารางเทอร์โมคัปเปิลจะให้แรงเคลื่อนสำหรับเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด เมื่ออ้างอิงกับจุดอ้างอิงที่กำหนด (0°C) ณ อุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 210°C เทอร์โมคัปเปิลชนิด j เมื่ออ้างอิงที่ 0°C จะมีแรงเคลื่อนเป็น

$$V(210^\circ\text{C}) = 11.3 \text{ mV (ชนิด J, } 0^\circ\text{C ref.)}$$

ในทางกลับกัน ถ้าเราวัดแรงเคลื่อนได้ 4.768 mV กับชนิด s และอุณหภูมิอ้างอิงที่ 0°C เราพบว่า

$$T(4.768 \text{ mv}) = 555^\circ\text{C (ชนิด s, } 0^\circ\text{C ref.)}$$

แต่บางกรณี แรงเคลื่อนที่วัดได้จะไม่ตรงกับค่าในตาราง จึงจำเป็นต้องมีการแบ่งสเกล (interpolate) ระหว่างค่าในตาราง ซึ่งหาได้จากสมการการแบ่งสเกลดังนี้

$$T_M = T_L + \left[\frac{T_H - T_L}{V_H - V_L} \right] (V_M - V_L)$$

เมื่อ V_M = คือแรงเคลื่อนที่วัดได้จากมิเตอร์

V_H และ V_L = ค่าแรงเคลื่อนของ T_H และ T_L อ่านได้จากตารางโดย V_H อยู่สูง

กว่า V_M และ V_L ต่ำกว่า V_M

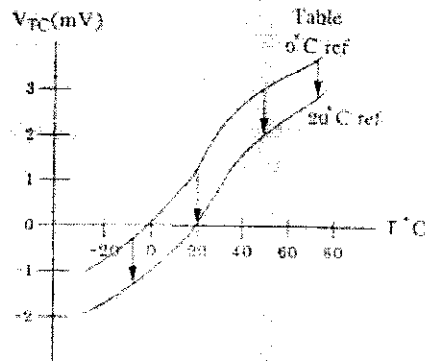
T_H และ T_L = ค่าอุณหภูมิที่ตรงกับค่าแรงเคลื่อน V_H และ V_L ตามลำดับ

การเปลี่ยนจุดอ้างอิงของตาราง (Change of Table Reference)

หากอุณหภูมิอ้างอิงแตกต่างจากตารางเทอร์โมคัปเปิลที่กำหนดไว้ เรายังสามารถใช้ค่าจากตารางนี้เป็นฐานในการคำนวณได้ ข้อควรจำคือเมื่อวัดอุณหภูมิเดียวกันแต่เปลี่ยนไปใช้จุดอ้างอิงที่สูงกว่าจะทำให้แรงเคลื่อนทางเอิร์ทพุตถูกกดให้ต่ำลง ดังรูปที่ 4

เช่นนำเทอร์โมคัปเปิลชนิด J ซึ่งมีจุดอ้างอิงที่ 30°C ไปวัดที่ 400°C วิธีการหาแรงเคลื่อนใหม่ที่ได้คือ ขั้นตอนแรกหาแรงเคลื่อน ณ อุณหภูมิที่ต้องการอ้างอิงใหม่จากตาราง ในที่นี้คือ 30°C ณ จุดอ้างอิง 0°C จากภาพผนวก

ข. พบว่ามีแรงเคลื่อน 1.54 mV (เรียกค่าที่หาได้นี้ว่าตัวประกอบ) หลังจากนั้นก็นำค่านี้ไปลบออกจากแรงเคลื่อนที่จุดวัดที่ 400 °c เมื่อจุดอ้างอิงเป็น 0 °c หรือเขียนเป็นขั้นตอนได้ดังนี้



รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนจุดอ้างอิงจาก 0 ถึง 200C ซึ่งจะสมมูลกับ

การเลื่อนลงของเส้นโค้งแรงเคลื่อนเทอร์โมคัปเปิล

$$V(30^{\circ}\text{C}) = 1.54 \text{ mV (ชนิด J, } 0^{\circ}\text{C ref.) ชั้นแรก}$$

$$\text{และ } V(400^{\circ}\text{C}) = 21.85 \text{ mV (ชนิด J, } 0^{\circ}\text{C ref.) ชั้นที่สอง}$$

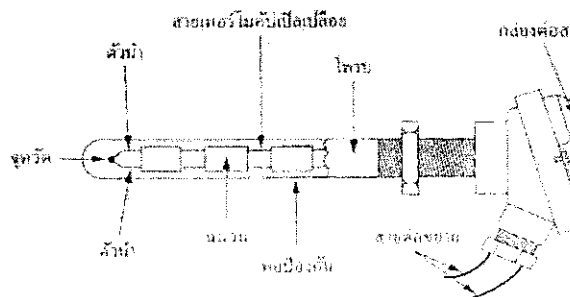
นำค่า (ตัวประกอบ) ที่ได้จากชั้นที่สองมาลบออกจากชั้นแรก ทำให้ได้แรงเคลื่อนซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างนี้เป็น

$$V(400^{\circ}\text{C}) = 20.31 \text{ mV (ชนิด J, } 30^{\circ}\text{C ref.)}$$

เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนของจุดอ้างอิงจะเขียนในแบบใหม่ เช่น V_{J_0} จะหมายถึงแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J อ้างอิงที่ 0 °c และ $V_{J_{30}}$ หมายถึงของชนิด J อ้างอิงที่ 30 °c

คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน(Characteristic of Standard Thermocouples)

1.ความไว (Sensitivity) จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้งานจริงปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง



รูปที่5 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

2. โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 5 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ: มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวผิวกหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ

ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก #10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา

3. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

4. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดเล็กน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้โอปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Type)

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจัดแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำได้แก่

