รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน สำหรับให้ความร้อนผลปาล์ม

Development of screw dryer using microwave and hot air for heating palm fruit

กำพล ประทีปชัยกูร

ชยุต นันทดุสิต

นันทพันธ์ นภัทรานันทน์

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณแผ่นดิน

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2558

รหัสโครงการ ENG580301S

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับให้ความร้อนผลปาล์ม

Development of screw dryer using microwave and hot air for heating palm fruit

กำพล ประทีปชัยกูร
ชยุต นันทดุสิต
นันทพันธ์ นภัทรานันทน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณแผ่นดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2558
รหัสโครงการ ENG580301S

บทคัดย่อ

การอบผลปาล์มเป็นกระบวนการต้นทางที่ช่วยยับยั้งปฏิกิริยาเอนไซน์ที่จะสร้างกรดไขมันอิสระ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ใช้กระบวนการผลิตไบโอดีเซล ที่ผ่านมามีปัญหาความไม่สม่ำเสมอของผลปาล์มโดยการอบแบบใช้ลมร้อนไหลผ่านกองผลปาล์ม ทำให้ใช้เวลาในการอบนานและสิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู ซึ่งสามารถอบผลปาล์มได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้ลมร้อนผสมผสานกับคลื่นไมโครเวฟ ทำให้ผลปาล์มที่ได้มีอุณหภูมิผลปาล์มสม่ำเสมอ ลดระยะเวลาในการอบ และสามารถลดการใช้พลังงาน

ในงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การอบผลปาล์มด้วยลมร้อน การอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ การอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนผสมผสานกับคลื่นไมโครเวฟ และการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบสกรู

ในส่วนของการศึกษาอบผลปาล์มด้วยลมร้อน พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบจาก 80 °C เป็น 120 °C สามารถช่วยลดระยะเวลาในการอบผลปาล์มจาก 19 ชั่วโมง ให้เหลือ 4 ชั่วโมงได้ และสามารถเพิ่มปริมาณน้ำมันในการหีบผลปาล์มได้ ในขณะที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกันมาก ในส่วนการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ พบว่า การเพิ่มกำลังวัตต์ของคลื่นไมโครเวฟมีผลให้ผลปาล์มแห้งเร็วขึ้น และอุณหภูมิของผลปาล์มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในระหว่างการอบผลปาล์ม ความแข็งของผลปาล์มลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นความแข็งผิวจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง โดยที่ความชื้นในช่วง 20-30%db มีค่าความแข็งของผิวปาล์มน้อยที่สุดประมาณ 10 N เมื่อทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการแห้งของผลปาล์มเมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W สามารถสรุปได้ว่า การอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนจะให้อัตราการแห้งของผลปาล์มสูงกว่าการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟของการอบช่วงแรก ส่วนในช่วงหลังการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟจะให้อัตราการแห้งสูงกว่าการอบด้วยระบบลมร้อน

ในส่วนของการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบปาล์มสกรูระบบลมร้อนผสมผสานกับคลื่นไมโครเวฟ เครื่องอบผลปาล์มแบบสกรูมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ โครงสร้างของตัวเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู ระบบส่งอากาศร้อน ระบบไมโครเวฟ และระบบส่งกำลัง โดยภายในห้องอบมีสกรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.255 เมตร ยาว 3.10 เมตร เพื่อลำเลียงผลปาล์มร่วงไปพร้อมกับการอบด้วยความเร็วรอบของการหมุนของสกรูเป็น 0.5 รอบ/นาที เครื่องอบสามารถอบผลปาล์มได้แบบต่อเนื่องด้วยอัตราการป้อนผลปาล์ม 30 kg/hr โบล์เวอร์ทำหน้าที่หมุนเวียนลมร้อนในระบบโดยเป่าลมผ่านฮีทเตอร์ไฟฟ้า ลักษณะการไหลของลมร้อนเป็นแบบสวนกระจายจากด้านบนผ่านสู่ด้านล่างของตัวสกรู มีลมร้อนบางส่วนระบายออกและมีช่องรับลมร้อนภายใต้ตัวเครื่องเพื่อหมุนเวียนในระบบ จากการทดสอบใช้งานเครื่อง พบว่าการใช้ระบบลมร้อนแบบผสมผสานกับคลื่นไมโครเวฟสามารถช่วยลดเวลาในการอบแห้งผลปาล์มได้ 180 นาที เมื่อเทียบกับการอบด้วยระบบลมร้อนเพียงอย่างเดียว

ABSTRACT

Palm fruit drying is a primary process that inhibits the enzymatic action to produce free fatty acid. This free fatty acid affects the quality of palm oil using in the biodiesel production process. In the past, the problem of non-uniform of palm fruit heating was caused by the hot air through the pile of palm fruit. It taken a long time for drying process and consuming heat energy. Therefore, this research has the idea to design and build a screw-type palm fruit dryer. The palm fruit can be dried continuously by using hot air combined with microwave. The temperature of drying palm fruit should be more uniform, reduce the drying time and reduce energy consumption. This study was divided into 4 parts: drying palm fruit with hot air, drying palm fruit with microwave, drying palm fruit with hot air combined with microwave and design and development of a screw dryer system for palm fruit.

In the study of hot air drying, it was found that increasing the hot air temperature from 80 °C to 120 °C could reduce the duration of drying from 19 hours to 4 hours and could increase the oil content. While the percentage of free fatty acids was not significantly different. For microwave drying, it was found that the increase of microwave power resulted in faster drying of palm fruit. And the temperature of the palm fruit increased rapidly during the drying process. The hardness of the palm fruit rapidly decreases and after that the surface hardness will increase again. The moisture content in the range of 20-30 %db has a minimum palm hardness of about 10 N when comparing the drying behavior of palm fruit when drying with hot air at 100 °C. The microwave power of the 10 W microwaves can be concluded. The hot air drying of palm fruit resulted in a higher drying rate of palm fruit than that of microwave drying. In the post-microwave drying stage, the drying rate was higher than the hot air drying.

For the design and development of palm screws, hot air combined with microwave. The screw-type fruit dryer has four main components: the structure of the screw-type palm machine. The hot air system, microwave system and transmission system inside the drying chamber has a screw diameter of 0.255 meters long, 3.10 meters to convey the palm fruit to fall. The rotation speed of the screw is 0.5 rpm. 30 kg/hr. The blower circulates the hot air in the system by blowing the air through the heater. The flow of hot air is diffused from the top to the bottom of the pan. Screw there are some hot winds out and hot air under the machine to circulate in the system. From the test machine. It was found that the use of hot air combined with microwave drying could reduce the drying time of palm fruit by 180 minutes compared to hot air drying alone.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตามสัญญาเลขที่ ENG-55-2-7-02-0164-S คณะผู้วิจัยขอขอบคุณที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์และบุคลากรภาควิศวกรรมเครื่องกล ตลอดจนทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้ที่มีส่วนช่วยให้การทำวิจัยจนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย	(2)
บทคัดย่ออังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
1.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	3
1.4.1 การศึกษาเกี่ยวกับการอบผลปาล์มน้ำมัน	3
1.4.2 การศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานสกรูลำเลียง	5
1.4.3 การศึกษาเกี่ยวกับการอบให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ	6
1.4.4 การศึกษาเกี่ยวกับการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ	7
2. ผลของความเร็วและอุณหภูมิลมร้อนที่มีต่อกระบวนการหีบผลปาล์ม	8
2.1 ที่มาของปัญหา	8
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการอบแห้ง	8
2.3 วัสดุในการทดลอง	9
2.4 วิธีการทดลอง	11
2.5 ผลการทดลอง	12
2.6 สรุปผลการทดลอง	17
3. พฤติกรรมการแห้งและความแข็งผิวของผลปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ	18
3.1 ที่มาของปัญหา	18
3.2 รายละเอียดชุดทดลองและวิธีการทดลอง	18
3.3 ผลการทดลอง	20
3.3.1 ผลการสอบเทียบกำลังไมโครเวฟ	20
3.3.2 ผลการทดลองหาค่าความชื้นของผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ	20
3.3.3 ผลการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ	21
3.3.4 ผลการทดลองหาค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 สรุปผลการศึกษา	24
4. การศึกษาเปรียบเทียบการแห้งของผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน	25
4.1 ที่มาของปัญหา	25
4.2 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	25
4.2.1 เครื่องอบผลปาล์มด้วยระบบคลื่นไมโครเวฟ	25
4.2.2 การสอบเทียบเครื่องไมโครเวฟ	26
4.2.3 การทดลองอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ	26
4.2.4 การทดลองอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อน	27
4.3 ผลการทดลองอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อน	28
4.3.1 ผลการทดลองหาค่าความชื้นของผลปาล์มที่อบด้วยระบบลมร้อน	28
4.3.2 ผลการทดลองหาอุณหภูมิภายในผลปาล์มที่อบด้วยระบบลมร้อน	31
4.3.3 ผลการทดลองหาค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มที่อบด้วยระบบลมร้อน	35
4.3.4 ความชื้นของผลปาล์มต่อค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์ม	37
4.4 การทดลองอบผลปาล์มด้วยไมโครเวฟ	40
4.4.1 ผลการสอบเทียบเทียบกำลังไมโครเวฟ	40
4.4.2 ผลการทดลองหาค่าความชื้นของผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ	40
4.4.3 ผลการทดลองหาอุณหภูมิภายในผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ	41
4.4.4 ผลการทดลองหาค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ	42
4.4.5 ความชื้นของผลปาล์มต่อค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มเมื่ออบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ	43
4.5 ผลการเปรียบเทียบการอบแห้งผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับการอบแห้งผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W	44
4.5.1 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในผลปาล์มเมื่ออบด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100W	44
4.5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความชื้นของผลปาล์มเมื่ออบด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100W	44

สารบัญ (ต่อ)

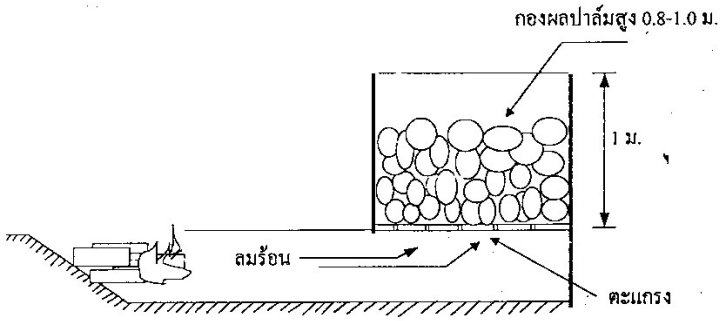
	หน้า
4.5.3 ผลการเปรียบเทียบความแข็งที่ผิวของผลปาล์มเมื่ออบด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W	45
4.6 สรุปผลการทดลอง	47
5. การอบปาล์มแบบผสมระหว่างลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ	48
5.1 ที่มาของปัญหา	48
5.2 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	48
5.3 ผลการศึกษา	50
5.4 สรุปผลการทดลอง	55
6. การพัฒนาเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับให้ความร้อนผลปาล์ม	56
6.1 ที่มาของปัญหา	56
6.2 แนวคิดและการทำงานของเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู	57
6.3 แผนภูมิอุปกรณ์ชุดทดลอง	58
6.4 การศึกษารูปแบบการติดตั้งครีบบนสกรูที่มีต่อการคลุกเคล้าของผลปาล์ม	59
6.5 การทดสอบอบผลปาล์มด้วยเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	64
6.6 สรุปผลการทดลอง	69
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก ก. แบบชุดทดลองสกรูอบปาล์ม	72
ภาคผนวก ข. อนุสิทธิบัตร	74

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากปัญหาน้ำมันปิโตรเลียมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและภาวะราคาน้ำมันสูงขึ้น ทำให้ประชาชนมีภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานโดยเฉพาะค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นทุกปี รัฐบาลมีนโยบายที่จะใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้น น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันจากพืชที่รัฐบาลได้กำหนดยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติ สามารถนำไปทำน้ำมันชีวภาพที่เรียกว่า “ไบโอดีเซล” ซึ่งรัฐบาลโดยกระทรวงพลังงานมีเป้าหมายให้ใช้ไบโอดีเซล 3% ของการใช้น้ำมันดีเซลทั้งหมดในปี 2554 หรือการใช้วันละ 2.4 ล้านลิตร นอกจากนี้กระทรวงพลังงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจึงได้ดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตการใช้ไบโอดีเซลในระดับชุมชน เพื่อให้ชุมชนสามารถผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบในท้องถิ่นได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว พืชน้ำมัน เช่น ปาล์ม มะพร้าว สบู่ดำ ถั่วเหลือง และอื่นๆ ที่มีอยู่ในชุมชน เพื่อนำมาใช้สำหรับกิจการภายในชุมชนเอง หรือหากมีเหลือสามารถขายเพื่อนำรายได้เข้าสู่ชุมชนต่อไป

การผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศไทย สามารถแบ่งตามกระบวนการหีบแยกน้ำมันออกได้ 2 ประเภท คือ หีบแบบแยกเมล็ดในปาล์มหรือการหีบแบบเปียก และหีบแบบรวมเมล็ดในปาล์มหรือการหีบแบบแห้ง โดยการหีบแบบแยกเมล็ดในปาล์มนั้นส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดใหญ่มีกำลังการผลิตสูง และจะใช้ผลปาล์มทั้งทะลายในการผลิตน้ำมันปาล์ม ได้ผลผลิตเป็นน้ำมันจากเปลือกและน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม ส่วนการสกัดแบบรวมเมล็ดในปาล์มนั้นจะใช้กับผลปาล์มร่วงหรือผลปาล์มสับ จะมีกระบวนการให้ความร้อนผลปาล์มก่อนเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาลิโปไลซิส (ทำลายเอนไซน์ไลเปส) และไล่น้ำออกจากผลปาล์ม ทำให้ผลปาล์มสุกและมีผิวนิ่ม ก่อนที่นำผลปาล์มที่ได้ไปหีบในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจะได้น้ำมันปาล์มดิบในการให้ความร้อนนี้อาจใช้วิธีย่างหรือทอด การสกัดแบบนี้เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้น้ำในการสกัดน้ำมัน ไม่มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต อาจเรียกว่า การสกัดแบบแห้ง ดังนั้นการให้ความร้อนผลปาล์มถือเป็นกระบวนการต้นทางที่ควบคุมคุณภาพน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 1.1 รูปแบบการย่างผลปาล์มในโรงงานแบบหีบรวม (บัญญัติ, 2544)

สำหรับกระบวนการให้ความร้อนผลปาล์มก่อนหีบ ปัจจุบันจะบรรจุผลปาล์มในกระบะซีเมนต์ที่ปูพื้นด้วยตะแกรงเหล็ก ด้านล่าง มีช่องให้ลมร้อนไหลขึ้นผ่านตะแกรงเหล็กได้ ลมร้อนที่ใช้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ไม้ยางพารา หรือน้ำมันเตา (รูปที่ 1.1) ซึ่งการอบแห้งเช่นนี้ทำให้

ช่วงแรกของการอบแห้งไอน้ำจะกลั่นตัวที่ชั้นบนของกองปาล์มซึ่งอุณหภูมิยังต่ำอยู่ ทำให้ไม่อาจยับยั้งปฏิกิริยาเอนไซน์ได้ นอกจากนั้นยังพบว่าผลปาล์มทั้งกองแห้งไม่สม่ำเสมอ โดยผลปาล์มชั้นล่างอาจจะแห้งเกินไป ผลปาล์มที่แห้งเกินไปจะแข็งและทำให้สกรูหีบสึกหรอได้ง่าย ผลปาล์มชั้นบนที่แห้งไม่สนิทจะมีน้ำปนทำให้ได้น้ำมันปาล์มด้อยคุณภาพ กรรมวิธีการแบบนี้ไม่มีแรงดูดของอากาศจากด้านบนกองปาล์มทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากในระยะแรกที่กองปาล์มยังเย็นอยู่ อีกทั้งต้องใช้พัดลมเป่าอัดลมร้อนเข้าใต้กระบะอบแห้ง การให้อากาศโดยการอัดนี้ทำให้อากาศร้อนมีโอกาสรั่วไหลออกจากระบบได้ง่ายซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานและเพิ่มต้นทุน นอกจากนั้น การอบชั้นหนาเกินไปทำให้ผลปาล์มแห้งไม่สม่ำเสมอและมีผลต่อคุณภาพดังกล่าวข้างต้น ในช่วงท้ายของการอบเมื่อผลปาล์มใกล้แห้งจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปมากโดยลมที่ปล่อยทิ้งจากระบบอาจมีอุณหภูมิถึง 70°C ระบบแบบนี้มีเตาเผาเชื้อเพลิงซึ่งมักจะอยู่ระดับใต้พื้นทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เพราะจำกัดอากาศเข้าสันดาป (ไม่มีอากาศปฐมภูมิ) ส่งผลให้เกิดเขม่ามากซึ่งจะเกาะกับผลปาล์มชั้นล่าง

ปัญหาดังกล่าวทำให้ไม่อาจยับยั้งปฏิกิริยาเอนไซน์ที่จะสร้างกรดไขมันอิสระซึ่งมีผลต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และการใช้พลังงานโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาออกแบบเครื่องอบแห้งแบบสกรูสำหรับอบให้ความร้อนผลปาล์ม โดยใช้คลื่นไมโครเวฟและลมร้อนเพื่อแก้ปัญหาการอบผลปาล์มดังกล่าวข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและพัฒนาเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรูต้นแบบที่ใช้ระบบผสมผสานระหว่างคลื่นไมโครเวฟและเจ็ทลมร้อน สำหรับใช้ในชุมชน

2. ศึกษาผลของปัจจัยในการอบผลปาล์ม ได้แก่ อุณหภูมิและความเร็วของเจ็ทลมร้อน กำลังวัตต์ของคลื่นไมโครเวฟ ความเร็วในการลำเลียงผลปาล์มผ่านสกรู รูปแบบวิธีการที่มีต่ออัตราการลดความชื้นและความแข็งของผลปาล์ม

3. เปรียบเทียบการสิ้นเปลืองการใช้พลังงาน ปริมาณน้ำมันที่บีบได้ ปริมาณกรดไขมันอิสระและต้นทุนการอบผลปาล์ม กรณีใช้เจ็ทลมร้อน กรณีใช้คลื่นไมโครเวฟ และกรณีใช้ระบบผสมผสานระหว่างระบบเจ็ทลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ

1.3 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ในโครงการวิจัยนี้มีแนวคิดในการใช้เทคโนโลยีเพื่อแก้ไขปัญหาการให้ความร้อนผลปาล์มสำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มแบบหีบแบบรวมเมล็ดในปาล์ม ดังนี้คือ

1. เทคโนโลยีการให้ความร้อนผลปาล์ม การใช้วิธีการเผาไหม้สร้างอากาศร้อนแล้วเป่าลมร้อนผ่านชั้นของผลปาล์ม หรือการใช้ลมร้อนผ่านผลปาล์มเป็นวิธีการให้ความร้อนจากภายนอกสู่ภายในผลปาล์ม การแห้งหรือสุกของผลปาล์มจะขึ้นอยู่กับการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนสู่ผลปาล์ม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วและอุณหภูมิของลมร้อนเป็นหลัก แต่การใช้คลื่นไมโครเวฟนั้นความร้อนจะเกิดขึ้นจากภายในเนื้อผลปาล์มที่มีโมเลกุลของน้ำหรือสารที่มีขั้วถูกกระตุ้นให้มีการสั่นสลับขั้วที่ความถี่สูง ทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพกว่าการให้ความร้อนจากภายนอกผลปาล์ม อย่างไรก็ตาม การเกิดความร้อนภายในนี้จะขึ้นอยู่กับความชื้นในผลปาล์มด้วย ดังนั้นหลังจากให้

ความร้อน จนความชื้นในผลปาล์มลดลงแล้ว อัตราการให้ความร้อนจะลดลง จึงยังจำเป็นต้องใช้ลมร้อนช่วยในการให้ความร้อนในการอบช่วงหลัง ในอดีตมีงานวิจัยที่ศึกษาโดย ผศ.ดร.กลอยใจ เชยกลิ่นเทศ ที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พบว่า การใช้ไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรด ใช้เวลาในการลดความชื้นน้อยลง มีอัตราการลดความชื้นที่คงที่สม่ำเสมอ สามารถประหยัดพลังงานได้ 4-5 เท่า เมื่อเทียบกับการลดความชื้นโดยวิธีใช้ลมร้อน อย่างไรก็ตาม นอกจากการลดความชื้นในผลปาล์มแล้ว ความแข็งของผลปาล์มก็เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในกระบวนการหีบ ซึ่งเบื้องต้น ผู้วิจัยคิดว่าการใช้ลมร้อนผ่านผลปาล์ม กรณีที่ให้ความร้อนมากเกินไปอาจทำให้ผลปาล์มแห้งเร็ว แต่ทำให้มีเปลือกแข็งขึ้น ต้องใช้พลังงานในการหีบสูงและอาจทำให้เครื่องหีบเสียหายได้ การใช้ไมโครเวฟให้ความร้อนอาจจะช่วยลดปัญหาความแข็งของผลปาล์มได้ และควรมีการศึกษาผลของกำลังวัตต์คลื่นไมโครเวฟที่มีต่อความแข็งของผลปาล์ม

2. การใช้สกรูลำเลียงในการอบผลปาล์มแทนระบบเดิมที่อบเป็นกะ สามารถช่วยแก้ปัญหาการสุกไม่สม่ำเสมอของผลปาล์ม ช่วยทำให้ควบคุมคุณภาพของผลผลิตได้ดีขึ้น ในอดีตมีงานวิจัยที่พัฒนาระบบให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบใช้สายพานลำเลียง ที่พัฒนาโดยกลุ่มวิจัยของ ศ. ผดุง ศักดิ์ รัตนเดโช ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ซึ่งผลิตภัณฑ์จะถูกลำเลียงบนสายพานผ่านอุโมงค์ที่ติดตั้งตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ แต่งานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ระบบลำเลียงแบบสกรูแทนระบบสายพาน เนื่องจากระบบนี้ผลปาล์มจะถูกพลิกในระหว่างเคลื่อนที่โดยใบสกรูที่หมุน ทำให้ผลปาล์มทั้งหมดได้รับความร้อนจากลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟอย่างทั่วถึง

1.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

1.4.1 การศึกษาเกี่ยวกับการอบผลปาล์มน้ำมัน

บัญญัติ (2544) ได้ศึกษาพฤติกรรมการแห้งของปาล์ม โดยการบรรจุผลปาล์มในถังอบที่ด้านล่างมีตะแกรงเหล็กให้ลมร้อนไหลผ่านได้ ลมร้อนจะถูกดูดออกทางด้านบนของกองปาล์ม ทำการทดลองทั้งสิ้น 18 การทดลอง โดยศึกษาผลของความสูงของชั้นผลปาล์ม 3 ค่า (25, 40 และ 55 cm) ผลของอุณหภูมิของลมร้อน 3 ค่า (80, 100 และ 120 °C) โดยทำการทดลองที่ความเร็วลมในช่วง 0.8-1.0 m/s ผลการศึกษาพบว่า ที่ความสูงของชั้นปาล์ม 40 cm และอุณหภูมิลมร้อนที่ 120°C ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราการผลิตสูงสุด คือ 18.75% และ 0.58 $kg_{ปาล์ม}$/hr ตามลำดับ และได้ใช้เงื่อนไขนี้ในการออกแบบระบบอบแห้งปาล์มแบบกึ่งต่อเนื่องแบบไหลลง โดยความร้อนเข้าใต้กองปาล์มและประกอบไปด้วยถังอบ 2 ชั้น โดยที่ชั้นล่างใช้อบผลิตภัณฑ์ ที่อยู่ในช่วงสุดท้ายและชั้นบนทำหน้าที่ ดึงความร้อนกลับและอบขั้นต้นตัวผลิตภัณฑ์เอง ระบบดังกล่าวจะมีชิ้นส่วนจำนวนน้อยและไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ ทำให้ต้นทุนการก่อสร้างและการบำรุงรักษาต่ำ ระบบอบแห้งปาล์มที่ได้สร้างขึ้น มีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ เตาเผา ไซโคลน ถังอบแห้งและพัดลมดูดอากาศ ส่วนต่างๆ ต่อถึงกันด้วยท่อเหล็กทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 m เตาเผาเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.30 m มีประตูอากาศปฐมภูมิ เข้าทางด้านล่างของตะแกรง และ มีท่ออากาศทุติยภูมิอยู่เหนือห้องเผาไหม้ ภายในก่อด้วยอิฐและปูนทนไฟ เชื้อเพลิงใช้ได้ทั้งแกนและทะลายปาล์ม

และไม้ยางพาราไซโคลนเป็นชนิดประสิทธิภาพสูง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 m ถังอบแห้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m โดยแบ่งออกเป็นถังอบชั้นล่างและถังอบชั้นบนซึ่งจะดึงความร้อนกลับจากถังอบชั้นล่าง พัดลมดูดอากาศเป็นชนิดความดันสูงใช้กำลังขับจากมอเตอร์ขนาด 15 kW จากผลการทดลองระบบผลแห้งของปาล์ม ที่ได้สร้างขึ้น โดยทำการทดลองที่ อุณหภูมิลมร้อน 120°C และอัตราการไหลของอากาศ 1.8 m^3/s พบว่า ความชื้นผลปาล์มเริ่มต้น 29.9-41% (ฐานแห้ง) ในเวลา 4-4.5 ชั่วโมง ระบบอบแห้งนี้สามารถอบแห้งผลปาล์มได้ปริมาณ 96.5 kg/hr ปริมาณการใช้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงคือ 80 kg พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการผลิต 0.98 $MJ/kg_{ปาล์ม}$ ผลปาล์มที่ได้มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอ

ชนินทร (2550) ได้ออกแบบและสร้างตู้นึ่งปาล์ม โดยการนึ่งผลปาล์มน้ำมันในแต่ละครั้งจะบรรจุทะลายปาล์มน้ำมันในตู้นึ่ง ทดลองนึ่งโดยใช้ไอน้ำที่สภาวะต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิ 130-150°C ความดัน 3 บาร์ ระยะเวลาที่ใช้ในการนึ่งต่อรอบ 60 นาที การนึ่งปาล์มสดมีวัตถุประสงค์เป็นเพื่อยับยั้งเอนไซม์ไลเปส ซึ่งจะหยุดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระอันเป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำ นอกจากนี้การนึ่งผลปาล์มสดยังทำให้ขั้วผลปาล์มนิ่มซึ่งจะทำให้ปาล์มหลุดร่วงจากทะลายได้ง่ายและทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ย ง่ายต่อการบีบอัดน้ำมัน

ปัญญาและจำลอง (2548) ได้ศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในปัจจุบันจะใช้ความร้อนนึ่งประมาณ 140 °C ผลปาล์มเพื่อยับยั้งกรดไขมันอิสระและทำให้บีบน้ำมันได้ง่ายขึ้นแต่จะส่งผลให้วิตามินอีแตกสลายไปบางส่วน บทความนี้จึงได้นำเสนอผลการศึกษาถึงกระบวนการบีบน้ำมันปาล์มให้ความร้อนที่ 70 °C 5 นาที เพื่อยับยั้งเอ็นไซด์และให้ยังคงวิตามินอีไว้ให้มากที่สุด และได้ออกแบบเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตให้เหมาะสมต่อเกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรสามารถนำไปบีบน้ำมันปาล์มดิบได้ด้วยตนเอง แล้วนำไปขายต่อให้กับอุตสาหกรรมทำเครื่องสำอาง หรืออุตสาหกรรมหล่อลื่นโดยใช้วิธีนำผลปาล์มสดมาเข้าเครื่องแยกเปลือกออกจากเมล็ดแล้วนำไปบีบด้วยเครื่องบีบน้ำมัน จากการทดลองพบว่าจากผลปาล์มสดปริมาณ 100% โดยน้ำหนัก เมื่อนำไปเข้ากระบวนการบีบน้ำมันที่ด้วยเครื่องสร้างขึ้นปรากฏว่าได้น้ำมันประมาณ 20% โดยน้ำหนัก เมล็ดใน 40% โดยน้ำหนัก และกากที่เหลือจากการบีบน้ำมันแล้วประมาณ 40% โดยน้ำหนัก น้ำมันที่ได้จากทะลายปาล์มที่เก็บไว้ 1 วัน มีค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids.(as oleic acid)) 4.3% วิตามินอียังคงเหลืออยู่ในน้ำมันปาล์มจำนวน 1217.39 PPM น้ำมันที่ได้จากทะลายปาล์มที่เก็บไว้ 7 วัน มีค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) 7.2% วิตามินอียังคงอยู่ในน้ำมันปาล์มจำนวน 1194.28 PPM ในขณะที่น้ำมันปาล์มดิบจากโรงผลิตในปัจจุบันมีค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) ประมาณ 4-5% และมีวิตามินอีอยู่จำนวน 600-800 PPM

ไกรวุฒิและคณะ (2534) ได้ศึกษาการกำหนดระดับชั้นคุณภาพของผลปาล์มน้ำมันทะลายสดจะใช้น้ำหนักของทะลายเป็นเกณฑ์ แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ ระดับชั้นที่ 1 น้ำหนักมากกว่า 15 kg ระดับชั้นที่ 2 น้ำหนักมากกว่า 11-15 kg ระดับชั้นที่ 3 น้ำหนักมากกว่า 6-10 kg ระดับชั้นที่ 4 น้ำหนักมากกว่า 3-5 kg การทดลองนี้ต้องทราบปริมาณน้ำมันที่ได้ (Yield) และคุณภาพของน้ำมันโดยพิจารณาจากกรดไขมันอิสระและค่าไอโอดีน จากการบีบสกัดผลปาล์มน้ำมัน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ดูร่าและพันธ์เทเนอร่า ระดับชั้นต่างๆ ที่เก็บไว้ในระยะเวลา 1-5 วัน จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปาล์มน้ำมันระดับชั้นที่ 1 และ 2 ให้ปริมาณน้ำมัน 20.88 และ 20.76% ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน ระดับชั้นที่ 3 ให้ปริมาณน้ำมัน 18.31% ระดับชั้นที่ 4 ให้ปริมาณน้ำมัน 14.30% ปาล์ม

น้ำมันพันธ์เทเนอร่าซึ่งเป็นพันธุ์ปลูกให้ปริมาณน้ำมัน 22.73% มากกว่าพันธุ์ดูร่าที่ให้ปริมาณน้ำมัน 14.39% การเก็บผลปาล์มทะลายสดในสภาพที่อากาศถ่ายเทสะดวก 5 วัน จะมีผลทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นแต่การเพิ่มยังไม่เกินระดับที่มาตรฐานกำหนดคือ 5% พันธุ์และระดับชั้นไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ ปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอร่ามีค่าไอโอดีนเฉลี่ย 48.34 ส่วนพันธุ์ดูร่ามีค่าไอโอดีนเฉลี่ย 46.79 ระดับชั้นและระยะเวลาในการเก็บไม่เกิน 5 วัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าไอโอดีนของน้ำมัน

1.4.2 การศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานสกรูลำเลียง

Al-Kassir (2005) ได้ศึกษาทางทฤษฎีและการทดลองของเครื่องอบแห้งสกรูความร้อนสำหรับกากชีวมวล ในการปัจจุบันการศึกษาถูกพัฒนาสำหรับการคำนวณและการออกแบบของเครื่องอบแห้งสกรูความร้อนสำหรับกากชีวมวล ข้อมูลที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิปากทางเข้า และอัตราการไหลของแก๊ส และ กากอุ่น ในการทดลองเพื่อจะวัดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสกรูความร้อน เมื่อเวลาผ่านไป พบว่า ความสัมพันธ์ในการพัฒนารูปแบบเกี่ยวกับทดลองที่เหมาะสมที่ความยาวเครื่องอบแห้งสกรูความร้อนที่ 3 m เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.22 m

อนุชาและอัศวิน (2549) เสนอว่าการออกแบบอุปกรณ์ป้อนจ่ายแบบใบสกรูจำเป็นที่จะต้องใช้ทั้งทฤษฎีในการคำนวณประกอบกับผลที่ได้จากการทดลองจริงเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้อง โดยเฉพาะการหาค่าอัตราการขนถ่ายวัสดุ หรือกำลังงานที่จะต้องใช้ในการขับเคลื่อนใบสกรู ทั้งนี้เนื่องจากมีปัจจัยหลายตัวที่ไม่สามารถคาดคะเนได้ เช่น คุณสมบัติของวัสดุ และการตกค้างสะสมของเนื้อวัสดุภายในรางขนถ่าย ซึ่งตัวแปรสำคัญที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับอัตราการขนถ่ายของวัสดุในแนวราบ สำหรับตัวป้อนจ่ายแบบใบสกรูจะประกอบไปด้วย ความหนาแน่นของวัสดุ ความเร็วรอบของใบสกรู ระยะช่องว่างในแนวรัศมีระหว่างใบสกรูกับรางขนถ่าย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาของชุดใบสกรู ระยะพิตช์ของใบสกรู ทางคณะผู้ทำวิจัยจึงทำการทดลอง และวิเคราะห์ เพื่อหาค่าอัตราการขนถ่ายวัสดุ สำหรับอุปกรณ์ป้อนจ่ายแบบใบสกรูกับวัสดุทางการเกษตรที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ ได้แก่ ปลายข้าว และรำละเอียด ซึ่งลักษณะของการติดตั้งชุดอุปกรณ์ป้อนจ่ายแบบใบสกรูจะเป็นการขนถ่ายวัสดุในแนวราบ โดยการสร้างฟังก์ชันในการหาค่าอัตราการขนถ่ายวัสดุสำหรับอุปกรณ์ป้อนจ่ายแบบใบสกรูจากการใช้วิธีการวิเคราะห์มิติ (Dimensional analysis) เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการขนถ่ายวัสดุกับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ผลที่ได้จากการทดลองวัดค่าอัตราการขนถ่ายวัสดุจะนำไปแทนในฟังก์ชัน เพื่อหาค่าตัวประกอบของสมการ จึงจะทำให้ได้สมการคาดคะเนอัตราการขนถ่ายวัสดุ สำหรับอุปกรณ์ป้อนจ่ายแบบใบสกรูต่อไป อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงมวลสำหรับอุปกรณ์ป้อนจ่ายแบบใบสกรูจะเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการกำหนดขนาดของกำลังงานที่จะต้องใช้ในการขับเคลื่อนเพลาของใบสกรู ทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานในการคาดคะเนอัตราการขนถ่าย สำหรับตัวป้อนจ่ายแบบใบสกรู สามารถลดการนำเข้าของอุปกรณ์และเทคโนโลยีจากต่างประเทศ และเป็นการส่งเสริมพัฒนาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุต่อไป

