



การศึกษาค่าความร้อนสำหรับคราถาซีเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ
Studying of Heating Value for *Tillandsia usneoides* L. as Biofuel

นীরนุช วีระวงศ์

Neeranoot Weerawong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management**

Prince of Songkla University

2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การศึกษาค่าความร้อนสำหรับคราถาซีเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ
Studying of Heating Value for *Tillandsia usneoides* L. as Biofuel

นীরนุช วีระวงศ์

Neeranoot Weerawong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management

Prince of Songkla University

2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาค่าความร้อนสำหรับเคราฤาเียเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ

ผู้เขียน นางสาวนัรณช วีระวงส์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกื้ออนันต์ เตชะโต)

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. นพรัตน์ บำรุงรักษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชยาน์ ฟาน เบม)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทกานต์ ทวีกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกื้ออนันต์ เตชะโต)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชยาน์ ฟาน เบม)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีรพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกื้ออนันต์ เตชะโต)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ ฟาน เบม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ

(นางสาวนිරนุช วีระวงศ์)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

(นางสาวนิรนุช วีระวงศ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาค่าความร้อนสำหรับคราถายีเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ
ผู้เขียน	นางสาวนิรนุช วีระวงศ์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความร้อนของคราถายีเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยศึกษาปัจจัยคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของคราถายี ได้แก่ ความร้อน ความชื้น เถ้า ปริมาณสารที่ระเหย คาร์บอนคงตัว และองค์ประกอบทางเคมี รวมถึงศึกษาการเจริญเติบโตของคราถายีเพื่อทราบเศษคราถายีที่เกิดขึ้นจากการตัดแต่งใช้ประโยชน์ เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้คราถายีเป็นชีวมวล วิจัยใช้เทคนิค calorific method เพื่อหาค่าความร้อน เทคนิค gravimetric method เพื่อหาค่าความชื้น และเทคนิค dynamic flash combustion เพื่อหาค่าองค์ประกอบทางเคมี อีกทั้งวัดน้ำหนักของคราถายีเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของคราถายี และเปรียบเทียบค่าความร้อนของคราถายีกับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่น เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ จากการศึกษาพบว่าคราถายีมีค่าความร้อน 15.60 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 46.40 เถ้าร้อยละ 8.84 ปริมาณสารที่ระเหยร้อยละ 81.14 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 8.07 และมีค่าไนโตรเจน คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน ร้อยละ 0.76, 42.86, 5.65 และ 0.05 ตามลำดับ การศึกษาน้ำหนักการเจริญเติบโตของคราถายี พบว่าคราถายีสามารถเติบโตได้โดยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.51 กรัม/เดือน ใน 1 ต้นการทดลอง ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของคราถายี ได้แก่ ความชื้น แสง น้ำและปุ๋ย คราถายีมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับแกลบ ชานอ้อย ไม้ยางพารา และมีค่าความร้อนสูงกว่าฟางข้าว คราถายีเป็นพืชโตช้าควรใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลพร้อมกับเชื้อเพลิงหลักมากกว่าที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักโดยตรงจึงมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ แต่ควรจัดเก็บคราถายีไว้ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อรักษาคุณสมบัติภายในของเชื้อเพลิงคราถายี

Thesis Title	Studying of Heating Value for <i>Tillandsia usneoides</i> L. as Biofuel
Author	Ms. Neeranoot Weerawong
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2016

ABSTRACT

This research aimed to investigate the heating value of the Spanish moss (*Tillandsia usneoides* L.) for use as biofuel. By studying the physical and chemical properties of Spanish moss focused on heat, moisture, ash, volatile fixed carbon content and chemical composition. Moreover, the growth of Spanish moss was investigated to know its fragments formed by trimming. The calorific, gravimetric and dynamic flash combustion methods used to determine the thermal values, moisture and chemical composition, respectively. To study the weight of Spanish moss by growth and to compare the heat of Spanish moss with other types of biomass. So that the possible analysis to be used as biofuel in further. The results showed physical properties of 15.60 MJ/kg for heating value, 46.40% of moisture content, 8.84% of ash content, 81.14% of volatile matter and 8.07% of fixed carbon. The chemical properties of carbon, hydrogen, nitrogen and sulphur were showed at 42.86%, 5.65%, 0.76%, and 0.05%, respectively. The Spanish moss grew up and took 0.51g fresh weight/month. Growth factors of plant were moisture, light, water and fertilizeon. The heating value was of Spanish mass not different from husk, bagasse, and rubber wood, but higher than rice straw. Spanish mass are growth retardant plant comparing to other biofuel so it is better to combine with other biomass.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกื้ออนันต์ เตชะโต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้การปรึกษาในทุกด้านและตรวจสอบข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์จนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ ฟาน เบม ที่ให้คำแนะนำเรื่องพีชคณิตและการเจริญเติบโตของพีชคณิต รวมทั้งคำแนะนำที่มีประโยชน์จากคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายเกียรติพรรณ หวัน โส๊ะ เสียสละเวลาในการช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัย และนายธรรมศักดิ์ ศรีสุขใส ที่ช่วยเหลือให้ความสะดวกในการติดต่อประสานงานกับบริษัท ทรานส์ ไทย-มาเลเซีย (ประเทศไทย) จำกัด

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและบริษัท ทรานส์ ไทย-มาเลเซีย (ประเทศไทย) จำกัด ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. ระดับปริญญาโท ผู้วิจัยขอขอบคุณที่เล็งเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของงานวิจัยฉบับนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติๆ ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและให้กำลังใจเสมอมา รวมถึงจากบุคคลต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นිරนุช วีระวงค์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย	(5)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
สัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
เนื้อเรื่อง	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	5
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	24
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการวิจัย	31
บทที่ 5 สรุปผล	53
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	63
ประวัติผู้เขียน	105

รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลในปัจจุบัน	11
ตารางที่ 2.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาความร้อน	17
ตารางที่ 4.1 แสดงความร้อน ความชื้นและเถ้าของเคราฤาษีจากการทดลอง	32
ตารางที่ 4.2 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลในปัจจุบันกับเชื้อเพลิงเคราฤาษี	33
ตารางที่ 4.3 ค่าองค์ประกอบทางกายภาพของเคราฤาษีที่ได้จากการทดลอง	34
ตารางที่ 4.4 สมการที่ใช้ในการคำนวณจากวิธีวิเคราะห์แบบ Proximate Analysis	35
ตารางที่ 4.5 ค่าคำนวณที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Proximate Analysis	37
ตารางที่ 4.6 ค่าองค์ประกอบทางเคมีของเคราฤาษี	39
ตารางที่ 4.7 สมการที่ใช้ในการคำนวณจากวิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง	40
ตารางที่ 4.8 ค่าคำนวณที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง	41
ตารางที่ 4.9 แสดงลักษณะสมบัติของเคราฤาษี	52

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย	4
รูปที่ 2.1 (ก) ลักษณะใบรูปเข็มและดอกของเคราฤาษี	5
(ข) ลักษณะสายห้อยยาวของเคราฤาษี	5
รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์วิทยาน ไทร โคมของเคราฤาษี	7
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของชีวมวล	10
รูปที่ 3.1 พื้นที่การทดลอง	29
รูปที่ 3.2 เคราฤาษีที่เลี้ยงระเบียงด้านหน้า (ทิศเหนือ) ชั้น 4	29
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลคำนวณเปรียบเทียบค่าความร้อนจากการคำนวณโดยใช้สมการ Proximate Analysis กับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองของเคราฤาษี	38
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลคำนวณเปรียบเทียบค่าความร้อนจากการคำนวณโดยใช้สมการการ วิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองของเคราฤาษี	42
รูปที่ 4.3 น้ำหนักเคราฤาษีทิศเหนือ	43
รูปที่ 4.4 น้ำหนักเคราฤาษีทิศใต้	44
รูปที่ 4.5 น้ำหนักเคราฤาษีทิศตะวันออก	45
รูปที่ 4.6 น้ำหนักเคราฤาษีทิศตะวันตก	47
รูปที่ 4.7 ผลน้ำหนักรวมเคราฤาษีทิศเหนือ ได้ ตะวันออก และตะวันตก	48
รูปที่ 4.8 ผลน้ำหนักรวมเคราฤาษีระเบียงด้านล่างคณะทางด้านทิศเหนือ	49
รูปที่ 4.9 ผลน้ำหนักรวมเคราฤาษีบนดาดฟ้าของคณะ	50

สัญลักษณ์และคำย่อ

	ความหมาย
HHV	Higher Heating Value
M	Moisture
VM	Volatile Matter
FC	Fixed Carbon
A	Ash
PA	Proximate Analysis
UA	Ultimate Analysis

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเข้าทรัพยากรทางด้านพลังงาน โดยเฉพาะน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน ทำให้ต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศและมีผลต่อสถานะความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ ส่งผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจของประเทศ แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 โดยกระทรวงพลังงานมีเป้าประสงค์ชัดเจนที่ให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาพลังงานทดแทนให้เป็นหนึ่งในพลังงานหลักของประเทศ เพื่อทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลและการนำเข้าน้ำมัน โดยการเสริมสร้างการใช้พลังงานทดแทนในระดับชุมชนในรูปแบบชุมชนสีเขียวแบบครบวงจร เสริมสร้างความเข้มแข็งของธุรกิจพลังงาน และพัฒนาพลังงานอย่างมีคุณภาพต่อสิ่งแวดล้อม

การใช้พลังงานภายในอาคารกำลังเป็นประเด็นสำคัญของการใช้พลังงาน จากการเทียบสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าของไทย พบว่าการใช้พลังงานในอาคารคิดเป็นร้อยละ 45 ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) ปัจจุบันรูปแบบการอยู่อาศัยของครอบครัวคนเมืองยุคใหม่เปลี่ยนไปจากเดิมที่อยู่อาศัยในบ้านเดี่ยวกลายเป็นทาวน์เฮ้าส์ รวมไปถึงคอนโดมิเนียมหรือแมนชั่น เมื่อเป็นเช่นนี้พื้นที่สีเขียวในเมืองอาจจะมีน้อยลง การจัดสวนแนวตั้งจึงเป็นหนึ่งในทางเลือกที่น่าสนใจ อีกทั้งสามารถลดความร้อนภายในและภายนอกอาคาร เนื่องจากใบไม้ที่ปกคลุมช่วยป้องกันแดดไม่ให้ส่องผ่านสู่อาคาร โดยตรง และยังสามารถนำความร้อนส่วนหนึ่งไปใช้ในการคายน้ำและสังเคราะห์แสง โดยนอกจากจะลดความร้อนที่ถ่ายเทสู่อาคารแล้ว ยังช่วยลดความร้อนภายนอกอาคาร อันส่งผลสู่การบรรเทาภาวะเกาะความร้อนในเมือง (Urban Heat Island)

พืชที่ใช้ในการจัดสวนในแนวตั้งมีหลายชนิด อาทิ พรหมญี่ปุ่น เดฟเขียวใบยาว ตำลึง สร้อยอินทนิล พวงชมพู อัญชัน เป็นต้น พืชบางชนิดไม่สามารถควบคุมให้มีความเหมาะสมและสมดุลได้

ในการให้ร่มเงาและการให้แสงสว่าง ต้องมีการบำรุงรักษา และปลูกโดยใช้ดิน ทำให้ขาดความสวยงามเนื่องจากบางส่วนมีการร่วงหรือตายทำให้ทัศนวิสัยไม่ดีและส่งผลเสียต่ออาคาร พืชใหม่ที่ค้นพบในการให้ร่มเงาสำหรับอาคารจึงควรเป็นพืชลักษณะเขียวตลอดปี ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และแมลงศัตรูพืช พืชเคราฤาษี (*Tillandsia usneoides* L.) จึงเป็นพืชที่ตรงกับความต้องการข้างต้น เนื่องจากเคราฤาษี สามารถเจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องใช้ดิน เป็นพืชที่สามารถปรับตัวให้อยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมใหม่ๆ และสามารถแตกกิ่งก้านใหม่ได้ ไม่ค่อยมีโรคและศัตรูพืช ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นจากการจัดสวนในแนวตั้ง คือ เศษพืชเหลือทิ้งจากการบำรุงรักษา หากมีการจัดสวนในแนวตั้งในหลายๆ พื้นที่ เศษพืชเหลือทิ้งจะมีมากขึ้นควรมีนำไปใช้ประโยชน์

ค่าความร้อนที่จะเกิดขึ้นจากการเผาไหม้เคราฤาษีและการเจริญเติบโตของเคราฤาษีจะเป็นฐานความรู้ที่ทำให้สามารถทราบประโยชน์จากเศษเคราฤาษีที่เกิดขึ้นหลังจากใช้ประโยชน์ต่างๆ อาทิเช่น การแขวนเคราฤาษีเพื่อดูดซับมลพิษทางอากาศ หรือการแขวนเคราฤาษีเพื่อเป็นส่วนในแนวตั้งให้กับอาคาร เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาค่าความร้อนของเคราฤาษีเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดอื่นที่ใช้ในปัจจุบัน

1.2.2 ศึกษาองค์ประกอบหลักของเคราฤาษีเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ

1.2.3 ศึกษาการเจริญเติบโตของเคราฤาษี

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

เคราฤาษีที่ใช้ในการทดลองเป็นพันธุ์ *Tillandsia usneoides* L. ภายในระยะเวลาการทดลอง 1 ปี ใช้ระเบียบของคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ชั้น 4 เป็นพื้นที่ใช้ในการทดลองโดยประกอบด้วย ระเบียบด้านหน้า (ทิศเหนือ) ระเบียบด้านหลัง (ทิศใต้) ระเบียบห้องสมุด (ทิศตะวันออก) และระเบียบห้องพักอาจารย์ (ทิศตะวันตก) และเปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดอื่นกับเคราฤาษี ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษเคราฤาษีในประเด็นค่าความร้อน

1.4 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

1.4.1 ตัวแปรต้น เคราฤาษีพันธุ์ *Tillandsia usneoides* L.