1. เทอร์โมคัปเปิลแบบ S ประดิษฐ์โดยนาย Le Chatelier ในปี 1886

ข้อดีของแบบ S

- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิไดซิง (oxidizing)
- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะเฉื่อย (inert) คืองานที่ไม่เปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาใดๆ ได้ง่าย ๆ
- นิยมใช้กับงานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก
- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1550°C และอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ -50 ถึง ประมาณ 1700°C
- หากอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะให้ความเที่ยงตรงสูงที่สุด
- ใช้ในการสอบเทียบ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74°C) จนถึงจุดแข็งตัวของทองแดง (1064.43°C) ตามมาตรฐาน IPTS 68

ข้อเสียของแบบ S

- ต้องใช้ท่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ
- ไม่เหมาะกับงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (reducing)

- ไม่เหมาะกับงานที่เป็นสุญญากาศ(vacuum)
- ไม่เหมาะกับงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว
- ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของโลหะ เช่น จำพวก อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง

2.เทอร์โมคัปเปิลแบบ R เป็นแบบที่เหมาะสมกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ

ข้อดีของแบบ R

- ให้แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตสูงกว่าแบบ S
- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1600°C
- วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง -50 ถึงประมาณ 1700°C
- เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้ว
- ทนทานต่อการกัดกร่อน และให้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดี
ส่วนลักษณะข้อเสียเช่นเดียวกับแบบ S แต่ส่วนที่เพิ่มเติมคือ ให้ความเป็นเชิงเส้นต่ำเพิ่มอุณหภูมิต่ำกว่า 540°C

3.เทอร์โมคัปเปิลแบบ B ผลิตรั้งแรกเมื่อปี 1954 ในประเทศเยอรมัน

ข้อดีของแบบ B

- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วงประมาณ 100 ถึงประมาณ 1600°C
- วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วงประมาณ 50 ถึงประมาณ 1750°C
- แข็งแรงกว่าแบบ S และแบบ R
- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงและสภาวะเฉื่อย ให้ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณ (linearity) ดี

ข้อเสียของแบบ B

- ให้แรงเคลื่อนของไฟฟ้าน้อยกว่าแบบอื่น ๆ เมื่อวัดอุณหภูมิที่เงื่อนไขเดียวกัน
- ไม่เหมาะกับสภาวะที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง
- ไม่เหมาะกับสภาวะที่เป็นสุญญากาศ
- ไม่เหมาะกับสภาพงานที่มีไอของโลหะและไอโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และ S
- ให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสองค่า (double value region) จากอุณหภูมิในช่วง $0-42^{\circ}\text{C}$ (ดังรูปตัวอย่างด้านล่าง) ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าที่แรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นมีอุณหภูมิเป็นเท่าใด เช่นที่อุณหภูมิ 0°C จะแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 42°C
- ให้ความชัน(การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิ) ของสัญญาณต่ำกว่าแบบอื่น ๆ

4.เทอร์โมคัปเปิลแบบ J พบว่าหากใช้แพลทินัมมาทำเป็นเทอร์โมคัปเปิลความคุ้มทุนก็ลดลงไป ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลราคาถูกลง จึงใช้วัสดุอื่นที่มีราคาถูกกว่ามาทดแทนแพลทินัม โดยรหัสสีตามมาตรฐาน BS มีดังนี้ ถ้าขั้วบวก จะเป็นสีดำ ขั้วลบจะเป็นสีขาว ทั้งตัวจะเป็นสีดำ

ความแน่นอนตามมาตรฐาน BS 1797 Part 30, 1993 ได้แก่

1. Class 1 = -40°C ถึง $+750^{\circ}\text{C} \pm 0.004 \times t$ หรือ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$

2. Class 2 = -40°C ถึง $+750^{\circ}\text{C} \pm 0.0075 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิจริง

ข้อดีของแบบ J

- ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิได้ดี
- มีราคาถูกกว่าแบบที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์
- ตามมาตรฐาน BS 7937 Part 30 สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่อเนื่องจากช่วงประมาณ -210 ถึง 1200°C
- เหมาะกับสภาพงานที่เป็นสภาวะทางานที่งานที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิง และงานที่อยู่ในสภาพเฉื่อย เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 760°C
- นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก
- เป็นแบบที่นิยมใช้ ราคาไม่แพง

ข้อเสียของแบบ J

- วัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าแบบ T
- ไม่เหมาะสมมากนักกับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C
- หากวัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 538°C จะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิงที่สายซึ่งทำจากเหล็กด้วยอัตราสูง
- หากใช้งานนานเกินช่วง 20 ปี ส่วนผสมทางเคมี คือ แมงกานีสในเหล็กจะเพิ่มขึ้น 0.5% ทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

5. เทอร์โมคัปเปิลแบบ K ธาตุหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้างคือ นิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียมส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะว่าในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้าง

นิกเกิลบริสุทธิ์ได้จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ

ด้วยเหตุนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช่โลหะผสมแต่โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน (curie point คืออุณหภูมิที่มันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก) อยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะผสม จุดคิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งให้เป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้
2. ที่อุณหภูมิสูง ๆ (ช่วง 200°C ถึง 600°C) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีผลของฮีสเทอรีซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้
3. ที่อุณหภูมิ 1000°C ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน

4. การใช้โคมบอลด์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ หรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูง ๆ วัสดุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์ จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรง เคลื่อนทางด้านเอาต์พุต

ย่านการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584(รหัสสำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงของการวัดอุณหภูมิต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270°C ถึง $+1,370^{\circ}\text{C}$

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ เป็นดังนี้

1. Class 1 = -40°C ถึง $+1,000^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.004 \times t$ หรือ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
2. Class 2 = -40°C ถึง $+1,200^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.0075 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$
3. Class 1 = -200°C ถึง $+40^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.015 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$