1.4.3 การศึกษาเกี่ยวกับอบให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

อัศวิน (2546) ได้พัฒนากรรมวิธีการอบแห้งแครอทและเนื้อไก่ในสภาวะที่เหมาะสมในการลวกเนื้อไก่และแครอทโดยการอบแห้งแบบลมร้อนตามด้วยการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟพบว่าเซลล์แครอทส่วนตรงกลางชิ้นยุบตัวไม่มีรูพรุนแต่ขอบชิ้นมีลักษณะเป็นรูพรุนมากกว่า การอบแห้งแบบลมร้อนมีปัญหาในเรื่องเวลาในการอบแห้งในช่วงสุดท้ายนานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีการหดตัวสูง เนื้อออกไก่เกิดช่องว่างระหว่างไมโอไฟบริลมากกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนอย่างเดียว สามารถลดเวลาในการอบแห้งลงจากเดิม 3.5 ชั่วโมง เหลือเพียง 1 ชั่วโมง 3 นาที

หมุดตอเล็บ และคณะ (2549) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมทำปลาแห้ง โดยศึกษาทฤษฎีการเคลื่อนที่ของคลื่นไมโครเวฟในท่อนำคลื่น อันตรกริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุเพื่อให้ความร้อนและศึกษาส่วนประกอบต่างๆในการควบคุมการกำเนิดคลื่น โดยจะใช้อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของเตาไมโครเวฟที่มีราคาถูก คือ แมกนีตรอน ชุดจ่ายกำลังศักย์สูง ชุดควบคุมกำลัง และระบบการส่งคลื่นไมโครเวฟซึ่งประกอบด้วย ท่อนำคลื่น และ ห้องเก็บคลื่น (Cavity)

Maskan (2000) ได้ทดลองอบแห้งกล้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร หั่นเป็นแว่นหนา 4.3 มิลลิเมตร ด้วยวิธีการอบแห้ง 3 แบบ คือ แบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.45 เมตร/วินาที แบบไมโครเวฟที่กำลังไฟ 350 วัตต์ และแบบลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.45 เมตร/วินาที แล้วตามด้วยการใช้ไมโครเวฟที่กำ ลังไฟ 350 วัตต์ พบว่าการอบแห้งกล้วยด้วยลมร้อนจะใช้เวลา 482 นาที ในขณะที่การอบแห้งแบบไมโครเวฟจะใช้เวลาเพียง 27 นาที ลดระยะเวลาอบแห้งลงร้อยละ 94 ส่วนการอบแห้งแบบลมร้อนก่อนนำมาไมโครเวฟนั้นพบว่าในขั้นตอนการอบแห้งแบบลมร้อนมีอัตราการอบแห้ง 0.035 กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง/นาที และเมื่อนำ มาไมโครเวฟอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 0.40 กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง/นาที ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 172 นาที

Khraisheh และคณะ (2000) อบแห้งมันฝรั่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 เซนติเมตร ยาว 5.2 เซนติเมตร ด้วยการอบแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที และการอบแห้งแบบไมโครเวฟ ที่กำลังไฟ 10.5 วัตต์ และการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที กำลังไฟ 10.5 วัตต์ พบว่าการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 200 นาที ส่วนการอบแห้งแบบลมร้อนใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด 350 นาที

Ren และ Chen (1998) อบแห้งรากโสมด้วยการอบแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 60 ลิตร/นาที และการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 60 ลิตร/นาที ที่กำลังไฟ 60 วัตต์ พบว่าการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าวิธีการใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยการอบแห้งรากโสมจนมีความชื้นร้อยละ 10 ถ้าอบแห้งแบบลมร้อนจะใช้เวลา 136.4 ชั่วโมง ในขณะที่การอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟจะใช้เวลาเพียง 61.1 ชั่วโมง ลดลงร้อยละ 55.2 จากการทดลองข้างต้น การอบแห้งแบบลมร้อนนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งที่นานกว่าการอบแห้งแบบไมโครเวฟ การอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ และการอบแห้งแบบลมร้อนตามด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถ

แทรกผ่านเข้าไปยังชั้นในของอาหารได้อย่างรวดเร็วและน้ำในอาหารสามารถดูดซับคลื่นไว้ ทำให้น้ำเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วชิ้นอาหาร ส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างต่อเนื่อง จึงใช้เวลาการอบแห้งสั้นแต่การอบแห้งแบบลมร้อนนั้นอาหารได้รับความร้อนจากลมที่พาความร้อน (convection) มาที่ผิวอาหาร ก่อนส่งผ่านชั้นของอาหารเข้าไปให้น้ำในชิ้นอาหารเกิดความร้อนและระเหยออกทางผิวหน้าอาหาร ทำให้มีอัตราการการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำจึงใช้เวลาในการอบแห้งนาน

1.4.4 การศึกษาเกี่ยวกับการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ

Chow และ Ma (2007) ได้ศึกษาการอบแห้งผลปาล์มแบบทั้งทะลาย แบบตัดแบ่งทะลาย และแบบเป็นช่อย่อย พบว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟสามารถทำให้ผลปาล์มนิ่ม และยับยั้งกระบวนการ lipolysis ได้เช่นเดียวกับกระบวนการอบแบบดั้งเดิม และจากการตรวจสอบน้ำมันที่แยกจากเนื้อผลชั้นนอกและเนื้อผลชั้นในจากผลปาล์มที่ผ่านการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบทั้งผล พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระที่ต่ำ มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นระบบอบแบบต่อเนื่อง

Sukaribin และ Khalid (2009) ได้เสนอแนวทางในการอบปาล์มทั้งทะลายและการแยกผลปาล์มจากทะลายด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพื่อลดการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการควบแน่นและพัฒนากระบวนการอบแบบต่อเนื่อง ในการศึกษาในระดับห้องทดลอง พบว่าที่ตำแหน่งเชื่อมระหว่างก้านกับผลปาล์มมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าบริเวณอื่น การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนสูงที่บริเวณเชื่อมระหว่างก้านกับผลปาล์ม ทำให้เปอร์เซ็นต์การหลุดของผลปาล์มจากทะลายสูง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะแยกผลปาล์มออกจากทะลายโดยที่ไม่ทำให้ผลปาล์มช้ำ

จากการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการอบของผลปาล์มได้พบปัญหาและแนวทางในการอบผลปาล์มโดยการประยุกต์ใช้สกรูในการอบแห้งยังไม่ค่อยมีใครศึกษามาก่อนส่วนมากจะเป็นแบบสกรูลำเลียงที่ใช้ในด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเพื่อการลำเลียงวัตถุดิบต่างๆ และแบบเครื่องอบแห้งทั่วไปพบว่ากระบวนการอบไม่ต่อเนื่องและใช้เวลานาน สำหรับงานวิจัยครั้งนี้มีแนวคิดที่จะนำสกรูมาประยุกต์ใช้พัฒนากับเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรูโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เพื่อให้สามารถอบผลปาล์มได้สุกสม่ำเสมอทั่วกันมีอุณหภูมิสม่ำเสมอและอบได้อย่างต่อเนื่อง

บทที่ 2 ผลของความเร็วและอุณหภูมิลมร้อนที่มีต่อกระบวนการหีบผลปาล์ม

ในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเร็วและอุณหภูมิลมร้อนที่มีผลต่อการอบปาล์ม โดยในกระบวนการอบปาล์มจะทำการอบปาล์มครั้งละ 300 กรัม และใช้ความเร็วลมร้อนที่ 3, 6 และ 9 m/s ที่อุณหภูมิ 80°C, 100°C และ 120°C โดยตรวจสอบผลปาล์มมีระดับความสุกที่เหมาะสมที่สามารถนำไปหีบน้ำมัน หลังจากนั้นนำผลปาล์มที่ผ่านการอบเข้าเครื่องหีบน้ำมันปาล์ม ซึ่งในกระบวนการหีบน้ำมันปาล์ม ซึ่งในกระบวนการหีบน้ำมันปาล์มจะใช้แรงกดที่ 4 ตัน แล้วทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันปาล์มและทดสอบกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง ผลจากการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วลมที่ใช้ในการอบมีผลต่อการยับยั้งการเกิดกรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำมันปาล์มที่ได้ สามารถสรุปได้ว่าการอบปาล์มที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 6 m/s มีค่าร้อยละของ FFA ในน้ำมันที่หีบได้ต่ำสุดที่ FFA ร้อยละ 6.826 wt.% การอบปาล์มที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 6 m/s มีปริมาณน้ำมันปาล์มที่ได้สูงสุด ที่ 77.5 กรัม และการอบผลปาล์มที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 6 m/s ใช้เวลาในการอบปาล์มสุกต่ำที่สุด ที่ 4 ชั่วโมง จากข้อสรุปที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องอบผลปาล์มต่อไป

2.1 ที่มาของปัญหา

ปาล์มน้ำมัน (Oil palm) เป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยและของโลก เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนชื้น มีการนำมาใช้ประโยชน์ทั้งการบริโภคและอุปโภค ในปัจจุบันมีการนำมาผลิตเป็น ไบโอดีเซลเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักของประเทศ กระบวนการอบผลปาล์มน้ำมันเป็นกระบวนการต้นทางที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมัน ผลปาล์มที่ไม่สุกทำให้ไม่อาจยับยั้งเอ็นไซม์ที่จะสร้างกรดไขมันอิสระได้ซึ่งมีผลต่อกระบวนการผลิต

ไบโอดีเซล ในกระบวนการอบปาล์มอุณหภูมิ ความเร็วลมและระยะเวลาที่ใช้ในการอบ จึงมีผลต่อปริมาณน้ำมันปาล์มและปริมาณกรดไขมันที่เกิดขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการหีบผลปาล์มที่ผ่านกระบวนการอบแล้วก็ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันปาล์มที่ได้ด้วยเช่นกัน

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งผลปาล์มและความชื้นที่ส่งผลต่อการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ กระบวนการอบผลปาล์มต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งไม่ต่ำกว่า 60°C เพื่อไล่ความชื้นและเป็นการทำลายเอ็นไซม์ไลเปสในผลปาล์ม ต้องมีการควบคุมปริมาณผลปาล์มที่นำเข้าในแต่ละครั้งเพื่อให้อัตราการอบต่อเวลาคุมต่อการทำการอบในแต่ละครั้ง และผลปาล์มที่ผ่านการอบมีคุณภาพน้ำมันที่ดี (ไกรวุติ,2534) ความชื้นที่ส่งผลต่อการเสื่อมคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ ความชื้นเป็นต้นเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของกลีเซอไรด์ในน้ำมันก่อให้เกิดกรดไขมันอิสระขึ้นดั่งปฏิกิริยา

$$C_3H_5(OOCR)_3 + H_2O \ldots\ldots C_3H_5(OH)_3 + 3HOOCR$$

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดสารที่มีกลีเซอไรด์บางส่วน ซึ่งจะมีผลต่อการตกผลึกและความคงตัวในเนื้อเดียวกันของน้ำมัน แต่ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอาจเกิดสมดุลได้ถ้าหากมีน้ำไม่มากเกินพอหรือไม่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น อุณหภูมิหรือสิ่งเร้าอื่นๆ กรดไขมันที่มีน้ำหนักต่ำๆจะมี

ความไวต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ง่ายกว่ากรดไขมันโมเลกุลใหญ่ (ไกลวุฒิ,2534) นอกจากนี้ความชื้นยังมีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ความชื้นสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเป็นตัวลดความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ พบว่าความชื้นที่มากกว่า 0.15% ที่ 40°C สามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่มีผลน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 50°C เพราะว่าอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การแตกตัวของอากาศลดลงไปในน้ำมันมีมากขึ้น แต่ถ้าความชื้นมีมากกว่า 0.35% จะไม่มีความสามารถในการป้องกันการออกซิเดชันจากออกซิเจนได้ทั้งที่สองอุณหภูมิพบว่าความชื้น 0.15 - 0.25% เป็นปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งในผลปาล์ม ดังนี้

$$Md = \frac{(w-d)}{d} \times 100\% \qquad (2.1)$$

เมื่อ Md คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)

w คือ น้ำหนักของผลปาล์มชื้น (g)

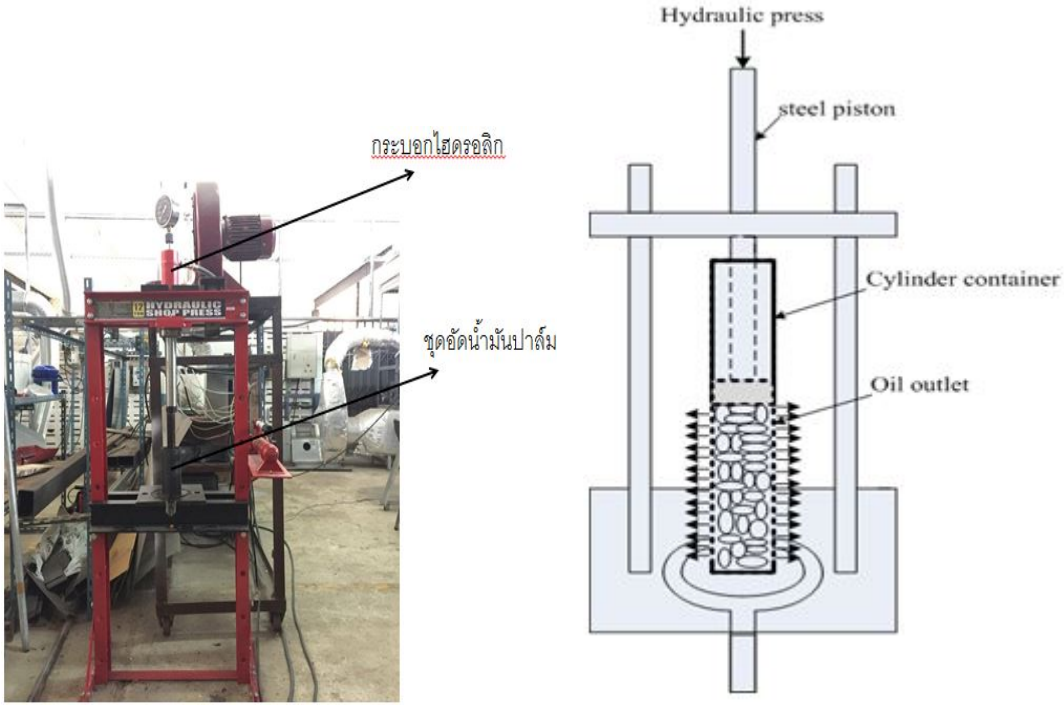
d คือ น้ำหนักของผลปาล์มแห้ง (g)

2.3 วัสดุในการทดลอง

ใช้ผลปาล์มจากทะลายปาล์ม โดยปาล์ม 1 ทะลาย จะใช้ได้ 2 วัน ในการทดลองใช้ผลปาล์มครั้งละ 300 กรัม จำนวน 3 ชุด เพื่อใช้ในการชั่งน้ำหนัก 1 ชุด ผ่าตรวจดูความสุกของผลปาล์ม 1 ชุด และใช้ในการหีบน้ำมัน 1 ชุด

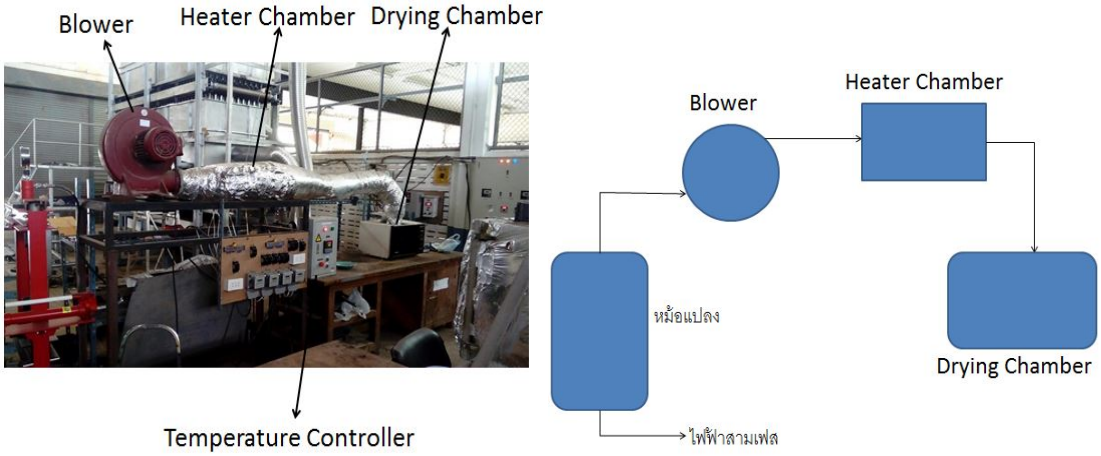
อุปกรณ์สำหรับหีบน้ำมันปาล์มจะประกอบด้วยเครื่องไฮดรอลิก 12 ตัน และ อุปกรณ์หีบน้ำมันปาล์ม ซึ่งจะประกอบไปด้วยฐานวาง Cylinder container สำหรับรองรับน้ำมันปาล์มที่ออกมาจากหีบ Cylinder container ทำหน้าไว้ใส่ผลปาล์มมอบสุกสำหรับหีบน้ำมันปาล์ม โดยทำมาจากเหล็กทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.0 เซนติเมตร ความหนา 20.0 เซนติเมตร เจาะรูขนาด 1/8 นิ้ว ระยะห่างระหว่างรู 1.0 เซนติเมตร และ Steel piston เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้อัดผลปาล์ม โดยทำมาจากเหล็กทรงกระบอกตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.8 เซนติเมตร ความหนา 2.0 เซนติเมตร และเหล็กทรงกระบอกตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ความยาว 25.0 เซนติเมตร นำทั้งสองชิ้นมาเชื่อมต่อกัน

รูปที่ 2.1 ผลปาล์มที่ใช้ศึกษา



รูปที่ 2.2 ชุดทดลองที่ใช้ในการควบคุมกำลังวัตต์ของไมโครเวฟ

เครื่องอบลมร้อนประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งต่อกับไฟ 3 เฟส ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วลมจาก Blower ขนาด 220 volt, 2850 rpm, volume 42 CMM, pressure 190 mmAq แล้วลมจะผ่าน Heater chamber จำนวน 8 ขั้ว โดยมี Temperature controller ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิลมร้อนก่อนที่จะเข้าสู่ Drying chamber ที่มีปริมาตรห้องอบ 29400 cm^3



รูปที่ 2.3 เครื่องอบแบบลมร้อน

ชุดไทเทรตซึ่งจะประกอบด้วยบิวเรตต์ ตัวหนีบยึด และขาตั้ง โดยจะเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25 โมลาร์ ไว้ในบิวเรตต์เพื่อเตรียมการไทเทรต

รูปที่ 2.4 ชุดไทเทรต

2.4 วิธีการทดลอง

1.) นำผลปาล์มมาชั่งน้ำหนักที่ 300 กรัม จำนวน 3 ชุด แล้วนำไปอบลมร้อนด้วยเครื่องอบแบบลมร้อน ที่มีการตั้งค่าอุณหภูมิและความเร็วลมที่ต้องการทดลองแล้วจะทำการชั่งน้ำหนักผลปาล์มทุกๆ 1 ชั่วโมง และผ่าผลปาล์มดูทุกๆ 3 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบการสุกของผลปาล์มที่เหมาะสมสำหรับการหีบน้ำมัน

2.) นำผลปาล์มที่อบสุกแล้วเข้าเครื่องหีบน้ำมันปาล์มอุปกรณ์ในรูปที่ 2 โดยใส่ผลปาล์มที่อบสุกใน Cylinder container ครั้งละจำนวน 5-6 ผล แล้วทำการโยกคันโยกเครื่องไฮดรอลิก อัดที่แรง 4 ตัน ทำให้ steel piston หีบเมล็ดปาล์มจนแตก ค้างไว้ 5 วินาที แล้วผ่อนแรงอัดลง ทำการหีบซ้ำแบบเดิมอีก 5 ครั้ง หลังจากนั้น นำกากปาล์มออกจาก Cylinder container แล้วใส่ผลปาล์มใหม่ลงไปใน Cylinder container ทำการหีบแบบครั้งแรก และทำการหีบจนผลปาล์มหมด แล้วนำกากปาล์มทั้งหมดใส่ลงไปใน Cylinder container แล้วทำการวัดปริมาณน้ำมันปาล์มที่ได้ ด้วยการชั่งน้ำหนักน้ำมันปาล์ม และนำผลปาล์มอีกชุดอบต่อด้วยตู้อบแห้งเป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง

รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการวัดปริมาตรน้ำมันปาล์ม

3.) นำน้ำมันปาล์มไปไทเทรตเพื่อทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยการนำน้ำมันปาล์มไปให้ความร้อนเพื่อไล่น้ำที่ผสมอยู่ในน้ำมันออก จนน้ำมันมีลักษณะเหลวและใสขึ้น หลังจากนั้นนำน้ำมันปาล์มปริมาณ 1.5 กรัม เติมเอทานอลปริมาณ 50-75 ml และหยดฟีนอล์ฟทาลีน 5-7 หยด แล้วเขย่าให้ผสมกันเป็นเนื้อเดียว เมื่อผสมกันดีแล้วนำไปทำการไทเทรตด้วยชุดไทเทรตในรูปที่ 2.4 โดยใช้สารละลายโซเดียวไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25 โมลาร์ ทำการไทเทรตจนน้ำมันเปลี่ยนเป็นสีชมพู จึงหยุดการไทเทรต ทำการจดบันทึกค่า ปริมาณของโซเดียวไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากรดไขมันอิสระ

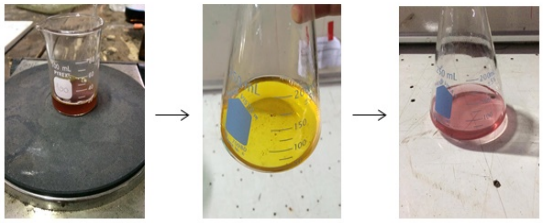
$$\text{FFA (wt.\%)} = \frac{(VxNx25.6)}{g} \qquad (2.2)$$

เมื่อ FFA คือ กรดไขมันอิสระ (%)

V คือ ปริมาณ NaOH (ml)

N คือ ความเข้มข้น NaOH (M)

g คือ ปริมาณน้ำมัน (g)



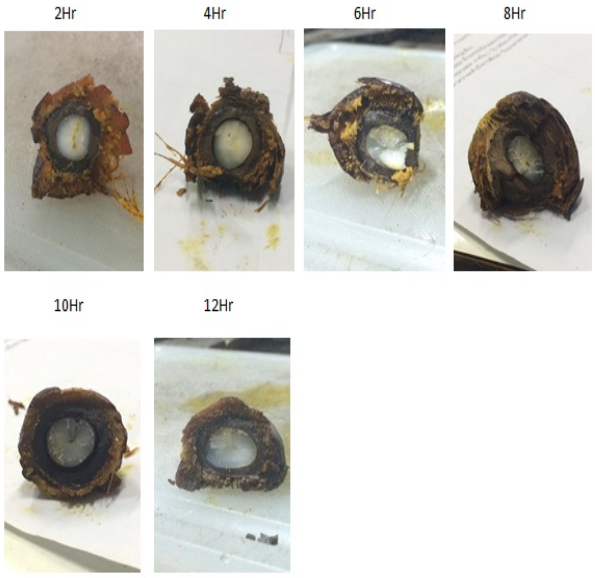
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการไทเทรตเพื่อหาค่ากรดไขมันอิสระ

4.) นำผลปาล์มที่ผ่านการอบด้วยตู้อบแห้งมาแล้ว 3 วัน ทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้แล้วนำค่าน้ำหนักไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งในผลปาล์ม

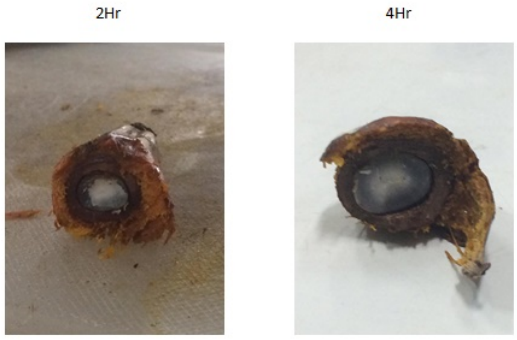
2.5 ผลการทดลอง

รูปที่ 2.7-2.9 แสดงสีของเนื้อปาล์มที่บ่งบอกถึงการสุกของผลปาล์ม ในการทดลองจะทำการชั่งน้ำหนักผลปาล์มทุก 1 ชั่วโมง และผ่านผลปาล์มทุก 2 ชั่วโมง เพื่อดูการสุกของผลปาล์ม ซึ่งสีของเนื้อปาล์มจะเป็นตัวบ่งบอกการสุกของผลปาล์ม โดยถ้าผลปาล์มที่ยังไม่สุกเนื้อปาล์มจะมีสีขาวขุ่นเหมือนเนื้อมะพร้าว แล้วจะค่อยๆเปลี่ยนไปเป็นสีใส โดยจะเริ่มเปลี่ยนสีจากขอบนอกของเนื้อปาล์มเข้าสู่ตรงกลางของผลปาล์ม เมื่อเปลี่ยนเป็นสีขาวใสหมดทั้งผลแล้ว แสดงว่าผลปาล์มสุกสามารถนำไปหีบน้ำมันปาล์มได้ ซึ่งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 6 m/s จะใช้เวลาในการอบมากที่สุด ที่ 24 ชั่วโมง เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วลมขึ้นจะทำให้เวลาในการอบลดลง ซึ่งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 6 m/s จะใช้เวลาในการอบน้อยที่สุด ที่ 2 ชั่วโมง

รูปที่ 2.7 ผลปาล์มอบที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 6 m/s

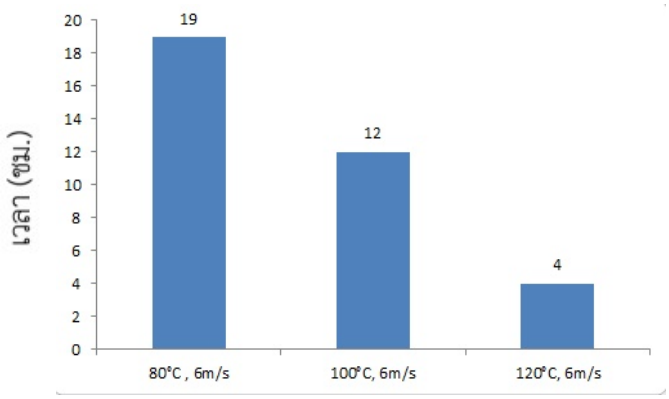


รูปที่ 2.8 ผลปาล์มอบที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วลม 6 m/s



รูปที่ 2.9 ผลปาล์มอบที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 6 m/s

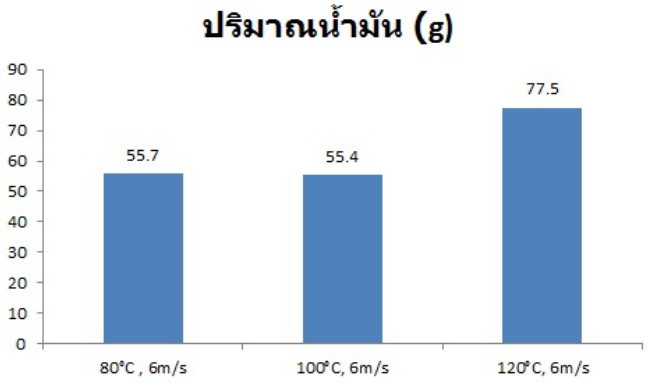
รูปที่ 2.10 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลปาล์มจนสุก จากการทดลองพบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความเร็วลมแปรผกผันกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบปาล์ม โดยการอบที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 3 m/s ใช้เวลาในการอบปาล์มนานที่สุดจนกว่าปาล์มจะสุกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 9 m/s ใช้เวลาในการอบปาล์มจนสุกน้อยที่สุด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 2.10 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลปาล์มจนสุก (ชม.)