1.4.2 ตัวแปรตาม ค่าความร้อน

1.4.3 ตัวแปรควบคุม ชนิดเคราฤาษี ปริมาณการเก็บเศษเคราฤาษีในแต่ละการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบค่าความร้อนของเคราฤาษีเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพอื่น

1.5.2 ทราบค่าองค์ประกอบหลักของเคราฤาษีที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้

1.5.3 เศษเคราฤาษีสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้

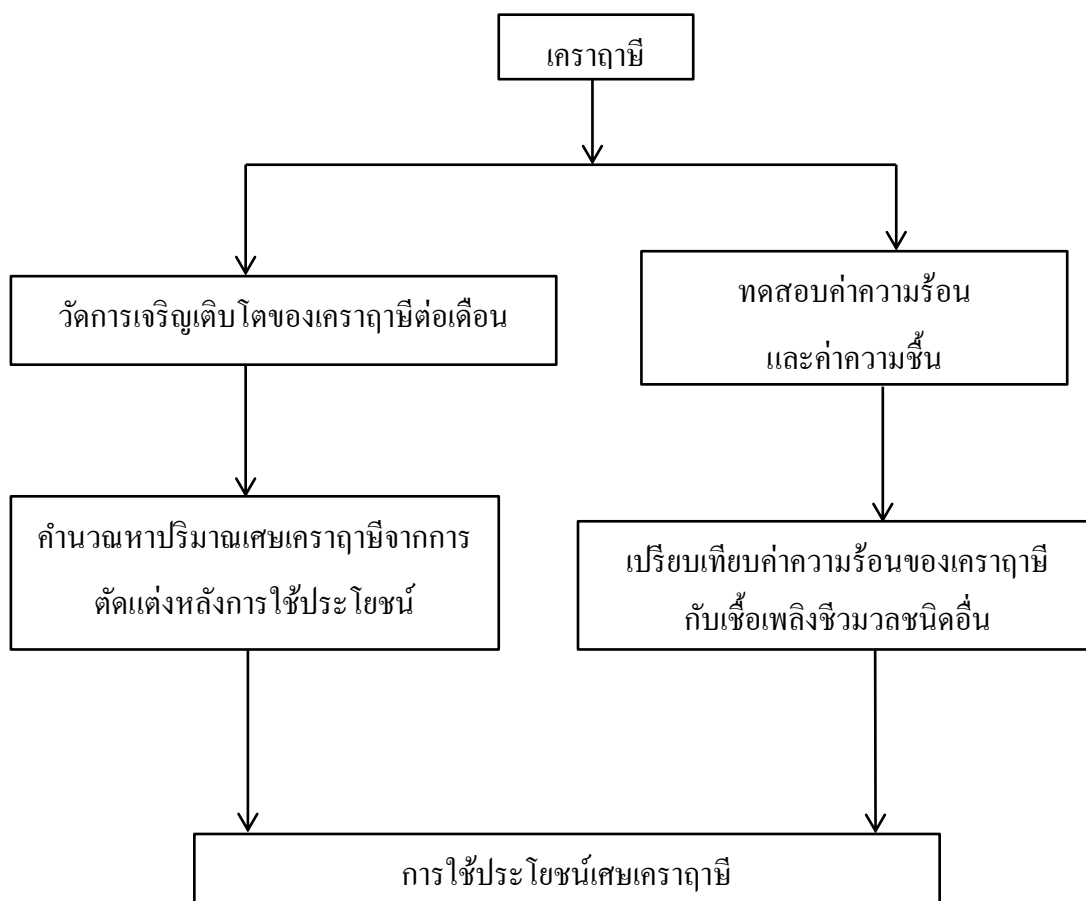
1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1.6.1 ค่าความร้อน (Heating Value) เป็นปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาต่อหน่วยน้ำหนักสามารถวิเคราะห์ได้โดยนำเชื้อเพลิงไปเผาในเครื่อง Bomb Calorimeter

1.6.2 เชื้อเพลิงชีวภาพ คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากมวลชีวภาพที่สามารถเปลี่ยนเพื่อผลิตเป็นพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรกรรม หรือกากของเหลือใช้จากระบวนการผลิตอุตสาหกรรมการเกษตร

1.6.3 เคราฤาษี (*Tillandsia usneoides* L.) มีชื่อสามัญว่า มอสสเปน (Spanish moss)

1.7 กรอบแนวคิด



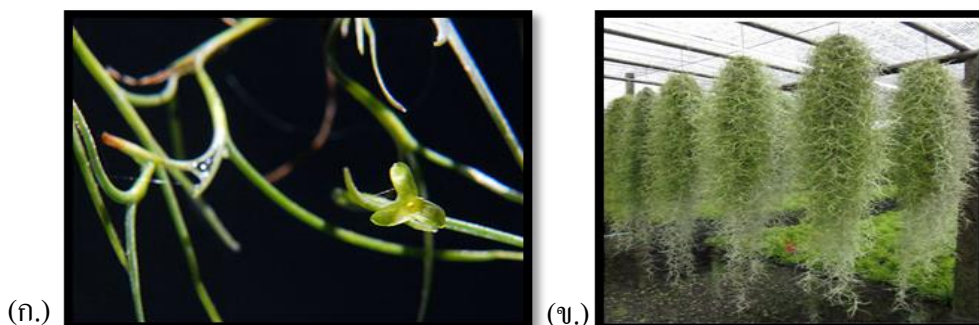
รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 เคราฤาษี

เคราฤาษี เป็นชนิดหนึ่งที่ใช้ในการจัดสวนในแนวตั้ง ซึ่งไม่ต้องใช้การบำรุงรักษามาก และปลูกโดยไม่ต้องใช้ดิน อีกทั้งเกิดการหลั่งน้ำของใบน้อย ไม่ส่งผลให้เกิดทัศนวิสัยที่ไม่ดีต่ออาคาร ทนต่อสภาพอากาศ หากมีการปลูกเคราฤาษีเพื่อเป็นสวนในแนวตั้งในปริมาณที่มากขึ้นเมื่อมีการตัดตกแต่งในแต่ละครั้งจะเกิดเศษเคราฤาษีซึ่งเกิดเป็นขยะเหลือใช้ การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกศึกษาค่าความร้อนของเคราฤาษีสำหรับเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อนำเศษเคราฤาษีไปใช้ประโยชน์



รูปที่ 2.1 (ก) ลักษณะใบรูปเข็มและดอกของเคราฤาษี

(ข) ลักษณะสายห้อยยาวของเคราฤาษี

ที่มา: <http://www.olx.co.th/product-5403427/>

อาณาจักร: **Plantae**

อันดับ: **Poales**

วงศ์: **Bromeliaceae**

สกุล: ***Tillandsia***

สปีชีส์: ***T. usneoides* L.**

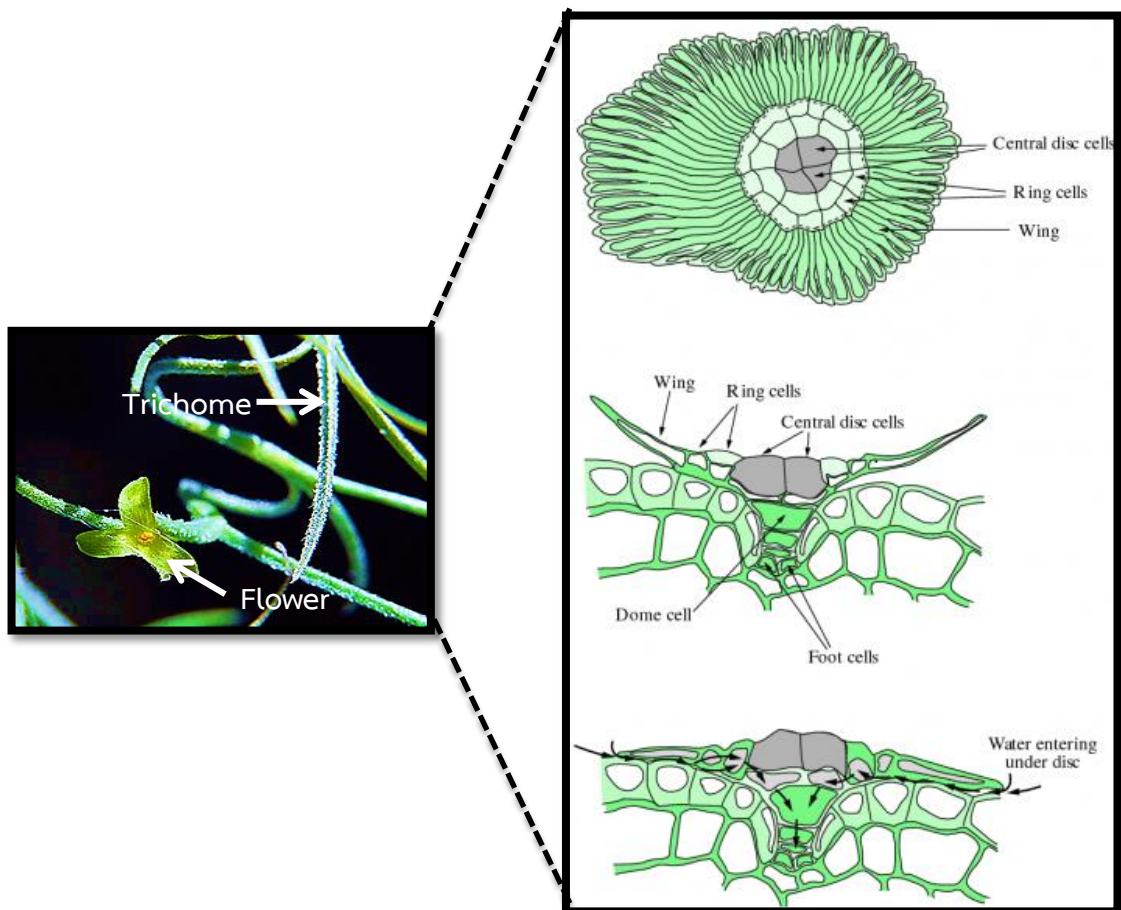
ชื่อพื้นเมือง เคราฤาษี หนวดฤาษี หนวดตาเป๊ะ