เมื่อ t อุณหภูมิจริงที่ทำการวัด

รหัสสำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดโดยมาตรฐาน BS 4937 part 30 ,1993

(รหัสสีตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายชุดเซตแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด K ขั้วบวกจะเป็นสี เขียว ขั้วลบจะเป็นสีขาว ถ้าตลอดทั้งตัวจะเป็นสีเขียว ส่วนสายชุดเซตสัญญาณ (ชนิด vx) ก็เหมือนกับสีด้านบนที่ กล่าวมา โดยสรุป

ข้อดีของแบบ K

- เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
- สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก -180°C ถึงประมาณ $1,350^{\circ}\text{C}$
- สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสภาวะแบบเฉื่อย(inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ
- สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
- ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

ข้อเสียของแบบ K

- ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง
- ไม่เหมาะกับการงานที่มีไอของซัลเฟอร์
- ไม่เหมาะกับการสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้น ๆ)
- หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

6.เทอร์โมคัปเปิลแบบ T

ข้อดีของแบบ T

- ดีกว่าแบบ K ตรงที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่า นั่นคือเหมาะกับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่นในห้องเย็น ตู้แช่แข็ง
- ให้ความแน่นอนในการวัดดีกว่าแบบ K (ช่วงที่ต่ำกว่า 100°C ความแน่นอนจะเป็น $\pm 1\%$)

- มีเสถียรภาพในการวัดอุณหภูมิ
- การวัดสภาพงานที่เป็นสัญญาณอากาศงานที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงรีดิวซิงและงานที่มีปฏิกิริยาแบบเฉื่อยจะทำได้ดี
- วัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องได้จากช่วง -185 ถึง 300°C และวัดอุณหภูมิแบบช่วงสั้นๆ ได้จากช่วง -250 ถึง 400°C
- ทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนได้ดี

ข้อเสียของแบบ T

- เป็นแบบที่วัดอุณหภูมิช่วงบวกได้น้อยกว่าแบบอื่นๆ
- หากใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่า 370°C จะทำให้เกิดออกไซด์มาก
- ไม่เหมาะกับการวัดอุณหภูมิที่สัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง (ทำให้ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำเปลี่ยนไป คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย)
- เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ในช่วง 20 ปี ส่วนผสมของนิเกิลและสังกะสี จะเพิ่มประมาณ 10% ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน
- คุณสมบัติของแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้น (แต่ก็ปรับปรุงได้จากวงจรปรับสภาพสัญญาณ)

7. เทอร์โมคัปเปิลชนิด E

ข้อดีของแบบ E

- ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวัดอุณหภูมิเทียบกับแบบอื่น ๆ ในสภาวะเดียวกัน
- วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 800°C
- คุณสมบัติอื่น ๆ คล้ายกับแบบ K

การแก้ไขให้ระบบวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลให้ทำงานได้ดีขึ้น ต้องปฏิบัติดังนี้

1. ใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่ที่สุดที่จะเป็นไปได้ เพราะมันจะไม่พวงเอาความร้อนออกจากพื้นที่การวัดเข้ามา
2. ถ้าต้องการใช้สายขนาดเล็ก ๆ ให้ใช้เฉพาะในขอบเขตที่ทำการวัด และใช้สายขยาย (extension wire) ในขอบเขตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสาย
3. หลีกเลี่ยงความเค้นทางกลและการสั่นสะเทือนที่มีผลให้เกิดความเครียดในสาย
4. เมื่อใช้สายเทอร์โมคัปเปิลยาว ๆ ให้ต่อซีลด์ที่สายไปยังขั้วต่อสายของดิจิตอลโวลต์ มิเตอร์ และใช้สายขยายสัญญาณแบบบิตเกลียว
5. หลีกเลี่ยงบริเวณที่เต็มไปด้วยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกลางสาย
6. พยายามเลือกสายเทอร์โมคัปเปิลในพิกัดอุณหภูมิของมัน
7. ป้องกันวงจรแปลง integrate A/D จากการรบกวน
8. ใช้สายขยายเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ ๆ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลางสายน้อย ๆ
9. ทดสอบและเก็บค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก่า ๆ ไว้ พร้อมกับวัดค่าความต้านทานของเทอร์โมคัปเปิลเก็บไว้เป็นช่วง ๆ

ระบบท่อ ปิ๊ม เครื่องอัดอากาศและเครื่องระบายอากาศ

ท่อแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

- ท่อโลหะ
- เหล็กกล้า เหล็กหล่อ อลูมิเนียม ทองแดง หรือทองแดงผสม
- ท่อพลาสติก
- ชนิดเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) เป็นเรซินที่อ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน และแข็งตัวเมื่อได้รับความเย็นสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่ โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) คลอไรด์โพลีไวนิลคลอไรด์ (CPVC) โพลีเอทิลีน (PE) โพรลีน (PP) อะครีโลไนไตรล์บิวตาไดอีนสไตรีน (ABS) ฟลูออโรคาร์บอนต่างๆ
- ชนิดเทอร์โมเซต (thermoset) เป็นพลาสติกแข็งที่มีความแข็งแรงไม่สามารถยืดหยุ่นได้ และเมื่อบ่มตัวเสร็จแล้วหลังการผลิตไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อีก ใช้ประโยชน์ในด้านเสริมความแข็งแรง

หน้าที่ของวาล์ว

- การเริ่มการไหลแล้วหยุดการไหล เกทวาล์ว บอลวาล์ว และปลั๊กวาล์ว
- การปรับระดับการไหล วายวาล์ว โกลบวาล์ว วาล์วผีเสื้อ แองเกิลวาล์ว นัตเติลวาล์วรวมถึงไดอะแฟรมวาล์ว
- การป้องกันการไหลย้อนกลับ หรือตรวจสอบการไหล เช็ควาล์ว สวิงเช็ควาล์ว
- การปรับลดความดัน
- การระบายความดัน วาล์วนิรภัย วาล์วระบายความดัน
- วาล์วเปลี่ยนทิศทางการไหล ได้แก่ วาล์วสามทาง