หมายเหตุ : เนื่องจากระยาเวลาในการตรวจสอบความสุกของผลปาล์มห่างกัน 2 ชั่วโมง ทำให้ในบางการทดลองผลปาล์มมีความสุกมากเกินไป ส่งผลให้ระยะห่างในการทดลองผิดพลาด

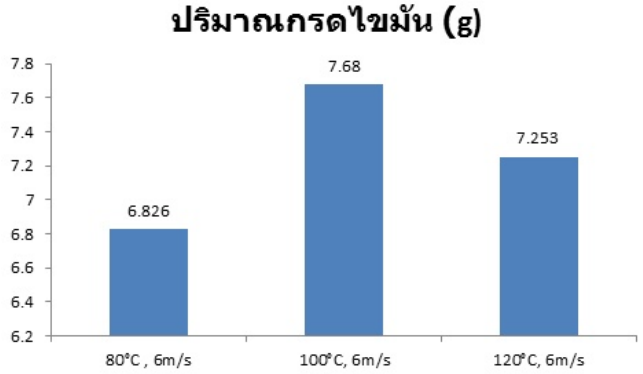
รูปที่ 2.11 แสดงปริมาณน้ำมันปาล์มที่ได้จากการหีบ จากการทดลองพบว่าการอบที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 6 m/s จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันปาล์มมากที่สุด ที่ปริมาณ 77.5 กรัม และการอบที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วลม 6 m/s จะได้ปริมาณน้ำมันที่น้อยที่สุด ที่ปริมาณ 55.4 กรัม



รูปที่ 2.11 ปริมาณน้ำมันปาล์ม (g)

หมายเหตุ : ในการทดลองพบว่าขนาดของผลปาล์มส่งผลต่อปริมาณน้ำมันปาล์มที่ได้

รูปที่ 2.12 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระ จากการทดลองพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มก่อนทำการอบด้วยลมร้อน จะมีปริมาณที่สูงกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิและความเร็วลมต่างๆ



รูปที่ 2.12 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)

หมายเหตุ : ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม

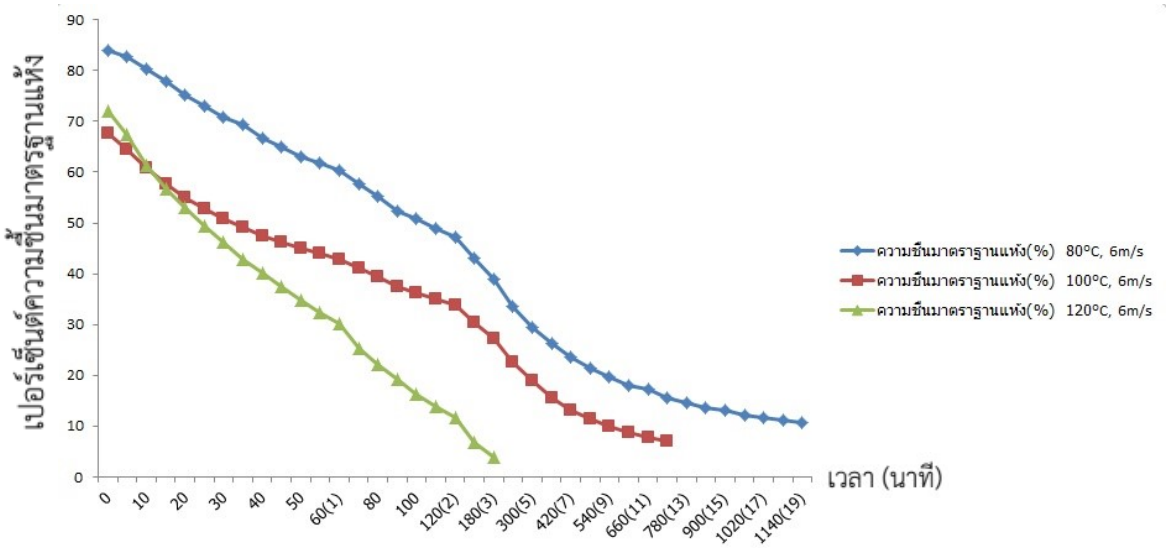
1.การได้รับแรงกระทบกระเทือนทางกายภาพ เช่น การเก็บเกี่ยวและการขนส่งทำให้เซลล์ในชั้นเปลือกถูกทำลาย ทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันสร้างกรดไขมันอิสระขึ้นและมักเกิดกับทะลายสุกเกินไป

2.การเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันที่สุกเกินไป

3.เชื้อจุลินทรีย์ เข้าทำลายผลปาล์มน้ำมันได้ในสภาพของปาล์มที่ได้รับผลกระทบกระเทือนจนบอบช้ำ

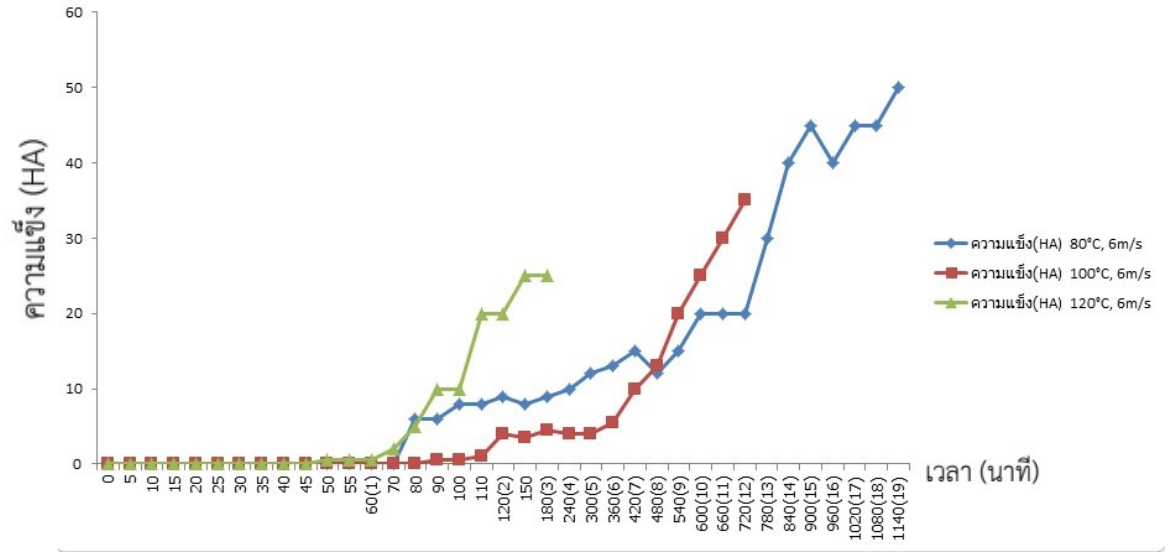
4.ระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวจนถึงโรงงานสกัด เพราะหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วทะลายปาล์มจะบอบช้ำซึ่งทำให้เกิดการสร้างกรดไขมันอิสระขึ้น

รูปที่ 2.13 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วลมร้อนเท่ากันแต่อุณหภูมิลมร้อนต่างกัน การเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นแต่ความเร็วลมเท่ากันจะส่งผลให้ที่อุณหภูมิสูงกว่าทำให้ผลปาล์มแห้งเร็วกว่า



รูปที่ 2.13 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง

รูปที่ 2.14 แสดงความแข็งของผลปาล์ม จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 80°C, 100°C และ 120°C มีผลการทดลองไปในแนวเดียวกัน คือ จะเริ่มมีค่าความแข้งที่เวลา 1 ชม. เพราะว่าเมื่อได้รับความร้อนได้สักระยะ ผลปาล์มจะเริ่มแห้งจึงทำให้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ



รูปที่ 2.14 ค่าความแข็งในผลปาล์ม (HA)

2.6 สรุปผลการทดลอง

(1) อุณหภูมิและความเร็วจะส่งผลต่อการสุกของผลปาล์มโดยที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 6 m/s จะใช้เวลาในการอบมากที่สุด ที่ 19 ชั่วโมง และระยะเวลาที่ใช้ในการอบจะลดลงเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วลมขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 6 m/s จะใช้เวลาในการอบจนผลปาล์มสุกน้อยที่สุด ที่ 4 ชั่วโมง

(2) เมื่อหีบผลปาล์มสุกด้วยแรง 4 ตัน จะได้ว่าการอบปาล์มที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 6 m/s จะได้ปริมาณน้ำมันปาล์มที่มากที่สุด ที่ 77.5 กรัม และที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วลม 6 m/s จะได้ปริมาณน้ำมันที่น้อยที่สุด ที่ 55.4 กรัม

(3) การอบปาล์มที่อุณหภูมิและความเร็วลมต่างๆ จะส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มลดลงจากเดิมก่อนที่ทำการอบลมร้อน และการอบด้วยอุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 6 m/s เกิดกรดไขมันอิสระขึ้นน้อยที่สุด ที่ 6.826 % และการอบด้วยอุณหภูมิ 120°C ความเร็วลม 6 m/s กับอุณหภูมิ 100°C ความเร็วลม 6 m/s เกิดกรดไขมันอิสระมากที่สุด ที่ 7.253 % และ 7.68 % ตามลำดับ

บทที่ 3พฤติกรรมการแห้งและความแข็งผิวของผลปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาการอบแห้งผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกำลังคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อพฤติกรรมการแห้ง อุณหภูมิ และความแข็งผิวของผลปาล์ม ในการทดลองใช้ผลปาล์มสด 690 กรัม อบในตู้อบไมโครเวฟที่สามารถควบคุมกำลังวัตต์ของคลื่นไมโครเวฟ โดยทดลองอบที่เงื่อนไข 100 W 200 W 300 W และ 400 W ในระหว่างการอบนำผลปาล์มออกมาชั่งน้ำหนัก สุ่มวัดอุณหภูมิในเนื้อปาล์มและวัดความแข็งของผิวปาล์ม จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มกำลังวัตต์มีผลให้ผลปาล์มแห้งเร็วขึ้น และอุณหภูมิของผลปาล์มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ความแข็งของผลปาล์มลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นความแข็งผิวจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง โดยที่ความชื้นในช่วง 20-30%db มีค่าความแข็งของผิวปาล์มน้อยที่สุดประมาณ 10 N

3.1 ที่มาของปัญหา

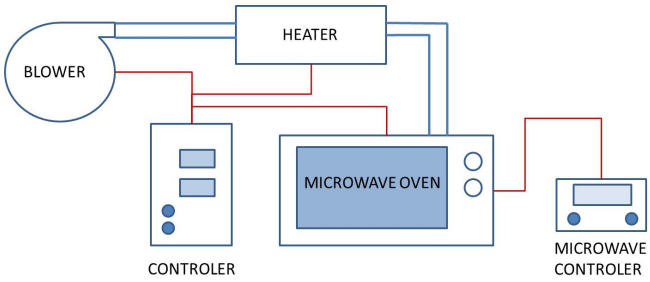
การอบแห้งผลปาล์มเป็นกระบวนการต้นทางที่ควบคุมคุณภาพน้ำมันปาล์มสำหรับกระบวนการการสกัดน้ำมันปาล์มแบบรวมเมล็ดในการอบแห้งในปัจจุบันจะอบแห้งโดยบรรจุผลปาล์มในกระบะซีเมนต์ที่ปูพื้นด้วยตะแกรงเหล็กด้านล่างมีช่องให้ลมร้อนไหลขึ้นผ่านตะแกรงเหล็กได้ ลมร้อนที่ใช้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ไม้ยางพารา หรือน้ำมันเตา ซึ่งการอบแห้งเช่นนี้ทำให้ช่วงแรกของการอบแห้งไอน้ำจะกลั่นตัวที่ชั้นบนของกองปาล์มซึ่งอุณหภูมิยังต่ำอยู่ นอกจากนั้นยังพบว่าผลปาล์มทั้งกองแห้งไม่สม่ำเสมอ โดยผลปาล์มชั้นล่างอาจจะแห้งเกินไปและมีความแข็งมากทำให้ยากต่อการบีบและยังส่งผลให้เครื่องจักรเกิดการสึกหรอได้ง่าย ผลปาล์มชั้นบนที่แห้งไม่สนิทจะมีน้ำปนทำให้ได้น้ำมันปาล์มด้อยคุณภาพ

การอบแห้งโดยการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาทำการศึกษา เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านเข้าในเนื้อของผลปาล์ม และทำให้เกิดความร้อนจากภายในผลปาล์มได้ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการอบแห้งผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกำลังคลื่นไมโครเวฟที่ใช้อบที่มีต่อพฤติกรรมการแห้ง อุณหภูมิ และความแข็งผิวของผลปาล์ม ในการทดลองได้ใช้ผลปาล์มสด 690 กรัม อบในตู้อบไมโครเวฟที่สามารถควบคุมกำลังวัตต์ของคลื่นไมโครเวฟ โดยทดลองอบที่เงื่อนไข 100W 200W 300W และ 400W ในระหว่างการอบนำผลปาล์มออกมาชั่งน้ำหนัก สุ่มวัดอุณหภูมิในเนื้อปาล์มและวัดความแข็งของผิวปาล์ม

3.2 รายละเอียดชุดทดลองและวิธีการทดลอง

ชุดทดลองจะใช้ตู้ไมโครเวฟที่ทำการดัดแปลงให้สามารถต่อได้กับชุดควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้า เพื่อใช้ในการควบคุมกำลังวัตต์ของตู้ไมโครเวฟดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2

รูปที่ 3.1 ตู้อบไมโครเวฟที่ใช้ในการอบแห้งผลปาล์มด้วยไมโครเวฟ



รูปที่ 3.2 ชุดทดลองที่ใช้ในการควบคุมกำลังวัตต์ของไมโครเวฟ

จากชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 จำเป็นต้องมีการสอบเทียบเครื่องไมโครเวฟเพื่อหาความเที่ยงตรงของเครื่องอบไมโครเวฟที่ความต่างศักย์ต่างๆเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ซึ่งวิธีการสอบเทียบจะทำโดยเตรียมน้ำหนัก 500 กรัมวัดอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าตู้อบแล้วบันทึกค่า จากนั้นนำน้ำเข้าตู้อบกำหนดค่าความต่างศักย์ที่ให้แก่ตู้อบไมโครเวฟโดยดูค่าจาก multimeter และใช้ความต่างศักย์เริ่มต้นที่ 140 V แล้วอบเป็นเวลา 3 นาที แล้วนำออกมาวัดอุณหภูมิของน้ำหลังการอบและจดบันทึกค่าของอุณหภูมิที่วัด จากนั้นให้เปลี่ยนน้ำใหม่แล้วทำเหมือนเดิมอีก 2 ครั้ง จากนั้นเพิ่มความต่างศักย์ครั้งละ 10 V และทำเหมือนเดิม จากนั้นนำค่าอุณหภูมิที่ได้มาคำนวณหากำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟจากความร้อนที่ได้รับ

สำหรับการทดลองอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ เตรียมผลปาล์มที่จะนำมาอบโดยการนำมาใส่ไว้ในตะแกรงโดยวางให้กระจายและทั่วทั้งตะแกรง จากนั้นชั่งน้ำหนักของผลปาล์มในแต่ละตะแกรงเพื่อบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้นของผลปาล์มโดยใช้น้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 690 กรัม นำตระแกรงที่บรรจุผลปาล์มเข้าตู้อบโดยใช้กำลังไฟฟ้าที่ 100 วัตต์ จากนั้นเก็บข้อมูลโดยการ วัดอุณหภูมิ ชั่งน้ำหนักผลปาล์มและวัดความแข็งของผลปาล์มเป็นระยะจนกว่าน้ำหนักของผลปาล์มในตะแกรงจะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยหรือหยุดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก นำผลปาล์มที่อบแล้วบางส่วนมาอบให้แห้งสนิทเพื่อหาค่าน้ำหนักแห้งของวัตถุ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้งจากน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป โดยค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง โดยหลักการแล้วสามารถหาค่าได้โดยนำวัตถุดิบที่ต้องการหาความชื้น มาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้เป็น มวลวัตถุเริ่มต้น จากนั้นจึงนำมาอบในตู้อบจนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง บันทึกไว้เป็นมวลวัตถุแห้งแล้วนำมาคำนวณตามสมการ

$$M = \frac{(m - md)}{md} \times 100\% \qquad (3.1)$$

โดยที่ M คือ ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง

m คือ น้ำหนักของผลปาล์มระหว่างอบแห้ง

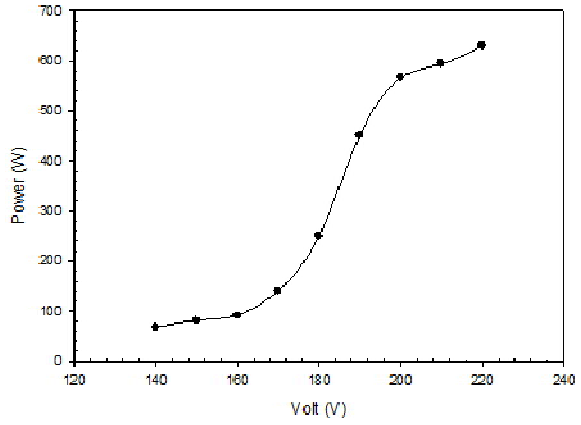
m_d คือ น้ำหนักแห้งของผลปาล์ม

จากนั้นปรับค่ากำลังวัตต์ในค่าอื่นดังนี้ 200W 300W 400W และกระทำเหมือนกับข้างต้น และทำการเก็บข้อมูล

3.3 ผลการทดลอง

3.3.1 ผลการสอบเทียบกำลังไมโครเวฟ

จากการสอบเทียบกำลังวัตต์ของตู้ไมโครเวฟที่เงื่อนไขความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างๆ ที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า ในการสอบเทียบได้ใช้น้ำ 500 กรัม ใส่ลงภาชนะ วัดอุณหภูมิน้ำก่อนและหลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 3 นาที แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณความร้อนและกำลังวัตต์ที่ทำให้น้ำอุ่นขึ้น โดยการทดลองสอบเทียบได้เพิ่มกำลังวัตต์ของตู้ไมโครเวฟ โดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นอยู่ที่ 140 V แล้วปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 V แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังวัตต์กับความต่างศักย์ไฟฟ้า ดังแสดงในรูป 3.3

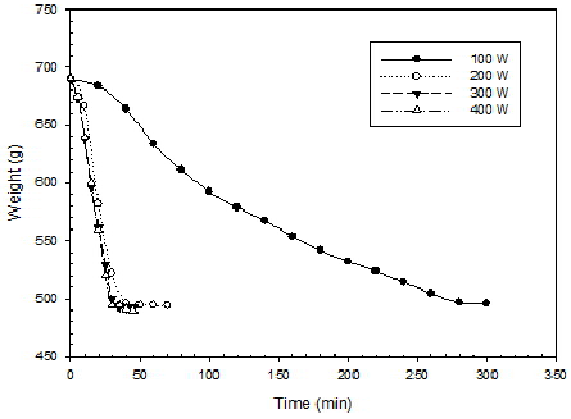


รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังวัตต์ของไมโครเวฟกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า

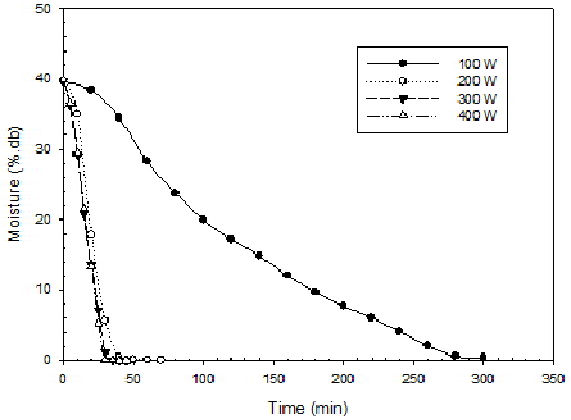
3.3.2 ผลการทดลองหาค่าความชื้นของผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ

จากการทดลองหาค่าความชื้นของผลปาล์มที่ทำการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100, 200, 300 และ 400 W โดยที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 20 นาที ในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที ในกรณีที่กำลังไมโครเวฟ 300 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที และในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที จากนั้นนำผลการทดลองทั้งหมดมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของผลปาล์มที่ลดลงกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3.5 พบว่าเมื่อเวลาในการอบผลปาล์มเพิ่มขึ้นทำให้น้ำหนักของผลปาล์มลดลงด้วย โดยน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นของผลปาล์มอยู่ที่ 690 กรัมเมื่อทำการอบที่กำลังวัตต์ต่างๆ แล้วพบว่าที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W ทำให้น้ำหนักของผลปาล์มลดลงเหลือ 493.8 กรัม เมื่ออบผลปาล์มเป็นเวลา 45 นาที ในกรณีที่กำลังของ

ไมโครเวฟ 300 W น้ำหนักของผลปาล์มลดลงเหลือ 492 กรัม เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 45 นาที ในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W น้ำหนักของผลปาล์มลดลงเหลือ 494 กรัม เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 70 นาที และที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W พบว่าอัตราการการลดลงของน้ำหนักของผลปาล์มมีค่าน้อยที่สุด คือ น้ำหนักของผลปาล์มลดลงเหลือ 495.8 กรัม เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 300 นาที ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลปาล์มส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในผลปาล์มด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลาโดยความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 39.7 %db พบว่าที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W ทำให้อัตราการลดลงของความชื้นดีที่สุดโดยลดลงเหลือ 0.08 %db เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 30 นาที ในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 300 W ความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 1.21 %db เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 30 นาที ในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W ความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.02 %db เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 70 นาที และในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W จะให้อัตราการลดลงของความชื้นน้อยที่สุดคือ ความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.38 %db เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 300 นาที



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของผลปาล์มที่ลดลงกับเวลา กรณีที่อบด้วยไมโครเวฟ

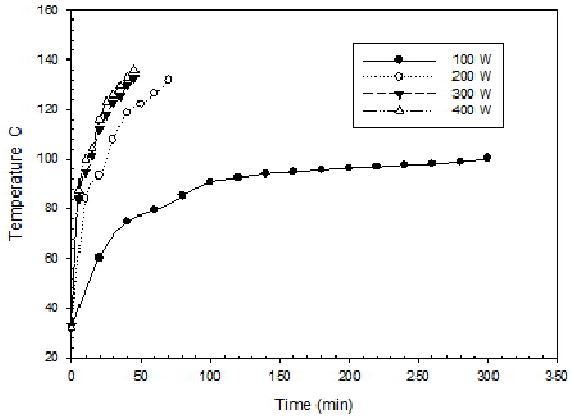


รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละค่าความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลาที่อบด้วยไมโครเวฟ

3.3.3 ผลการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ

จากการทดลองหาค่าอุณหภูมิภายในผลปาล์มที่ทำการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W, 200 W, 300 W และ 400 W โดยที่เสียบแท่งเทอร์โมคัปเปิ้ลปลายแหลมชนิด K เสียบเข้าที่เนื้อของ

ผลปาล์มลึกลงไปประมาณกึ่งกลางของผลปาล์ม โดยกำลังของไมโครเวฟ 100 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 20 นาที ที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที ที่กำลังไมโครเวฟ 300 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที และที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที แล้วนำผลการทดลองทั้งหมดมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในผลปาล์มกับเวลา ดังรูปที่ 3.7 จะได้ว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในผลปาล์มเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาที่กำลังวัตต์ต่างๆแล้วพบว่าที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W อุณหภูมิภายในผลปาล์มจะมีค่าเข้าใกล้ 100°C เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 300 นาที โดยอุณหภูมิภายในผลปาล์มจะมีค่า 100.3°C เมื่อพิจารณาที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W, 300 W และ400 W พบว่าอุณหภูมิภายในผลปาล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W อุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่า 131.8°C เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 70 นาที ที่กำลังของไมโครเวฟ 300 W อุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่า 132.5°C เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 45 นาที และที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W อุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่า 135.9°C เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 45 นาที



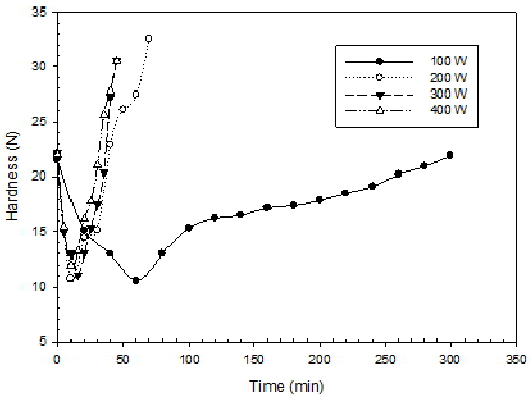
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในผลปาล์มกับเวลา ที่อบด้วยไมโครเวฟ

3.3.4 ผลการทดลองหาค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ

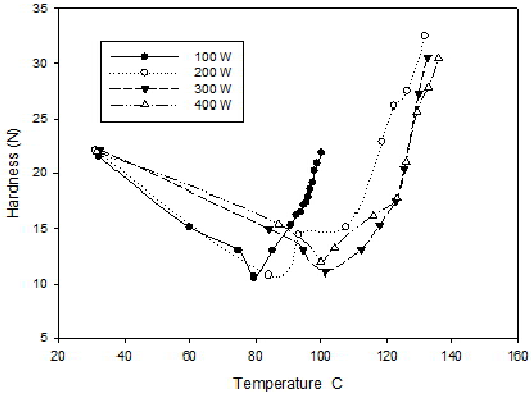
จากการทดลองหาค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มเมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W 200 W 300 W และ 400 W โดยความแข็งที่ผิวของผลปาล์มเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 21.94 N ในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุก 20 นาที ในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที ในกรณีที่กำลังไมโครเวฟ 300 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุก 5 นาที และในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W ได้ทำการเก็บข้อมูลทุก 5 นาที แล้วนำผลการทดลองทั้งหมดมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงแรกความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าลดลง และช่วงหลังความแข็งของผลปาล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง กล่าวคือช่วงแรกของการอบความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าลดลงจนถึงค่าหนึ่งแล้วจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้ง โดยที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าลดลงเหลือ 10.54 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นทำการอบผลปาล์มจนแห้งค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 21.89 N ในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าลดลงเหลือ 10.76 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการอบผลปาล์มจน

แห้งค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 32.53 N ในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 300 W ความแข็งของผลปาล์มมีค่าลดลงเหลือ 11.1 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นทำการอบผลปาล์มจนแห้งค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 30.57 N และในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าลดลงเหลือ 11.92 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการอบผลปาล์มจนแห้งความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 30.49 N

รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับอุณหภูมิภายในผลปาล์มที่อบด้วยกำลังของไมโครเวฟ 100 W, 200 W, 300 W และ 400 W โดยค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 21.94 N พบว่าค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าไม่สูงมากเมื่ออุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 80-100°C เมื่อพิจารณาแต่ละกำลังวัตต์ของไมโครเวฟแล้วพบว่า ที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าลดลงเหลือ 10.54 N เมื่ออุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่าเท่ากับ 79.5°C ในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W มีค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มลดลงเหลือ 10.76 N เมื่ออุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่าเท่ากับ 84°C ในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 300 W ค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าลดลงเหลือ 11.1 N เมื่ออุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่าเท่ากับ 101.4°C และในกรณีที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W ค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าลดลงเหลือ 11.92 N เมื่ออุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่าเท่ากับ 100.05°C และจากรูปที่ 3.9 ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่าสูงก็จะส่งผลให้ค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าสูงขึ้นด้วยเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลปาล์มทำให้อัตราการอบแห้งผลปาล์มเพิ่มขึ้นเมื่อผลปาล์มมีการแห้งมากขึ้นก็จะส่งผลทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับเวลาที่อบด้วยไมโครเวฟ



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวกับอุณหภูมิภายในผลปาล์ม ที่อบด้วยไมโครเวฟ

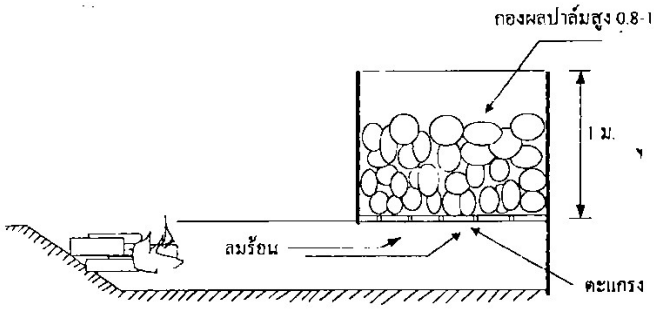
3.4 **สรุปผลการศึกษา**

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแห้งของผลปาล์มด้วยระบบไมโครเวฟสามารถสรุปได้ว่า การแห้งของผลปาล์มขึ้นอยู่กับกำลังของคลื่นไมโครเวฟ เมื่อให้กำลังแก่ไมโครเวฟมากขึ้นทำให้อัตราการแห้งของผลปาล์มเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่กำลัง 400 W จะให้อัตราการแห้งสูงสุดทำให้ความชื้นมาตรฐานแห้งของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.08%db ในเวลา30 นาที และที่อุณหภูมิ 100°C ของการอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W จะทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มลดลงเหลือ 11.92 N

บทที่ 4 การศึกษาเปรียบเทียบการแห้งของผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน

4.1 ที่มาของปัญหา

การอบแห้งผลปาล์มเป็นกระบวนการต้นทางที่ควบคุมคุณภาพน้ำมันปาล์มสำหรับกระบวนการการสกัดน้ำมันปาล์มแบบรวมเมล็ดในการอบแห้งในปัจจุบันจะอบแห้งโดยบรรจุผลปาล์มในกระบะซีเมนต์ที่ปูพื้นด้วยตะแกรงเหล็กด้านล่างมีช่องให้ลมร้อนไหลขึ้นผ่านตะแกรงเหล็กได้ ลมร้อนที่ใช้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ไม้ยางพารา หรือน้ำมันเตา ซึ่งการอบแห้งเช่นนี้ทำให้ช่วงแรกของการอบแห้งไอน้ำจะกลั่นตัวที่ชั้นบนของกองปาล์มซึ่งอุณหภูมิยังต่ำอยู่ นอกจากนั้นยังพบว่าผลปาล์มทั้งกองแห้งไม่สม่ำเสมอ โดยผลปาล์มชั้นล่างอาจจะแห้งเกินไปและมีความแข็งมากทำให้ยากต่อการบีบและยังส่งผลให้เครื่องจักรเกิดการสึกหรอได้ง่าย ผลปาล์มชั้นบนที่แห้งไม่สนิทจะมีน้ำปนทำให้ได้น้ำมันปาล์มด้อยคุณภาพ กรรมวิธีการแบบนี้ไม่มีแรงดูดของอากาศจากด้านบนกองปาล์มทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากในระยะแรกที่กองปาล์มยังเย็นอยู่ อีกทั้งแรงต้านทานของกองปาล์มทำให้ต้องใช้พัดลมเป่าอัดลมร้อนเข้าใต้กระบะอบแห้ง การให้อากาศโดยการอัดนี้ทำให้อากาศร้อนมีโอกาสรั่วไหลออกจากระบบได้ง่ายซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานและเพิ่มต้นทุน นอกจากนั้นการอบชั้นหนาเกินไปทำให้ผลปาล์มแห้งไม่สม่ำเสมอและมีผลต่อคุณภาพดังกล่าวข้างต้น ในช่วงท้ายของการอบเมื่อผลปาล์มใกล้แห้งจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปมากโดยลมที่ปล่อยทิ้งจากระบบอาจมีอุณหภูมิถึง 70 °C ระบบแบบนี้มีเตาเผาเชื้อเพลิงซึ่งมักจะอยู่ระดับใต้พื้นทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เพราะจำกัดอากาศเข้าสันดาป (ไม่มีอากาศปฐมภูมิ) ส่งผลให้เกิดเขม่ามากซึ่งจะเกาะกับผลปาล์มชั้นล่าง (บัญญัติ นิยมวาส, 2544)



รูปที่ 4.1 รูปแบบการย่างผลปาล์มในโรงงานแบบหีบรวม (บัญญัติ นิยมวาส, 2544)

ปัญหาดังกล่าวทำให้ผลปาล์มมีความแห้งไม่สม่ำเสมอส่วนผลปาล์มที่อยู่ด้านใต้นั้นจะแห้งเกินไปจนเข็ง ดังนั้นการอบแห้งโดยการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาทำการศึกษา โดยจะมีการเปรียบเทียบระหว่างการใช้คลื่นไมโครเวฟและการใช้ลมร้อน

4.2 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งระบบการให้ความร้อนออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของระบบการให้ความร้อนด้วยลมร้อน และระบบการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

4.2.1 เครื่องอบผลปาล์มด้วยระบบคลื่นไมโครเวฟ

1.ตัวตู้อบ

รูปที่ 4.2 ชุดทดลองที่ใช้ในการอบแห้งผลปาล์มด้วยไมโครเวฟ

2. ชุดคุมกำลังวัตต์ของไมโครเวฟ

รูปที่ 4.3 ชุดทดลองที่ใช้ในการควบคุมกำลังวัตต์ของไมโครเวฟ

4.2.2 การสอบเทียบเครื่องไมโครเวฟ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการหาความเที่ยงตรงของเครื่องอบไมโครเวฟที่ความต่างศักย์ต่างๆเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมน้ำใส่ในภาชนะโดยใช้น้ำหนักของน้ำ 500 กรัม และวัดอุณหภูมิก่อนอบแล้วบันทึกค่า
2. กำหนดค่าความต่างศักย์ที่ให้แก่ตู้อบไมโครเวฟโดยดูค่าจาก multimeter และใช้ความต่างศักย์เริ่มต้นที่ 140 V อบเป็นเวลา 3 นาที แล้วนำออกมาวัดอุณหภูมิของน้ำหลังการอบและจดบันทึกค่าของอุณหภูมิที่วัดได้
3. เปลี่ยนน้ำใหม่ แล้วทำตามในข้อ 1 และ 2 อีก 2 ครั้งให้ครบ 3 ครั้ง
4. เพิ่มความต่างศักย์ครั้งละ 10 V และทำตามข้อ 1, 2 และ 3 จนถึง 220V
5. นำค่าอุณหภูมิที่ได้มาคำนวนหากำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟจากความร้อนที่ได้รับ

4.2.3 การทดลองอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ในขั้นตอนนี้จะศึกษาผลของ ความชื้น ความแข็งที่ของผลปาล์ม และ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในเวลาต่างๆ ในค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละค่าที่ได้ตั้งไว้ ดังนี้

1. เตรียมผลปาล์มที่จะนำมาอบโดยการนำมาใส่ไว้ในตะแกรงโดยวางให้กระจายและทั่วทั้งตะแกรง
2. ชั่งน้ำหนักของผลปาล์มในแต่ละตะแกรงเพื่อบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้นของผมปาล์มโดยใช้น้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 690 กรัม
3. นำผลปาล์มไปอบโดยใช้กำลังไฟฟ้าที่100วัตต์

4. เก็บข้อมูลโดยการ วัดอุณหภูมิ ชั่งน้ำหนักผลปาล์มและวัดความแข็งของผลปาล์มเป็นระยะจนกว่าน้ำหนักของผลปาล์มในตะแกรงจะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยหรือหยุดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

5. นำผลปาล์มที่อบแล้วบางส่วนมาอบให้แห้งสนิทเพื่อหาค่าน้ำหนักแห้งของวัตถุ

6. นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้งจากน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป

7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิกับเวลา ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาความแข็งของผลปาล์มกับเวลา และความแข็งของผลปาล์มกับอุณหภูมิ

8. ปรับค่ากำลังวัตต์ในค่าอื่นดังนี้ 200W 300W 400W และทำการเก็บข้อมูลดังในข้อที่ 4-6

การทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลปาล์ม

ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง โดยหลักการแล้วสามารถหาค่าได้โดยนำวัตถุดิบที่ต้องการหาความชื้น มาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้ จากนั้นจึงนำมาอบในตู้อบจนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง บันทึกไว้เป็นมวลวัตถุแห้งแล้วนำมาคำนวณตามสมการ

$$M = \frac{(m-m_d)}{m_d} \times 100\% \qquad (4.1)$$

โดยที่ M คือ ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง
m คือ น้ำหนักของผลปาล์มระหว่างอบ
m_d คือ น้ำหนักแห้งของผลปาล์ม

4.2.4 การทดลองอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อน

ในขั้นตอนนี้จะศึกษาผลของ ความชื้น ความแข็งของผลปาล์ม และ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในเวลาต่างๆ ในค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละค่าที่ได้ตั้งไว้ ดังนี้

1. เตรียมผลปาล์มที่จะนำมาอบโดยการนำมาใส่ไว้ในตะแกรงโดยวางให้กระจายและทั่วทั้งตะแกรงให้เต็ม

2. ชั่งน้ำหนักของผลปาล์มในตะแกรงเพื่อบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้นของผมปาล์ม

3. นำผลปาล์มไปอบโดยครั้งแรกตั้งอุณหภูมิในห้องอบไว้ 60°C ที่ความเร็วลม 2 m/s

4. เก็บข้อมูลโดยการ วัดอุณหภูมิ ชั่งน้ำหนักผลปาล์มและวัดความแข็งที่ผิวของผลปาล์มในแต่ละตะแกรงทุกๆ30นาทีจนกว่าน้ำหนักของผลปาล์มในตะแกรงจะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยหรือหยุดการเปลี่ยนแปลง

5. นำผลปาล์มที่อบแล้วบางส่วนมาอบให้แห้งสนิทเพื่อหาค่าน้ำหนักแห้งของวัตถุ

6. นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าความชื่นมาตรฐานแห้งจากน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป

7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิกับเวลา ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาและความแข็งที่ผิวของผมปาล์มที่กับเวลา

8. ปรับค่าอุณหภูมิในห้องอบเป็นค่าอื่นๆดังนี้ 80°C และ 100°C และทำการเก็บข้อมูลดังในข้อที่ 4-6

9. ปรับความเร็วลมเป็น 4 m/s และ 6 m/s และอบผลปาล์มด้วยอุณหภูมิข้างต้นทำการเก็บข้อมูลดังในข้อที่ 3-6

4.3 ผลการทดลองอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อน

เงื่อนไขการทดลองของการอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อน ได้แก่

1. น้ำหนักผลปาล์มเริ่มต้นประมาณ 690 กรัม
2. อุณหภูมิลมร้อน T = 60˚C, 80˚C และ 100˚C
3. ความเร็วลม V = 2 m/s, 4 m/s และ 6 m/s