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เคราฤาษีหรือหนวดแป๊ะ เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์ Bromeliaceae สกุล *Tillandsia* มีถิ่นกำเนิดจากทางตะวันออกของสหรัฐอเมริกาและภาคกลางของอาร์เจนตินา การเติบโตของพืชชนิดนี้เป็นรูปแบบโครงสร้างที่เป็นสายห้อยยาว (รูปที่ 2.1 ก.) เป็นไม้ล้มลุกมีใบเรียวยาวเล็กรูปเข็มสีเขียวอมเขียว (รูปที่ 2.1 ข.) มีรากอากาศ บนใบที่ลดรูปมีไทรโคม (Trichome) ลักษณะเป็นขนสีขาวปกคลุมไปทั่วทั้งต้น ไทรโคมจะทำหน้าที่ดูดซับความชื้นและธาตุอาหารในอากาศ ลำต้นของเคราฤาษีมีลักษณะยึดยาวเรียวยาวเล็กคล้ายเส้นด้าย มีดอกสีเขียวตามปลายยอดซึ่งมีขนาดไม่เกิน 1 เซนติเมตร ออกดอกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายนของทุกปี (Benzing, 1976) ชอบที่รำไรอากาศถ่ายเทสะดวก ใบปรากฏสีเขียวแต่เมื่อปลูกในที่แดดจัดใบจะเปลี่ยนเป็นสีขาวยาว เคราฤาษีเป็นพืชโตช้าและเป็นพืชทนแล้งที่มีวิถีการสังเคราะห์แสงแบบ Crassulacean Acid Metabolism (CAM) ต้องการน้ำน้อย เป็นพืชไม่ยึดเกาะปลูกโดยไม่ใช้ดิน ขน (Trichome) ของเคราฤาษีมีลักษณะพิเศษประกอบด้วย Dome cell ที่หุ้มด้านบนด้วยชั้นคิวติน (Cutin) หนาเพื่อช่วยลดการคายน้ำ และ Wing Cell (รูปที่ 2.2) ทำหน้าที่ช่วยดักไอน้ำก๊าซและสารต่างๆ ในอากาศแล้วลำเลียงสารแบบ Passive Transport ผ่านท่อที่เชื่อมต่อกันระหว่าง Wing Cell และ Shield Cell ไปยัง Mesophyll ของชั้นใบ (Wannaz *et al.*, 2006) ใบลดรูปเป็นใบเกล็ด (Scale Leaf) เป็นโดมสามเหลี่ยมมีคิวตินหุ้มเพื่อช่วยลดการคายน้ำ ดูดซับซับ โลหะหนักได้ดีเช่น ทองแดง แคลเซียม วานาเดียม แมงกานีส เหล็ก โคบอล และนิกเกิล (Brighigna *et al.*, 1997)

2.2 ประโยชน์เคราฤาษี

การศึกษาก่อนหน้านี้ได้ศึกษาประโยชน์ต่างๆของเคราฤาษี เช่น การใช้เป็นไม้ประดับ การใช้เคราฤาษีเป็นม่านระบายความร้อนของผนังอาคาร ในฤดูร้อนในประเทศจีน ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ค่าความร้อนที่ได้รับจะลดลง เมื่อวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิของผนังอาคารแสดงให้เห็นว่า ม่านเคราฤาษีสามารถสร้างร่มเงาและประหยัดพลังงานได้ เพราะอุณหภูมิภายในอาคารลดลง (Fanga *et al.*, 2011) อีกทั้งจำนวนชั้นใบและระยะชิดผนังมากกว่ามีแนวโน้มจะลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้มากกว่า แม้จะทำหน้าที่เหมือนฉนวนกันความร้อนโดยการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ประมาณร้อยละ 80 (Brown and Gillespie, 1995) นอกจากนำมาใช้ลดความร้อนแล้วยังมีการนำเคราฤาษีมาใช้เป็นตัวชี้วัดความเข้มข้นของสารปรอทในบรรยากาศซึ่งพบว่าสารปรอทจะถูกกัก

เก็บอยู่ในเนื้อเยื่อของคราถาญี และมีแนวโน้มสะสมมากขึ้นแสดงให้เห็นว่า คราถาญีสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบระดับความเข้มข้นปรอทในบรรยากาศได้ (Sutton *et al.*, 2014) อีกทั้งการใช้คราถาญีในการติดตามตรวจสอบโลหะหนักในอนุภาคของฝุ่นในบรรยากาศในประเทศบราซิลพบว่า โลหะหนัก เช่น โครเมียม ทองแดง และ สังกะสี ถูกตรวจพบในเกณฑ์ที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Vianna *et al.*, 2010) คราถาญีจึงถูกใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศได้เป็นอย่างดี (Alves and Moura, 2012) และในประเทศเม็กซิโกคราถาญีถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพที่ดูดซับมลพิษเช่นเดียวกัน (Martínez-Carrilloa *et al.*, 2010)



รูปที่ 2.2 สัณฐานวิทยาขนไทร โคมของคราถาญี

ที่มา: ดัดแปลงจาก Brett and Craig, 2006 และ Brighigna *et al.*, 1997

2.3 เชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) เป็นเชื้อเพลิง ที่ได้จาก ชีวมวลหรือมวลชีวภาพ ซึ่งเป็นผลผลิตจากสิ่งมีชีวิตหรือผลิตผลจากการสร้างและสลายของสิ่งมีชีวิต (รอบ โบเคิน, 2549) เช่น มูลสัตว์ รวมทั้งผลผลิตทางการเกษตรและป่า ได้แก่ ไม้พิน แกลบ ฟาง กากอ้อย กะลามะพร้าว ทะลายปาล์ม และเศษหญ้า ซึ่งเป็นพลังงานทดแทน (Alternative energy) และเป็นพลังงานสะอาด (clean energy) ไม่เหมือนพลังงานจาก แหล่งธรรมชาติ อื่น เช่น ปิโตรเลียม ถ่านหิน และ เชื้อเพลิง นิวเคลียร์

สารชีวมวล คือ สารที่ได้จากพืชและสัตว์ทั้งทางตรงและทางอ้อมซึ่งสามารถเปลี่ยนเพื่อผลิตเป็นพลังงานได้ โดยทางอ้อม คือ ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เปลือกสับปะรด หรือน้ำเสียจากโรงงาน (กรุงเทพมหานคร, 2551) พืชพลังงานเป็นหนึ่งในทางเลือกใหม่ เนื่องจากสามารถขยายพื้นที่ปลูกได้กว้างขวาง สารชีวมวลที่นำไปแปรรูปเป็นพลังงานส่วนใหญ่เป็นพืชหรือส่วนประกอบของพืช ดังนั้น เมื่อนำชีวมวลที่ได้จากพืชมาใช้ในการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงโดยการนำไปเผาไหม้โดยตรงหรือนำความร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า จึงทำให้ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสู่ชั้นบรรยากาศ (Laohalidanond, 2006)

พลังงานชีวมวล (Biomass) เป็นการผสมคำระหว่าง Bio หมายถึง สิ่งมีชีวิต กับ mass ซึ่งหมายถึง ปริมาณพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์โดยที่สามารถนำไปใช้ในรูปของพลังงานได้ (กรกต พิมทวงค์, 2547) สรุปได้ว่าพลังงานชีวมวล หมายถึง พลังงานที่ได้จากพืชและซากสัตว์หรืออินทรีย์สารต่างๆ ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยใช้ความร้อนหรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยอาศัยจุลินทรีย์ (เสรีวัฒน์ สมิทธิ์ปัญญา, 2539) และสามารถนำไปใช้ในรูปของพลังงานได้ พลังงานที่ได้มาจากชีวมวลจะอาศัยกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่อยู่ในชีวมวลและผลิตออกมาเป็นพลังงาน ซึ่งพลังงานจากสารชีวภาพสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ (ไกรพัฒน์ จินขจร, 2551) คือ

ชีวมวลของแข็ง (Solid Biomass) เป็นชีวมวลประเภทเศษไม้ รวมไปถึงเปลือกเมล็ดพืชต่างๆ หรือของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร ซึ่งเชื้อเพลิงประเภท เศษไม้ เปลือกไม้ กิ่งไม้ และขี้เลื่อย จะมีลิกนินอยู่ประมาณร้อยละ 40 ส่วนเชื้อเพลิงที่ได้จากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร เช่น แกลบข้าว ชังข้าวโพด เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณลิกนินต่ำประมาณร้อยละ 0-20

ชีวมวลของเหลว (Liquid Biofuel) คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากการสังเคราะห์ชีวมวลโดยผ่านกระบวนการทางเคมีหรือชีวเคมีเพื่อให้ได้เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากชีวมวลของแข็ง เช่น เอทานอล เมทานอล น้ำมันไบโอดีเซล

ก๊าซชีวมวล (Biogas) คือ เชื้อเพลิงที่มีการเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ ที่ผลิตได้จากกระบวนการที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความดัน

เชื้อเพลิงไม่ว่าจะเป็นก๊าซ ของเหลว หรือของแข็ง จะมียังประกอบทางเคมีของ ปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฯลฯ ที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ องค์ประกอบเหล่านี้ จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับออกซิเจนก่อให้เกิดแสงและความร้อน จากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกลายเป็น CO_2 และ H_2O ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงต้องอาศัย 3 ปัจจัย คือ เวลาต้องนานเพียงพอ อุณหภูมิสูงอย่างต่อเนื่อง และการผสมผสานกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง (มนตรี พิรุณเกษตร, 2539)

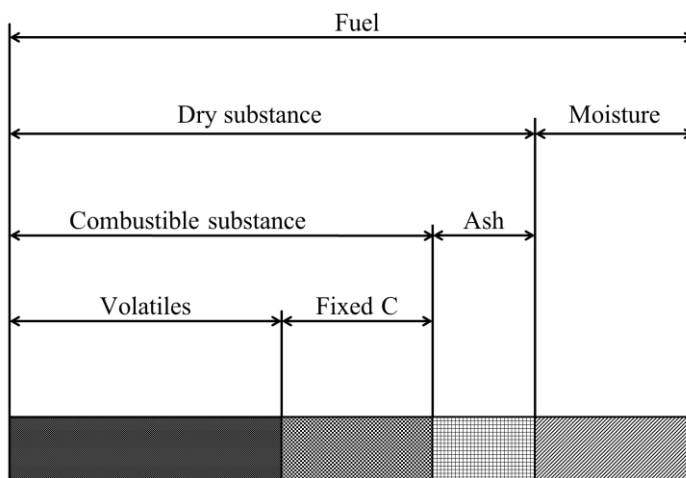
2.4 องค์ประกอบของชีวมวล

ในเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

2.4.1. ความชื้น (Moisture) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล ซึ่งมีความชื้นค่อนข้างสูง หากเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตเป็นพลังงาน โดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน ร้อยละ 50

2.4.2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย (Volatile Matter) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) หากชีวมวลใดที่มีค่า Volatile matter สูงแสดงว่าติด ไฟได้ง่าย เหมาะสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

2.4.3. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ หมายถึง ขี้เถ้า (Ash) เป็นเศษเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ ขี้เถ้าจะมีประมาณร้อยละ 1-3 ยกเว้น แกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณร้อยละ 10 ซึ่งมีปัญหาในการเผาไหม้รวมถึงการกำจัดพอสมควร (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของชีวมวล

ที่มา: Danish International Development Assistance, 2003

2.5 คุณสมบัติของชีวมวล

ชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกัน เช่น แห้งชีวมวลในแต่ละพื้นที่ ขนาด ความชื้น สิ่งเจือปน และปริมาณจี้เถ้า เป็นต้น (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2545)

2.5.1. ขนาด: ถ้าชีวมวลมีขนาดใหญ่จะมีขนาดใหญ่เกินไปไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง เพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้จะต่ำ จึงนำมาตัดให้มีขนาดที่เล็กลง เพื่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น

2.5.2. ความชื้น: เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง ชีวมวลที่มีความชื้นสูงมากไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้ เช่น กากมันสำปะหลังหรือส่าเห็ด ซึ่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 80-90 แต่สามารถทำได้โดยผ่านกระบวนการบีบอัด (Dewatering) เพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเผา หรือนำมาผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน ส่วนของเศษไม้ มีความชื้นประมาณร้อยละ 50-60 หากเก็บไว้ล่วงหน้าระยะหนึ่ง ความชื้นจะลดลงโดยธรรมชาติ

2.5.3. สิ่งเจือปน: เป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังให้มาก เช่น เศษดิน หิน กรวดทราย และคราบน้ำมันปาล์ม เป็นต้น โดยเฉพาะคราบน้ำมันปาล์มที่ติดอยู่ในทะลายปาล์ม และกะลาปาล์ม เพราะ

เมื่อทราบน้ำมันปาล์มถูกความร้อนจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดในห้องเผาไหม้ ดังนั้นในการออกแบบห้องเผาไหม้ต้องพิจารณาจุดนี้เป็นพิเศษ

2.5.4. ปริมาณจี้เถ้า มีผลต่อการเผาไหม้เช่นกัน โดยเฉพาะแกลบจะมีปริมาณจี้เถ้าร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้น การออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมจี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ (กฤษพนธ์ เพ็ญศรี, 2546)

ดังนั้น ถ้านำชีวมวลใดมาผลิตไฟฟ้าจะต้องออกแบบเครื่องจักรให้เหมาะสมกับชีวมวลนั้นๆ เพื่อประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุด และชีวมวลแต่ละประเภทมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน ได้แก่ ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฯลฯ ซึ่งแต่ละองค์ประกอบนั้นมีหน้าที่ความสำคัญแตกต่างกัน

2.6 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลในปัจจุบัน

ประเทศไทยมีวัตถุดิบหลายชนิดที่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานชีวมวลได้ ซึ่งสามารถหาได้จากพืช สัตว์ และมูลสัตว์ รวมไปถึงของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตรและขยะ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลในปัจจุบัน

ประเภทเชื้อเพลิง	Heat (MJ/kg)	Reference
ถ่าน จากซังข้าวโพด จี้เลื่อย เปลือกมังคุด กะลามะพร้าว เมล็ดทุเรียน เปลือกทุเรียน และ เปลือกถั่วลิสง	>20.00	ลลนา บุญญารักษ์, 2553
ถ่านจากเมล็ดขนุน ชานอ้อย เปลือกข้าวโพด กากกาแฟ ใบตองแห้ง	17.00-20.00	
ถ่านจากหญ้าคาแห้ง ฟางข้าว ใบต้นเสี้ยว กาบมะพร้าว แกลบ	<17.00	

ตารางที่ 2.1 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลในปัจจุบัน (ต่อ)

ประเภทเชื้อเพลิง	Heat (MJ/kg)	Reference
กะลาปาล์มน้ำมัน	18.46	
ลำต้นมันสำปะหลัง	18.42	
เหง้ามันสำปะหลัง	18.42	
ซังข้าวโพด	18.04	
ลำต้นข้าวโพด	18.04	
ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	17.86	
ไขลูกปาล์มน้ำมัน	17.62	
ยอดและใบอ้อย	17.39	
ข้าวฟ่างหวาน	16.99	วาริณี ผางจินตดา, 2553
ลำต้นสับดำ	11.54-15.36	เกรียงไกร วงศาโรจน์, 2553
ชานอ้อย	14.40	
ต้นถั่วเหลือง	14.21	เจษฎานันท์ เวียงนนท์ และคณะ, 2549
แกลบข้าว	14.36	สุนันทศักดิ์ ระวิวงค์, 2554
ตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการ ผลิตเอทานอลจากมันเส้น	13.86	วัลย์รัตน์ อุดตมะปรากรม และ ธราพงษ์ วิทิตสานนท์, 2554
เปลือกถั่วเหลือง	12.56	
ฟางข้าว	12.33	
ก้านต้นปาล์มน้ำมัน	9.83	
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	6.81	

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554

แม้ว่าถั่วเหลืองมีให้ค่าพลังงานความร้อนมากแต่ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชอาหารมากกว่าพืชพลังงาน อีกทั้งการปลูกไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน สำหรับคราถามีมีลักษณะเป็นเส้นฝอยซึ่งคล้ายกับฟางข้าวมากที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น คราถามีจึงน่าจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้

2.7 ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้ หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างธาตุในเชื้อเพลิงกับก๊าซออกซิเจน ซึ่งทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น และทำให้อุณหภูมิของส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงสูงขึ้น แต่สำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือ กระบวนการเผาไหม้ที่ให้พลังงานความร้อนเท่ากับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ผลที่ได้จากการเผาไหม้จะอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ได-ออกไซด์ และน้ำ จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 2.1 ด้านซ้ายมือเป็นสารตั้งต้น คือ ธาตุเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ส่วนด้านขวามือของสมการเป็นผลที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาและพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนดังแสดงในสมการที่ 2.1 (วาริณี ผางจันทา, 2553)



การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนที่เกิดความร้อนสูงและแสงขึ้น เมื่อใช้สารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีความร้อนมาจากองค์ประกอบภายในสารชีวมวล เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ซึ่งรูปแบบในการเผาไหม้สารชีวมวลมีได้หลายรูปแบบ สำหรับการเผาไหม้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ การเผาไหม้แบบตะกั่ว การเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด การเผาไหม้แบบเตาฮาร์ทแบบหมุน และการเผาไหม้แบบเตาเผา ซึ่งในการเผาไหม้แบบตะกั่วต้องเป็นสารชีวมวลที่มีจีเอ็น้อย

2.8 ค่าความร้อน (Heating Value)

การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีอยู่ 3 แบบ คือ Net Heat of Combustion, Gross Heat of Combustion และ Dry Heating Value (สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์, 2555)

2.8.1. Net Heat of Combustion หรือ Lower Heating Value (LHV) คือ ชีวมวลที่หนัก 1 กิโลกรัม นำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ต่อ กิโลกรัม ภายใต้ความดันคงที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และน้ำยังคงอยู่ในสภาพไอ ค่าความร้อนแฝงของน้ำจึงเป็นความร้อนจริงจากระบบเผาไหม้ในขณะนั้น เพราะไอน้ำที่ได้จากระบวนการเผาไหม้จริงเกิดการระเหย (ความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอ คือ ปริมาณความร้อนหนึ่งหน่วยเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ โดยที่อุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีค่าเท่ากับ 540 cal/g หรือ 2,256 kJ/kg) สามารถคำนวณดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\text{LHV} = \text{HHV} - m_w h_{fg} \quad (\text{สมการที่ 2.2})$$

โดย m_w = ปริมาณน้ำในรูปของไอ

h_{fg} = ค่าความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของน้ำกลายเป็นไอ

2.8.2. Gross Heat of Combustion หรือ Higher Heating Value (HHV) คือการนำชีวมวลที่หนัก 1 กิโลกรัม มากำจัดน้ำหรือความชื้นออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนสูง (HHV) ต่อ กิโลกรัม ภายใต้ความดันคงที่ อุณหภูมิ 25 องศา และทำให้น้ำที่ระเหยแล้วกลั่นตัวเป็นหยดโดยการคายความร้อนออกมา ค่าความร้อนที่ได้จะรวมค่าความร้อนแฝงของน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาสันดาปของเชื้อเพลิง ซึ่งค่าความร้อนสูงมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังแสดงในสมการที่ 2.3 และ 2.4

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 5.72(9H + M) \quad \text{kcal/kg} \quad (\text{สมการที่ 2.3})$$

$$\text{หรือ} \quad \text{HHV} = \text{LHV} + 23.95(9H + M) \quad \text{kJ/kg} \quad (\text{สมการที่ 2.4})$$

โดย HHV = Higher Heating Value

LHV = Lower Heating Value

H = ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล

M = ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล

2.8.3. Dry Heating Value คือ การนำชีวมวลจำนวนหนึ่งมากำจัดน้ำออกให้หมดหรือลดความชื้นลงจากเดิม แล้วแบ่งมา 1 กิโลกรัม เพื่อนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนแห้งต่อกิโลกรัม มีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูงดังแสดงในสมการที่ 2.5

$$\text{Dry Heating Value} = \text{HHV} / (1 - M/100) \quad (\text{สมการที่ 2.5})$$

โดย HHV = Higher Heating Value

M = ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล

2.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิง

ชีวมวลประกอบด้วยธาตุๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเชื้อเพลิงชีวมวลทำได้หลักๆ 2 แบบ คือ การวิเคราะห์อย่างละเอียด (Ultimate Analysis) โดยวิเคราะห์หาธาตุหลัก เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เป็นต้น หรืออาจวิเคราะห์อย่างง่าย (Proximate Analysis) ประกอบไปด้วยการหาค่าความชื้น สารระเหยง่าย (Volatile matter) คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และเถ้า (กัญจนา บุญเกียรติ และคณะ, 2525 และ Garcia *et al.*, 2014) โดยเผาเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่หายไปคือค่าความชื้น จากนั้นนำมาเผาในภาชนะปิดที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่ลดลงคือ สารระเหยง่าย เชื้อเพลิงส่วนที่เหลือถูกนำมาเผาต่อที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ในสภาพเปิด ส่วนที่ถูกเผาไหม้คือ คาร์บอนคงตัว และส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่หมด คือ เถ้า

2.10 วิธีการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพสามารถวิเคราะห์ได้ 2 วิธี คือ วิเคราะห์จากการคำนวณจากสมการต่างๆ ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และองค์ประกอบทางกายภาพของค่าความชื้น สารระเหยง่าย คาร์บอนคงตัว และปริมาณขี้เถ้า ดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยในการคำนวณหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้ทั้งสมการ Ultimate Analysis และ Proximate Analysis ส่วนการวิเคราะห์แบบที่ 2 คือ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้ปริมาณความร้อนถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิง เนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ ในการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวก ไฮโดรคาร์บอนเมื่อเกิดการสันดาปเกิดขึ้นภายในบรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่ ผลที่เกิดขึ้นจากการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ที่อยู่ในรูปของไอน้ำ หากไอน้ำนั้นสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนสูงสุด (HHV) แต่ถ้าไอน้ำที่ได้ไม่เกิดการกลั่นตัว ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ (LHV) โดยทั่วไปในการหาค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงจะใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ โดยการนำเอาเชื้อเพลิงที่จะทำการทดสอบไปตัดให้มีขนาดที่เล็กลงประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแล้วนำมาเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ ภายใต้ความดันภายใน เครื่อง Bomb Calorimeter ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะถูกถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นรอบตัวเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งอุณหภูมิของน้ำนั้นสามารถวัดได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มีอยู่ภายในเครื่อง และปริมาณความร้อนสามารถคำนวณหาได้ดังแสดงในสมการที่ 2.6 (ชัชวรินทร์ สักดีกำปิง, 2552)

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (\text{สมการที่ 2.6})$$

โดย

- Q คือ ปริมาณความร้อน (kJ/kg)
- m คือ มวลของน้ำในแคลอริมิเตอร์ (kg)
- c คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg°C)
- ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (°C)

ตารางที่ 2.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อน

Equation	Unit	Based on	Reference
$HHV = 0.4373C - 1.6701$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Tillman, 1978
$HHV = 0.093 + 0.398C$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Jenkins and Ebeling, 1985
$HHV = -0.049 + 0.332C$ $+ 0.851H - 0.036O$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Jenkins and Ebeling, 1985
$HHV = -0.763 + 0.301C$ $+ 0.525H + 0.064O$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Jenkins and Ebeling, 1985
$HHV = 0.352C + 0.944H$ $+ 0.105(S - O)$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Beckman <i>et al.</i> , 1990
$HHV = 0.3856(C + H) - 1.6938$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Demirbas, 2004
$HHV = 0.3259C + 3.4597$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Sheng and Azevedo, 2005
$HHV = 0.2949C + 0.8250H$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Yin, 2011
$HHV = -3.147 + 0.468C$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Callejon-Ferre <i>et al.</i> , 2011
$HHV = -3.440 + 0.517(C + N)$ $- 0.433(H + N)$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Callejon-Ferre <i>et al.</i> , 2011
$HHV = 0.00355C^2 - 0.232C$ $- 2.230H + 0.0512(C \times H)$ $+ 0.131N + 20.600$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Friedl <i>et al.</i> , 2005
$HHV = 8080C + 34.46H - 4.38O$ $- 2250S$	kcal/kg	Ultimate Analysis	Dulong อ้างอิงใน Roberto <i>et al.</i> , 2014

ตารางที่ 2.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อน (ต่อ)

Equation	Unit	Based on	Reference
$HHV = 0.3516C + 1.1625H + 0.1109O + 0.0628N + 0.10465S$	kJ/kg	Ultimate Analysis	Boie อ้างอิงใน Roberto <i>et al.</i> , 2014
$HHV = (0.0152H + 0.9875 \times [C/3 + H - O - S/8])$	kJ/kg	Ultimate Analysis	Grummel & Davis อ้างอิงใน Roberto <i>et al.</i> , 2014
$HHV = 0.336 C + 1.418H - 0.145O + 0.0941S$	kJ/kg	Ultimate Analysis	Mott and Spooner อ้างอิงใน Roberto <i>et al.</i> , 2014
$HHV = 0.416638C - 0.570017H + 0.259031O + 0.598955N - 5.829078$	MJ/kg	Ultimate Analysis	Kathiravale <i>et al.</i> , 2003
$HHV = 19.914 - 0.2324A$	MJ/kg	Proximate Analysis	Sheng and Azevedo, 2005
$HHV = -3.0368 + 0.2218VM + 0.2601FC$	MJ/kg	Proximate Analysis	Sheng and Azevedo, 2005
$HHV = 0.3536FC + 0.1559VM - 0.0078A$	MJ/kg	Proximate Analysis	Parikh <i>et al.</i> , 2005
$HHV = 20.086 - 0.261A$	MJ/kg	Proximate Analysis	Callejón-Ferre <i>et al.</i> , 2011
$HHV = 0.312FC + 0.1534VM$	MJ/kg	Proximate Analysis	Demirbas, 2004
$HHV = 0.25983(VM + FC) - 2.45476$	MJ/kg	Proximate Analysis	Thipkhunthod <i>et al.</i> , 2005
$HHV = 20.179 - 0.365A$	MJ/kg	Proximate Analysis	Jenkins and Ebeling, 1985
$HHV = 0.196 (FC) + 14.119$	MJ/kg	Proximate Analysis	Demirbas, 1997
$HHV = 18.96016 - 0.22527[Ash]$	MJ/kg	Proximate Analysis	Huang <i>et al.</i> , 2009