ประเภทและลักษณะการทำงานของปั๊ม

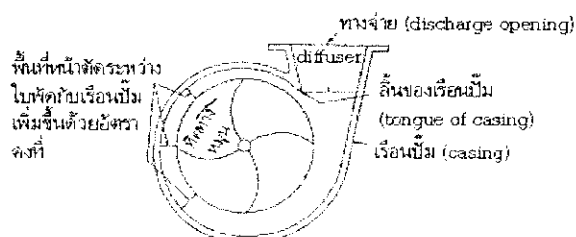
1. ปั๊มแบบลูกสูบชัก

2. ปั๊มโรตารี- ปั๊มโรตารีแบบเฟือง (gear pump) นิยมมากโครงสร้างที่ง่าย ราคาถูก สร้างความดันได้สูง

ปั๊มแบบสกรู (Screw pump) ลักษณะของโรเตอร์จะเป็นสกรูเมื่อสกรูหมุนของเหลวจะถูกพาให้เคลื่อนตัวไปตามร่องเกลียวของสกรูจนถึงทางออก

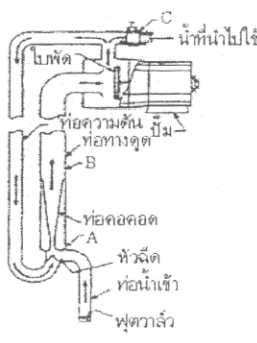
ปั๊มแบบอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal pump)

จะอาศัยการหมุนของใบพัดหรืออิมפלเลอร์ทำให้คลัสป์ใบพัดผลักดันของเหลวที่อยู่รอบๆ ทำให้เกิดการไหลแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง

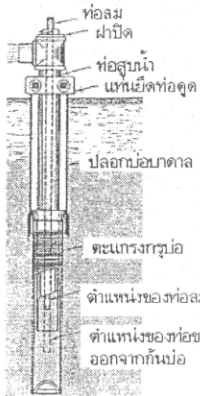


ภาพที่ 8.20 ลักษณะทั่วไปของการไหลของของเหลวขณะออกจากรอบของปั๊ม

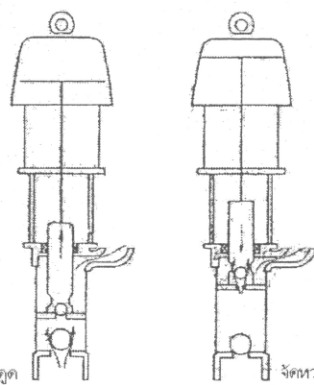
ปั๊มลักษณะพิเศษ (special pump) ออกแบบมาเพื่อวัตถุประสงค์การใช้งานอย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะเท่านั้น