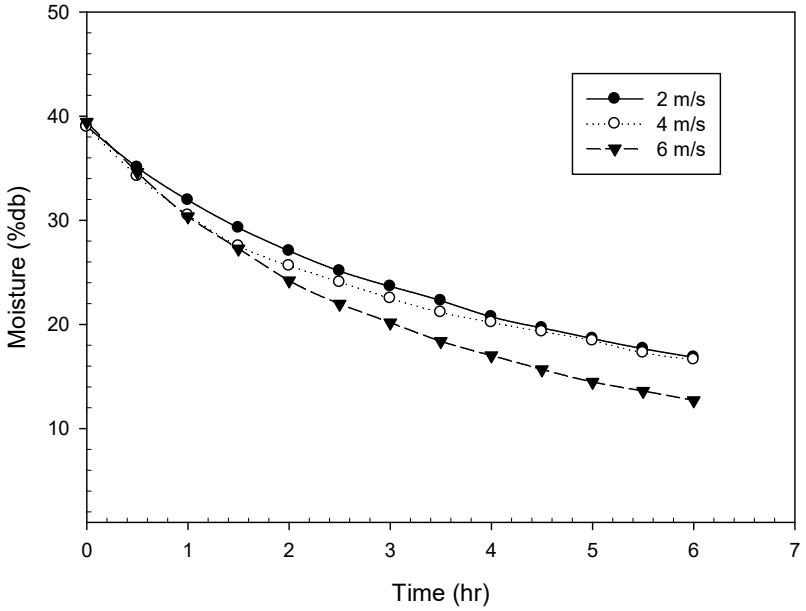
4.3.1 ผลการทดลองหาค่าความชื้นของผลปาล์มที่อบด้วยระบบลมร้อน

รูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลา จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปความชื้นของผลปาล์มก็เปลี่ยนไปด้วย โดยที่ความเร็วลม 6 m/s จะมีค่าความชื้นดีที่สุดคือที่เวลา 6 ชั่วโมงความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 12.69%db ส่วนที่ความเร็วลม 4 และ 2 m/s ความชื้นของผลปาล์มจะลดลงอยู่ที่ 16.62 และ 16.84%db ตามลำดับ

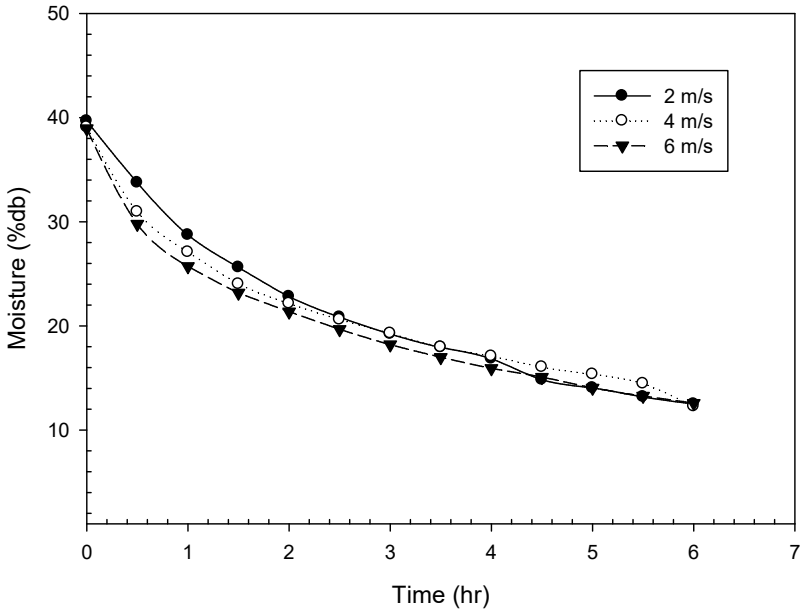
รูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลา จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปความชื้นของผลปาล์มก็เปลี่ยนไปด้วย โดยที่ความเร็วลม 4 m/s จะมีค่าความชื้นดีที่สุดคือที่เวลา 6 ชั่วโมงความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 12.27 %db ส่วนที่ความเร็วลม 2 และ 6 m/s ความชื้นของผลปาล์มจะลดลงอยู่ที่ 12.49 และ 12.57%db ตามลำดับ

รูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลา จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปความชื้นของผลปาล์มก็เปลี่ยนไปด้วย โดยที่ความเร็วลม 6 m/s จะมีค่าความชื้นดีที่สุดคือที่เวลา 4 ชั่วโมงความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.71 %db ส่วนที่ความเร็วลม 2 และ 4 m/s ความชื้นของผลปาล์มจะลดลงอยู่ที่ 4.75 และ 0 %db เมื่ออบผลปาล์มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

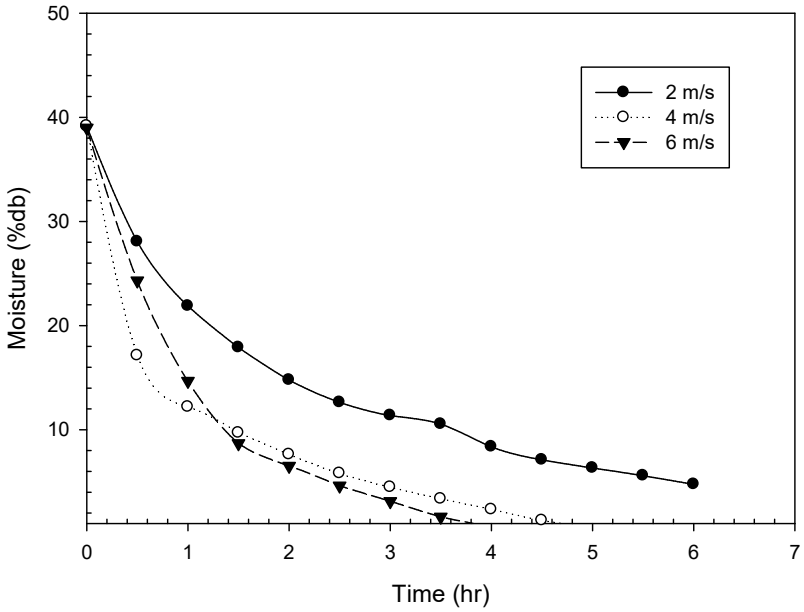
รูปที่ 4.7-4.9 แสดงผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิลมร้อนที่มีต่อการแห้งของผลปาล์มที่เงื่อนไขความเร็วลมร้อนต่างๆ



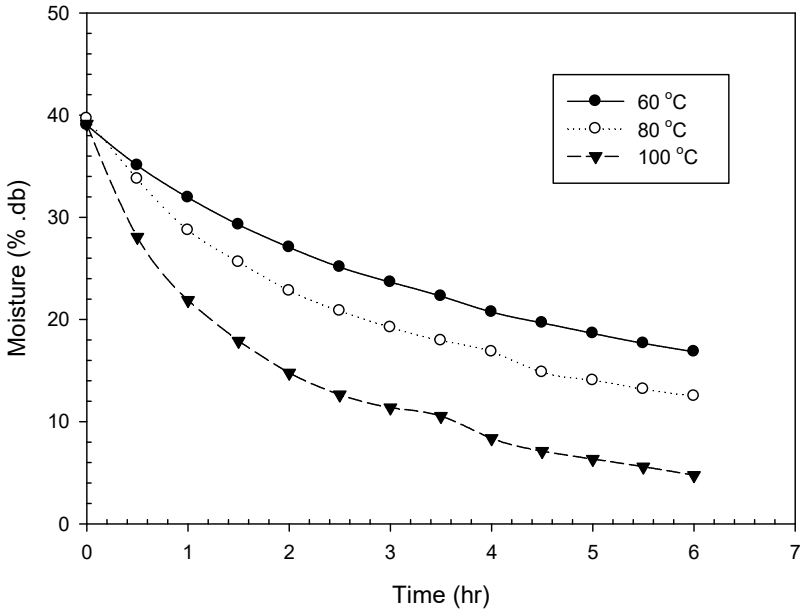
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลา ที่อุณหภูมิลมร้อน 60˚C



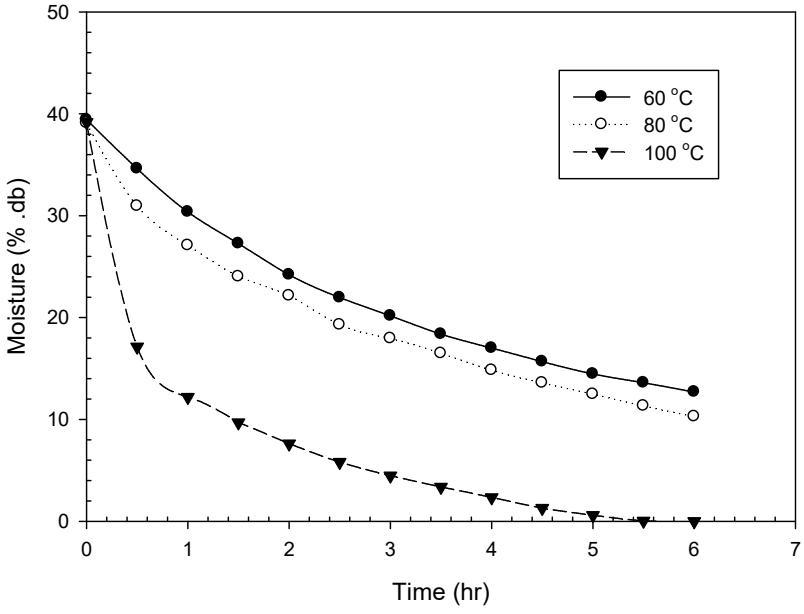
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลา ที่อุณหภูมิลมร้อน 80˚C



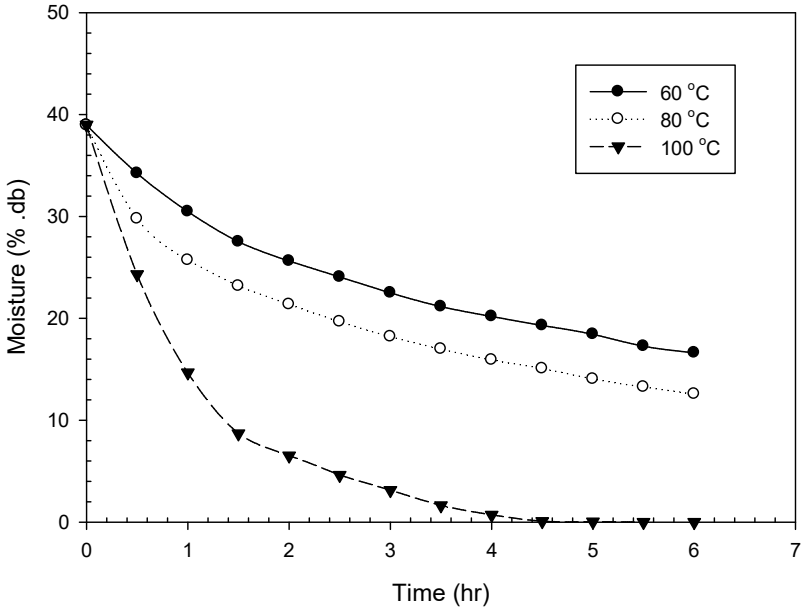
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลา ที่อุณหภูมิลมร้อน 100˚C



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลา ที่ความเร็วลมร้อน 2 m/s



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลา ที่ความเร็วลมร้อน 4 m/s



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลา ที่ความเร็วลมร้อน 6 m/s

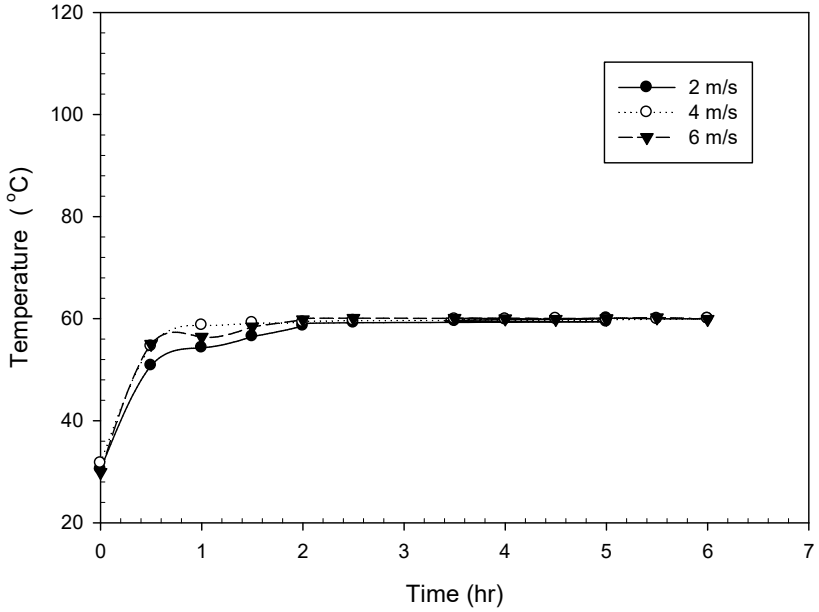
4.3.2 ผลการทดลองหาอุณหภูมิภายในผลปาล์มที่อบด้วยระบบลมร้อน

จากการทดลองหาค่าอุณหภูมิภายในผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s ซึ่งทำการทดลองเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยเก็บผลการทดลองทุกครึ่งชั่วโมง แล้วนำผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปกับเวลา ดังรูปที่ 4.10 โดยอุณหภูมิทดลองเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 30.7°C เมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งอุณหภูมิภายในผลปาล์มจะเข้าสู่อุณหภูมิที่กำหนดไว้คือ 60°C โดยที่ความเร็วลม 6 m/s จะทำให้อุณหภูมิภายในผลปาล์มเข้าสู่ 60°C ได้เร็วที่สุด คือใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ส่วนที่ความเร็วลม 4 และ 2 m/s จะใช้เวลา 3.5 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ

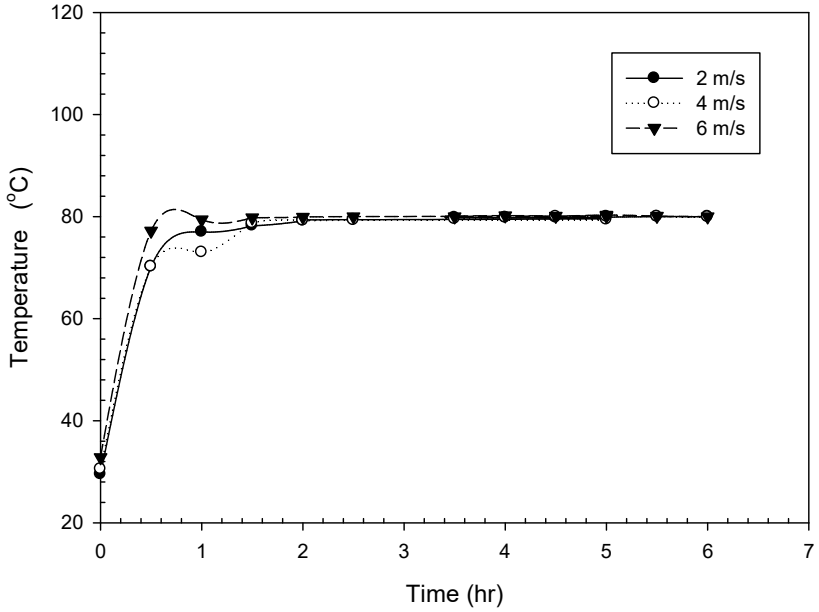
จากการทดลองหาค่าอุณหภูมิภายในผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ด้วยความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s ซึ่งทำการทดลองเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยเก็บผลการทดลองทุกครึ่งชั่วโมง รูปที่ 4.11แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปกับเวลา โดยอุณหภูมิทดลองเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 30.93°C เมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งอุณหภูมิภายในผลปาล์มจะเข้าสู่อุณหภูมิที่กำหนดไว้คือ 80°C โดยที่ความเร็วลม 6 m/s จะทำให้อุณหภูมิภายในผลปาล์มเข้าสู่ 80°C ได้เร็วที่สุด คือใช้เวลาประมาณ 1.5 ชั่วโมง ส่วนที่ความเร็วลม 4 m/s และ 2 m/s จะใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง

จากการทดลองหาค่าอุณหภูมิภายในผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ด้วยความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s ซึ่งทำการทดลองเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยเก็บผลการทดลองทุกครึ่งชั่วโมง แล้วนำผลการทดลองมาเขียนกราฟ รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปกับเวลา โดยอุณหภูมิทดลองเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 30.3°C เมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งอุณหภูมิภายในผลปาล์มจะเข้าสู่อุณหภูมิที่กำหนดไว้คือ 100°C โดยที่ความเร็วลม 4 m/s จะทำให้อุณหภูมิภายในผลปาล์มเข้าสู่ 100°C ได้เร็วที่สุด คือใช้เวลาประมาณครึ่งชั่วโมง ส่วนที่ความเร็วลม 2 m/s และ 6 m/s จะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

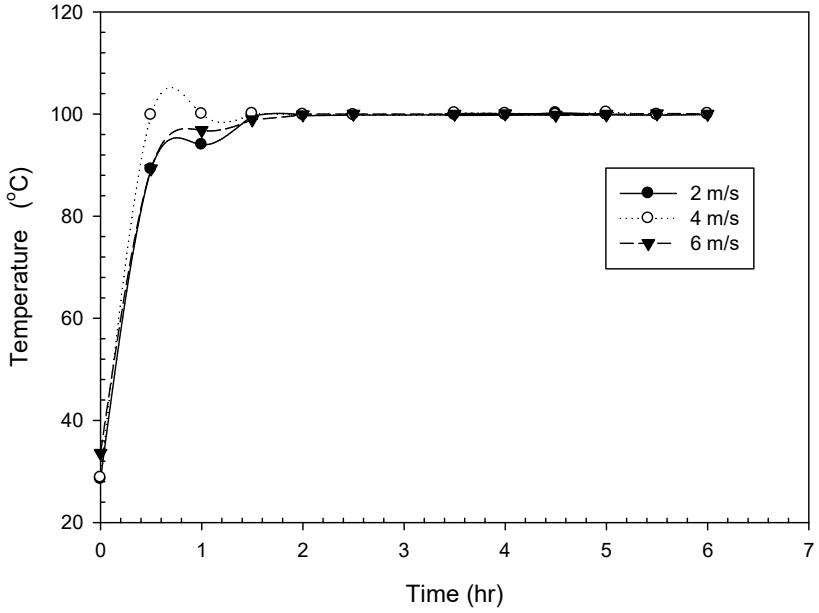
รูปที่ 4.13-4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลา เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิลมร้อน ที่ความเร็วลม 2, 4, 6 m/s



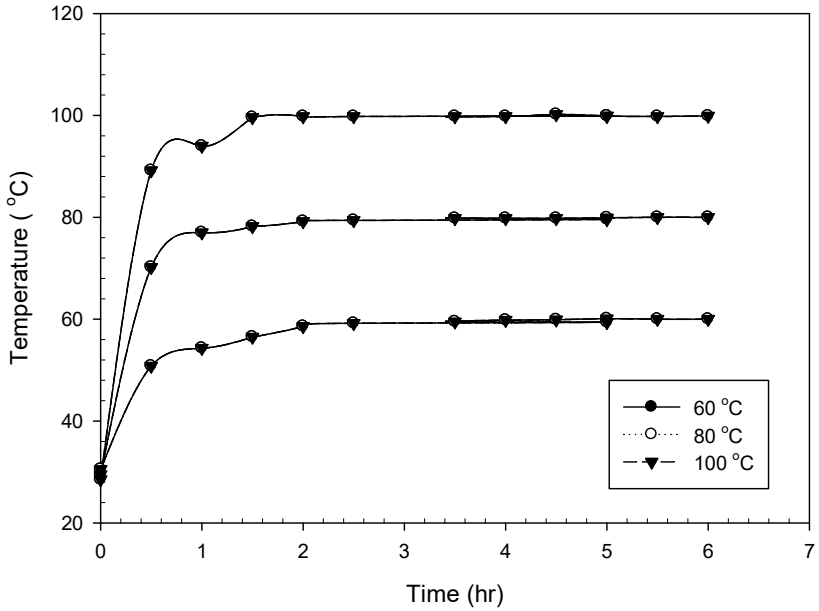
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ที่อุณหภูมิ 60°C



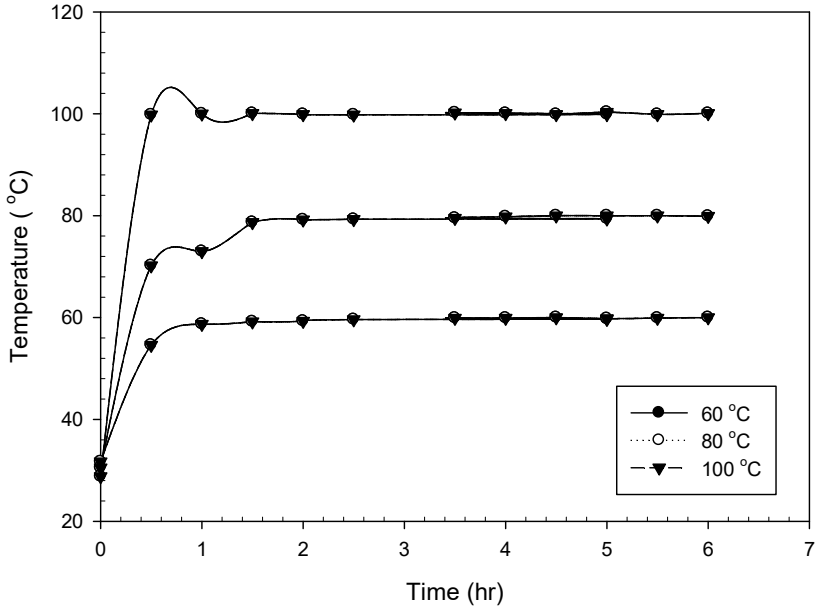
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ที่อุณหภูมิ 80°C



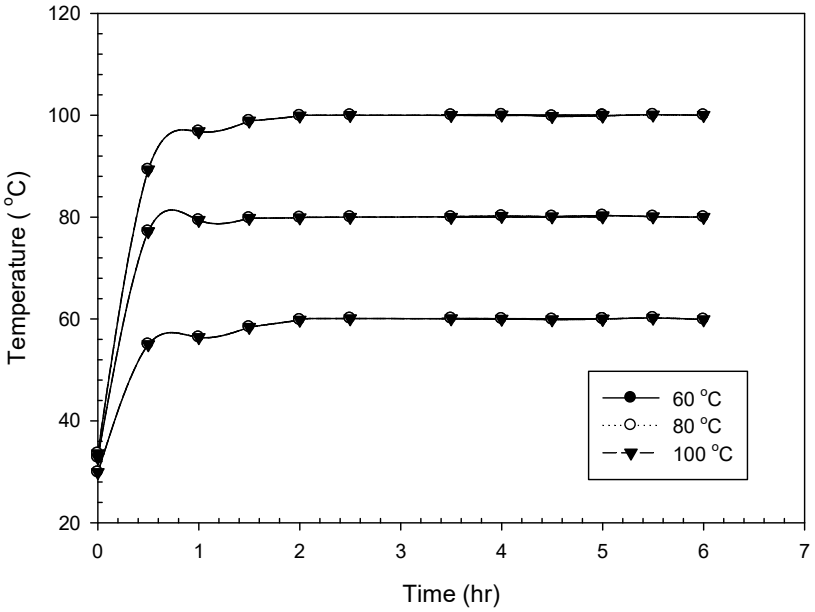
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ที่อุณหภูมิ 100°C



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ที่ความเร็วลม 2 m/s



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ที่ความเร็วลม 4 m/s



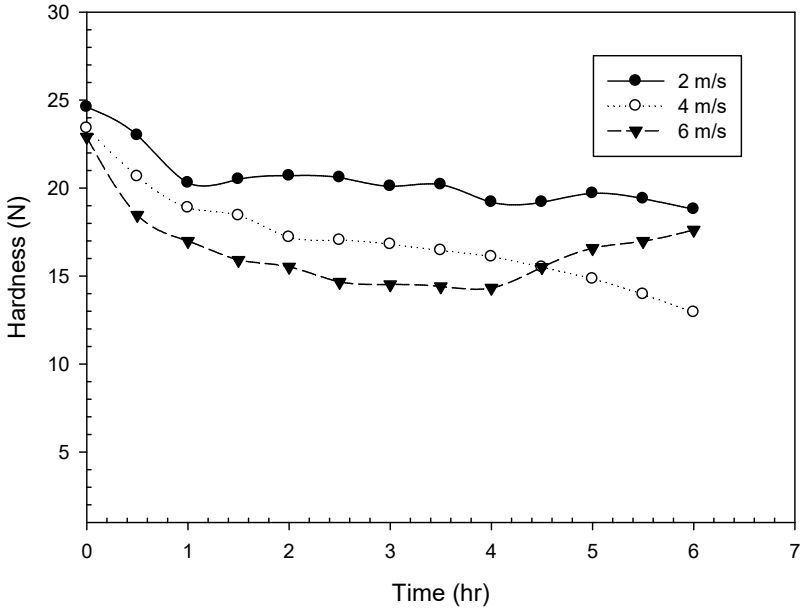
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ที่ความเร็วลม 6 m/s

4.3.3 ผลการทดลองหาค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มที่อบด้วยระบบลมร้อน

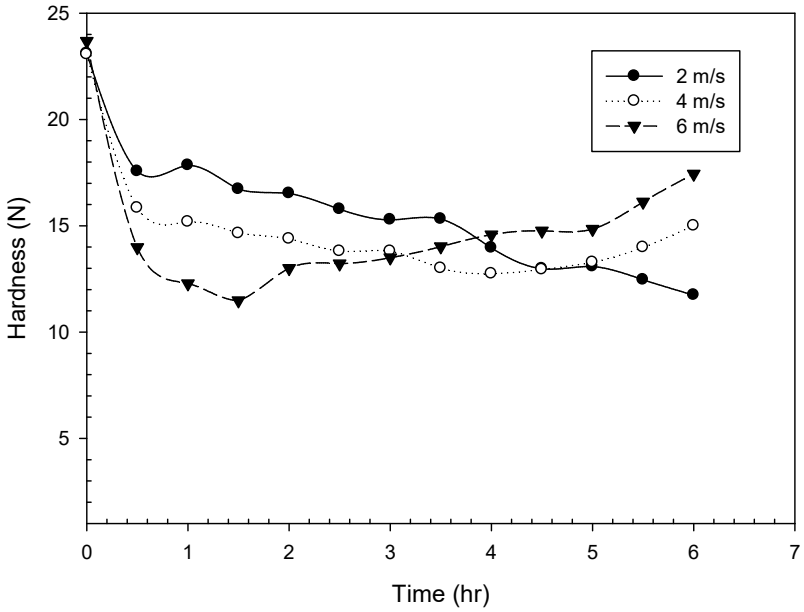
จากการทดลองหาค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิลมร้อน 60˚C และความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s โดยทำการทดลองเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทำการเก็บผลการทดลองทุกๆครึ่งชั่วโมง แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.16 จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งเริ่มต้นเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 23.63 N เมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยความเร็วลมต่างๆแล้วพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปที่ความเร็วลม 2 และ 4 m/s ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มก็จะลดลงด้วยโดยความเร็วลม 2 m/s ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 18.8 N และที่ความเร็วลม 4 m/s ความแข็งมีค่าเป็น 12.94 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนที่ความเร็วลม 6 m/s ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีลักษณะลดลงจนถึงค่าหนึ่งแล้วจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อเวลาผ่านไปโดยความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดที่ 14.32 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 17.62 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

จากการทดลองหาค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80˚C และความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s ดังแสดงในรูปที่ 4.17 จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งเริ่มต้นเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 23.28 N เมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยความเร็วลมต่างๆแล้วพบว่าที่ความเร็วลม 2 m/s เมื่อเวลาผ่านไปความแข็งที่ผิวของผลปาล์มก็จะลดลงด้วย โดยความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงเหลือ 11.74 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมงเมื่อพิจารณาที่ความเร็วลม 4 m/s พบว่าชั่วโมงที่ 4 ของการอบผลปาล์ม ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงเหลือ 12.74 N แล้วจากนั้นความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะเริ่มแข็งขึ้นอีกในช่วงเวลา 4-6 ชั่วโมง โดยความแข็งของผลปาล์มจะเพิ่มขึ้นเป็น 15 N ที่เวลา 6 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วลม 6 m/s พบว่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงเหลือ 11.48 N ที่เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะค่อยๆเพิ่มขึ้นที่เวลา 1.5-6 ชั่วโมง โดยที่เวลา 6 ชั่วโมง ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเท่ากับ 17.44 N

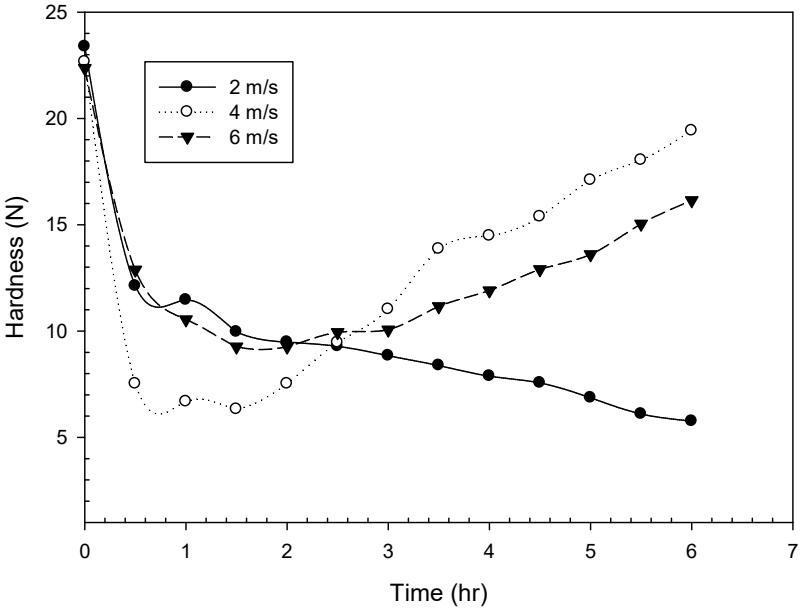
จากการทดลองหาค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100˚C ความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s โดยทำการทดลองเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทำการเก็บผลการทดลองทุกๆครึ่งชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.18 จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งเริ่มต้นเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 22.8 N เมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยความเร็วลมต่างๆแล้วพบว่าที่ความเร็วลม 2 m/s ค่าความแข็งที่ผิวจะลดลงเรื่อยๆ โดยความแข็งที่ผิวมีค่าเท่ากับ 5.76 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 6 ชั่วโมงจากนั้นความแข็งที่ส่วนที่ความเร็วลม 4 และ 6 m/s พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงจนถึงค่าหนึ่งแล้วจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลม 4 m/s ค่าความแข็งที่ผิวจะลดลงต่ำสุดที่เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยความแข็งที่ผิวมีค่าเท่ากับ 6.32 N จากนั้นความแข็งที่ผิวจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมีค่าเท่ากับ 19.42 N ในชั่วโมงที่ 6 ของการอบ เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลม 6 m/s จะพบว่าค่าความแข็งที่ผิวจะลดลงต่ำสุดที่เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเท่ากับ 9.26 N และจะเพิ่มขึ้นเป็น 16.14 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับเวลา ที่อุณหภูมิ 60˚C



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับเวลา ที่อุณหภูมิ 80˚C



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับเวลา ที่อุณหภูมิ 100°C

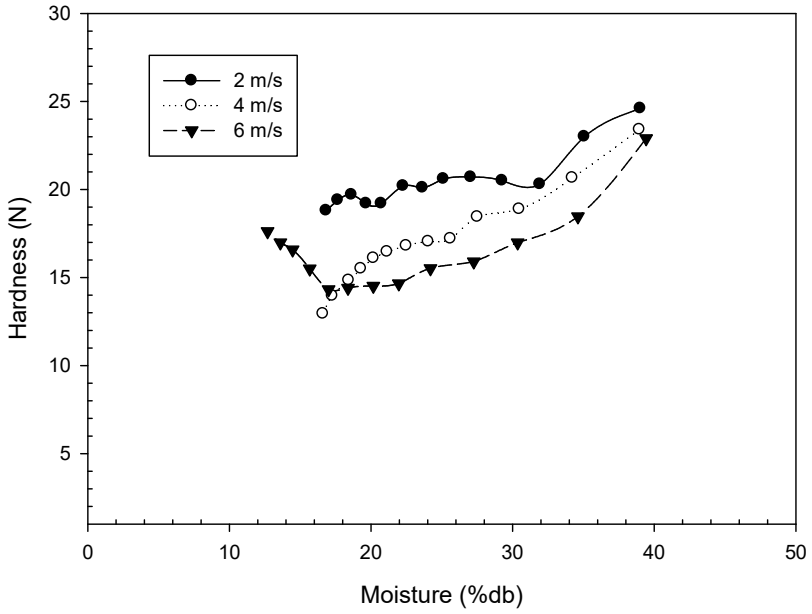
4.3.4 ความชื้นของผลปาล์มต่อค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์ม

รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับความชื้น(มาตรฐานแห้ง)ของผลปาล์มเมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C ความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s พบว่าที่ความเร็วลม 2 และ 4 m/s ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าน้อยลงเมื่อความชื้นของผลปาล์มมีค่าน้อยลงด้วย โดยที่ความเร็วลม 2 m/s ความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มมีค่า 39.02 %db และความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเริ่มต้นที่ 24.6 N เมื่อทำการอบผลปาล์มจนความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 16.84 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงเหลือ 18.8 N และที่ความเร็วลม 4 m/sความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มมีค่า 38.96 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเริ่มต้น 23.4 N เมื่อทำการอบผลปาล์มจนความชื้นลดลงเหลือ 16.61 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มลดลงเหลือ 12.94 N เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลม 6 m/s พบว่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงต่ำสุดที่ความชื้นค่าหนึ่งแล้วความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความชื้นของผลปาล์มมีค่าลดลงไปอีก โดยที่ความชื้นเริ่มต้นคือ 39.42 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 22.9 N เมื่ออบผลปาล์มจนเหลือความชื้นเป็น 17.0 %db ทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดคือ 14.32 N แต่เมื่อความชื้นลดลงเหลือ 12.69 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 17.62 N