2.11 โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กมาก

โรงไฟฟ้าผู้ผลิตรายเล็กมาก (Very Small Power หรือ VSPP) ได้เริ่มให้มีการก่อตั้งเกิดขึ้นในประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ.2545 กลุ่มเป้าหมายเริ่มต้นคือผู้ที่มีเชื้อเพลิงหมุนเวียนอยู่แล้วในกระบวนการต่างๆ ที่ได้จากเศษวัสดุจากการเกษตร หรืออุตสาหกรรมแปรรูปต่างๆ จากผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งปริมาณพลังไฟฟ้าที่จะขายเข้าระบบการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ไม่เกิน 1 MW ต่อมา พ.ศ. 2549 ได้ขยายกำลังที่จะขายเข้ากับระบบเพิ่มจากเดิมเป็น 10 MW และให้รวมไปถึงกลุ่ม Cogeneration ด้วย ซึ่งโรงไฟฟ้ากลุ่ม VSPP ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. VSPP กลุ่มเชื้อเพลิงหมุนเวียน หากมีการใช้เชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ ต้องใช้ไม่เกิน 25% แต่หากเกินจะถือว่าเป็น VSPP Cogeneration

2. VSPP กลุ่ม Cogeneration ต้องผลิตพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีสัดส่วนการประหยัดเชื้อเพลิง (Primary Energy Saving หรือ PES) ไม่น้อยกว่า 10% (จิระ อาชายุทธการ และ พงษ์ศักดิ์ มฤคพิต, 2550)

สำหรับตัวอย่างต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กที่ใช้เชื้อเพลิงชีวภาพหลักใกล้เคียงกับคราถาญี คือ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก บริษัท มุ่งเจริญกรีนเพาเวอร์ จำกัด เป็นโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีโรงสีข้าวมุ่งเจริญพรเป็นแหล่งเชื้อเพลิงหลัก ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีกำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 8.8 MW เชื้อเพลิงหลักที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงแกลบจากโรงสีข้าวมุ่งเจริญพร และ โรงสีข้าวใกล้เคียงซึ่งค่าความร้อนของแกลบ 16.29 MJ/kg โดยโรงไฟฟ้าต้องการใช้แกลบประมาณ 85,000 ตัน/ปี หรือประมาณ 270 ตัน/วัน (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2548)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เชื้อเพลิงชีวมวลมีหลายชนิดซึ่งชีวมวลจากป่าหรือเศษเหลือใช้ทางการเกษตรมีงานวิจัยที่มุ่งเน้นพืชโตเร็วเพื่อนำมาเป็นชีวมวลเพื่อการผลิตพลังงาน ทิศทางวิจัยมีแนวโน้มไปในทางการใช้เอ็นไซม์ย่อยเซลลูโลสหรือลิกนิน เพื่อแสวงหาชีวมวลแนวใหม่ต้องอาศัยการปรับเรื่องความคุ้มทุนในช่วงแรก (Simsons, 2008) การจัดหาชีวมวลจากพืชที่ปลูกบนดินต้องมีการคำนวณหาอัตราการนำออกเศษอย่างยั่งยืน (Kludze *et.al.*, 2013) เชื้อเพลิงชีวมวลที่เน้นไม้โตเร็วเป็นงานวิจัยด้านการ

เจริญเติบโตของกระถิน 5 สายพันธุ์ ด้านคุณภาพของเนื้อไม้ไม่มีความแตกต่างกันของพันธุ์ แต่สายพันธุ์ไม่มีผลต่อความหนาแน่นของเนื้อไม้ ค่าพลังงานความร้อน ปริมาณเถ้า ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของลำต้น ปริมาณออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ กากหรือเยื่อใยที่สกัดด้วยสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber , ADF) กากหรือเยื่อใยที่สกัดด้วยสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber , NDF) ลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และน้ำหนักรีดของลำต้นไม่แตกต่างกัน (กานต์รวี ศรีพวงผกาพันธุ์, 2554) จะเห็นได้ว่าพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ค่าความร้อนหรือองค์ประกอบของเชื้อเพลิง ซึ่งหากมองนอกกรอบในการเลือกพืชที่ไม่จำเป็นต้องเป็นไม้โตเร็ว แต่เป็นไม้ที่มีเศษเหลือใช้จากการใช้ประโยชน์มาศึกษาคุณสมบัติการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพแล้ว พบว่าการใช้พืชเป็นสวนในแนวตั้งเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการจัดหาเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากเศษต้นไม้มที่เกิดจากการตัดตกแต่งเกิดเป็นขยะ จึงควรนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งพืชที่ใช้เป็นสวนในแนวตั้งมีบำรุงรักษาด้านพืชน้อย แต่หากขยายพื้นที่การปลูกก็จะช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตของต้นพืชที่โตช้า ปัจจุบันพื้นที่สีเขียวที่เป็นสวนในแนวตั้ง (Vertical Green, Green Wall, Living Wall, Vertical Forest, Bio-facade, Biolung) เป็นที่นิยมในชุมชนเมือง เนื่องจากต้องการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กันเมืองและการหาพืชที่ต้องการการบำรุงรักษาน้อย ปลูกโดยไม่ใช้ดิน กรองอากาศให้บริสุทธิ์ได้มากขึ้น ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทำให้อาคารด้านในเย็นขึ้น ช่วยประหยัดพลังงานกำลังเป็นที่ต้องการ (พาสินี สุนากร และคณะ, 2555) จึงน่าจะเป็นคำตอบที่ดีสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ค่าความร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่สุดเกี่ยวกับการประเมินผลของการผลิตพลังงานจากการเผาไหม้ชีวมวล (Nhuchhen *et al.*, 2012) ซึ่งในการหาค่าความร้อนสามารถทำได้โดยการคำนวณและการทดสอบด้วยเครื่อง Bomb calorimeter แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์โดยการใช้ Bomb Calorimeter ก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการวิเคราะห์เกี่ยวกับการหาค่าความร้อนของชีวมวลที่มีความแม่นยำกว่าการทำนาย (Sheng *et al.*, 2005) การวิเคราะห์โดยการคำนวณสามารถทำได้ 2 แบบคือ Ultimate Analysis และ Proximate Analysis ซึ่งเป็นการคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของเชื้อเพลิง

Ultimate Analysis เป็นการนำค่าความร้อนโดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ โดยจะใช้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบทางเคมี (คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์) ของชีวมวล ดังแสดงในสมการตารางที่ 2.2 ในขณะที่ Proximate analysis เป็นการนำค่าความร้อนโดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ โดยกำหนดเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของความชื้น (wt.%) สารระเหยง่าย (VM) คาร์บอนคงที่ (FC) และ เถ้าของชีวมวล ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (Yin, 2011) การคำนวณการวิเคราะห์ค่าความร้อน ทั้งวิธี Ultimate Analysis และ Proximate Analysis ของตัวอย่าง 16 ตัวอย่างที่ได้จากแหล่งที่มาที่แตกต่างกันในตุรกี โดยใช้สมการของ Demirbas, 1997 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.99 ค่าความร้อนที่คำนวณได้จากสมการนี้มีความแตกต่างของเฉลี่ยร้อยละ 2.2 (Demirbas, 1997) อีกทั้งวิธีการทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงด้วย Bomb Calorimeter และการคำนวณหาค่าความร้อนด้วยสมการ โดยสมการที่นำมาใช้ คือ สมการ Dulong สมการ Boie สมการ Grummel & Davis และสมการ Mott & Spooner พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าตามเอกสารอ้างอิง หรือค่าที่คำนวณในสูตรจะต้องมีการปรับค่าความชื้นให้มีค่าเท่ากันจึงจะเปรียบเทียบกันได้ และผลจากการเปรียบเทียบโดยการใช้สูตรพบว่าสมการของ Dulong ดีที่สุดซึ่งให้ค่าความแตกต่างเฉลี่ยร้อยละ 6.49 ส่วนสมการของ Mott & Spooner มีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างมากที่สุดร้อยละ 14.60 (อสมมา ประเสริฐสุข, 2554) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการหาค่าความร้อนโดยการคำนวณอาจมีของผิดพลาดมากกว่าการทดสอบโดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter

ในการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลมีการศึกษาคุณสมบัติหลายชนิด เช่น คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของแกลบมี ปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ ปริมาณคาร์บอนคงตัวที่ ปริมาณเถ้า ค่าความชื้น ร้อยละ 57.3, 15.6, 17.1 และ 10.0 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุแสดงให้เห็นว่าแกลบมีค่า C, H, O, N และ S ร้อยละ 40.6, 5.4, 36.5, 0.33 และ 0.05 ตามลำดับ และแกลบมีค่าความร้อน 14.36 MJ/kg (สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2554) อีกทั้งมีการศึกษาชีวมวลจากข้าวฟ่างหวานมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า พบว่ามีค่าความร้อน 16.99 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 54 ข้าวฟ่างหวานจึงถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงที่น่าลงทุน แต่การปลูกยังไม่เป็นที่นิยม (วาริณี ผางจันทดา, 2553) จะเห็นได้ว่าข้าวฟ่างหวานมีค่าความร้อนที่มากกว่าเหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ แต่เมื่อนำมาใช้ประโยชน์จริงแกลบมีการนำมาใช้ประโยชน์มากกว่าเนื่องจากแกลบเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์และ

คุ้มค่ามากกว่าฟางข้าวหวานที่จะต้องปลูก อีกทั้งข้าวฟางหวานเป็นพืชที่ใช้เป็นวัสดุคืบในการผลิตเอทานอลจึงไม่นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

ในการศึกษาค่าพลังงานความร้อนเพื่อผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลมีการศึกษาจากเชื้อเพลิงหลากหลายชนิด เช่น ลำต้นสับค้ำ ชีวมวลจากวัสดุท้องถิ่นที่เหลือใช้ ตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้น และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรกรรม เป็นต้น จากการศึกษาลำต้นสับค้ำพบว่า ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของสับค้ำ คือ หากมีส่วนผสมของลำต้นสับค้ำมากขึ้นค่าความร้อนที่ได้จะสูงขึ้น โดยค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงมีค่าระหว่าง 11.54 - 15.36 MJ/kg (เกรียงไกร วงศาโรจน์, 2553) สำหรับชีวมวลจากวัสดุท้องถิ่นที่เหลือใช้สามารถจัดแบ่งกลุ่มช่วงพลังงานความร้อนที่ใกล้เคียงกันได้ 3 กลุ่ม คือ พลังงานความร้อนมากกว่า 20.00 MJ/kg (ถ่านจากซังข้าวโพด ขี้เลื่อย เปลือกมังกุด กะลามะพร้าว เมล็ดทุเรียน เปลือกทุเรียน และเปลือกถั่วลิสง) พลังงานความร้อนระหว่าง 17.00 - 20.00 MJ/kg (ถ่านจากเมล็ดขนุน ษานอ้อย เปลือกข้าวโพด กากกาแฟ ใบตองแห้ง) และพลังงานความร้อนน้อยกว่า 17.00 MJ/kg (ถ่านจากหญ้าคาแห้ง ฟางข้าว ใบต้นเสี้ยว กาบมะพร้าว แกลบ) (ลลนา บุญญารักษ์, 2553) ในส่วนของตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้น พบว่ามีปริมาณคาร์บอนคงตัวซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้พลังงานร้อยละ 13.33 และ ค่าความร้อน 13.86 MJ/kg (วลัยรัตน์ อุดตมะปรากรม และธราพงษ์ วิทิตสานนท์, 2554) และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรกรรมประเภทต้นถั่วเหลือง โดยการผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นถั่วเหลือง พบว่า มีความชื้น 8.67% ปริมาณเถ้า 10.7% ปริมาณสารระเหย 23.83% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 56.8% และค่าความร้อนมีค่า 14.21 MJ/kg (เจษฎานันท์ เวียงนนท์, 2549) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความร้อนจากไม้ฟืน พบว่าเศษวัสดุดังกล่าวมีค่าความร้อนสูงกว่า ทำให้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (วานิช โสพาสพ และคณะ, 2550)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือการหาค่าความร้อน การหาองค์ประกอบทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการศึกษาการเจริญเติบโตของเคราฤาษี โดยการทดลองที่ 3.1 ถึง 3.3 ได้นำตัวอย่างเคราฤาษีที่ปลูกไว้ 1 ปี ที่เขว่นทั้ง 4 ทิศของตึกคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมและไม่ขึ้นกับการทดลองที่ 3.4 มาทำการสุ่มเพื่อเป็นตัวอย่างต่อไป

3.1 การหาค่าความร้อนของเคราฤาษีด้วยวิธี Calorific Method

เครื่อง Bomb Calorimeter แบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ จากการวัดความร้อนจากปฏิกิริยาเคมีคือแบบ Isothermal และ แบบ Adiabatic โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบ Isothermal