ภาพที่ 8.28 ปั๊มแบบพื้น

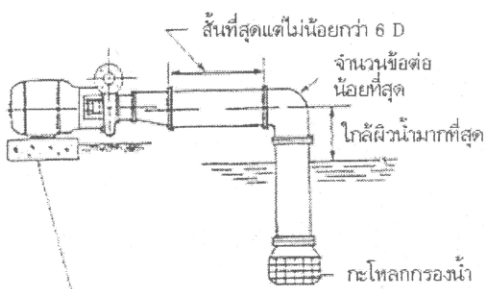


ก. ผ่านท่อ

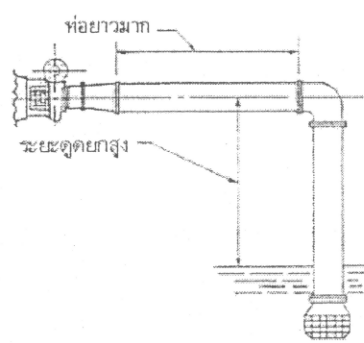


ข. ดันลูกสูบ

ภาพที่ 8.29 ปั๊มแบบอัดอากาศ

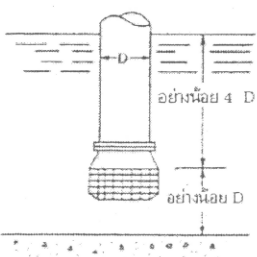


ก. การติดตั้งที่ถูกต้อง

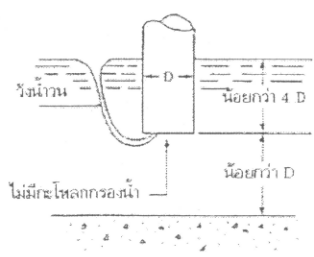


ข. การติดตั้งที่ผิด

ภาพที่ 8.37 แสดงลักษณะการติดตั้งที่ควรใช้และไม่ควรใช้



ก. การติดตั้งที่ถูกต้อง

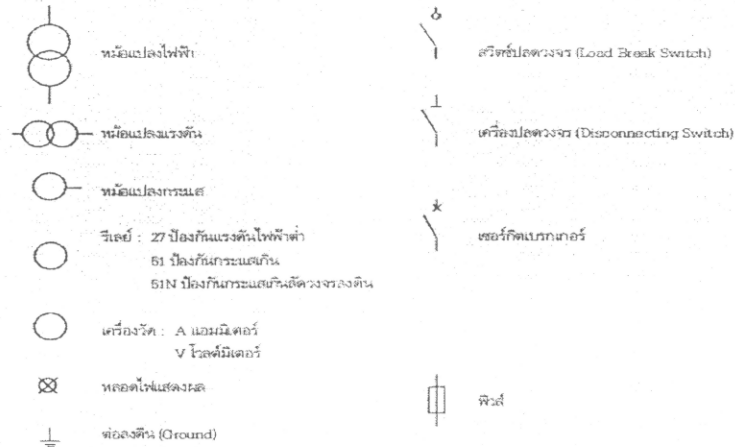


ข. การติดตั้งที่ผิด

ภาพที่ 8.40 แสดงอุปกรณ์และความลึกของปลงยาต่อจากพื้น

1. สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าตามมาตรฐานสากล

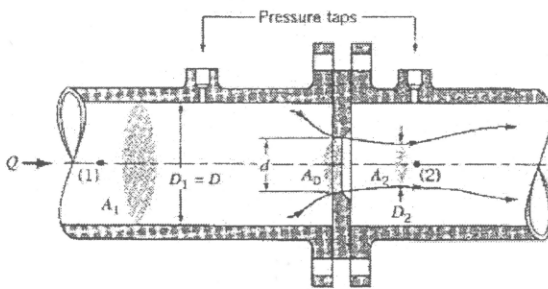
สัญลักษณ์ส่วนใหญ่จะใช้มาตรฐานอเมริกา หรือตามมาตรฐาน IEC ตามมาตรฐาน IEC



การสร้างเครื่องวัดค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับเตาชีวมวล

การสร้าง orifice เพื่อวัดอัตราการไหลของอากาศ

1.1 ออร์ิฟิซมิเตอร์ (orifice meter) สร้างขึ้นจากการแทรกแผ่นเรียบที่มีรูเจาะตรงกลาง เข้าไปในระหว่างสองหน้าแปลนของท่อ ดังแสดงในภาพที่ 7.32



ภาพที่ 7.32 ออร์ิฟิซมิเตอร์ (orifice meter)

ที่มา: Munson B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.530.

สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการไหลคือ

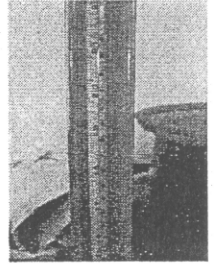
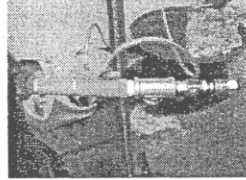
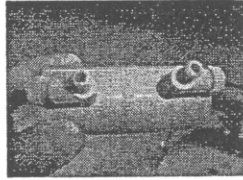
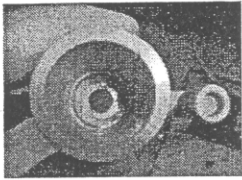
$$Q = C_0 Q_{\text{ideal}} = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

วัสดุ/อุปกรณ์

1. ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาวประมาณ 10 เซนติเมตร
2. แผ่นเหล็กบาง
3. สายยาง
4. น็อตเกลียว
5. กาวตราช้าง

วิธีการสร้างเครื่องมือ

1. นำข้อต่อ ท่อพีวีซี ยาวประมาณ 10 เซนติเมตร มาเจาะรูบนท่อพีวีซี 2 จุด ให้ทั้งสองจุดห่างจากจุดกึ่งกลางท่อในระยะที่เท่ากัน
2. นำแผ่นเหล็กมาเจาะรู ใส่ลงตรงกลางของท่อพีวีซีพร้อมทากาว
3. ต่อท่อเกลียวกับมานอมิเตอร์



การสร้างมานอมิเตอร์ เพื่อวัดความดันของ ของไหล (ของเหลวและก๊าซ)

มานอมิเตอร์ (manometer) ซึ่งเป็นหลอดรูปตัว U ที่มีของเหลวบรรจุอยู่ (โดยมากจะเป็นปรอท) ปลายด้านหนึ่งต่อเข้ากับภาชนะซึ่งมีความดัน P_2 ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเปิดให้อากาศเข้า ซึ่งจะมีความดันเป็น $P_1 = P_{atm}$ ถ้า $P_2 > P_1$ จะทำให้ของเหลวในด้านปลายเปิดสูงกว่าด้านปลายปิด ถ้าจุด B เป็นจุดบนผิวของของเหลวที่อยู่ในด้านปลายปิด และ จุด A เป็นจุดที่อยู่ในแนวระดับเดียวกับจุด B (ดังนั้น $P_A = P_B$) เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} P_A &= P_B \\ P_1 + \rho gh &= P_2 \\ P_{atm} + \rho gh &= P_2 \\ \therefore P_2 - P_{atm} &= \rho gh \end{aligned}$$

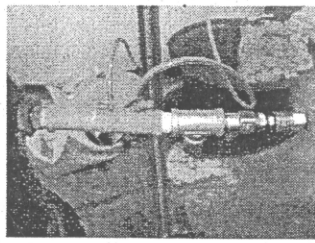
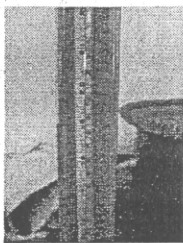
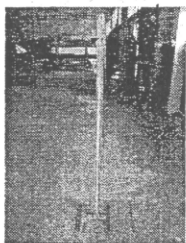
ความสูง h จะมีค่าเป็นสัดส่วนกับ $P_2 - P_{atm}$ ซึ่งค่า ρgh นี้เราเรียกว่า ความดันเกจ (gauge pressure) ส่วนค่า P_2 ซึ่งเป็นค่าความดันเกจบวกกับความดันบรรยากาศ เราเรียกว่า ความดันสัมบูรณ์

วัสดุ/อุปกรณ์

1. สายดลัมเมตร ยาว 150 เซนติเมตร
2. แผ่นไม้
3. สายยาง ยาว 5 เมตร
4. แท่งเหล็กสำหรับสร้างฐาน
5. ตะปู และห่วงเหล็กยึดสายยาง

วิธีการสร้างเครื่องมือ

1. นำสายวัดจากดลัมเมตรไปติดไว้กับแผ่นไม้ ยึดด้วยตะปูขนาดเล็ก
2. วางสายยางให้เป็นรูปตัวยู ล้อมรอบสายวัด ยึดสายยางกับห่วงเหล็กและตะปู
3. นำแท่งเหล็กมาสร้างฐาน เพื่อยึดกับแผ่นไม้



การสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

วัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนหรือแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลสองชนิดที่เป็นของไหลร้อนและของไหลเย็น

ชนิดของการแลกเปลี่ยนความร้อน

การแบ่งประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ แบ่งตามสภาวะของของไหลที่ใช้ และแบ่งตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้คือ

การแบ่งตามสภาวะของไหลที่ใช้

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของของไหลทั้ง 2 ชนิด เช่น น้ำมันกันหอกลั่นและน้ำมันดิบที่ป้อนเข้าหอกลั่น เป็นต้น
2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของของไหลทั้ง 2 ชนิด โดยของเหลวชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนสภาวะเป็นก๊าซหรือระเหยเป็นไอในระหว่างแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น เครื่องต้มซ้ำ (Reboiler) ของหอกลั่นน้ำมัน ซึ่งใช้น้ำมันอุณหภูมิสูงเป็นแหล่งความร้อน
3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ก๊าซ ชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ ไม่เกิดการควบแน่นเป็นของเหลว เช่น เครื่องอุ่นอากาศที่ใช้ก๊าซทิ้งเป็นแหล่งความร้อน
4. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ก๊าซ ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ โดยชนิดหนึ่งจะมีการควบแน่นเป็นของเหลว เช่น เครื่องกระจายความร้อน (Radiator) สำหรับทำความอบอุ่นในห้อง โดยทำอากาศให้อุ่นด้วยไอน้ำ
5. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ของเหลว ชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ โดยชนิดหนึ่งเป็นก๊าซและอีกชนิดหนึ่งเป็นของเหลว เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อน ที่ใช้ก๊าซทิ้งจากหม้อไอน้ำเป็นแหล่งความร้อน
6. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ของเหลว ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ เช่น หม้อไอน้ำแบบท่อ ซึ่งระเหยน้ำให้เป็นไอน้ำด้วยก๊าซสันดาป และเครื่องควบแน่น ซึ่งควบแน่นไอให้เป็นของเหลวด้วยน้ำระบายความร้อน

การแบ่งประเภทตามจุดประสงค์การใช้งาน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งตามประเภทจุดประสงค์การใช้งานหรือลักษณะการใช้งานนั้น ได้แก่

1. เครื่องระเหย(Evaporator)หรือหม้อเคี่ยว(Concentrator)การใช้งานคือการระเหยของเหลวให้เป็นไอเพื่อใช้ไอที่เกิดขึ้นให้เป็นประโยชน์หรือเพื่อให้ได้ของเหลวที่เข้มข้นขึ้น
2. เครื่องอุ่น หรือเครื่องทำให้ร้อนล่วงหน้า (Preheater) จุดประสงค์ก็เพื่อให้ของไหลร้อนล่วงหน้า ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของกระบวนการ โดยทั่วไปมักจะเรียกชื่อตามตำแหน่งข้างหน้าของการใช้งาน

หรือตามประเภทของของไหลที่ถูกอุ่นให้ร้อน เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Boiler Feed Water Preheater) เป็นต้น

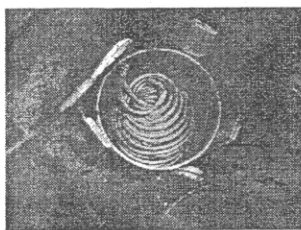
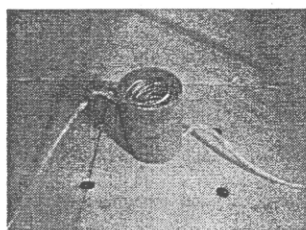
3. เครื่องทำให้ร้อน (Heater) จุดประสงค์ก็เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหลให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น
4. เครื่องทำให้ร้อนยิ่งยวด (Superheat-heater) เครื่องนี้จะทำหน้าที่เพิ่มความร้อนให้กับของไหลที่ถูกทำให้ร้อนมาแล้ว เพื่อที่จะทำให้อยู่ในสภาพร้อนยิ่งยวด เช่น เครื่องดงไอ (Steam Superheater)
5. เครื่องต้มซ้ำ (Reboiler) เครื่องนี้ทำหน้าที่ให้ความร้อนให้กับของเหลวเพื่อที่จะระเหยให้เป็นไ้อีกครั้ง
6. เครื่องควบแน่น (Condenser) จุดประสงค์ที่สำคัญก็เพื่อควบไอให้กลายเป็นของเหลว เช่น เครื่องควบแน่นไอน้ำ
7. เครื่องควบแน่นหมด (Total Condenser) เครื่องนี้เป็นเครื่องควบแน่นชนิดหนึ่งที่ใช้กับหอกลิ้นได้รับการออกแบบให้สามารถควบแน่นไอที่ออกมาจากยอดหอกลิ้นได้ทั้งหมด
8. เครื่องควบแน่นบางส่วน (Partian Condenser) เครื่องควบแน่นประเภทผลิตขึ้นใช้กับหอกลิ้น มีจุดประสงค์เพื่อควบแน่นบางส่วนให้กลายเป็นของเหลว
9. เครื่องระบายความร้อน (Cooler) เครื่องนี้ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับของไหลเพื่อลดอุณหภูมิของของไหล
10. เครื่องทำให้เย็นจัด (Chillier) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของของไหลให้ต่ำลงมาก โดยใช้สารทำความเย็น (Refrigeration) เช่น ฟรียอน แอมโมเนีย เป็นต้น

วัสดุ/อุปกรณ์

1. ท่อเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร
2. ท่อทองแดงขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตร
3. สายยาง ยาว 5 เมตร
4. กาวตราช้าง
5. ลวด