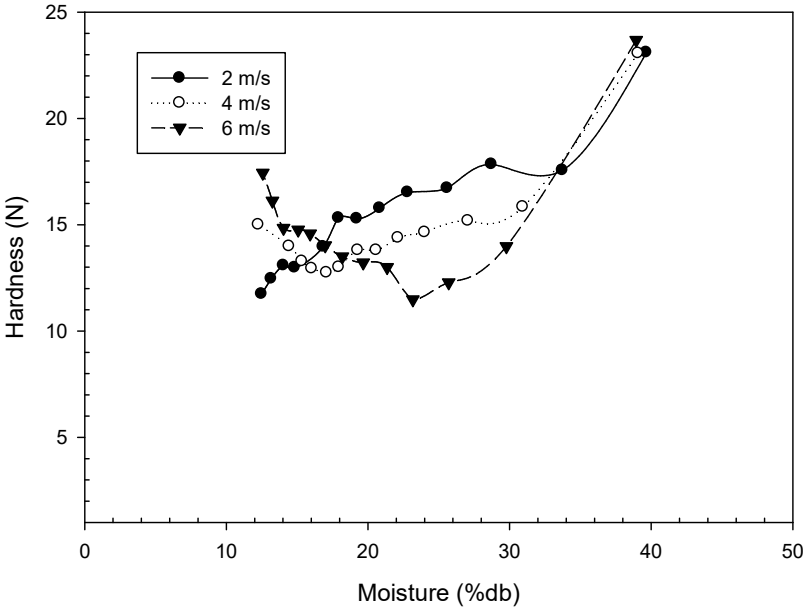
รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับความชื้น(มาตรฐานแห้ง)ของผลปาล์มเมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s พบว่าที่ความเร็วลม 2 m/s ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าน้อยลงเมื่อความชื้นของผลปาล์มมีค่าน้อยลงด้วย โดยความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มมีค่า 39.67 %db และความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเริ่มต้นที่ 23.1 N เมื่อทำการอบผลปาล์มจนความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 12.49 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงเหลือ 11.74 N เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลม 4 และ 6 m/s พบว่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงต่ำสุดที่ความชื้นค่าหนึ่งแล้วความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความชื้นของผลปาล์มมีค่าลดลงไป

อีก โดยที่ความเร็วลม 4 m/s ความชื้นเริ่มต้นคือ 39.08 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 23.06 N เมื่ออบผลปาล์มจนเหลือความชื้นเป็น 17.08 %db ทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดคือ 12.74 N แต่เมื่อความชื้นลดลงเหลือ 12.27 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 15.0 N และที่ความเร็วลม 6 m/sความชื้นเริ่มต้นคือ 38.94 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 23.68 N เมื่ออบผลปาล์มจนเหลือความชื้นเป็น 23.17 %db ทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดคือ 17.48 N แต่เมื่อความชื้นลดลงเหลือ 12.57 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 17.44 N

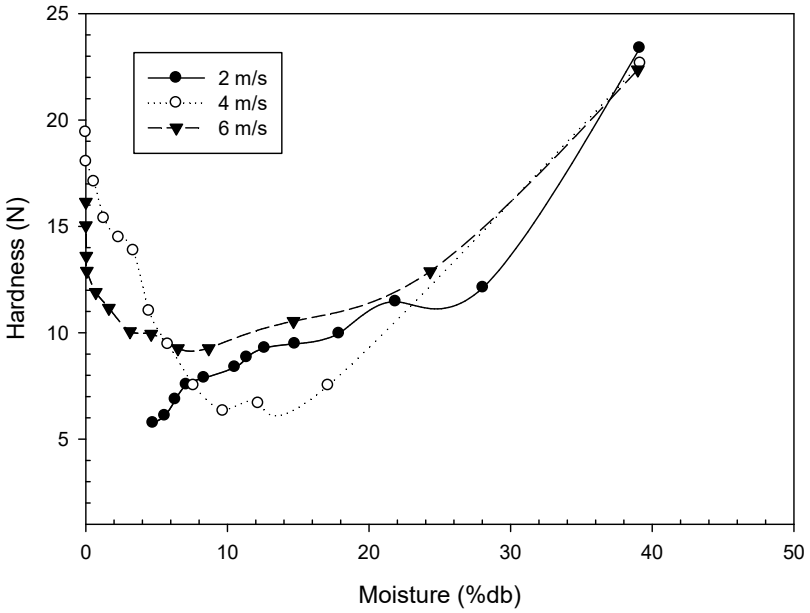
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับความชื้น(มาตรฐานแห้ง)ของผลปาล์มเมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s พบว่าที่ความเร็วลม 2 m/s ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าน้อยลงเมื่อความชื้นของผลปาล์มมีค่าน้อยลงด้วย โดยความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มมีค่า 39.12 %db และความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเริ่มต้นที่ 23.38 N เมื่อทำการอบผลปาล์มจนความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 4.75 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงเหลือ 5.76 N เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลม 4 และ 6 m/s พบว่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงต่ำสุดที่ความชื้นค่าหนึ่งแล้วความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความชื้นของผลปาล์มมีค่าลดลงไปอีก โดยที่ความเร็วลม 4 m/s ความชื้นเริ่มต้นคือ 39.16 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 22.66 N เมื่ออบผลปาล์มจนเหลือความชื้นเป็น 9.69 %db ทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดคือ 6.32 N แต่เมื่อความชื้นลดลงเหลือ 0.0 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 19.42 N และที่ความเร็วลม 6 m/sความชื้นเริ่มต้นคือ 38.98 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 22.36 N เมื่ออบผลปาล์มจนเหลือความชื้นเป็น 8.68 %db ทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดคือ 9.26 N แต่เมื่อความชื้นลดลงเหลือ 0.0 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 16.14 N



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับความชื้น(มาตรฐานแห้ง) ที่อุณหภูมิ 60°C



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับความชื้น(มาตรฐานแห้ง) ที่อุณหภูมิ 80°C



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับความชื้น(มาตรฐานแห้ง) ที่อุณหภูมิ 100°C

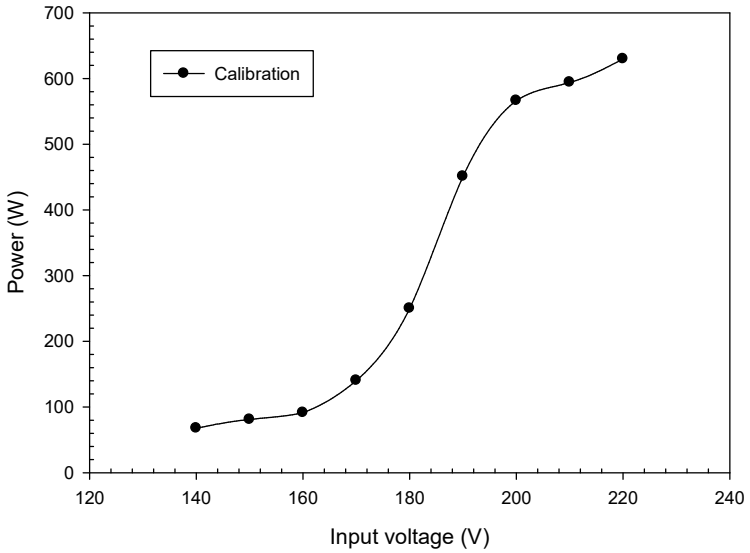
4.4 การทดลองอบผลปาล์มด้วยไมโครเวฟ

เงื่อนไขการทดลองของการอบผลปาล์มด้วยไมโครเวฟ

1. น้ำหนักผลปาล์มเริ่มต้นประมาณ 690 กรัม
2. กำลังของไมโครเวฟที่ใช้ 100 W 200 W 300 W และ 400 W

4.4.1 ผลการสอบเทียบกำลังไมโครเวฟ

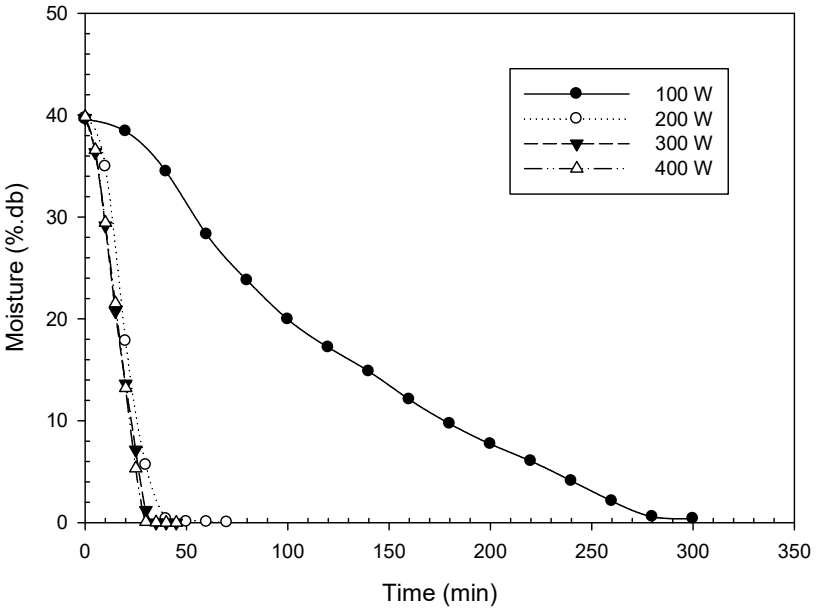
จากการทดลองอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟภายใต้เงื่อนไขกำลังวัตต์ของตู้ไมโครเวฟที่ 100 W 200 W 300 W และ 400 W ก่อนการทดลองได้ทำการสอบเทียบกำลังวัตต์ของตู้ไมโครเวฟที่เงื่อนไขความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้หม้อแปลงไฟฟ้าต่างๆ ในการสอบเทียบได้ใช้น้ำ 500 กรัม ใส่ลงภาชนะ วัดอุณหภูมิน้ำก่อนและหลังการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 3 นาที แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณความร้อนและกำลังวัตต์ที่ทำให้น้ำอุ่นขึ้นโดยการทดลองสอบเทียบได้เพิ่มกำลังวัตต์ของตู้ไมโครเวฟโดยความต่างศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นอยู่ที่ 140 V แล้วปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 V ดังแสดงในตารางที่ ก10 แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังวัตต์กับความต่างศักย์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังวัตต์ของไมโครเวฟกับความต่างศักย์ไฟฟ้า

4.4.2 ผลการทดลองหาค่าความชื้นของผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ

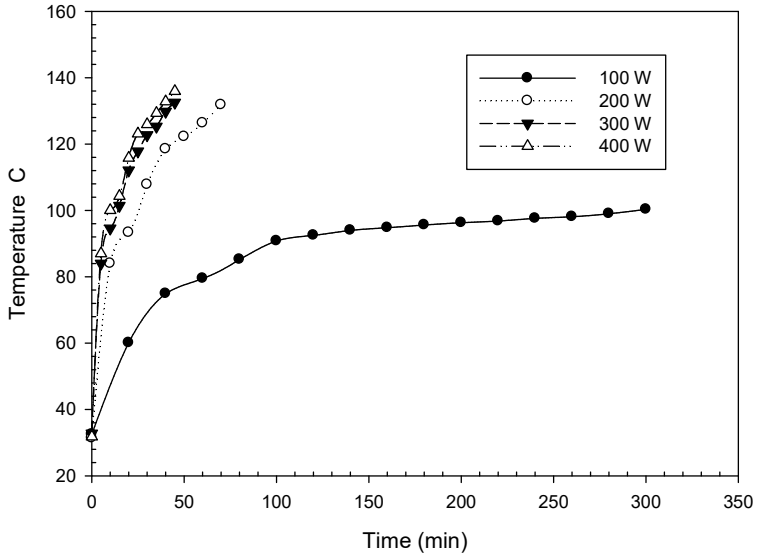
รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลาโดยความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 39.7 %db พบว่าที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W ทำให้อัตราการลดลงของความชื้นดีที่สุดโดยลดลงเหลือ 0.08 %db เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 30 นาที ที่กำลังของไมโครเวฟ 300 W ความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 1.21 %db ที่เวลา 30 นาที ที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W ความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.02 %db และที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W จะให้อัตราการลดลงของความชื้นน้อยที่สุดคือ ความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.38 %db เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 300 นาที



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละค่าความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลา ที่อบด้วยไมโครเวฟ (น้ำหนักปาล์มเริ่มต้น = 690 กรัม)

4.4.3 ผลการทดลองหาอุณหภูมิภายในผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ

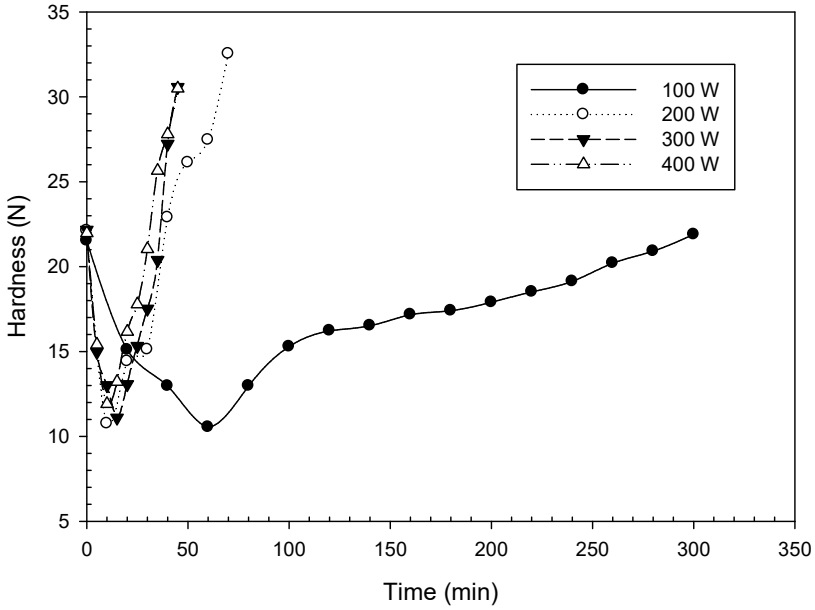
ในรูปที่ 4.24 พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในผลปาล์มเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาที่กำลังวัตต์ต่างๆแล้วพบว่าที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W อุณหภูมิภายในผลปาล์มจะมีค่าเข้าสู่ 100˚C โดยเมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 300 นาทีอุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่า 100.3 ˚C เมื่อพิจารณาที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W 300 W และ400 W พบว่าอุณหภูมิภายในผลปาล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W อุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่า 131.8˚C เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 70 นาที ที่กำลังของไมโครเวฟ 300 W อุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่า 132.5˚C เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 45 นาทีและที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W อุณหภูมิภายในผลปาล์มมีค่า 135.9˚C เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 45 นาที



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในผลปาล์มกับเวลา ที่อบด้วยไมโครเวฟ

4.4.4 ผลการทดลองหาค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ

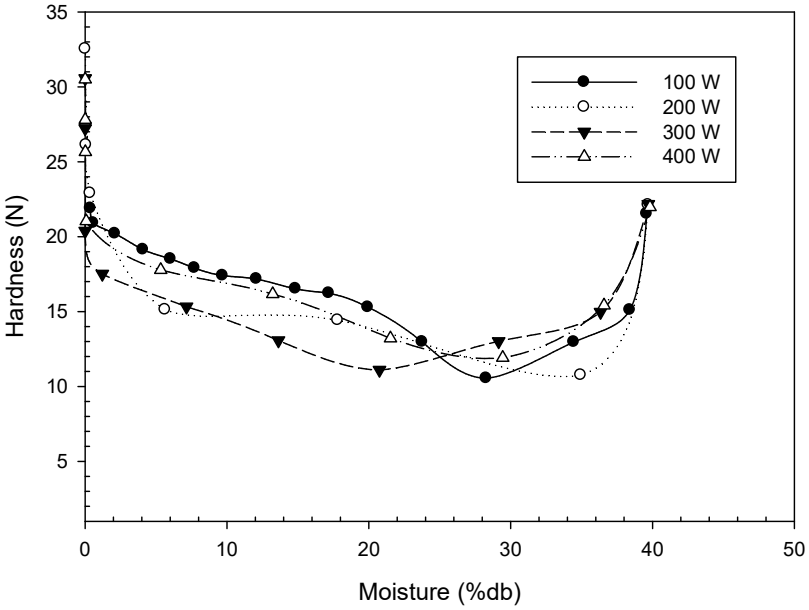
จากรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงแรกความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าลดลงและช่วงหลังความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง กล่าวคือช่วงแรกของการอบความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าลดลงจนถึงค่าหนึ่งแล้วจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้ง โดยที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าน้อยสุดที่ 10.54 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 60 นาทีหลังจากทำการอบผลปาล์มจนแห้งความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 21.89 N ที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดที่ 10.76 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 10 นาทีหลังจากทำการอบผลปาล์มจนแห้งความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 32.53 N ที่กำลังของไมโครเวฟ 300 W ความแข็งของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดที่ 11.1 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 15 นาทีหลังจากทำการอบผลปาล์มจนแห้งความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 30.57 N และที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดที่ 11.92 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 10 นาทีหลังจากทำการอบผลปาล์มจนแห้งความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 30.49 N



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับเวลาที่อบด้วยไมโครเวฟ

4.4.5 ความชื้นของผลปาล์มต่อค่าความแข็งที่ผิวของผลปาล์มเมื่ออบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ

รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับความชื้น(มาตรฐานแห้ง)ของผลปาล์มเมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 , 200 , 300 และ 400 W โดยลักษณะของความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะขึ้นอยู่กับความชื้นของผลปาล์มด้วยโดยความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะมีค่าลดลงเมื่อความชื้นของผลปาล์มลดลงจนถึงค่าหนึ่งแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความชื้นลดลงของผลปาล์มลดลงไปอีกโดยที่ 100 W พบว่าความความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มอยู่ที่ 39.60 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 21.52 N เมื่อความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 28.28 %db ทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดที่ 10.54 N เมื่อความชื้นที่ผิวของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.38 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะเพิ่มขึ้นเป็น 21.89 N ที่กำลังของไมโครเวฟ 200 W พบว่าความความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มอยู่ที่ 39.70 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 22.12 N เมื่อความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 34.95 %db ทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดที่ 10.75 N เมื่อความชื้นที่ผิวของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.02 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะเพิ่มขึ้นเป็น 32.53 N ที่กำลังของไมโครเวฟ 300 W พบว่าความความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มอยู่ที่ 39.70 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 22.16 N เมื่อความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 20.75 %db ทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดที่ 11.10 N เมื่อความชื้นที่ผิวของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.0 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะเพิ่มขึ้นเป็น 30.56 N และที่กำลังของไมโครเวฟ 400 W พบว่าความความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มอยู่ที่ 39.83 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่า 21.97 N เมื่อความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 29.44 %db ทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดที่ 11.92 N เมื่อความชื้นที่ผิวของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.0 %db ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะเพิ่มขึ้นเป็น 30.49 N



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับความชื้น(มาตรฐานแห้ง)ของผลปาล์มเมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ

4.5 ผลการเปรียบเทียบการอบแห้งผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100˚C กับการอบแห้งผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W

4.5.1 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในผลปาล์มเมื่ออบด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ100˚C กับการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W

รูปที่ 4.27 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในผลปาล์มเมื่ออบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100˚C และความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s กับการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W (เงื่อนไขนี้กำหนดจากผลการทดลองในบทที่ผ่านมา) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิภายในผลปาล์มเพิ่มขึ้นด้วย โดยการอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนอุณหภูมิภายในผลปาล์มจะเข้าสู่ 100˚C ส่วนการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของผลปาล์มอยู่ที่ 32.5˚C เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของผลปาล์มจะค่อยๆเพิ่มขึ้น แล้วเข้าสู่ 100˚C เหมือนกับการอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อน โดยอุณหภูมิภายในผลปาล์มจะมีค่า 100.3˚C เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

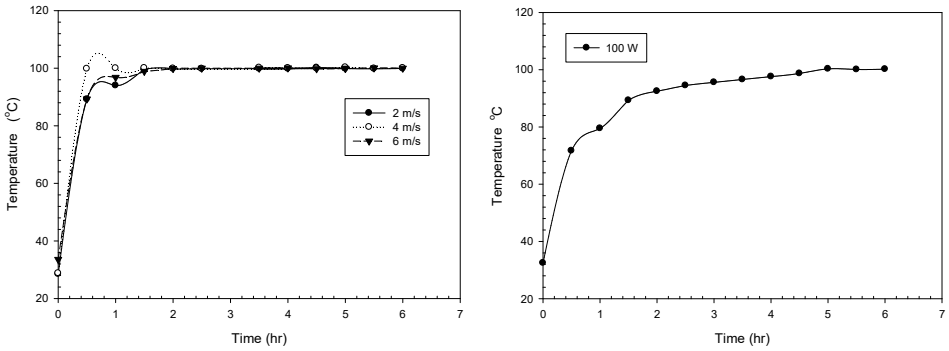
4.5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความชื้นของผลปาล์มเมื่ออบด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ100˚C กับการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W

จากการทดลองอบแห้งผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิลมร้อน 100˚C และการทดลองอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W แล้วนำผลการทดลองมาเขียนกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของผลปาล์มที่หายไปกับเวลา พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปทำให้น้ำหนักของผลปาล์มลดลงด้วย เมื่อทำการเปรียบเทียบแล้วพบว่า ในช่วงแรกของการอบผลปาล์ม การใช้ลมร้อนจะทำให้น้ำหนักของผลปาล์มลดลงมากกว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งสังเกตได้จากเมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

การอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่ความเร็วลมต่างๆจะให้อัตราการลดลงของน้ำหนักได้ดีกว่าการอบด้วยไมโครเวฟดังนี้ การอบด้วยระบบลมร้อนที่ความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s ทำให้น้ำหนักของผลปาล์มลดลงเหลือ 569.7 , 534.2 และ 528.7 กรัม ตามลำดับ ส่วนการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟเมื่อเวลาผ่าไป 2 ชั่วโมงนั้นทำให้น้ำหนักของผลปาล์มลดลงเหลือ 578.8 กรัม แต่เมื่อทำการอบผลปาล์มไปเป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า การแห้งของผลปาล์มเมื่ออบด้วยคลื่นไมโครเวฟจะดีกว่าการอบด้วยระบบลมร้อนโดย เมื่ออบด้วยระบบลมร้อนที่ความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s น้ำหนักของผลปาล์มลดลงเหลือ 527.8 , 499.3 และ 496.6 กรัม ส่วนการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟน้ำหนักของผลปาล์มลดลงเหลือ 495.6 กรัม ซึ่งดีกว่าระบบลมร้อน ผลของน้ำหนักของผลปาล์มที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ความชื้นของผลปาล์มลดลงด้วย ดังรูปที่ 4.28 แสดงผลการเปรียบเทียบความชื้น(มาตรฐานแห้ง)กับเวลาเมื่ออบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่ความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s กับการอบผลปาล์มด้วยไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง ความชื้นของผลปาล์มที่ทำการอบด้วยระบบลมร้อนที่ความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s ความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 6.33 , 0.58 และ 0.04 %db ตามลำดับส่วนการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟความชื้นของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.38 %db

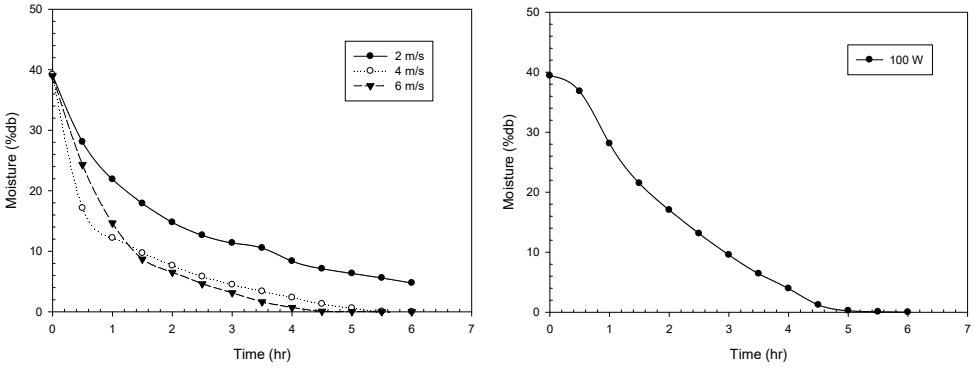
4.5.3 ผลการเปรียบเทียบความแข็งที่ผิวของผลปาล์มเมื่ออบด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100˚C กับการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W

รูปที่ 4.29 แสดงผลการเปรียบเทียบความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับเวลา เมื่ออบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100˚C และความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s กับการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W เมื่อพิจารณาการอบด้วยระบบลมร้อนแล้วพบว่าที่ความเร็วลม 2 m/s ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงเรื่อยและความแข็งที่ผิวมีค่า 5.76 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนที่ความเร็วลม 4 และ 6 m/s ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงจนถึงค่าหนึ่งแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้ง โดยที่ความเร็วลม 4 m/s ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มลดลงต่ำสุดที่ 6.32 N ที่เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที และเพิ่มขึ้นเป็น 19.42 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และที่ความเร็วลม 6 m/s ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มลดลงต่ำสุดที่ 9.26 N ที่เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 16.14 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาการอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W พบว่าลักษณะความแข็งที่ผิวของผลผลปาล์มมีความใกล้เคียงกับการอบด้วยระบบลมร้อน คือความแข็งที่ผิวของผลปาล์มจะลดลงจนถึงค่าหนึ่งแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้ง โดยความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าน้อยสุดที่ 10.54 N เมื่อทำการอบผลปาล์มที่เวลา 1 ชั่วโมงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 21.89 N เมื่อทำการอบผลปาล์มเป็นเวลา 5 ชั่วโมง



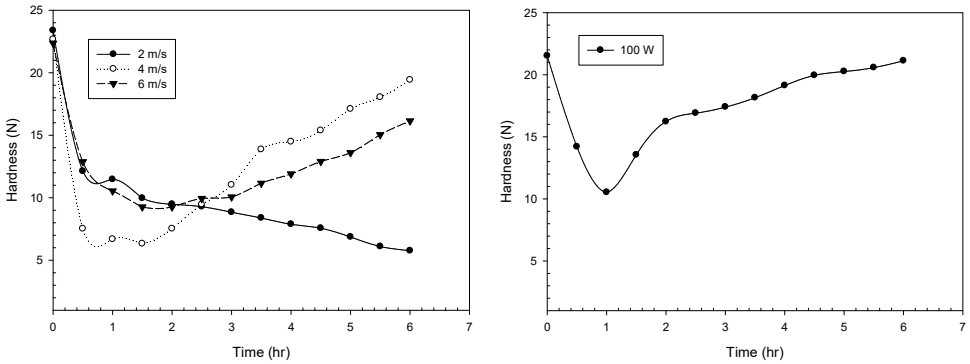
(ก) (ข)

รูปที่ 4.27 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในผลปาล์มกับเวลาเมื่ออบผลปาล์มด้วย (ก) ระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100˚C และความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s กับ (ข) การอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W



(ก) (ข)

รูปที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบปริมาณร้อยละความชื้น(มาตรฐานแห้ง)ของผลปาล์มกับเวลาเมื่ออบผลปาล์มด้วย (ก) ระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100˚C และความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s กับ (ข) การอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W



(ก) (ข)

รูปที่ 4.29 ผลการเปรียบเทียบความแข็งที่ผิวของผลปาล์มกับเวลาเมื่ออบผลปาล์มด้วย (ก) ระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100˚C และความเร็วลม 2 , 4 และ 6 m/s กับ (ข) การอบผลปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W

4.6 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนโดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแห้งของผลปาล์มได้แก่อุณหภูมิและความเร็วลม สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิของลมร้อนและความเร็วลมมีผลต่อการอบแห้งผลปาล์ม โดยการอบผลปาล์มจนให้มีอุณหภูมิภายในผลปาล์มเป็น 100˚C และความเร็วลม 4 m/s จะทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มลดลงต่ำสุดเหลือ 6.32 N หรือลดลง 72.3 % ของความแข็งเริ่มต้น ดังนั้นการอบผลปาล์มให้มีอุณหภูมิ 100˚C และคงไว้ 1.5-2.5 ชั่วโมง มีผลทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มมีค่าต่ำที่สุด

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแห้งของผลปาล์มด้วยระบบไมโครเวฟสามารถสรุปได้ว่า การแห้งของผลปาล์มขึ้นอยู่กับกำลังของคลื่นไมโครเวฟ เมื่อให้กำลังแก่ไมโครเวฟมากขึ้นทำให้อัตราการแห้งของผลปาล์มเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่กำลัง 400 W จะให้อัตราการแห้งสูงสุดทำให้ความชื้นมาตรฐานแห้งของผลปาล์มลดลงเหลือ 0.08 %db ในเวลา30 นาที และที่อุณหภูมิ 100˚C ของการอบด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 Wจะทำให้ความแข็งที่ผิวของผลปาล์มลดลงเหลือ 11.92 N

เมื่อทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการแห้งของผลปาล์มเมื่อทำการอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100˚C กับการอบผลด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 100 W สามารถสรุปได้ว่า การอบผลปาล์มด้วยระบบลมร้อนจะให้อัตราการแห้งของผลปาล์มดีกว่าการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟของการอบช่วงแรก ส่วนในช่วงหลังการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟจะให้อัตราการแห้งดีกว่าการอบด้วยระบบลมร้อน

บทที่ 5การอบปาล์มแบบผสมระหว่างลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ

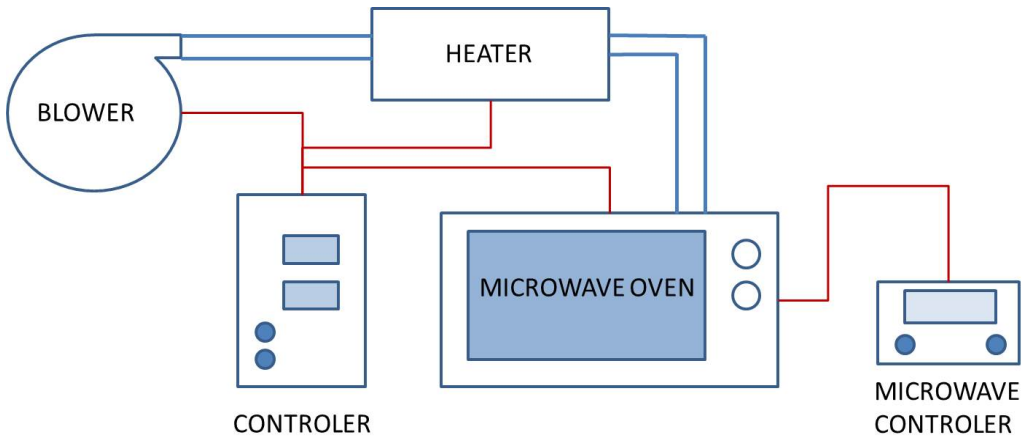
5.1 ที่มาของปัญหา

การอบผลปาล์มเป็นกระบวนการต้นทางที่ควบคุมคุณภาพน้ำมันปาล์ม และเพื่อยับยังปฏิกิริยาของเอนไซน์ที่จะสร้างกรดไขมันอิสระ การอบแห้งในปัจจุบันจะอบโดยบรรจุผลปาล์มในกระบะซีเมนต์ที่ปูพื้นด้วยตะแกรงเหล็ก ด้านล่างมีช่องให้ลมร้อนไหลขึ้นผ่านตะแกรงเหล็กได้ ซึ่งการอบเช่นนี้ทำให้ช่วงแรกของการอบไอน้ำจะกลั่นตัวที่ชั้นบนของกองผลปาล์มซึ่งมีอุณหภูมิต่ำทำให้ไม่อาจยับยังปฏิกิริยาเอนไซน์ได้นอกจากนั้นยังพบว่าผลปาล์มทั้งกองมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ โดยผลปาล์มชั้นล่างอาจจะไหม้เกินไปผลปาล์มที่ไหม้จะแข็งและทำให้สกรูหีบสึกหรอได้ง่าย ผลปาล์มชั้นบนที่สุกไม่สนิท จะมีน้ำปนให้ได้น้ำมันปาล์มด้อยคุณภาพ กรรมวิธีการแบบนี้ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก อีกทั้งแรงต้านทานของกองปาล์มทำให้ต้องใช้ พัดลมเป่าอัดลมร้อนเข้าใต้กระบะอบทำให้อากาศร้อนมีโอกาสรั่วไหลออกจากระบบได้ง่าย ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานและเพิ่มต้นทุน นอกจากนั้น การอบชั้นหนาเกินไปทำให้ผลปาล์มสุกไม่สม่ำเสมอและมีผลต่อคุณภาพดังกล่าวข้างต้น ในช่วงท้ายของการอบ เมื่อผลปาล์มใกล้แห้ง จะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปมากโดยลมที่ปล่อยทิ้งจากระบบอาจมีอุณหภูมิ ถึง 70°C จึงจำเป็นต้องออกแบบระบบอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูง

งานวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการลดลงของความชื้นในผลปาล์ม โดยกระบวนการอบแห้ง 2 รูปแบบคือ ลมร้อน และลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ กระบวนการให้ความร้อนผลปาล์มเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาไลโปไลซิสและไล่น้ำออกจากผลปาล์ม ในการทดลองได้ใช้ผลปาล์มสุก 300 กรัม อบในตู้อบไมโครเวฟที่สามารถควบคุมกำลังวัตต์ของคลื่นไมโครเวฟ อุณหภูมิและความเร็วลมได้

5.2 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

รูปที่ 5.1 แสดงแผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา ในรูปลมถูกส่งจากพัดลมไปยัง Heater chamber ที่ติดตั้ง Heater เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับลม โดยที่ Temperature controller จะควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนให้คงที่ หลังจากนั้นลมร้อนจะไหลเข้าสู่ตู้อบไมโครเวฟ เพื่อควบคุมการให้ความร้อนของตู้อบไมโครเวฟจะใช้ Microwave power controller ต่อเข้ากับตู้อบไมโครเวฟ



รูปที่ 5.1 ไดอะแกรมแสดงชุดทดลอง

สำหรับการอบแห้งแบบลมร้อนจะมีเงื่อนไขของน้ำหนัก เวลา อุณหภูมิ และความเร็วลมดังนี้ อบแห้งผลปาล์ม 300 กรัม 5 ชั่วโมง อุณหภูมิ 80°C, 100°C, 120°C ความเร็วลม 3 m/s, 6 m/s และ 9 m/s สำหรับการอบแห้งแบบผสม เงื่อนไขจะเหมือนกับแบบลมร้อนแต่เพิ่มกำลังของไมโครเวฟเข้าไป 300 Watt

ในการอบแห้งผลปาล์มจะอบครั้งละ 3 การทดลอง เช่น อบที่ความเร็วลม 3 m/s จะให้อุณหภูมิ 80°C, 100°C และ 120°C ซึ่งจะต้องเตรียมผลปาล์มไว้ 3 กอง กองละ 300 กรัม โดยผลปาล์มนั้นได้จากการผ่าทะลายปาล์มแล้วปลิดออกมาและทำการห่อผลปาล์มด้วยฟิล์มห่ออาหารเพื่อรักษาความชื้นของผลปาล์มให้คงที่และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

1. เตรียมปาล์มที่ต้องการจะอบให้ให้พอสำหรับ 3 การทดลอง โดยการผ่าเอาผลปาล์มที่อยู่ด้านในของทลายปาล์ม (รูปที่ 5.2)

รูปที่ 5.2 ผ่าทลายปาล์ม

2. ซีลผลปาล์มเพื่อนรักษาความชื้นด้วยฟิล์มถนอมอาหาร 3 กอง กองละ 300 กรัม แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 5.3)

รูปที่ 5.3 รักษาความชื้นของผลปาล์มด้วยการซีลเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง

3. ปรับเครื่องอบให้ได้เงื่อนไขตามที่ต้องการ เงื่อนไขแรกคือ อุณหภูมิ 80° C ความเร็วลม 3 m/s
4. นำผลปาล์มที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักก่อนทำการ
5. นำผลปาล์มเข้าเครื่องอบเป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยมีการนำออกมา ชั่งน้ำหนักและ วัดอุณหภูมิภายใน ของผลปาล์ม ตามช่วงเวลาดังนี้

ชั่วโมงแรก นำผลปาล์มออกมาวัดค่าทั้ง 3 ทุกๆ 5 นาที

ชั่วโมงที่ 2 นำผลปาล์มออกมาวัดค่าทั้ง 3 ทุกๆ 10 นาที

ชั่วโมงที่ 3-5 นำผลปาล์มออกมาวัดค่าทั้ง 3 ทุกๆ 20 นาที

6. นำผลปาล์มที่อบเสร็จแล้วไปอบในตู้อบแห้ง เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จะได้น้ำหนักแห้งของผลปาล์ม

5.3 ผลการศึกษา

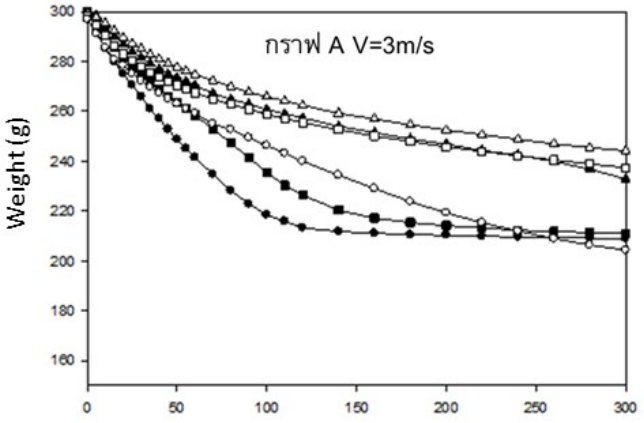
รูปที่ 5.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและเวลาของการอบแห้งผลปาล์มของการอบแห้งผลปาล์มทั้งแบบลมร้อนอย่างเดียวและแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ โดยสัญลักษณ์กราฟสีดำจะแทนการอบแบบลมร้อนร่วมกันไมโครเวฟ และกราฟสัญลักษณ์สีขาวจะเป็นการอบแบบลมร้อนอย่างเดียว โดยที่กราฟ A, B, C จะเป็นการอบผลปาล์มที่ความเร็วลม 3 m/s, 6 m/s, และ 9 m/s ตามลำดับ และรูปที่ 5.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %MC-เวลาของการอบแห้งผลปาล์มของการอบแห้งผลปาล์มทั้งแบบลมร้อนอย่างเดียวและแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ

ผลการทดลองปรากฏว่า ทุกกราฟแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักและ %MC นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเร็วที่ใช้ หากทำการทดลองที่อุณหภูมิสูง(120°C) จะมีอัตราการลดที่เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำหนักลดลงเร็วและความชื้นต่ำ และการเพิ่มความเร็วลมก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน สำหรับการอบแบบผสมอัตราการลดลงของน้ำหนักที่เร็วที่สุดคือการอบด้วยเงื่อนไขT=120°C V=9m/s P=300 W

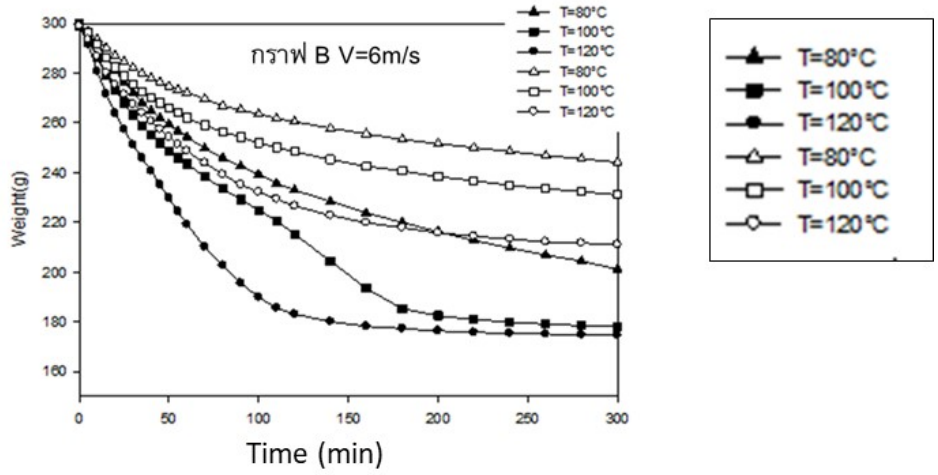
จากรูป น้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะเริ่มคงที่ที่เวลา 70 นาที และมีค่าประมาณ 170 กรัมส่วน%MC ก็ลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงนาทีที่ 70 จึงเริ่มคงที่ที่ประมาณ 4.2% สำหรับการอบแบบลมร้อนนั้นในเงื่อนไขเดียวกันอัตราการลดลงของน้ำหนักจะต่ำกว่าแบบผสม น้ำหนักจะเริ่มคงที่ที่เวลา 140 นาที โดยมีค่าประมาณ 200 กรัม ซึ่งถ้าเปรียบเทียบแล้วการอบแบบผสมในเงื่อนไข T=120°C V=9m/s P=300 W นั้นน้ำหนักสุดท้ายจะลดได้มากกว่าแบบลมร้อนอยู่ 30 กรัม โดยใช้เวลาแค่เพียงครึ่งของการอบแบบลมร้อนเท่านั้น

รูปที่ 5.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแห้ง (Drying rate) และเวลาของการอบแห้งผลปาล์มของการอบแห้งผลปาล์มทั้งแบบลมร้อนอย่างเดียวและแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ โดยอัตราการแห้งคำนวณจากการเปลี่ยนแปลง %MC เทียบกับเวลาในช่วงที่พิจารณา จากรูปพบว่าในช่วงแรกจะมีอัตราการแห้งที่สูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการแห้งจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความชื้นภายในผลปาล์มที่ลดลงตามลำดับ ทำให้การถ่ายโอนความชื้นจากผลปาล์มลดลง และอุณหภูมิลมร้อนที่สูงขึ้นมีผลให้อัตราการแห้งในช่วงแรกเพิ่มสูงขึ้น และการใช้คลื่นไมโครเวฟผสมผสานกับลมร้อนสามารถช่วยเพิ่มอัตราการแห้งได้ในช่วงแรก เมื่อเทียบกับการอบด้วยลมร้อนเพียงอย่าเดียว ถึงแม้เมื่อเวลาผ่านไปถึงช่วงที่อัตราการแห้งต่ำ ยังพบว่าคลื่นไมโครเวฟสามารถเพิ่มอัตราการแห้งในช่วงนี้ได้

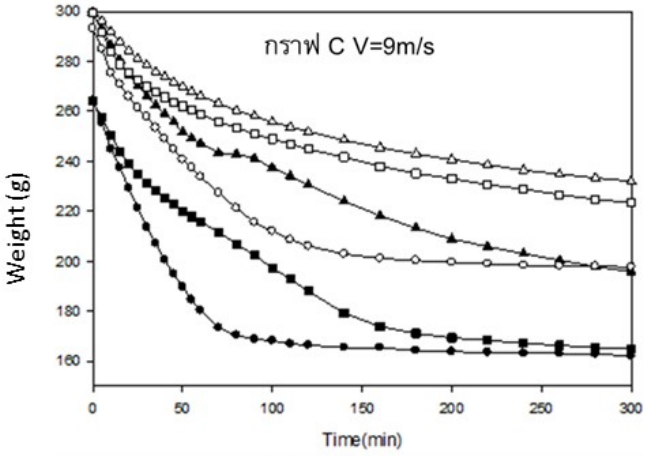
รูปที่ 5.7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Drying Rateและ%MCของการอบแห้งผลปาล์มของการอบแห้งผลปาล์มทั้งแบบลมร้อนอย่างเดียวและแบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ จากรูป อัตราการแห้งมีค่าสูงในช่วงเริ่มอบที่ผลปาล์มมีความชื้นที่สูง แต่เมื่อความชื้นภายในผลปาล์มลดลงจะทำให้อัตราการแห้งลดลงตามไปด้วย พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนมีผลให้อัตราการแห้งของผลปาล์มเพิ่มสูงขึ้น และการใช้คลื่นไมโครเวฟสามารถช่วยเพิ่มอัตราการแห้งของผลปาล์มได้ตลอดช่วงเวลาการอบ โดยเฉพาะกรณีที่ความเร็วลมร้อน เท่ากับ 3 m/s



(ก) กรณี V=3 m/s

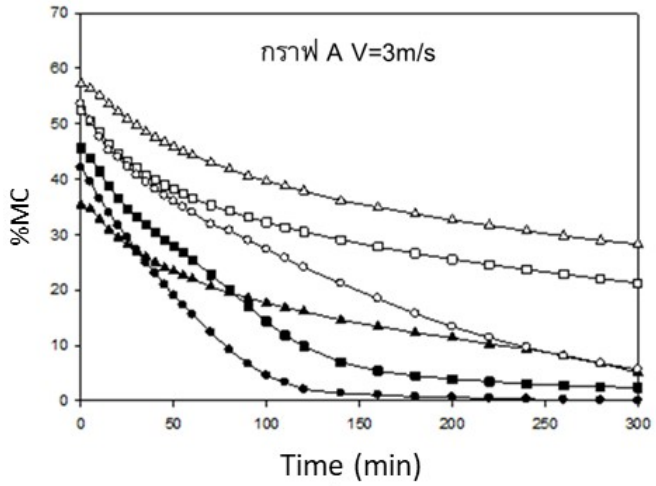


(ข) กรณี V=6 m/s

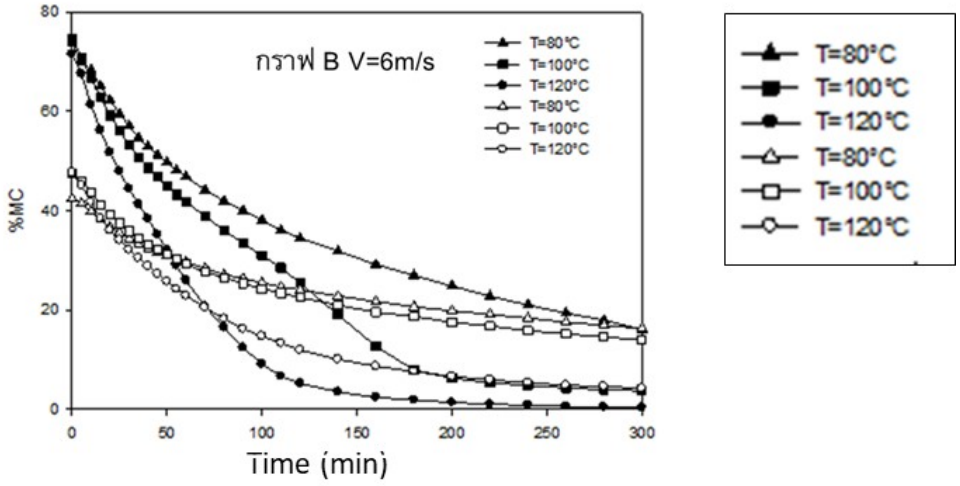


(ค) กรณี V=9 m/s

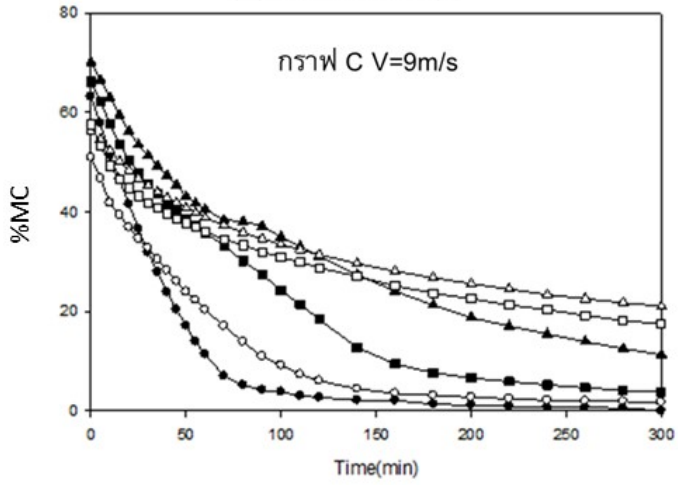
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและเวลาในการอบผลปาล์มแบบลมร้อนร่วมกันไมโครเวฟ 300 W และแบบลมร้อนอย่างเดียว



(ก) กรณี V=3 m/s

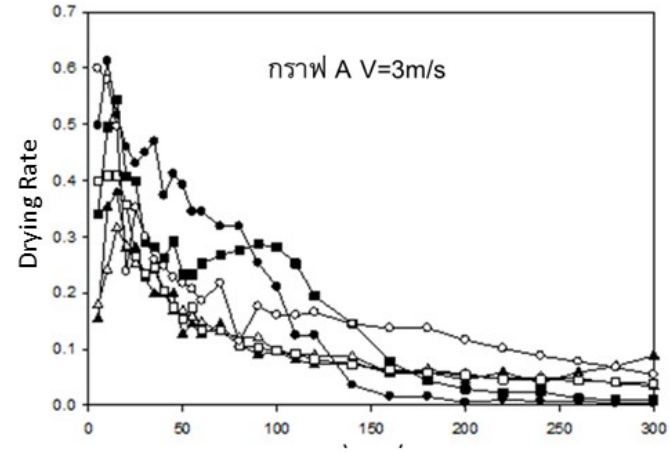


(ข) กรณี V=6 m/s

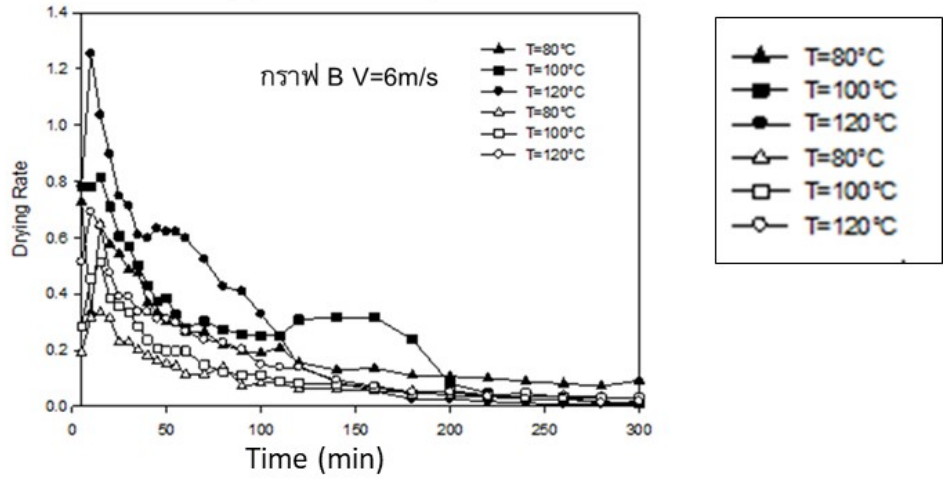


(ค) กรณี V=9 m/s

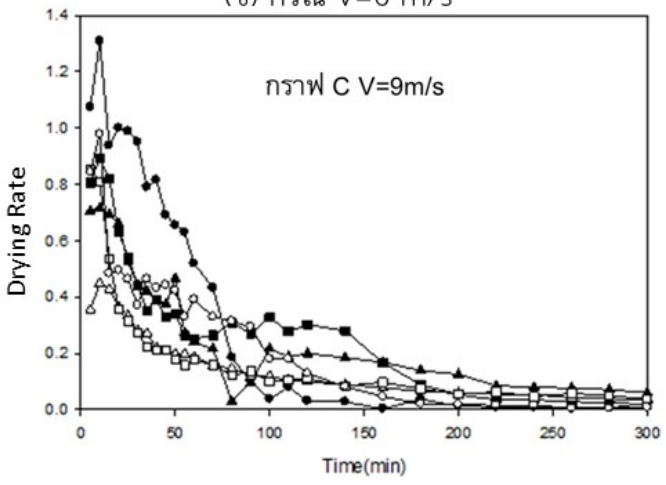
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %MC และเวลาในการอบผลปาล์มแบบลมร้อนร่วมกันไมโครเวฟ 300 W และแบบลมร้อนอย่างเดียว



(ก) กรณี V=3 m/s

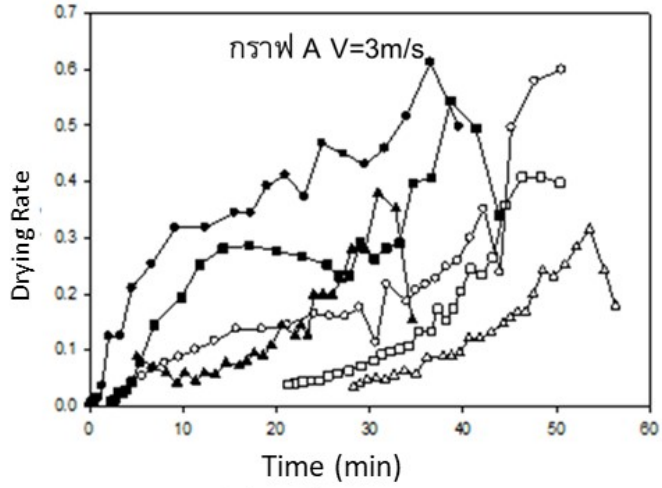


(ข) กรณี V=6 m/s

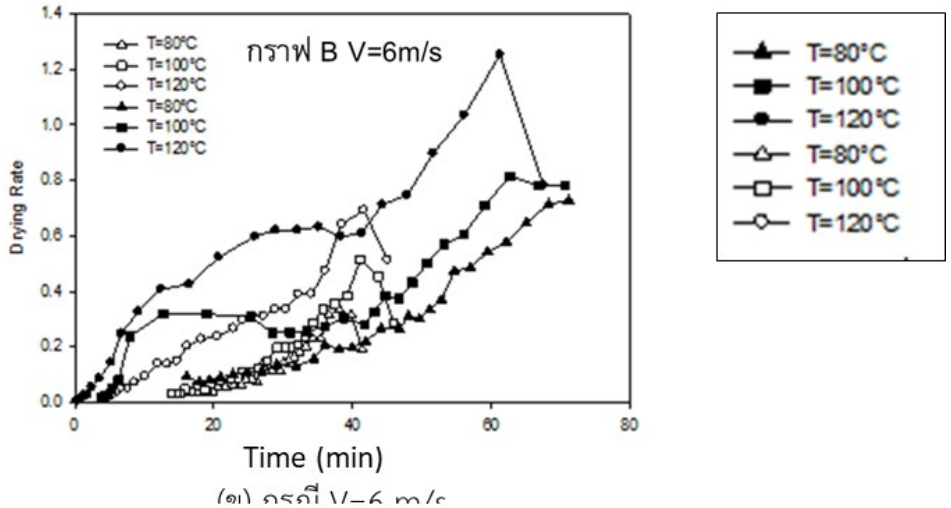


(ค) กรณี V=9 m/s

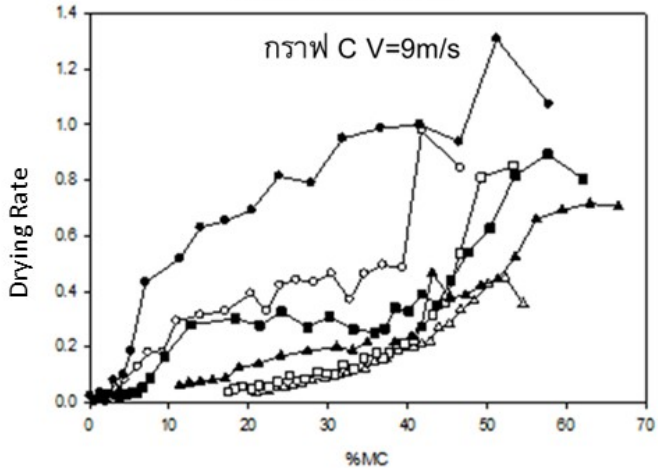
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Drying Rate และเวลาในการอบผลปาล์มแบบลมร้อนร่วมกันไมโครเวฟ 300 W และแบบลมร้อนอย่างเดียว



(ก) กรณี V=3 m/s



(ข) กรณี V=6 m/s



(ค) กรณี V=9 m/s

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Drying Rateและ%MCในการอบผลปาล์มแบบลมร้อนร่วมกันไมโครเวฟ 300 W และแบบลมร้อนอย่างเดียว

5.4 สรุปผลการทดลอง

อัตราการแห้งมีค่าสูงในช่วงเริ่มอบที่ผลปาล์มมีความชื้นที่สูง แต่เมื่อความชื้นภายในผลปาล์มลดลงจะทำให้อัตราการแห้งลดลงตามไปด้วย พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนมีผลให้อัตราการแห้งของผลปาล์มเพิ่มสูงขึ้น และการใช้คลื่นไมโครเวฟสามารถช่วยเพิ่มอัตราการแห้งของผลปาล์มได้ตลอดช่วงเวลาการอบ โดยเฉพาะกรณีที่ความเร็วลมร้อน เท่ากับ 3 m/s

บทที่ 6การพัฒนาเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน สำหรับให้ความร้อนผลปาล์ม

การอบผลปาล์มเป็นกระบวนการต้นทางที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมันปาล์ม ผลปาล์มที่อบไม่สุก (อุณหภูมิไม่สูงพอ) ทำให้ไม่อาจยับยั้งปฏิกิริยาเอนไซน์ที่จะสร้างกรดไขมันอิสระได้ ซึ้งมีผลต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและการพัฒนาเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับให้ ความร้อนผลปาล์ม ซึ่งสามารถอบผลปาล์มได้อย่างต่อเนื่องและเกิดการคลุกเคล้าของผลปาล์มโดยเพิ่มครีบในระยะพิตช์ของเกลียวสกรูทำให้ผลปาล์มมีการคลุกเคล้าได้ดีขึ้น

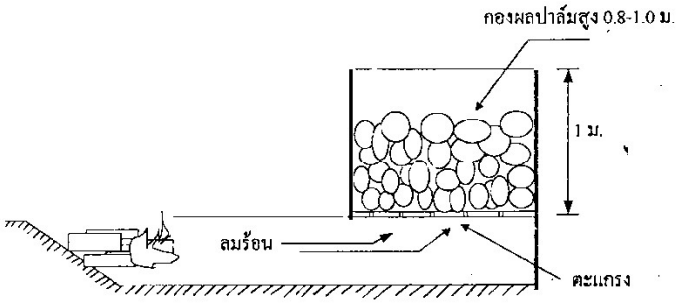
การศึกษาเบื้องต้นโดยการศึกษาแบบของเครื่องอบปาล์มสกรูตัวเดิม เพื่อทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องปาล์มสกรูตัวเดิมให้สามารถติดตั้งระบบไมโครเวฟและทางเข้าออกลมแบบกระจายลม และทำการศึกษาการคลุกเคล้าของผลปาล์มในรางสกรู เครื่องอบผลปาล์มแบบสกรูที่ออกแบบพัฒนาและสร้างขึ้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ โครงสร้างของตัวเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู ระบบส่งอากาศร้อน ระบบไมโครเวฟ และระบบส่งกำลัง โดยภายใน ห้องอบมีสกรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.255 เมตร ยาว 3.10 เมตร เพื่อลำเลียงผลปาล์มร่วงไปพร้อม กับการอบความเร็วรอบของการหมุนของ สกรูเป็น 0.5 รอบ/นาทีเครื่องอบสามารถอบผลปาล์มได้ แบบต่อเนื่องด้วยอัตราการป้อนปาล์ม 30 kg/hr โบลเวอร์ทำหน้าที่หมุนเวียนลมร้อนในระบบโดยเป่าลมผ่านฮีทเตอร์ไฟฟ้าลักษณะการไหลของลมร้อนเป็นแบบสวนกระจายจากด้านบนผ่านสู่ด้านล่างของตัวสกรู มีลมร้อนบางส่วนระบายออกและ มีช่องรับลมร้อนภายใต้ตัวเครื่องเพื่อหมุนเวียนในระบบ

6.1 ที่มาของปัญหา

จากปัญหาน้ำมันปิโตรเลียมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและภาวะราคาน้ำมันสูงขึ้น ทำให้ประชาชนมีภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานโดยเฉพาะค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นทุกปี รัฐบาลมีนโยบายที่จะใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้น น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันจากพืชที่รัฐบาลได้กำหนดยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติ สามารถนำไปทำน้ำมันชีวภาพที่เรียกว่า “ไบโอดีเซล” ซึ่งรัฐบาลโดยกระทรวงพลังงานมีเป้าหมายให้ใช้ไบโอดีเซล 3% ของการใช้น้ำมันดีเซลทั้งหมดในปี 2554 หรือการใช้วันละ 2.4 ล้านลิตร นอกจากนี้กระทรวงพลังงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจึงได้ดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตการใช้ไบโอดีเซลในระดับชุมชน เพื่อให้ชุมชนสามารถผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบในท้องถิ่นได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว พืชน้ำมัน เช่น ปาล์ม มะพร้าว สบู่ดำ ถั่วเหลือง และอื่นๆ ที่มีอยู่ในชุมชน เพื่อนำมาใช้สำหรับกิจการภายในชุมชนเอง หรือหากมีเหลือสามารถขายเพื่อนำรายได้เข้าสู่ชุมชนต่อไป

การผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศไทย สามารถแบ่งตามกระบวนการหีบแยกน้ำมันออกได้ 2 ประเภท คือ หีบแบบแยกเมล็ดในปาล์มหรือการหีบแบบเปียก และหีบแบบรวมเมล็ดในปาล์มหรือการหีบแบบแห้ง โดยการหีบแบบแยกเมล็ดในปาล์มนั้นส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดใหญ่มีกำลังการผลิตสูง และจะใช้ผลปาล์มทั้งทะลายในการผลิตน้ำมันปาล์ม ได้ผลผลิตเป็นน้ำมันจากเปลือกและน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม ส่วนการสกัดแบบรวมเมล็ดในปาล์มนั้นจะใช้กับผลปาล์มร่วงหรือผลปาล์มสับ จะมีกระบวนการให้ความร้อนผลปาล์มก่อนเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาลิโปไลซิส (ทำลายเอนไซน์ไลเปส) และไล่น้ำออกจากผลปาล์ม ทำให้ผลปาล์มสุกและมีผิวนิ่มก่อนที่นำผลปาล์มที่ได้ไปหีบในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจะได้น้ำมันปาล์มดิบในการให้ความร้อนนี้อาจใช้วิธีย่างหรือ

ทอด การสกัดแบบนี้เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้น้ำในการสกัดน้ำมัน ไม่มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต อาจเรียกว่าการสกัดแบบแห้ง ดังนั้นการให้ความร้อนผลปาล์มถือเป็นกระบวนการต้นทางที่ควบคุมคุณภาพน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 6.1 รูปแบบการย่างผลปาล์มในโรงงานแบบหีบรวม

สำหรับกระบวนการให้ความร้อนผลปาล์มก่อนหีบ ปัจจุบันจะบรรจุผลปาล์มในกระบะซีเมนต์ที่ปูพื้นด้วยตะแกรงเหล็ก ด้านล่าง มีช่องให้ลมร้อนไหลขึ้นผ่านตะแกรงเหล็กได้ ลมร้อนที่ใช้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ไม้ยางพารา หรือน้ำมันเตา (รูปที่ 6.1) ซึ่งการอบแห้งเช่นนี้ทำให้ช่วงแรกของการอบแห้งไอน้ำจะกลั่นตัวที่ชั้นบนของกองปาล์มซึ่งอุณหภูมิยังต่ำอยู่ ทำให้ไม่อาจยับยั้งปฏิกิริยาเอนไซน์ได้ นอกจากนั้นยังพบว่าผลปาล์มทั้งกองแห้งไม่สม่ำเสมอ โดยผลปาล์มชั้นล่างอาจจะแห้งเกินไป ผลปาล์มที่แห้งเกินไปจะแข็งและทำให้สกรูหีบสึกหรอได้ง่าย ผลปาล์มชั้นบนที่แห้งไม่สนิทจะมีน้ำปนทำให้ได้น้ำมันปาล์มด้อยคุณภาพ กรรมวิธีการแบบนี้ไม่มีแรงดูดของอากาศจากด้านบนกองปาล์มทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากในระยะแรกที่กองปาล์มยังเย็นอยู่ อีกทั้งต้องใช้พัดลมเป่าอัดลมร้อนเข้าใต้กระบะอบแห้ง การให้อากาศโดยการอัดนี้ทำให้อากาศร้อนมีโอกาสรั่วไหลออกจากระบบได้ง่ายซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานและเพิ่มต้นทุน นอกจากนั้น การอบชั้นหนาเกินไปทำให้ผลปาล์มแห้งไม่สม่ำเสมอและมีผลต่อคุณภาพดังกล่าวข้างต้น ในช่วงท้ายของการอบเมื่อผลปาล์มใกล้แห้งจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปมากโดยลมที่ปล่อยทิ้งจากระบบอาจมีอุณหภูมิถึง 70°C ระบบแบบนี้มีเตาเผาเชื้อเพลิงซึ่งมักจะอยู่ระดับใต้พื้นทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เพราะจำกัดอากาศเข้าสันดาป (ไม่มีอากาศปฐมภูมิ) ส่งผลให้เกิดเขม่ามากซึ่งจะเกาะกับผลปาล์มชั้นล่าง

ปัญหาดังกล่าวทำให้ไม่อาจยับยั้งปฏิกิริยาเอนไซน์ที่จะสร้างกรดไขมันอิสระซึ่งมีผลต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และการใช้พลังงานโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาออกแบบเครื่องอบแห้งแบบสกรูสำหรับอบให้ความร้อนผลปาล์ม โดยใช้คลื่นไมโครเวฟและลมร้อน เพื่อแก้ปัญหาการอบผลปาล์มดังกล่าวข้างต้น

6.2 แนวคิดและการทำงานเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู

แนวคิดในการออกแบบระบบเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู เป็นการอบแบบต่อเนื่อง โดยใช้อบผลปาล์มร่วงในระดับชุมชนหรือครัวเรือน ช่วยให้ผลปาล์มที่ผ่านการอบมีผิวที่นิ่ม และช่วยกระจายอุณหภูมิภายในผลปาล์มอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากสกรูอบปาล์มแบบผสมผสานกับไมโครเวฟ เป็นเครื่องอบที่ผสมผสานระหว่างลมร้อน และ คลื่นไมโครเวฟ ทำให้ผลปาล์มมีอัตราการสุกที่รวดเร็วขึ้นแนวคิดหลักการทำงานคือ กระบวนการอบปาล์มนั้น เราจะผสมผสานระหว่างลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ โดยสองอย่างนี้จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยลมร้อนจะทำให้ผลปาล์มสุกจากด้านนอกเข้าสู่ด้านใน และ คลื่นไมโครเวฟจะมีคุณสมบัติแทรกซึมวัสดุ โดย