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) Bomb calorimeter (IKA Calorimeter System C5000, Germany)
- 2) ถังออกซิเจน
- 3) Pellet press
- 4) Combustion capsules
- 5) Oxygen Bomb
- 6) Bomb heat stand
- 7) Oxygen filling connection
- 8) ลวดเส้นเล็ก (fuse)

3.1.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างจากเคราฤาษีโดยชั่งให้น้ำหนักประมาณ 1 กรัม จากนั้นอัดให้เป็น pellet โดยใช้เครื่อง pellet press นำตัวอย่างเคราฤาษีบรรจุในลูกบอมบ่วงใน bomb head และทำการแก้ไข fuse correction เมื่อเตรียมตัวอย่างในเครื่องเรียบร้อยแล้วส่งให้เครื่องทำงาน เครื่อง Bomb Calorimeter จะคำนวณค่าพลังงานความร้อนออกมา การคำนวณค่าพลังงานความร้อนจะคำนวณจากสมการที่ 3.1

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

โดย

Q = ปริมาณความร้อน (kJ)

m = มวลของน้ำในแคลอรีมิเตอร์ (kg)

c = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg°C)

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (°C)

3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงเพลิงทางกายภาพของเคราฤาษีด้วยวิธี Gravimetric Method

การวิเคราะห์แบบง่าย ๆ (Proximate Analysis) เพราะการศึกษาคุณสมบัติเชิงเพลิงทางกายภาพของของเคราฤาษี โดยได้ทำการวิเคราะห์หาค่า ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว ตามวิธีมาตรฐาน ASTM มีวิธีการทดสอบดังนี้

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) Drying Oven
- 2) Crucible
- 3) เครื่องชั่งดิจิทัล
- 4) Electric muffle furnace
- 5) Desiccator

3.2.2 วิธีการทดลอง

1) การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content) ยึดหลักวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 โดยนำคราถาที่มีภาวิเคราะห์ให้ความร้อนคงที่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้น้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าปริมาณความชื้นสามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลงเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น จากสมการที่ 3.2

$$M = (W_0 - W_1) / (W_0 \times 100) \quad (\text{สมการที่ 3.2})$$

โดย

M = Moisture Content (%)

W_0 = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (kg)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (kg)

2) การหาปริมาณเถ้า (Ash Content) ยึดหลักวิธีมาตรฐาน ASTM D3174 โดยนำคราถาเข้าไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 700 ถึง 750 องศาเซลเซียสภายในเวลา 2 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ของถ้วยทนไฟและน้ำหนักของเถ้าที่เหลือ แล้วจึงชั่งน้ำหนัก โดยคำนวณจากสมการที่ 3.3

$$A = (W_1 / W_0) \times 100 \quad (\text{สมการที่ 3.3})$$

โดย

A = Ash Content (%)

W_0 = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนเผา (kg)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังเผา (kg)

3) การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ยึดหลักวิธีมาตรฐาน SATM D3175 โดยนำ เคราถ่านที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ในเวลา 7 นาที แล้วคำนวณหาปริมาณสารระเหยจากการ สูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง โดยคำนวณจากสมการที่ 3.4

$$VM = [(W_0 - W_1) / (W_0 \times 100)] - M \quad (\text{สมการที่ 3.4})$$

โดย

VM = Volatile Matter (%)

M = Moisture Content (%)

W_0 = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนเผา (kg)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังเผา (kg)

4) การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ยึดหลักวิธีมาตรฐาน ASTM D3172 ทำ การคำนวณปริมาณคาร์บอนคงตัวจากการคำนวณจากสมการที่ 3.5

$$FC = 100 - (M + A + VM) \quad (\text{สมการที่ 3.5})$$

โดย

FC = Fixed Carbon (%)

M = Moisture Content (%)

A = Ash Content (%)

VM = Volatile Matter (%)

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิงทางเคมีของคราตาชิด้วยวิธี Dynamic Flash Combustion

เป็นการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงทางเคมี (Ultimate Analysis) เพื่อใช้ในการหาค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ จะวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) โดยใช้เครื่อง CHNS/O Analyzer รุ่น Flash EA 1112

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) tin capsule
- 2) เครื่องชั่งดิจิทัล
- 3) Furnace
- 4) Reactor

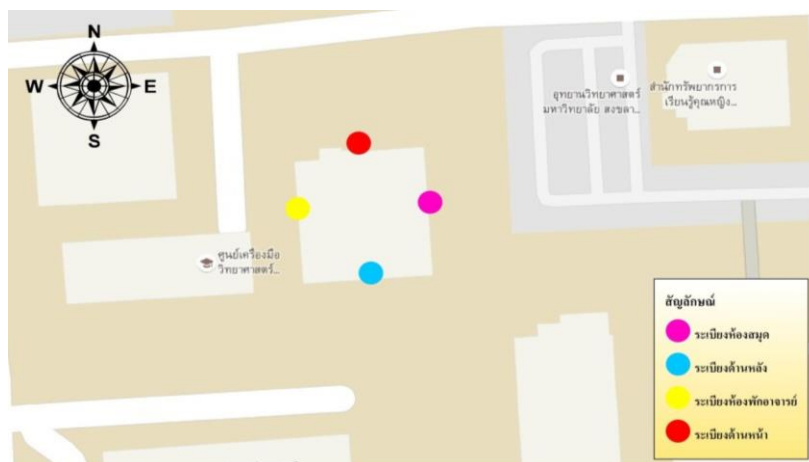
3.2.2 วิธีการทดลอง

เผาตัวอย่างในเตาเผาที่บรรจุอยู่ในเครื่องด้วยอุณหภูมิสูงภายใต้บรรยากาศออกซิเจน ตัวอย่างจะถูกออกซิไดซ์และรีดักชันเป็นก๊าซผสมของ N_2 , CO_2 , H_2O และ SO_2 จากนั้นใช้ปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนให้เป็นก๊าซบริสุทธิ์และวัดปริมาณด้วยตัวตรวจวัดชนิด Thermal Conductivity Detector ประมวลผลการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ในคราวเดียวกัน ส่วนออกซิเจนวิเคราะห์แยกแต่ด้วยหลักการเดียวกัน ซึ่งปริมาณตัวอย่าง 0.1 มิลลิกรัม ถึง 100 มิลลิกรัม

3.4 การศึกษาการเจริญเติบโตของคราตาชิ

3.4.1 พื้นที่การทดลอง

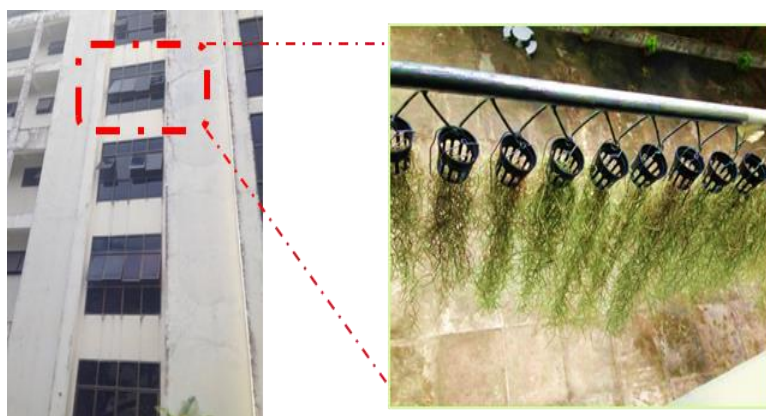
ระเบียบของคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ชั้น 4 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นพื้นที่ใช้ในการทดลองโดยประกอบด้วย ระเบียบด้านหน้า (ทิศเหนือ) ระเบียบด้านหลัง (ทิศใต้) ระเบียบห้องสมุด (ทิศตะวันออก) และระเบียบห้องพักอาจารย์ (ทิศตะวันตก) (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 พื้นที่การทดลอง

3.4.2 วิธีการทดลอง

คราถาษีที่ได้จากการสังเคราะห์นำคัดเลือกต้นที่สมบูรณ์ น้ำหนักเริ่มต้นก่อนการทดลองอยู่ที่ 15 กรัม/ต้น เพื่อใช้ในการทดลอง ติดตั้งโครงเหล็กสำหรับแขวนคราถาษีที่ระเบียงอาคารชั้น 4 คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม หลังจากแขวนคราถาษีตามโครงเหล็กที่ติดตั้งไว้เป็นเวลา 1 ปี จากนั้น โดยชั่งน้ำหนักของคราถาษีต่อเดือน โดยออกแบบการทดลองเป็น 3 แบบใน 6 เดือนแรก คือ ไม่นิคน้ำ นิคน้ำ และนิกนุ่ย ทั้ง 4 ทิศของการทดลอง จากนั้นเลือกวิธีที่ดีที่สุดทดลองต่ออีก 6 เดือน ซึ่งการให้ปัจจัยการเจริญเติบโตของคราถาษีจะนิคสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในช่วงเวลาเย็น 18.00 - 19.00 น. เนื่องจากคราถาษีเป็นพืช CAM จะเปิดปากใบเฉพาะในเวลากลางคืนและปิดปากใบในเวลากลางวันเพื่อลดการคายน้ำ



รูปที่ 3.2 คราถาษีที่เลี้ยงระเบียงด้านหน้า (ทิศเหนือ) ชั้น 4

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบค่าความร้อนของคราถาญีกับเชื้อเพลิงชีวภาพอื่นๆ ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพทั่วไปในปัจจุบัน เพื่ออธิบายค่าความร้อนสำหรับคราถาญีเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ และคำนวณปริมาณที่เหมาะสมของเศษคราถาญีสำหรับใช้คราถาญีเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยใช้ตัวอย่างเชื้อเพลิงแกลบจากสมการที่ 3.6

$$\text{เศษคราถาญี} = \frac{\text{ค่าความร้อนของแกลบ (MJ/kg)} \times \text{จำนวนแกลบที่ใช้ (kg/day)} \text{ (สมการที่ 3.6)}}{\text{ค่าความร้อนของคราถาญี (MJ/kg)}}$$

ผลการเจริญเติบโตของคราถาญีที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณเศษคราถาญีจากการตัดแต่งหลังการใส่ประโยชน์ โดยใช้ค่าเฉลี่ยวิเคราะห์

บทที่ 4

ผลและอภิปราย

การศึกษานี้ได้ศึกษาค่าความร้อนสำหรับเคราถาญีเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยผลการศึกษแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือผลค่าความร้อน ผลองค์ประกอบทางกายภาพ ผลประกอบทางเคมี และผลการศึกษการเจริญเติบโตของเคราถาญี จากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1 ผลองค์ประกอบของเคราถาญีด้วยวิธีการทดลอง

เคราถาญีที่ทำมาทดสอบเป็นเคราถาญีที่เลี้ยงในการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างเคราถาญีแบบสุ่มจากทั้ง 4 ทิศการทดลอง ผลการทดลองหาค่าความร้อนของเคราถาญีด้วยเทคนิค Calorific Method พบว่ามีค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 15.60 ± 0.72 MJ/kg ส่วนผลการทดลองหาค่าความชื้นของเคราถาญีด้วยเทคนิค Gravimetric Method พบว่ามีค่าความชื้นของตัวอย่างเฉลี่ยร้อยละ 46.40 ± 2.10 โดยค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลไม่ควรเกินร้อยละ 50 (Danish International Development Assistance, 2003) และผลการทดลองหาค่าเถ้าของเคราถาญีโดยวิธีมาตรฐาน ASTM D3174 พบว่ามีค่าเถ้าของตัวอย่างเฉลี่ยร้อยละ 8.84 ± 0.52 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าค่าความร้อน ค่าความชื้น และเถ้า มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งหากในเชื้อเพลิงมีค่าความชื้นสูงค่าความร้อนจะต่ำ เนื่องจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงมีมากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะต่ำ และจะมีค่าปริมาณของเถ้าสูงด้วยเนื่องจากเกิดการเผาไหม้ได้น้อย เช่นตัวอย่างที่ 3 คือ มีค่าความร้อน 14.69 ± 0.72 MJ/kg ค่าความชื้น $49.23 \pm 2.10\%$ และค่าเถ้า $9.48 \pm 0.52\%$ โดยสัดส่วนเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวลไม่ควรเกินร้อยละ 10 (Danish International Development Assistance, 2003) ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงเคราถาญีค่อนข้างสูง แต่หากเปรียบเทียบค่าความชื้นของเคราถาญีกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นพืชชนิดอื่นเคราถาญีจะมีค่าน้อยกว่า เช่น เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ผักตบชวา ก้านปาล์มน้ำมัน และชานอ้อย