วิธีการสร้างเครื่องมือ

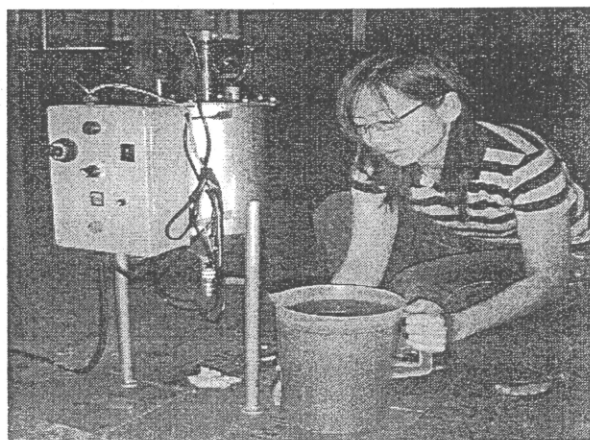
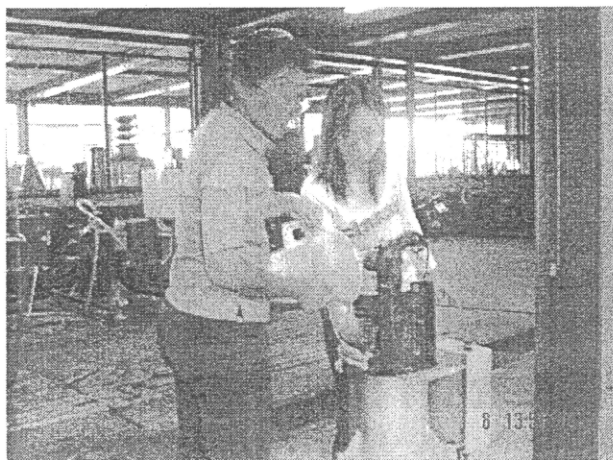
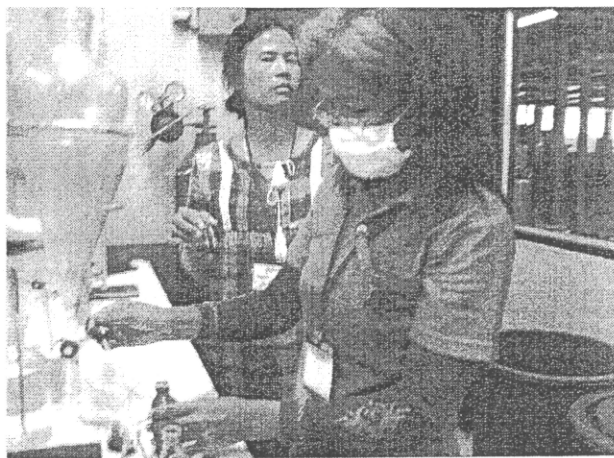
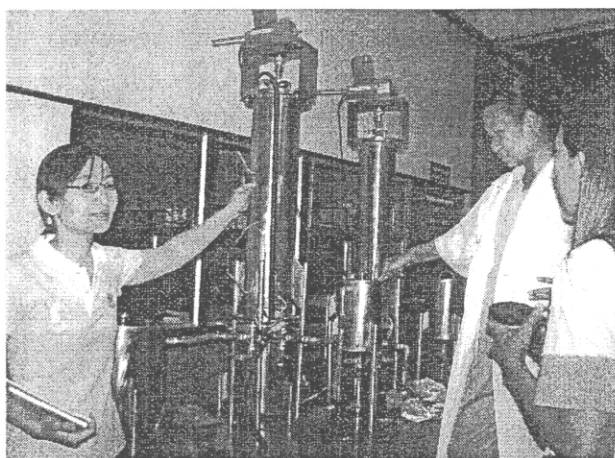
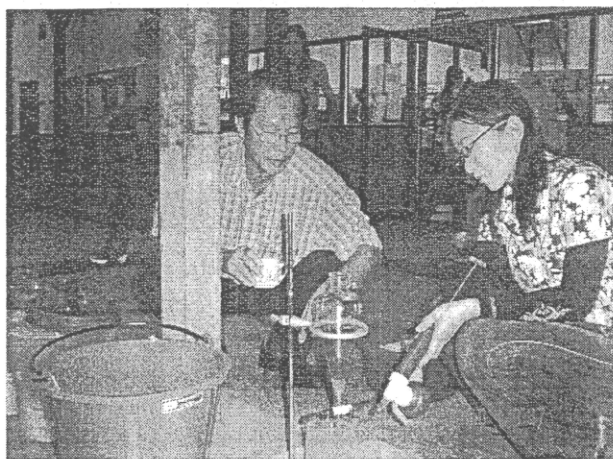
1. นำท่อทองแดงขนาดเล็ก มาขดให้เป็นทรงกรวยให้ได้ขนาด สามารถนำไปใส่ในท่อได้
2. เจาะรูท่อเหล็ก ด้านบน 1 รู ด้านล่าง 1 รู ให้ท่อทองแดงขนาดเล็กสามารถลอดผ่านรูได้
3. นำสายยางมาต่อกับท่อทองแดงทั้งสองด้าน อัดกาวรอยต่อให้แน่น