จะแทรกซึมเข้าไปในผลปาล์ม กระตุ้นอะตอมจากด้านในผลปาล์มให้มีการสั่นอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นความร้อนจากด้านในผลปาล์ม

6.3 แผนภูมิอุปกรณ์ชุดทดลอง

ส่วนประกอบของระบบเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู โดยพิจารณาออกเป็นส่วนหลักๆที่สำคัญออกเป็น 3 ส่วน คือ โครงสร้างของตัวเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู ระบบส่งอากาศร้อนและคลื่นไมโครเวฟ และระบบส่งกำลังโดยภายในห้องอบมีสกรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.255 เมตร ยาว 310 เมตร เพื่อลำเลียงผลปาล์มร่วงไปพร้อมกับการอบซึ่งระบบจะมีการหมุนเหวี่ยงด้วยลมร้อนโดยอุณหภูมิในห้องอบไม่เกิน 120°C ซึ่งแต่ละส่วนประกอบด้วย

โครงสร้างของตัวเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู มีส่วนประกอบดังนี้

1) สกรูลำเลียง
2) รางของสกรู
3) กระบะช่องทางเข้าผลปาล์ม
4) ช่องทางออกผลปาล์ม
5) ช่องอากาศลมร้อนเข้า-ออก
6) โครงเหล็กรับตัวเครื่องอบผลปาล์ม

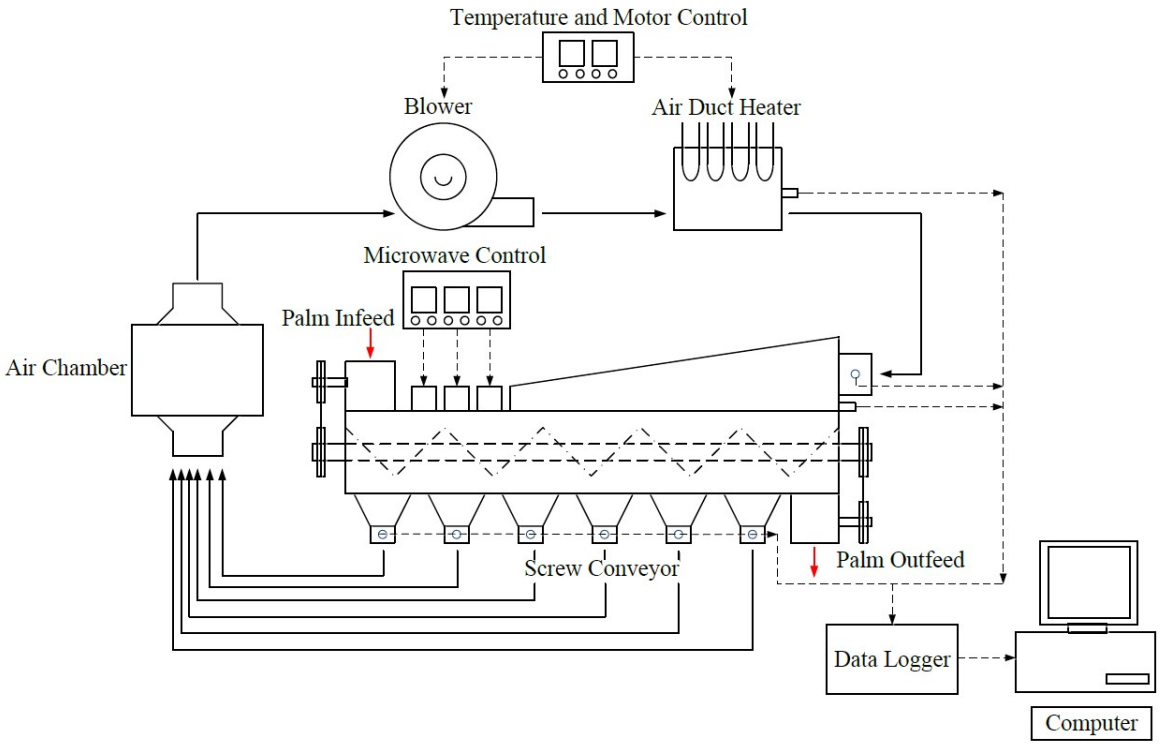
ระบบส่งความร้อน และ ไมโครเวฟ มีส่วนประกอบดังนี้

1) โบลเวอร์ ใช้เป่าลมร้อนเพื่อส่งไปยังห้องอบ
2) ฮีทเตอร์ ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า
3) ชุดไมโครเวฟ และ ชุดควบคุม

ระบบส่งกำลัง มีส่วนประกอบดังนี้

1) ต้นกำลัง
2) ระบบส่งกำลัง
3) ชุดควบคุม

การทำงานของเครื่อง อบผลปาล์มแบบสกรู เริ่มจากใส่ผลปาล์มลงในกระบะช่องทางเข้า แล้วใช้สกรูลำเลียงผลปาล์มไปสัมผัสกับลมร้อน ที่มีโบลเวอร์เป่าผ่านฮีทเตอร์ ลักษณะการเป่าลมร้อนเป็นแบบเป่าด้านบนลงผ่านผลปาล์มแล้วออกทางด้านล่างของตัวเครื่อง โดยมีการหมุนเวียนลมร้อนกลับเข้าในห้องอบดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แผนภาพชุดทดลองที่ใช้ในการศึกษา

6.4 การศึกษารูปแบบการติดตั้งครีบบนสกรูที่มีต่อการคลุกเคล้าของผลปาล์ม

เนื่องจากการคลุกเคล้าของผลปาล์มมีผลต่อการสัมผัสลมร้อนของผลปาล์มในสกรูระหว่างการลำเลียงและอบแห้งด้วยลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาผลของการติดครีบบนใบสกรู ที่มีต่อการคลุกผสมของผลปาล์มในสกรู ครีบที่ใช้ทำจากแผ่นเหล็กหนา 3 mm ขนาดยาว 150 mm สูง 15 mm ติดตั้งฉากกับผิวของสกรู

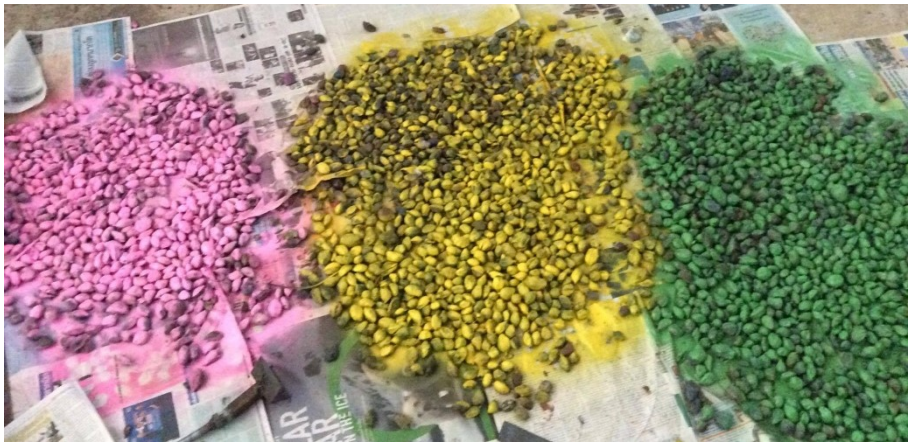
สำหรับวิธีการศึกษาการคลุกผสม มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมตัวอย่างผลปาล์ม

    1.1 ใช้ผลปาล์มร่วงที่มีขนาดต่างกันโดยการคัดแยกออกจากทะลายปาล์ม ดังแสดงในรูปที่ 6.3

รูปที่ 6.3 การคัดแยกผลปาล์มออกจากทะลาย

1.2 นำผลปาล์ม มาแบ่งและแยกพ่นสีเพื่อให้เกิดความแตกต่าง ดังแสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 การพ่นสีลูกปาล์ม

1. เตรียมความพร้อมเครื่องอบ
   1.1 เปิดสวิทช์ตู้ควบคุมไฟฟ้าที่ควบคุมระบบส่งกำลัง
   1.2 ตรวจเช็คการทำงาน ตรวจสอบดูการทำงานของระบบส่งกำลัง โดยกำหนดให้ความเร็วรอบเพลาสกรู 0.5 rpm ทำให้ได้อัตราการอบผลปาล์มที่อบอยู่ที่ 30 kg/hr
2. นำผลปาล์มที่เตรียมไว้มาทดสอบการคลุกเคล้า โดยบรรจุลงในรางของสกรูลำเลียงจนเต็มสกรู

3.1. บรรจุผลปาล์มที่มีลักษณะที่แตกต่างกันเป็นชั้น โดยแต่ละชั้นแยกสีกัน

3.2. ทำการบรรจุผลปาล์มโดยใช้ผลปาล์มใหม่สีส้มอยู่ในชั้นที่ 1 นับจากด้านล่างดังแสดงในรูปที่ 6.5 และบรรจุชั้นที่ 2 ด้วยสีเหลืองดังแสดงในรูปที่ 6.6 และบรรจุชั้นที่ 3 ด้วยสีเขียวดังแสดงในรูปที่ 6.7 และบรรจุชั้นสุดท้ายด้วยสีชมพูจนเต็มรางสกรูดังแสดงในรูปที่ 6.8

รูปที่ 6.5 การบรรจุผลปาล์มสีส้มในชั้นที่ 1 นับจากล่าง

รูปที่ 6.6 การบรรจุผลปาล์มสีเหลืองในชั้นถัดมา

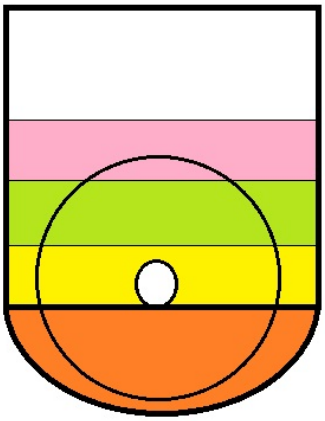
รูปที่ 6.7 การบรรจุผลปาล์มสีเขียวในชั้นถัดมา

รูปที่ 6.8 การบรรจุผลปาล์มสีชมพูในชั้นบนสุด

3. ถ่ายรูปและสังเกตการคลุกเคล้าของผลปาล์มระหว่างการทดลอง โดยจะถ่ายรูป ทุก 10 วินาที

จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการคลุกเคล้าของผลปาล์มในเครื่องอบสกรูนั้น อยู่ที่การออกแบบใบสกรู โดยได้ทำการทดลองกับใบสกรู 4 รูปแบบ คือ 1.ใบสกรูแบบไม่ติดครีบกวน และ 2.ใบสกรูแบบมีการติดครีบกวนเว้นช่วงหนึ่งพิตช์สกรู 3.ใบสกรูแบบมีการติดครีบกวนเว้นช่วงสองพิตช์สกรู 4.ใบสกรูแบบมีการติดครีบกวนเว้นสามพิตช์สกรู โดยพบว่าใบสกรูแบบที่มีการติดครีบกวนมีผลการคลุกเคล้าที่ดีกว่าในช่วง 270 วินาทีแรก ใบสกรูแบบมีครีบกวนสามารถคลุกเคล้าผลปาล์มให้มีการผสมกันอย่างลงตัว ในขณะที่ ใบสกรูแบบไม่มีการติดครีบกวนใช้เวลามากถึง 480 วินาที ตามลำดับ ในการทดสอบใบสกรูแบบติดครีบกวนเว้นหนึ่งระยะพิตช์สกรูจะมีการกวาดผลปาล์มที่ถี่เกินไป การทดสอบใบสกรูแบบติดครีบกวนเว้นหนึ่งระยะพิตช์สกรูจะ

มีการกวาดผลปาล์มที่ห่างเกิดเกินไป การทดสอบใบสกรูแบบติดครีบกวนเว้นสองระยะพิตช์สกรูจะมีการกวาดผลปาล์มได้ดีที่สุด หลังจากนั้นมีการผสมกันอย่างลงตัวทั้งสองแบบ จนคงที่ในตอนท้าย โดยตลอดกระบวนการนั้นใช้เวลาทั้งสิ้น 52 นาที (นับตั้งแต่เริ่มบรรจุจนสกรูออกจากรางจนหมด) โดยการทดลองนั้นได้ทำการแบ่งชั้นและแบ่งสีลูกปาล์มออกเป็น 4 ชั้นและ 4 สีได้ดังนี้ โดยให้สีแดงอยู่ชั้นล่างสุด สีเหลื่องอยู่ในชั้นที่ 2 สีเขียวอยู่ในชั้นที่ 3 และสีชมพูอยู่ในชั้นบนสุด ดังแสดงในรูปที่ 6.9 ในการศึกษาได้ใช้กล้องดิจิตอลถ่ายภาพสังเกตการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งเดิม ในทุก 10 วินาที และใช้เวลาในการสังเกตแต่ละรูปแบบเป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 6.9 การเลียงลำดับชั้นสีในการทดสอบ

ผลการเปรียบเทียบที่ได้จากการสังเกตการณ์คลุกเคล้าแบบกรณีใบสกรูไม่มีครีบกวน กรณีใบสกรูมีครีบกวนทุกระยะ 1 พิตช์ กรณีใบสกรูมีครีบกวนทุกระยะ 2 พิตช์ กรณีใบสกรูมีครีบกวนทุกระยะ 3 พิตช์ แสดงในรูปที่ 6.10 ถึงรูปที่ 6.13

T=60sec	T=120sec	T=180sec	T=240sec	T=300sec

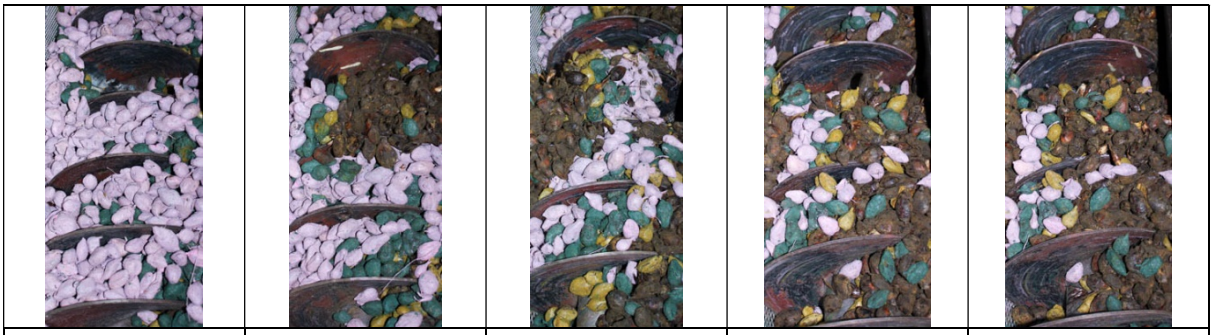
รูปที่ 6.10 ลักษณะการคลุกผลปาล์มแบบใบสกรูไม่มีครีบกวน

T=60sec	T=120sec	T=180sec	T=240sec	T=300sec

รูปที่ 6.11 ลักษณะการคลุกผลปาล์มแบบใบสกรูมีครีบกวนทุกๆระยะ 1 พิตช์

T=60sec	T=120sec	T=180sec	T=240sec	T=300sec

รูปที่ 6.12 ลักษณะการคลุกผลปาล์มแบบใบสกรูมีครีบกวนทุกๆระยะ 2 พิตช์



T=60sec	T=120sec	T=180sec	T=240sec	T=300sec

รูปที่ 6.13 ลักษณะการคลุกผลปาล์มแบบใบสกรูมีครีบกวนทุกๆระยะ 3 พิตช์

จากการศึกษาผลของใบสกรูที่มีการติดครีบกวนเว้นระยะหนึ่งพิตช์สกรู เว้นระยะสอง พิตช์สกรู เว้นระยะสาม พิตช์สกรู และไม่มีการติดครีบกวน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบดูผลของการคลุกเคล้า และประสิทธิภาพในการคลุกเคล้าเพื่อช่วยการอบผลปาล์มนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด พบความแตกต่างของการทดลองตามลักษณะรูปทรงของใบสกรูทั้ง 4 แบบได้ดังนี้ ใบสกรูที่มีการติดครีบกวนสามารถทำการคลุกเคล้าผลปาล์มให้เกิดการผสมกันได้รวดเร็วกว่า และได้ผลที่ดีกว่า ใบสกรูที่ไม่มีการติดครีบกวน สำหรับการติดครีบกวนที่เว้นสองระยะพิตช์สกรูจะมีการคลุกเคล้าที่ดีกว่าเว้นหนึ่งระยะพิตช์สกรูและเว้นสามระยะพิตช์สกรู เนื่องจากการติดครีบเว้นหนึ่งระยะพิตช์สกรูจะมีกวาดที่ถี่เกินไป ส่วนการติดครีบกวนเว้นสามระยะพิตช์สกรูจะมีการ

กวนที่ช้าเกินไป และด้วยอัตราเร็วในการหมุนของใบสกรูที่ 0.5 rpm สามารถได้ผลปาล์มที่ผ่านกระบวนการแล้วทั้งสิ้น 30 kg/hr

6.5 การทดสอบอบผลปาล์มด้วยเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ในส่วนนี้เป็นการทดสอบใช้เครื่องอบแบบสกรูที่พัฒนาขึ้นอบผลปาล์ม ในการทดลองจะใช้ผลปาล์มร่วงที่ได้จากโรงงานหีบปาล์มขนาดเล็ก ทดสอบอบในกรณีที่ใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวและกรณีที่ใช้ลมร้อนผสมผสานกับคลื่นไมโครเวฟ สำหรับขั้นตอนในการศึกษามีดังนี้

1) เตรียมตัวอย่างผลปาล์ม ผลปาล์มที่ใช้เป็นผลปาล์มร่วงที่คัดแยกใยทะลายปาล์มออกแล้ว

1.1) สุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มร่วงในกองปริมาณ 500 กรัม และนำไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้า (Memmert model 400) ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 120°C ใช้เวลาอบประมาณ 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักผลปาล์มที่อบลดลงต่ำกว่า 0.01 กรัมต่อชั่วโมง ชั่งโดยตาชั่งดิจิตอล (LIBROR รุ่น EB-3200H Capacity 3,120 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม) เพื่อหาความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มก่อนอบ

1.2) ชั่งน้ำหนักผลปาล์มที่ใช้ทดลองกับเครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู

1.3) สุ่มวัดอุณหภูมิและแรงกดที่ผิวผลปาล์มเริ่มยุบตัวในกองปาล์มที่ชั่งเตรียมไว้ และบันทึกผลก่อนทำการอบด้วยเครื่องอบ

2) เตรียมความพร้อมของเครื่องอบ

2.1) ติดตั้งสายเทอร์โมคับเปิ้ล เข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิและเชื่อมต่อเข้ากับ คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงและบันทึกผลการวัดอุณหภูมิ

2.2) เปิดสวิทช์ตู้ควบคุมไฟฟ้า พร้อมกับเปิดสวิทช์โบลเวอร์ แล้วทำการปรับช่องทางการไหลของอากาศให้ได้เปอร์เซ็นต์ระบายอากาศทิ้งตามที่ต้องการ

2.3) อุ่นเครื่องอบโดย เปิดสวิทช์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature indicating controller) แล้วตั้งค่าอุณหภูมิตามการทดลอง แล้ว เปิด-ปิดสวิทช์ฮีทเตอร์ปรับอุณหภูมิตามต้องการจนกว่าอุณหภูมิเครื่องอบคงที่

2.4) เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ เปิดสวิทช์มอเตอร์ชุดอุปกรณ์ลำเลียงผลปาล์มที่ความเร็วรอบเพลาสกรู 0.5 rpm/min ในกรณีที่ใช้คลื่นไมโครเวฟจะปรับกำลังคลื่นไมโครเวฟตอนที่เริ่มป้อนผลปาล์ม

3) นำตัวอย่างผลปาล์มที่เตรียมไว้มาเริ่มอบ โดยบรรจุลงถังพักเมล็ดส่วนบนบริเวณเครื่องอบจนหมด

4) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มที่ผ่านการอบจากด้านล่างเป็น 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม ใส่ภาชนะที่เก็บความร้อนได้เพื่อนำตัวอย่างไปบีบดูปริมาณน้ำมัน

5) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มที่ผ่านการอบตัวอย่างละ 500 กรัม เพื่อมาตรวจสอบหาปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังอบ ดังขั้นตอนที่ 1.1

รูปที่ 6.14 แสดงภาพถ่ายผลปาล์มร่วงที่ใช้ในการอบ และรูปที่ 6.15 แสดงภาพถ่ายผลปาล์มหลังการอบด้วยเครื่องอบสกรู รูปที่ 6.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลปาล์มหลังการอบที่เวลาต่างๆ เปรียบเทียบกรณีอบด้วยลมร้อนและกรณีอบด้วยลมร้อนผสมผสานกับอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ ในการอบจะป้อนผลปาล์มเข้าสู่รางสกรูจนมีปาล์มเริ่มออกจากรางสกรู ซึ่งผลปาล์มที่ถูกป้อนจะใช้เวลาประมาณ 180

นาทีอยู่ในรางสกรูเพื่ออบแห้ง หลังจากนั้นผลปาล์มที่ออกจากรางสกรูจะถูกนำมาหมุนเวียนใส่ในรางสกรูอีกครั้ง โดยผลปาล์มจะถูกหมุนเวียนใส่สกรูจนผลปาล์มที่ออกมาแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 6.16 ผลปาล์มก่อนอบมีความชื้นมาตรฐานแห้งประมาณ 30% และเมื่อผ่านการอบในเครื่องอบแบบสกรูหลายรอบ ความชื้นของผลปาล์มจะลดลงตามลำดับ จนถึงการอบรอบสุดท้ายผลปาล์มมีความชื้นประมาณ 1%

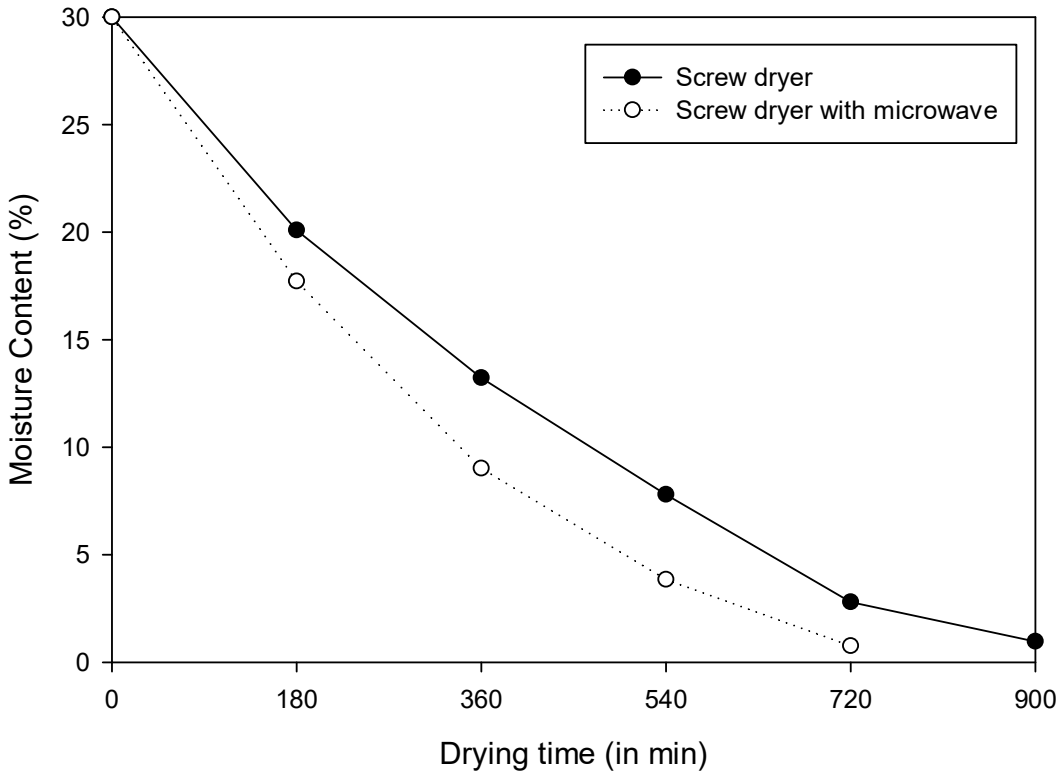
รูปที่ 6.14 ภาพถ่ายผลปาล์มร่วงที่ใช้ในการอบ

รูปที่ 6.15 ภาพถ่ายผลปาล์มร่วงที่ใช้ในการอบ

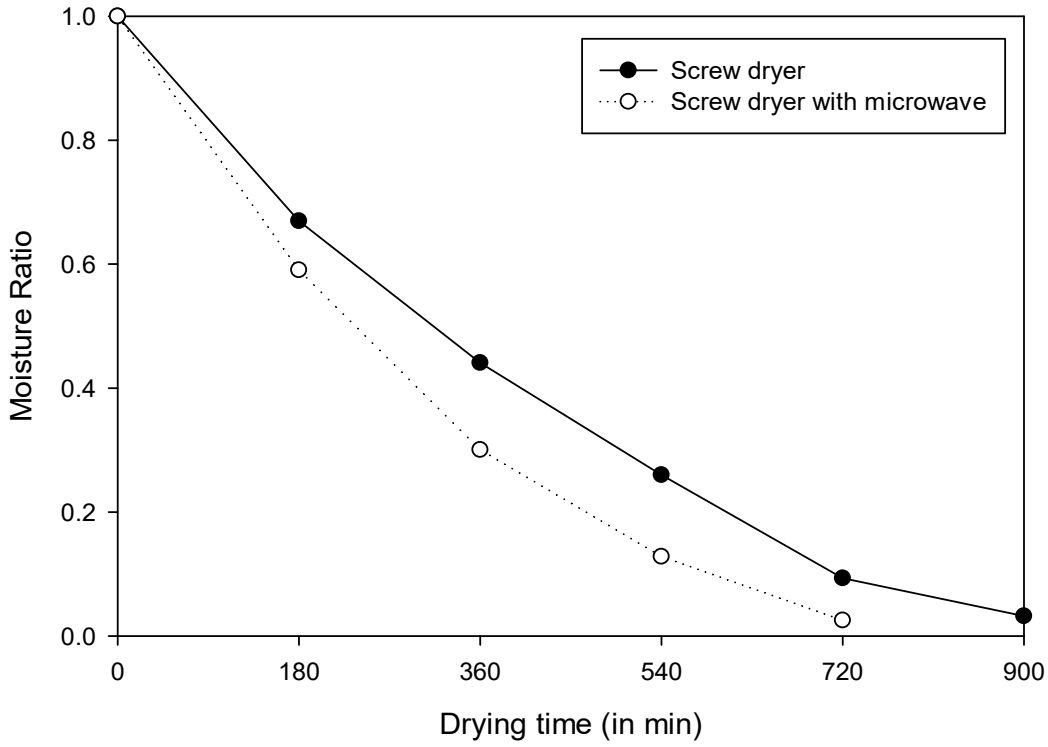
ในรูปที่ 6.16 พบว่าการอบผลปาล์มด้วยลมร้อนผสมผสานกับคลื่นไมโครเวฟสามารถช่วยลดความชื้นในผลปาล์มได้เร็วขึ้นเมื่อเทียบกับการอบด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยสามารถช่วยลดเวลาในการอบผลปาล์มได้**ประมาณ** 180 **นาที**

รูปที่ 6.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของผลปาล์มหลังการอบที่เวลาต่างๆ เปรียบเทียบกรณีอบด้วยลมร้อนและกรณีอบด้วยลมร้อนผสมผสานกับอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยอัตราส่วนความชื้นคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นหารด้วยเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้น จากรูปพบว่า การใช้ลมร้อนผสมผสานกับคลื่นไมโครเวฟสามารถลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้เกือบ 20% เมื่อเทียบกับการอบด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว

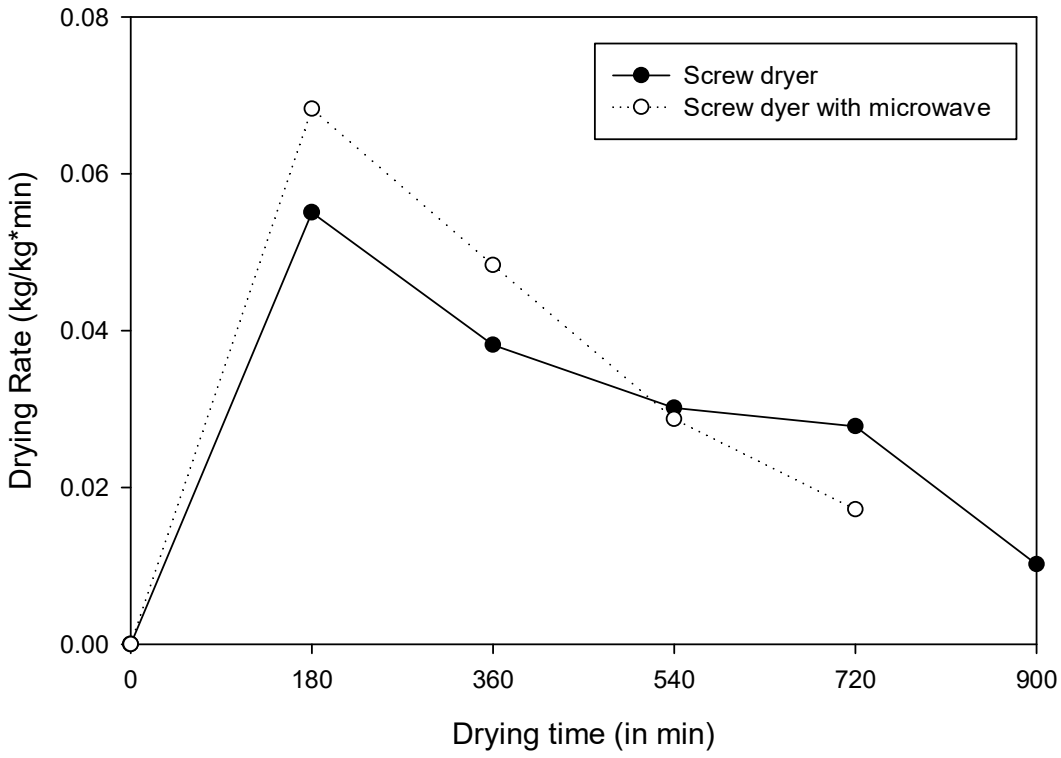
รูปที่ 6.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของผลปาล์มหลังการอบที่เวลาต่างๆ เปรียบเทียบกรณีอบด้วยลมร้อนและกรณีอบด้วยลมร้อนผสมผสานกับอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยที่อัตราการแห้งคำนวณจากผลต่างของความชื้นของผลปาล์มในช่วงเวลาที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความชื้นหารด้วยช่วงเวลา พบว่าการอบผลปาล์มในช่วง 3 รอบแรก จนถึงนาทีที่ 540 อัตราการแห้งในกรณีที่อบด้วยระบบผสมผสานจะสูงกว่ากรณีที่อบด้วยระบบลมร้อนเพียงอย่างเดียว แต่หลังจากนั้นอัตราการแห้งในกรณีที่อบด้วยระบบลมร้อนจะสูงกว่ากรณีที่อบด้วยระบบผสมผสาน ซึ่งอาจเป็นเพราะในช่วงหลังในกรณีที่ใช้ระบบผสมผสานในการอบความชื้นในผลปาล์มจะลดลงเหลือเพียง 5% ที่เวลา 540 นาที ซึ่งมีผลทำให้อัตราการลดลงของความชื้นต่ำลง



รูปที่ 6.16 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลปาล์มหลังการอบที่เวลาต่างๆ เปรียบเทียบกรณีอบด้วยลมร้อนและกรณีอบด้วยลมร้อนผสมผสานกับอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 6.17 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลปาล์มหลังการอบที่เวลาต่างๆ เปรียบเทียบกรณีอบด้วยลมร้อนและกรณีอบด้วยลมร้อนผสมผสานกับอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 6.18 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของผลปาล์มหลังการอบที่เวลาต่างๆ เปรียบเทียบกรณีอบด้วยลมร้อนและกรณีอบด้วยลมร้อนผสมผสานกับอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ

6.6 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของรูปร่างของใบสกรูที่มีการติดครีบกวนและไม่ได้ติดครีบกวน เพื่อใช้ในการศึกษาหาผลของการคลุกเคล้าของผลปาล์มของใบสกรูทั้ง 4 แบบต่อต่อประสิทธิภาพในการคลุกเคล้าผลปาล์ม โดยทำการทดลองบรรจุผลปาล์มจำนวนทั้งสิ้นจำนวน 80 กิโลกรัม โดยในการทดลองดังกล่าวได้ทำการแบ่งสีเป็น 4 สีโดยแต่ละสีมีน้ำหนักสีละ 20 กิโลกรัม บรรจุในรางของสกรูลำเลียง พบว่าใบสกรูที่มีการติดครีบกวนสามารถทำการคลุกเคล้าผลปาล์มได้ดี โดยใบสกรูที่มีการเว้นระยะพิตช์เท่ากับ 2 จะมีผลการกวนผลปาล์มได้ดีกว่าระยะพิตช์ 1 และระยะพิตช์ 3 และสามารถคลุกผลปาล์มให้กระจายได้โดยใช้เวลาน้อยกว่าใบสกรูแบบที่ไม่มีการติดครีบกวน เพราะโดยทั่วไปแล้วครีบกวนจะเข้าไปช่วยในการกวาดผลปาล์มและทำการพลิกผลปาล์มด้วยในเวลาเดียวกัน แต่ถ้าไม่มีครีบกวนการพลิกของผลปาล์มเกิดขึ้นได้จากการดันของลูกปาล์มอื่นๆเท่านั้น

จากผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มครีบกวนให้ใบสกรูที่ระยะพิตช์เท่ากับ 2 นั้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการคลุกเคล้าของผลปาล์มได้ดีที่สุด การวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน คือ

1. เพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างผลปาล์ม ทำให้ลมร้อนที่จะเป่าเข้าไปมีประสิทธิภาพ ปะทะกับผิวผลปาล์มอย่างทั่วถึง

2. ลดอัตราการไถลของผลปาล์ม ซึ่งเป็นการลดประสิทธิภาพในการคลุกเคล้า

3. ผลปาล์มมีการหมุนตัวอย่างทั่วทั้งผล

4. ลดปัญหาผลปาล์มติดขัดระหว่างใบสกรูและรางสกรูได้

5. ผลปาล์มที่ได้ออกมาไม่ติดกันเป็นก้อน เนื่องจากแต่ละผลมีการเคลื่อนที่อย่างอิสระผ่านครีบกวน

ในการทดสอบอบผลปาล์มที่เงื่อนไขลมร้อน 95°C และกำลังวัตต์ของคลื่นไมโครเวฟ 900 W พบว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟผสมผสานกับลมร้อน สามารถช่วยลดเวลาในการอบผลปาล์มประมาณ 180 นาที เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยระบบลมร้อนเพียงอย่างเดียว

บรรณานุกรม

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556. สถานการณ์พลังงานในปี 2554 และแนวโน้มปี2555 (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.eppo.go.th. [2 กุมภาพันธ์ 2556]

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2009. แผนปฏิบัติการการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซล (ออนไลน์) สืบค้นจาก: http://www.dede.go.th [25 สิงหาคม 2552]

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และ สุธีระ ประเสริฐสรรพ์. 2537. การศึกษาและวิเคราะห์สถานภาพและศักยภาพของการใช้ประโยชน์จากของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ, สำนักงานวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

บัญญัติ นิยมวาส. 2544. การพัฒนาระบบอบแห้งผลปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 133 หน้า.