ตารางที่ 4.1 แสดงความร้อน ความชื้นและเถ้าของคราถาญีจากการทดลอง

ตัวอย่าง คราถาญี	Higher heating value (HHV) (MJ/kg)	Moisture Content (M) (%.WT)	Ash Content (A) (%.WT)
1	14.64	48.97	9.43
2	14.73	48.64	9.37
3	14.69	49.23	9.48
4	16.23	44.52	8.34
5	16.34	43.86	8.12
6	16.30	44.14	8.25
7	15.96	45.84	8.82
8	15.91	45.95	8.87
9	15.59	46.42	8.90
ค่าเฉลี่ย (mean)	15.60	46.40	8.84
SD	0.72	2.10	0.52

จากผลการทดสอบค่าความร้อนของตัวอย่างคราถาญีมีค่าใกล้เคียงกับแกลบ ชานอ้อย ไม้ยางพารา และมีค่าสูงกว่าฟางข้าวซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ส่วนค่าความชื้นของคราถาญีมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวภาพจำพวกเศษไม้ และมีค่าความชื้นน้อยกว่าของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย ทะลายปาล์ม เป็นต้น หากชีวมวลใดมีค่าความชื้นน้อยมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพเนื่องจากสามารถเกิดการเผาไหม้ได้ดีกว่า ดังแสดงในตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ค่าความร้อนของคราถาญีมีค่าความร้อนใกล้เคียงและสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้อยู่ในปัจจุบันบางชนิด เช่น แกลบข้าว ฟางข้าว คราถาญีมีค่าความที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้ แต่การเจริญเติบโตของคราถาญีเป็นพืชที่โตช้า คราถาญีจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักควรนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาพร้อมกับเชื้อเพลิงอื่นๆ จะเห็นได้ว่าข้าวฟ่างหวานมีค่าความร้อนที่สูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ในปัจจุบันเช่นกัน แต่ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากข้าวฟ่างหวานนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเอทานอลมากกว่าที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตารางที่ 4.2 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลในปัจจุบันกับเชื้อเพลิงคราถายี่

ประเภทเชื้อเพลิง	Heat (MJ/kg)	Reference
กะลาปาล์มน้ำมัน	18.46	
ลำต้นมันสำปะหลัง	18.42	
เหง้ามันสำปะหลัง	18.42	
ซังข้าวโพด	18.04	
ลำต้นข้าวโพด	18.04	
ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	17.86	
ใยลูกปาล์มน้ำมัน	17.62	
ยอดและใบอ้อย	17.39	
ข้าวฟ่างหวาน	16.99	วาริณี ผางจันทดา, 2553
ผักตบชวา	16.00	คู่มือสารชีวมวลเอเชีย, 2005
คราถายี่	15.60	
ลำต้นสับดูดำ	11.54-15.36	เกรียงไกร วงศาโรจน์, 2553
ชานอ้อย	14.40	
ต้นถั่วเหลือง	14.21	เจษฎานันท์ เวียงนนท์ และคณะ, 2549
แกลบข้าว	14.36	สุนันทศักดิ์ ระวิวงศ์, 2554
เปลือกถั่วเหลือง	12.56	
ฟางข้าว	12.33	
สาหร่ายเคลป์ยักษ์สีน้ำตาล	10.01	คู่มือสารชีวมวลเอเชีย, 2005
ก้านต้นปาล์มน้ำมัน	9.83	
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	6.81	

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554

4.2 คุณสมบัติเชื้อเพลิงทางกายภาพของแคราถ่าน

จากการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงทางกายภาพของแคราถ่านด้วยวิธี Gravimetric Method พบว่าแคราถ่านมีค่าคาร์บอนคงตัว (Volatile Matter) ร้อยละ 8.07 สารระเหยง่าย (Volatile Matter) ร้อยละ 81.14 ความชื้น (Moisture Content) 46.40 และเถ้า (Ash Content) 8.84 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าแคราถ่านเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถลวกติดไฟได้ง่ายเนื่องจากมีค่าสารระเหยง่ายสูง และค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงด้วยแคราถ่านเป็นพืชที่มีลักษณะเป็นฝอยขนาดเล็ก ส่งผลให้สามารถเกิดการลวกไหม้ได้ง่าย แต่แคราถ่านไม่สามารถลวกติดไฟได้นานเนื่องจากมีค่าคาร์บอนคงตัวต่ำ ซึ่งหากเปรียบเทียบแคราถ่านกับเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดอื่นแคราถ่านมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเห้งน้ำมันสำปะหลัง ยอดและใบอ้อย โดยเห้งน้ำมันสำปะหลังมีค่าคาร์บอนคงตัว สารระเหยง่าย ความชื้น และเถ้า ร้อยละ 13.00, 80.00, 46.60 และ 2.70 ตามลำดับ (พินิจ จิรคกุล, 2550) ส่วนยอดและใบอ้อยมีค่าคาร์บอนคงตัว สารระเหยง่าย ความชื้น และเถ้า ร้อยละ 8.60, 81.40, 56.70 และ 4.40 ตามลำดับ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) และจากตารางที่ 4.2 พบค่าความร้อน 16.00 MJ/kg ซึ่งมากกว่าค่าความร้อนของแคราถ่าน แต่ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากผักตบชวามีค่าความชื้น และปริมาณเถ้าสูง โดยผักตบชวามีค่าความชื้น และเถ้า ร้อยละ 77.30 และ 22.40 ตามลำดับ ซึ่งหากชีวมวลที่มีค่าความชื้น และเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้มากจะไม่เป็นที่นิยมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ (คู่มือสารชีวมวลเอเชีย, 2005) และแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงทางกายภาพสามารถประมาณค่าความร้อนที่จะเกิดขึ้นของเชื้อเพลิงได้ ซึ่งสามารถใช้การคำนวณจากวิธีวิเคราะห์แบบง่าย (Proximate Analysis)

ตารางที่ 4.3 ค่าองค์ประกอบทางกายภาพของแคราถ่านที่ได้จากการทดลอง

องค์ประกอบทางกายภาพ	แคราถ่าน (%.WT)
Fixed Carbon (FC)	8.07
Volatile Matter (VM)	81.14
Moisture Content (M)	46.40
Ash Content (A)	8.84

4.2.1 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของแคราฤาษีที่คำนวณจากวิธีวิเคราะห์แบบ Proximate

Analysis

เชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดประกอบด้วยคุณสมบัติต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งหากต้องการทราบค่าความร้อน โดยการคำนวณจากสมการจะหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการกับค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ การคำนวณจากวิธีวิเคราะห์แบบง่ายๆ สามารถใช้คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงในการวิเคราะห์ ได้แก่ การวิเคราะห์ ค่าความชื้น สารระเหยง่าย คาร์บอนคงตัว และเถ้า แต่ไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบอื่นๆ เช่น กำมะถัน ฟอสฟอรัส เป็นต้น ซึ่งแคราฤาษีประกอบด้วยค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนดังนี้ ค่าสารที่ระเหย คาร์บอนคงตัว เถ้า และความชื้น ร้อยละ 81.14, 8.07, 8.84, 46.40 ตามลำดับ สำหรับการคำนวณหาค่าความร้อนของแคราฤาษีด้วยสมการ Proximate Analysis (PA) ได้เลือกสมการทั้งหมด 11 สมการเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลอง โดยสมการที่เลือกดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมการที่ใช้ในการคำนวณจากวิธีวิเคราะห์แบบ Proximate Analysis

Equation	Unit	Biomass types	Reference
1) $HHV = 19.914 - 0.2324A$	MJ/kg	Wide range of biomass materials	Sheng and Azevedo, 2005
2) $HHV = -3.0368 + 0.2218VM + 0.2601FC$	MJ/kg		
3) $HHV = 0.3536FC + 0.1559VM - 0.0078A$	MJ/kg	Wide range of biomass materials	Parikh <i>et al.</i> , 2005
4) $HHV = 20.086 - 0.261A$	MJ/kg	Greenhouse crop residues	Callejón-Ferre <i>et al.</i> , 2011
5) $HHV = 0.312FC + 0.1534VM$	MJ/kg	Corn cobs, wheat straw	Demirbas, 2004
6) $HHV = 20.179 - 0.365A$	MJ/kg	Forest residues	Jenkins and Ebeling, 1985
7) $HHV = 0.3536FC + 0.1559VM - 0.0078A$	MJ/kg	Biomass-fibrous material	Demirbas, 2004

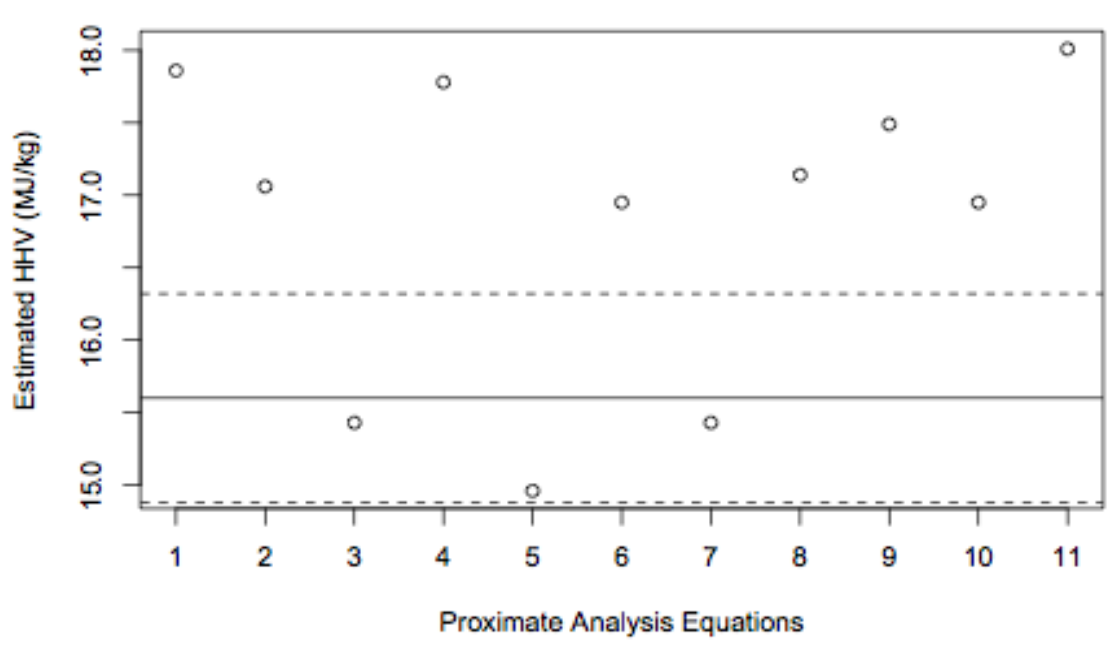
ตารางที่ 4.4 สมการที่ใช้ในการคำนวณจากวิธีวิเคราะห์แบบ Proximate Analysis (ต่อ)

Equation	Unit	Biomass types	Reference
8) $HHV = - 10.81408$ $+ 0.3133(VM + FC)$	MJ/kg	Wheat straw, other crops	Jiménez and González, 1991
9) $HHV = 0.1905(VM)$ $+ 0.2521(FC)$	MJ/kg	Wheat straw, rice husks, sugarcane bagasse, bamboo wood, others	Yin, 2011
10) $HHV = 19.2880$ $- 0.2135(VM/FC)$ $- 1.9584(A/VM)$ $+ 0.0234(FC/A)$	MJ/kg	Wide range of biomass materials	Nhuchhen and Salam, 2012
11) $HHV = 20.7999$ $- 0.3214(VM/FC)$ $+ 0.0051(VM/FC)^2$ $- 1.2277(A/VM)$ $+ 4.4953(A/VM)^2$ $- 0.7223(A/VM)^3$ $+ 0.0383(A/VM)^4$ $+ 0.0076(FC/A)$	MJ/kg	Wide range of biomass materials	Nhuchhen and Salam, 2012

ผลคำนวณค่าความร้อน (HHV) จากการคำนวณโดยใช้สมการ Proximate Analysis พบว่าแต่ละสมการให้ค่าความร้อนที่ต่างกันอย่างชัดเจนดังแสดงในตารางที่ 4.5 เนื่องจากในแต่ละสมการใช้คุณสมบัติในการคำนวณแตกต่างกัน ซึ่งสมการที่ค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของคราถ่านจากการคำนวณคือ สมการที่ 3, 5 และ 7 ของ Parikh et al. Demirbas และ Demirbas ตามลำดับ อยู่ในค่าใกล้เคียงกับค่าที่ความร้อนของคราถ่านจากการทดลองมากที่สุด (รูปที่ 4.1) การคำนวณค่าความร้อนด้วยสมการ Proximate Analysis แสดงให้เห็นว่าในการเลือกสมการในการคำนวณไม่ควรเลือกสมการที่ใช้ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติมากไปดังสมการที่ 11 และไม่ควรน้อยไปดังสมการที่ 1 อีก ทั้งควรเลือกสมการที่มีลักษณะ Biomass types ใกล้เคียงกับตัวอย่างชีวมวลที่จะใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 4.5 ค่าคำนวณที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Proximate Analysis