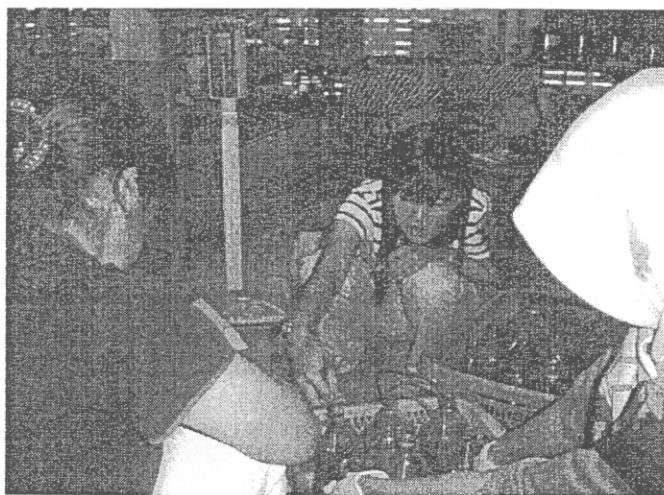
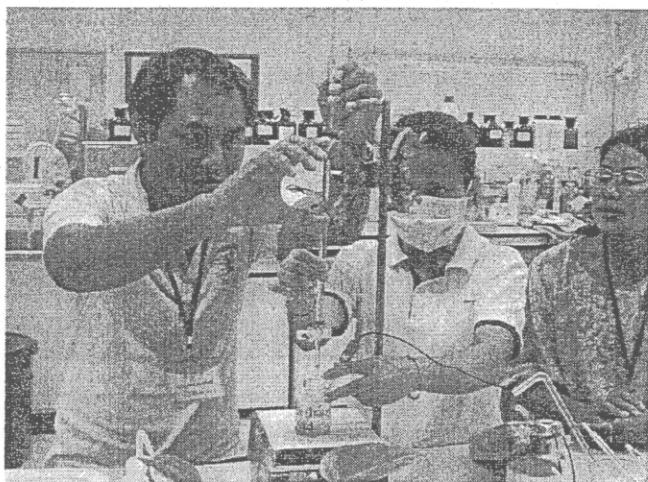
ภาคผนวก จ

ภาพกิจกรรมครูวิจัยพลังงาน

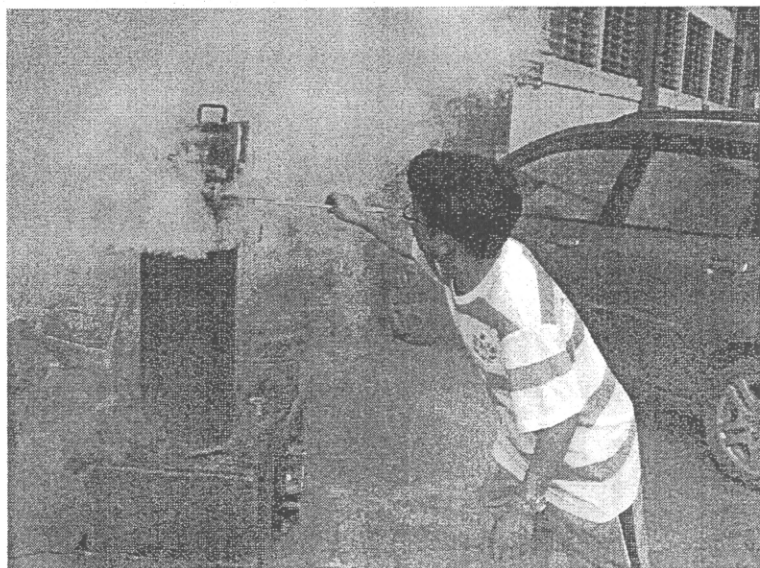
กลุ่มไบโอดีเซล



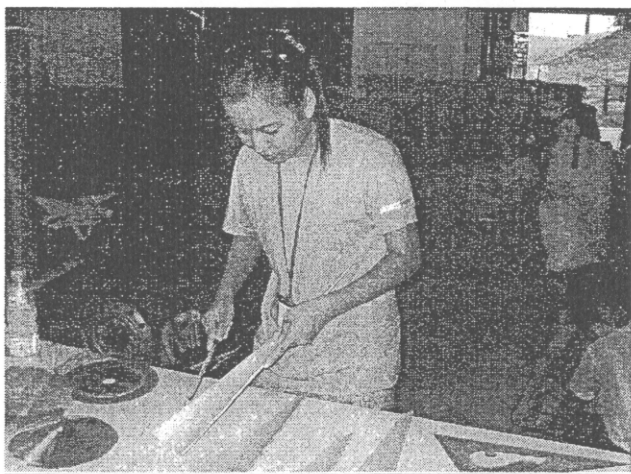
กลุ่มก๊าซชีวภาพ



กลุ่มก๊าซชีววมวลและเชื้อเพลิงแข็ง



กลุ่มลม



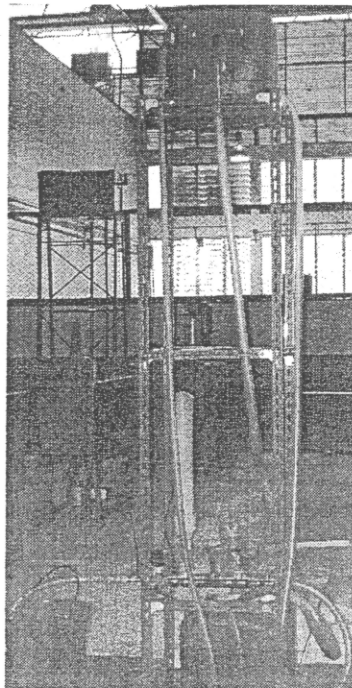
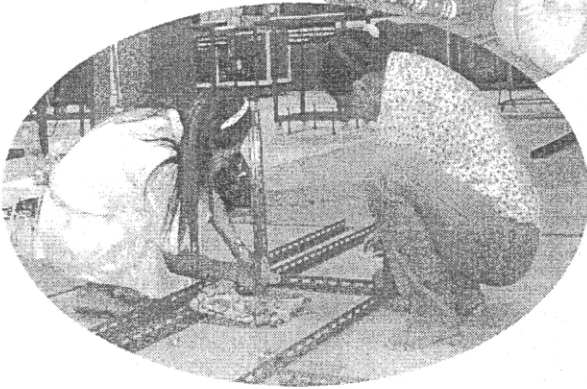
กลุ่มอนุรักษ์



กลุ่มอบแห้ง



กลุ่มพลังงานน้ำ



นำเสนอผลงานในวันที่ 29 เม.ย. 52