ชนินทร์ พรนถดล. 2550. การวิเคราะห์และออกแบบตู้นึ่งปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 252 หน้า.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2549. คัมภีร์ปาล์มน้ำมัน พืชเศรษฐกิจเพื่อบริโภคและอุปโภค. ครั้งที่ 1. มติชน, กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. สถานการณ์สินค้าเกษตร ที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2555: ปาล์มน้ำมัน (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.oae.go.th/statistic/yearbook49.html [4 กุมภาพันธ์ 2556]

ผาสุก กุลละวณิชย์. 2531. โครงการแปรรูปผลิตภัณฑ์และพัฒนาด้านการตลาด ของโรงงานหีบน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก ตามพระราชดำริ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 175 หน้า

กิตติศักดิ์ ทวีสินโสภา. 2549. การผลิตเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มหีบรวม โดยใช้กระบวนการผลิตแบบ Esterification และ Transesterification. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 89 หน้า.

สัญห์ชัย กลิ่นพิกุล. 2529. โครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมปาล์มขนาดเล็กตามพระราชดำริ, ชมรมเพื่อพัฒนามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กฤช สมนึก. 2550. การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องของกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 148 หน้า

วิชัย ปานสมุทร, วิทยา พงศ์พฤทธิ์ และชวน อินต๊ะรังษี. 2003. พลังงานชีวมวลทางด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมจากพืชปาล์มน้ำมัน. ส่วนพัฒนาพลังงานที่ 2 สำนักงานพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กันยายน 2546. หน้า 7-117.

สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2540. โครงการวิจัยและพัฒนาระบบอบแห้งผลปาล์มโดยใช้ช่อทะลายปาล์มน้ำมันและวัสดุเหลือใช้จากการสกัดน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง. สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไกรวุฒิ ศิริอนันตภัทร์. 2534. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบที่ได้บีบผลปาล์มทั้งผล. วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมเกษตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระยุทธ หลีวิจิตร. 2543. การจำลองแบบเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบไหลสวนทาง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรชัย จงจิตรไพศาล. 2543. เทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ: สกรูขนถ่ายวัสดุ ภาควิชาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ยรรยง ศรีสม และพันคำ ศรีอุทัย. 2547. สกรูลำเลียงสำหรับรถบรรทุกเมล็ดธัญพืช, ภาควิชาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, เทคนิค เครื่องกล-ไฟฟ้า-อุตสาหการ ปีที่ 21 ฉบับที่ 239.

ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ และจำลอง ปราบแก้ว. 2548. เครื่องบีบน้ำมันปาล์มขนาดเล็กสำหรับกลุ่มเกษตร. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19. 19-21 ตุลาคม สงขลา.

อนุชา หิรัญวัฒน์ และอัศวิน ยอดรักษ์. 2549. การวิเคราะห์หาอัตราการขนถ่ายในแนวราบของอุปกรณ์ป้อนจ่ายวัสดุแบบใบสกรู. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 กุมภาพันธ์ – กรกฎาคม.

มารีนา มะหนิ, ชนะ จันทร์ฉ่ำ, ภรพนา บัวเพชร์ และปิติ พานิชายุนนท์. 2552. แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งสับปะรดแช่อิ่มด้วยเครื่องอบแห้งชั้นบาง. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก.

ธีรเดช ใหญ่บก, มารีนา มะหนิ, จอมภพ แววศักดิ์, นพนันท์ นานคงแนบ และ ภรพนา บัวเพชร์. 2550. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบถาดโดยใช้พลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าแบบหมุนเวียนอากาศ. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3. 23-25 พฤษภาคม โรงแรมใบหยกสกาย กรุงเทพฯ.

Arnott. G.W., The Usiayan oil palm and analysis of its product. Uin Agriculture and Cooperation. Fed of Malaya Bull: 1963.113

Al-Kassir, A. 2005. Theoretical and experimental study of a direct contact thermal screw dryer for biomass residues. Applied Thermal Engineering 25, 2816-2826.

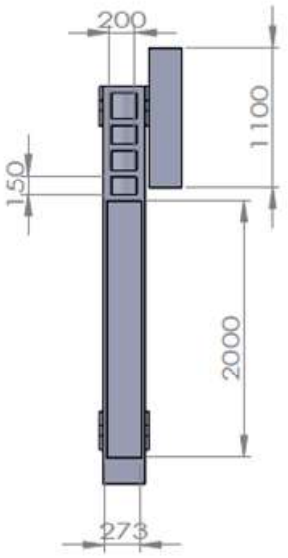
Azis Ariffin, A. and Tan, Y.I. 1989. The effect of handing of FFB on the formation of FFA and the subsequent quality of crude palm oil. In Proceeding. PORIM International Palm Oil Development Conference. 5-9 Sept. Malaysia 1989.9

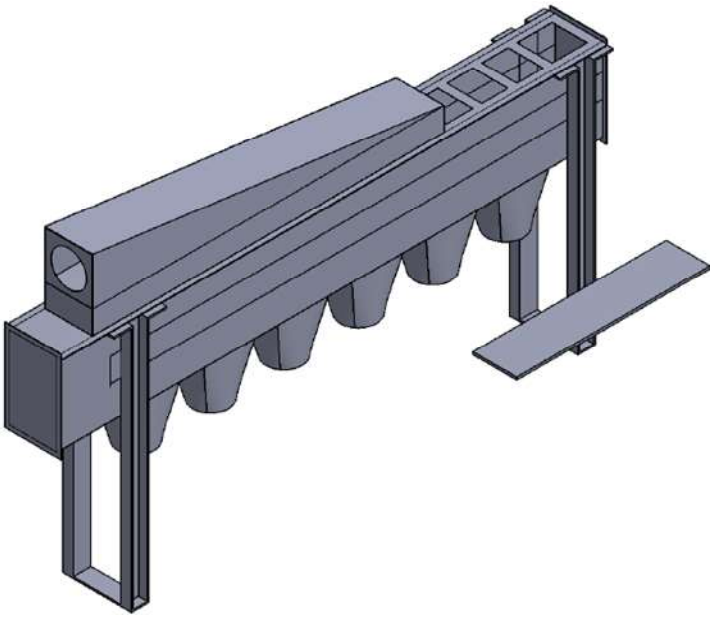
Chong, C.L. and A. Gapor. 1983. Effect of Moisture and Trace Metals on oil Quality, pp.46-66. In Proceedings of Workshop on Quality in the Palm oil Industry, Palm oil Research institute of Malaysia, Kuala lumpur, Malaysia.

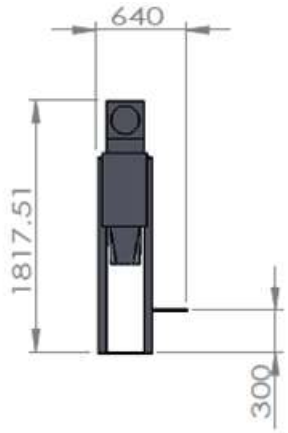
Conncmann, J. and Fischer, J. 1988. Biodiesel in Europe 1998. July 19-22. 1998

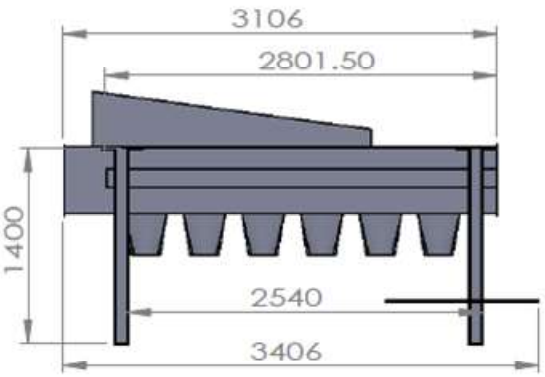
Kleinbaum, G.D., Kupper, L.L. and Muller, E.K. 1988. Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods. Vol.2. U.S.A: Duxbury Press.

ภาคผนวก ก. แบบชุดทดลองสกรูอบปาล์ม


200
1100
150
2000
273




640
1817.51
300


3106
2801.50
1400
2540
3406

ภาคผนวก ข. อนุสิทธิบัตร

รายละเอียดของการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

เครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

วิศวกรรมเครื่องกลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบหีบรวมเมล็ดในปาล์มโดยส่วนใหญ่จะใช้ในโรงงานขนาดเล็ก รับซื้อเฉพาะผลปาล์มร่วง ในขั้นตอนการสกัดจะทำการอบหรือให้ความร้อน (Sterilization) จากนั้นจะป้อนลูกปาล์มทั้งผลเข้าเครื่องสกัดแบบเกลียวเดี่ยว ซึ่งจะได้น้ำมันปาล์มดิบจากเนื้อปาล์มและน้ำมันดิบจากเมล็ดในปาล์มปนกัน เรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบชนิดหีบรวม (Mixed Crude Palm Oil, MCPO) สำหรับขั้นตอนการอบหรือให้ความร้อน จะใช้วิธีย่างด้วยกระบะซีเมนต์ ลมร้อนถูกดูดโดยโบลเวอร์ แล้วส่งเข้าด้านล่างของกระบะ ผ่านชั้นตะแกรงและผลปาล์ม ลมร้อนจะพาความชื้นจากผลปาล์มสู่สิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปอุณหภูมิลมร้อนประมาณ 100-120 ℃ และใช้ระยะเวลาในการย่างประมาณ 30-40 ชั่วโมง สำหรับลมร้อนที่ใช้มาจากการเผาเชื้อเพลิง เช่น ไม้ฟืนหรือน้ำมันเตา เป็นต้น

สำหรับข้อเสียของวิธีนี้คือต้องใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนนาน ผลปาล์มสุกไม่ทั่วถึง ผลปาล์มที่อยู่ชั้นล่างจะสุกเร็วกว่าที่อยู่ชั้นบน ส่งผลให้ผลปาล์มชั้นล่างอาจจะแห้งเกินไป ผลปาล์มที่แห้งเกินไปจะแข็งและเมื่อนำเข้าเครื่องสกัดน้ำมันปาล์ม เครื่องสกัดน้ำมันจะเกิดการสึกหรอได้ง่าย ดังนั้นในระหว่างการย่าง จะต้องใช้คนเข้าไปเกลี่ยลูกปาล์มเพื่อสลับลูกปาล์มที่อยู่ชั้นบนและชั้นล่างให้สุกเท่าๆกัน นอกจากนี้จะพบว่าลูกปาล์มหลังจากย่างจะมีลักษณะดำไหม้เนื่องจากสัมผัสกับควันไฟโดยตรง

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ได้มีการคิดค้นเครื่องอบแบบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับให้ความร้อนผลปาล์มเข้ามาแทนที่การอบด้วยกระบะซีเมนต์ดังกล่าว โดยทั่วไปแล้วเครื่องอบแบบสกรูลำเลียงจะถูกนำมาใช้ในการให้ความร้อนวัตถุดิบ เช่น US6128828 A ได้เปิดเผย เครื่องอบแบบสกรูลำเลียง ภายนอกจะเป็นห้องอบซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ด้านบนของห้องอบจะมีช่องรองรับวัตถุดิบและด้านล่างของห้องอบจะติดตั้งถาดรองรับวัตถุดิบ โดยบริเวณด้านข้างของห้องอบจะเชื่อมต่ออยู่กับห้องลมร้อน สำหรับให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ และภายในของห้องอบจะถูกแบ่งออกเป็นชั้นๆ ซึ่งแต่ละชั้นจะติดตั้งสกรูลำเลียง ทำหน้าที่ลำเลียงวัตถุดิบจากด้านบนลงสู่ด้านล่างของห้องอบ ในกรณีนี้ลมร้อนจะเข้าทางด้านล่างของห้องอบและออกทางปล่องระบายลมร้อนทางด้านบนของห้องอบและปล่อยออกสู่บรรยากาศ

US5347729 A ได้เปิดเผย เครื่องอบแบบสกรู ภายนอกจะเป็นห้องอบมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในห้องอบจะถูกแบ่งออกเป็นชั้นๆ ซึ่งแต่ละชั้นจะติดตั้งสกรูลำเลียงและบริเวณด้านข้างของแต่ละชั้นจะมีท่อทางเข้าลมร้อน วัตถุดิบที่ต้องการอบแห้งจะถูกป้อนจากด้านบนของห้องอบและถูกลำเลียงลงมาตามห้องอบด้วยสกรูลำเลียง ในกรณีนี้ลมร้อนจะออกทางด้านบริเวณปลายเปิดของห้องอบและปล่อยออกสู่บรรยากาศ

US6412428 B1 ได้เปิดเผย เครื่องอบแห้งกากตะกอน ภายนอกจะเป็นห้องอบมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง โดยที่ปลายด้านหนึ่งเปิดและปลายหน้าหนึ่งปิด ซึ่งภายในห้องอบจะติดตั้งสกรูลำเลียงและตรงบริเวณด้านบนของห้องอบจะมีช่องทางเข้าของกากตะกอน ถัดไปจากช่องทางเข้าของกากตะกอนจะเป็นช่องสำหรับให้ลมร้อนไหลเข้าเพื่อให้ความร้อนแก่กากตะกอน ในกรณีนี้ลมร้อนจะออกทางด้านบริเวณปลายเปิดของห้องอบและปล่อยออกสู่บรรยากาศ

ชัยวัฒน์ พรหมเพชร (2556) เครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้เปิดเผย เครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู ภายนอกจะเป็นห้องอบมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง ภายในจะติดตั้งสกรูลำเลียงและตรงบริเวณด้านบนของห้องอบจะมีช่องทางเข้าของวัตถุดิบ บริเวณด้านข้างจะมีช่องสำหรับให้ลมร้อนไหลเข้าเพื่อให้ความร้อนแก่ผลปาล์มและลมร้อนที่ใช้ในกระบวนการอบจะถูกนำกลับมาใช้อีกครั้ง

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นของกระบวนการให้ความร้อนแก่ผลปาล์มด้วยลมร้อน คือ ใช้ระยะเวลานานสำหรับในการให้ความร้อนแก่ผลปาล์ม เนื่องจากต้องทำให้ความชื้นที่อยู่ภายในผลปาล์มออกมาสู่ภายนอก สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะแทรกซึมเข้าไปในผลปาล์มเพื่อกระตุ้นอะตอมจากด้านในผลปาล์มให้มีการสั่นอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นความร้อนจากด้าน ทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่ผลปาล์มและผลปาล์มที่อบเกิดการคลุกเคล้าได้ดี นอกจากนี้ลมร้อนที่ใช้ในกระบวนการอบจะถูกนำกลับมาใช้อีกครั้ง

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

ลักษณะการประดิษฐ์ได้เสนอเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับให้ความร้อนผลปาล์ม ประกอบด้วย ห้องอบ (1) สำหรับบรรจุวัตถุดิบที่ต้องการอบแห้งและเก็บกักลมความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอบไม่ให้ออกสู่บรรยากาศได้โดยตรง ซึ่งภายในจะติดตั้งสกรูลำเลียง (2) ทำหน้าที่ลำเลียงวัตถุดิบไปตามห้องอบ วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าทางช่องสำหรับรองรับวัตถุดิบ (3) และผลปาล์มจะออกทางช่องออกวัตถุดิบ (4) ซึ่งอยู่ด้านล่างและตรงข้ามกับช่องสำหรับรองรับวัตถุดิบ (3) และบริเวณด้านบนของห้องอบจะติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ (5) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ผลปาล์ม และบริเวณด้านข้างของห้องอบจะมีท่อทางเข้า (6) สำหรับให้ลมร้อนไหลเข้าและบริเวณด้านล่างของห้องอบจะมีท่อทางออก (7) สำหรับให้ลมร้อนไหลออก ลมร้อนที่ไหลออกจากห้องอบจะเข้าสู่ห้องพักอากาศ (8) และจะเข้าสู่เครื่องกำเนิดความร้อน (9) สำหรับให้ความร้อนแก่ลมที่ไหลเข้า จากนั้นจะนำลมร้อนกลับไปใช้ในกระบวนการอบอีกครั้ง

จุดมุ่งหมายของการประดิษฐ์นี้ คือ เพื่อออกแบบเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยเครื่องอบสกรูลำเลียงนี้จะใช้ลมร้อนควบคู่กับคลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อนแก่ผลปาล์ม ทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่ผลปาล์ม นอกจากนี้ลมร้อนที่ใช้ในกระบวนการอบจะถูกนำกลับมาใช้อีกครั้ง ในระหว่างกระบวนการอบ วัตถุดิบจะถูกลำเลียงไปตามห้องอบ (1) ด้วยสกรูลำเลียง (2) ทำให้วัตถุดิบเกิดการคลุกเคล้ามีส่วนช่วยให้ได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง

การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

การประดิษฐ์นี้ได้เสนอ เครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ประกอบด้วย ห้องอบ (1) ที่มีลักษณะคล้ายกับสี่เหลี่ยมคางหมู สำหรับบรรจุวัตถุดิบที่ต้องการอบแห้ง ซึ่งห้องอบ (1) ทำมาจากเหล็กแผ่น เช่น เหล็กแผ่นดำหรือเหล็กแผ่นสแตนเลส ใช้การเชื่อมติดกันของเหล็กแผ่นเพื่อขึ้นรูปและภายในจะติดตั้งสกรูลำเลียง (2) ห้องอบ (1) จะวางอยู่บนโครง (10) ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของเครื่องอบสกรูลำเลียง บริเวณด้านหน้าของห้องอบจะมีช่องสำหรับใส่ผลปาล์ม (3) เชื่อมต่ออยู่กับตัวแดมเปอร์ (11) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการป้อนเข้าของวัตถุดิบและอีกด้านหนึ่งของห้องอบซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างจะมีช่องทางออกวัตถุดิบ (4) บริเวณด้านบนจะติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ (5) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ผลปาล์มโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ และบริเวณด้านข้างจะมีท่อทางเข้า (6) สำหรับให้ลมร้อนไหลเข้า บริเวณด้านล่างจะมีท่อทางออก (7) จำนวน 6 ท่อ สำหรับให้ลมร้อนไหลออก จากนั้นลมร้อนที่ไหลออกจะเข้าสู่ห้องพักอากาศ (8) ทำหน้าที่เป็นที่พักของอากาศที่ไหลมาจากห้องอบ บริเวณด้านข้างของห้องพักอากาศจะเชื่อมต่อกับเครื่องเป่าลม (12) ทำหน้าที่ดูดลมร้อนที่ไหลมาจากห้องอบและเป่าลมร้อนเพื่อส่งไปยังท่อทางเข้า (6)

บริเวณด้านข้างของเครื่องเป่าลม (12) จะมีท่อลม (13) ซึ่งจะต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดความร้อน (9) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ลมที่ไหลเข้าและปลายอีกด้านหนึ่งของเครื่องกำเนิดความร้อนจะต่ออยู่กับท่อทางเข้า (6) โดยลมร้อนจะถูกนำกลับมาไปใช้ในกระบวนการอบอีกครั้ง ขณะที่วัตถุดิบถูกลำเลียงไปตามห้องอบ มอเตอร์ (14) จะหมุนและส่งกำลังไปขับมู่เล่ย์ (15) โดยใช้สายพาน (16) เป็นตัวเชื่อมระหว่างมอเตอร์ (14) กับมู่เล่ย์ (15) และมู่เล่ย์ (15) จะต่อเข้ากับเกียร์ทด (17) จากนั้นเกียร์ทดจะส่งกำลังไปขับเฟืองที่ติดอยู่กับสกรูลำเลียงตัวที่ 1 (18) เพื่อทำให้สกรูลำเลียงหมุนโดยใช้โซ่ (19) เป็นตัวเชื่อมระหว่างเกียร์ทด (17) กับเฟืองที่ติดอยู่กับสกรูลำเลียงตัวที่ 1 (18) และขณะที่สกรูลำเลียงหมุน เฟืองที่ติดอยู่กับสกรูลำเลียงตัวที่ 2 (20) จะส่งกำลังไปขับตัวแดมเปอร์ (11) โดยใช้โซ่ (21) เป็นตัวเชื่อมระหว่างเฟืองที่ติดอยู่กับสกรูลำเลียงตัวที่ 2 (20) กับตัวแดมเปอร์ (11) เพื่อควบคุมอัตราการป้อนของวัตถุดิบตามความเร็วรอบในการหมุนของสกรูลำเลียง (2)

หลักการทำงานของเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ผลปาล์มจะถูกบรรจุเข้าไปในห้องอบ (1) ผ่านทางช่องสำหรับรองรับวัตถุดิบ (3) เพื่อทำการอบผลปาล์มร่วง โดยจะใช้คลื่นไมโครเวฟและลมร้อนซึ่งรับความร้อนมาจากเครื่องกำเนิดความร้อน (9) จากนั้นเปิดมอเตอร์ (14) เพื่อขับสกรูลำเลียง (2) สำหรับลำเลียงวัตถุดิบไปตามห้องอบ ซึ่งคลื่นไมโครเวฟจะแทรกซึมเข้าไปในผลปาล์มเพื่อกระตุ้นอะตอมจากด้านในผลปาล์มให้มีการสั่นอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นความร้อนจากด้านในและความร้อนจากลมร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผลปาล์ม เมื่อผลปาล์มร้อนความชื้นจะถูกพาออกไปพร้อมกับลมร้อนที่ไหลออก

การประยุกต์ใช้เครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน สามารถใช้ได้กับวัตถุดิบหลายประเภท เช่น การอบพริกแห้ง การอบพืชสมุนไพร การอบผลไม้ โดยวัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าไปในห้องอบ (1) และให้ความร้อนแก่วัตถุดิบด้วยลมร้อนควบคู่กับคลื่นไมโครเวฟ จากนั้นเปิดมอเตอร์ (14) เพื่อขับสกรูลำเลียง (2) สำหรับลำเลียงวัตถุดิบแต่ละชนิด ความเร็วรอบของสกรูลำเลียงจะแตกต่างกันออกไป เมื่อวัตถุดิบร้อนความชื้นจะถูกพาออกไปพร้อมกับลมร้อนที่ไหลออก

ตัวอย่างการใช้เครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน สำหรับวัตถุดิบที่เป็นลูกปาล์มร่วง โดยใช้คอนดิชั่น ดังนี้ ความเร็วรอบของสกรูลำเลียง (2) อยู่ที่ 0.5 รอบ/นาที อุณหภูมิลมร้อนไม่เกิน 120 $^{\circ}$C และกำลังของคลื่นไมโครเวฟ อยู่ที่ 800 W โดยใช้ระยะเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง จึงสามารถนำผลปาล์มร่วงไปสกัดเอาน้ำมันปาล์มดิบได้ สำหรับวัตถุดิบอื่นๆ ความเร็วรอบ อุณหภูมิลมร้อน กำลังของคลื่นไมโครเวฟและระยะเวลาที่ใช้ในการอบต้องปรับตามความเหมาะสมของวัตถุดิบแต่ละชนิด

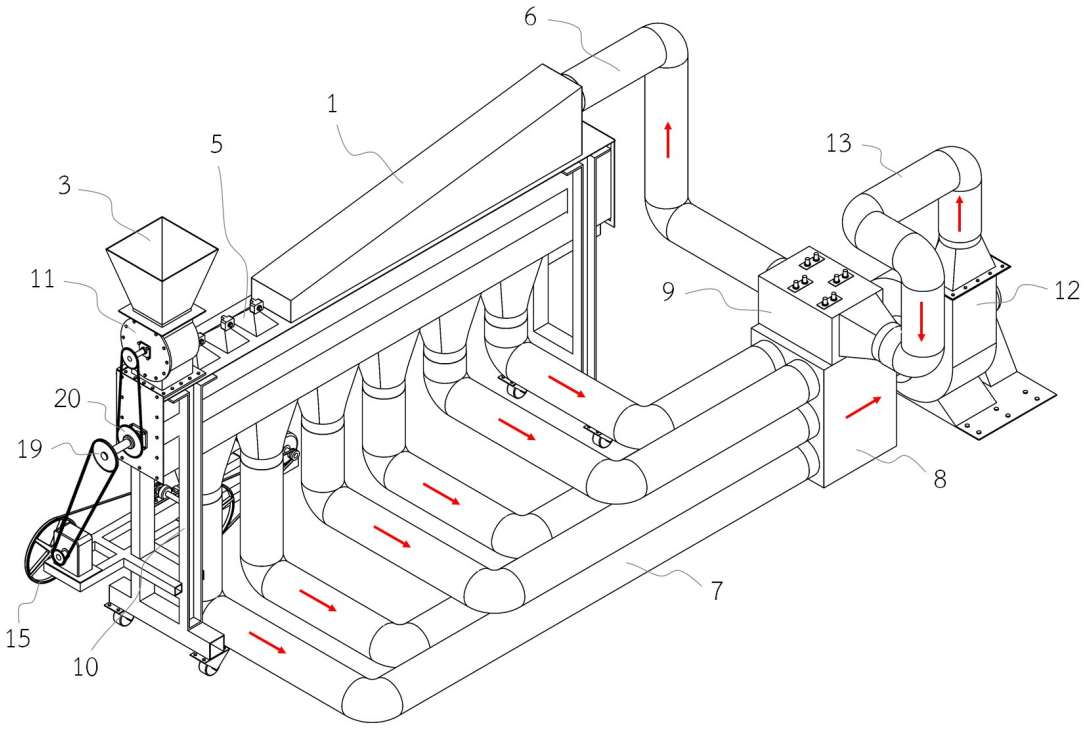
คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

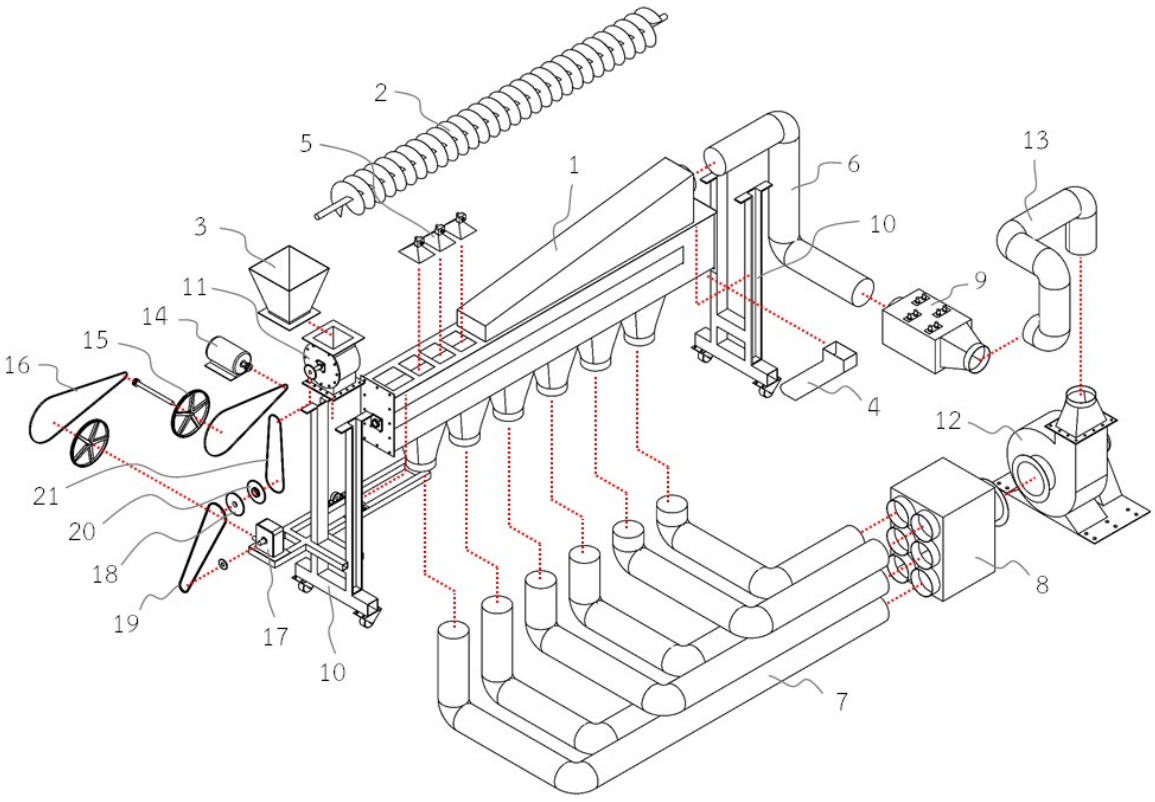
รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบแยกส่วน

วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด

เหมือนกับที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์


6
1
5
3
13
11
9
12
20
19
8
7
15
10

รูปที่ 1


2
5
1
6
13
3
10
11
9
14
15
16
4
12
21
20
18
8
19
17
10
7

รูปที่ 2

ข้อถือสิทธิ

1. เครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ประกอบด้วย ห้องอบ (1) สำหรับบรรจุวัตถุดิบที่ต้องการอบแห้ง ซึ่งภายในจะติดตั้งสกรูลำเลียง (2) และบริเวณด้านบนจะติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ (5) สำหรับให้ความร้อนผลปาล์ม บริเวณด้านข้างจะมีท่อทางเข้า 1 (6) สำหรับให้ลมร้อนไหลเข้าและลมร้อนจะไหลออกผ่านท่อทางออก (7) ซึ่งอยู่ตรงบริเวณด้านล่างของห้องอบ จากนั้นลมร้อนจะไหลสู่เข้าห้องพักอากาศ (8) ทำหน้าที่เป็นที่พักของอากาศที่ไหลมาจากห้องอบ และลมร้อนจะไหลเข้าสู่เครื่องกำเนิดความร้อน (9) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ลมร้อนที่ไหลเข้ามา สุดท้ายลมร้อนจะถูกนำกลับไปใช้ในกระบวนการอบอีกครั้ง
   ที่ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ
   ห้องอบ (1) มีลักษณะคล้ายกับสี่เหลี่ยมคางหมู บริเวณด้านบนของห้องอบมีตัวแดมเปอร์ (11) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการป้อนของวัตถุดิบตามความเร็วรอบในการหมุนของสกรูลำเลียง (2) บริเวณด้านข้างของห้องอบมีท่อทางเข้า (6) สำหรับให้ลมร้อนไหลเข้า บริเวณด้านล่างของห้องอบมีท่อทางออก (2) จำนวน 6 ท่อ สำหรับให้ลมร้อนไหลออก และห้องพักอากาศ (8) สำหรับเป็นที่พักของอากาศที่ไหลมาจากห้องอบ นอกจากนี้ห้องอบจะติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ (5) ซึ่งมีข้อดีคือสามารถช่วยลดระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่ผลปาล์มและลมร้อนที่ออกจากกระบวนการอบจะถูกนำมาใช้อีกครั้ง ซึ่งสามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงานและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตความร้อนได้ นอกจากนี้สามารถอบผลปาล์มได้อย่างต่อเนื่อง
2. เครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ตามข้อถือสิทธิ 1 ที่ซึ่ง ถังหมุน (1) ทำมาจากเหล็กแผ่น ได้แก่ เหล็กแผ่นดำหรือเหล็กแผ่นสแตนเลส

บทสรุปการประดิษฐ์

เครื่องอบสกรูลำเลียงระบบคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ในระหว่างกระบวนการอบ วัตถุดิบจะถูกลำเลียงเข้าสู่ห้องอบด้วยสกรูลำเลียงและใช้ลมร้อนควบคู่กับคลื่นไมโครเวฟสำหรับให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ ซึ่งมีข้อดีคือ วัตถุดิบเกิดการคลุกเคล้ามีส่วนช่วยให้ได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงและสามารถอบผลปาล์มได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับวัตถุดิบที่ใช้อบเป็นลูกปาล์ม ความเร็วรอบของสกรูลำเลียงไม่เกิน 0.5 รอบ/นาที อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 120 °C และกำลังของคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 800 W ระยะเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง สำหรับวัตถุดิบอื่นๆ ความเร็วรอบของสกรูลำเลียง อุณหภูมิลมร้อน กำลังของคลื่นไมโครเวฟและระยะเวลาที่ใช้ในการอบต้องปรับตามความเหมาะสมของวัตถุดิบแต่ละชนิด