สมการที่	Estimated HHV (MJ/kg)
PA1	17.86
PA2	17.06
PA3	15.43
PA4	17.78
PA5	14.96
PA6	16.95
PA7	15.43
PA8	17.14
PA9	17.49
PA10	16.95
PA11	18.01



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลคำนวณเปรียบเทียบค่าความร้อนจากการคำนวณโดยใช้สมการ Proximate Analysis กับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองของเคราฤาณี

4.3 องค์ประกอบเชื้อเพลิงทางเคมีของเคราฤาณี

จากการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงทางเคมีของเคราฤาณีด้วยวิธี Dynamic Flash Combustion พบว่าเคราฤาณีมีค่าออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน ร้อยละ 50.68, 0.76, 42.86, 5.65 และ 0.05 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งค่าคุณสมบัติทางเคมีของเคราฤาณีอยู่ในช่วงค่าอ้างอิงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล และกำมะถันทำปฏิกิริยาสันดาปกับออกซิเจนจะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หากชีวมวลที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมากจะไม่เหมาะสมเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากจะเกิดมลสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ ซึ่งในเคราฤาณีมีค่ากำมะถันร้อยละ 0.05 ซึ่งมีค่าต่ำและส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมน้อยเหมาะที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ หากเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเคราฤาณีกับเชื้อเพลิงชีวมวลอื่น เช่น ผักตบชวา ซึ่งมีค่าความร้อนมากกว่าเคราฤาณี มีคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน ร้อยละ 28.84, 1.96, 41.10, 5.29 และ 0.41 ตามลำดับ เคราฤาณีมีค่าองค์ประกอบใกล้เคียงกับผักตบชวา แต่มีค่าออกซิเจนมากกว่าจึงเกิดการเผาไหม้ได้เร็วกว่า และใช้ระยะเวลาเผาไหม้น้อย แต่ในผักตบชวามีค่ากำมะถันมากกว่าเคราฤาณีจึงมีผลต่อการเกิดมลสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากกว่าเคราฤาณี

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงทางเคมีสามารถใช้คำนวณค่าความร้อนที่จะเกิดขึ้นของเชื้อเพลิงได้ โดยใช้การคำนวณจากวิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง (Ultimate Analysis)

ตารางที่ 4.6 ค่าองค์ประกอบทางเคมีของคราถาฐิ

องค์ประกอบทางเคมี	คราถาฐิ (%.WT)	ค่าอ้างอิงองค์ประกอบของเชื้อเพลิง (%.WT)
ออกซิเจน (O)	50.68	$0 \leq O \leq 50.00$
ไนโตรเจน (N)	0.76	$0 \leq N \leq 5.60$
คาร์บอน (C)	42.86	$0 \leq C \leq 92.25$
ไฮโดรเจน (H)	5.65	$0.43 \leq H \leq 25.15$
กำมะถัน (S)	0.05	$0 \leq S \leq 2$

4.3.1 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของคราถาฐิที่คำนวณจากวิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง

วิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง เป็นการวิเคราะห์อย่างละเอียดโดยใช้คุณสมบัติของเคมีภายในเชื้อเพลิง โดยใช้ค่าคุณสมบัติหลักทางเคมีของเชื้อเพลิงนั้นๆ หากความสัมพันธ์กับสมการเพื่อให้ได้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ซึ่งคราถาฐิประกอบด้วยค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนดังนี้ ค่าออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน ร้อยละ 50.68, 0.76, 42.86, 5.65 และ 0.05 ตามลำดับ สำหรับการคำนวณหาค่าความร้อนของคราถาฐิด้วยสมการ การวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงได้เลือกสมการทั้งหมด 11 สมการ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลอง โดยสมการที่เลือกดังตารางที่ 4.7

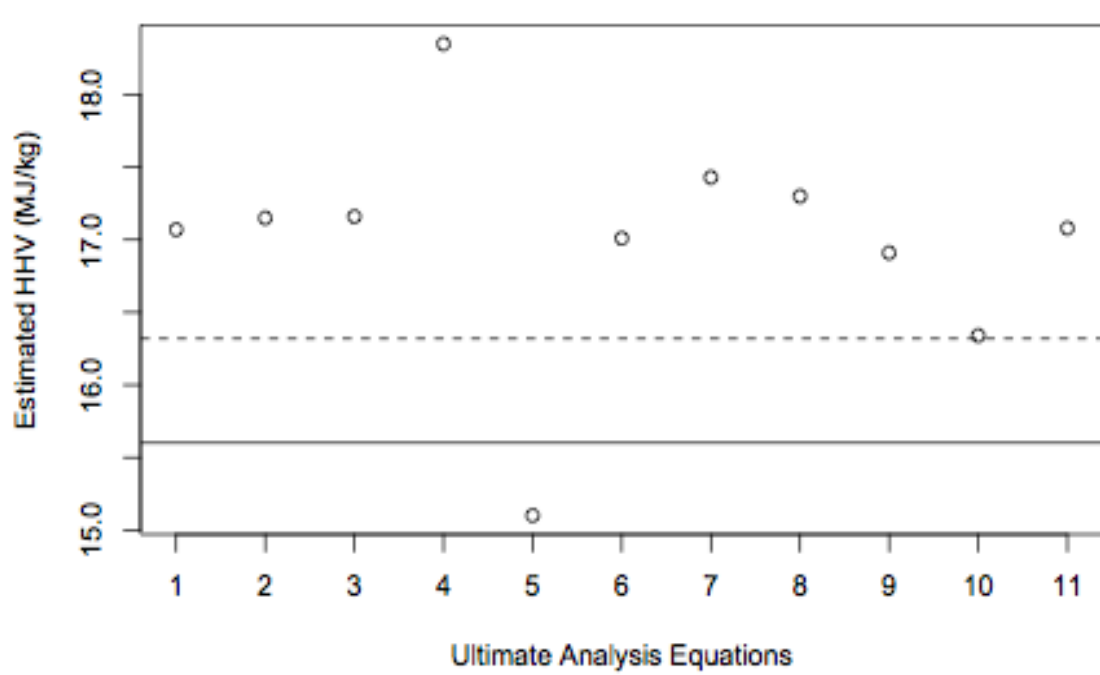
ตารางที่ 4.7 สมการที่ใช้ในการคำนวณจากวิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง

Equation	Unit	Biomass types	Reference
1) $HHV = 0.4373C - 1.6701$	MJ/kg	Whole range of biomass materials	Tillman, 1978
2) $HHV = 0.093 + 0.398C$	MJ/kg	Forest residues	Jenkins and Ebeling, 1985
3) $HHV = -0.049 + 0.332C + 0.851H - 0.036O$	MJ/kg	Forest residues	Jenkins and Ebeling, 1985
4) $HHV = -0.763 + 0.301C + 0.525H + 0.064O$	MJ/kg	All biomass	Jenkins and Ebeling, 1985
5) $HHV = 0.352C + 0.944H + 0.105(S - O)$	MJ/kg	Biomass-derived oils	Beckman <i>et al.</i> , 1990
6) $HHV = 0.3856(C + H) - 1.6938$	MJ/kg	Wheat straw, corn stover, sugarcane bagasse	Demirbas, 2004
7) $HHV = 0.3259C + 3.4597$	MJ/kg	Wide range of biomass materials	Sheng and Azevedo, 2005
8) $HHV = 0.2949C + 0.8250H$	MJ/kg	Wide range of biomass and biomass mix	Yin, 2011
9) $HHV = -3.147 + 0.468C$	MJ/kg	Greenhouse crop residues	Callejon-Ferre <i>et al.</i> , 2011
10) $HHV = -3.440 + 0.517(C + N) - 0.433(H + N)$	MJ/kg	Greenhouse crop residues	Callejon-Ferre <i>et al.</i> , 2011
11) $HHV = 0.00355C^2 - 0.232C - 2.230H + 0.0512(C \times H) + 0.131N + 20.600$	MJ/kg	Grass, other energy grass, other plant materials	Friedl <i>et al.</i> , 2005

ผลคำนวณค่าความร้อน (HHV) จากการประมาณโดยใช้สมการ Ultimate Analysis พบว่าค่าที่คำนวณจากสมการที่ 5 ของ Beckman *et al.* แสดงในตารางที่ 4.8 มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ความร้อนของเคราถาญี จากการทดลองมากที่สุด (รูปที่ 4.2) ซึ่งในการคำนวณค่าความร้อนแบบการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง เพื่อให้ได้ผลใกล้เคียงกับการทดลองควรเลือกสมการที่มีพารามิเตอร์ ออกซิเจน (O) และคาร์บอน (C) เป็นหลัก (García *et al.*, 2014) และค่าความร้อนที่ใกล้เคียงอีกสมการคือ สมการที่ 10 ของ Callejón-Ferre *et al.* ซึ่งมีค่าความร้อน 16.34 MJ/kg ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าคำนวณที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง

สมการที่	Estimated HHV (MJ/kg)
UA1	17.07
UA2	17.15
UA3	17.16
UA4	18.35
UA5	15.10
UA6	17.01
UA7	17.43
UA8	17.30
UA9	16.91
UA10	16.34
UA11	17.08



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลคำนวณเปรียบเทียบค่าความร้อนจากการคำนวณโดยใช้สมการการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง กับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองของเคราฤาษี

4.4 การเจริญเติบโตของเคราฤาษี

ในการวัดเจริญเติบโตของเคราฤาษี กำหนดให้มีการวัดน้ำหนักของเคราฤาษี เป็นระยะเวลา 1 ปี และปัจจัยต่อการเจริญเติบโตควบคุมการทดลอง ซึ่งใช้ระเบียบของคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ชั้น 4 เป็นพื้นที่ใช้ในการทดลอง ในศึกษาการเจริญเติบโตของเคราฤาษีเพื่อต้องการทราบเศษเคราฤาษีที่เกิดขึ้นหลังจากการใช้ประโยชน์

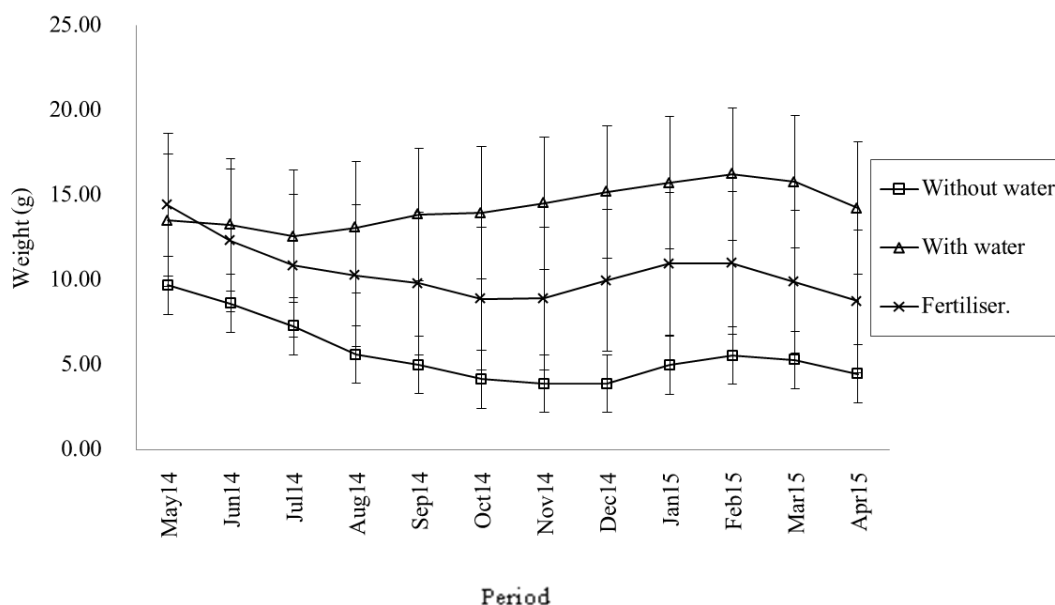
4.4.1 ผลน้ำหนักของเคราฤาษีทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

1) ผลน้ำหนักของเคราฤาษีทิศเหนือ

การเจริญเติบโตของเคราฤาษีระเบียบด้านหน้า (ทิศเหนือ) ในช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม เป็นช่วงฤดูร้อนฝนตกน้อย จากผลการทดลองการเจริญเติบโต ทั้งแบบไม่ฉีดน้ำ ฉีดน้ำ และฉีดปุ๋ย มีแนวโน้มไม่มีการเจริญเติบโต และน้ำหนักของเคราฤาษีลดลงจากเดิม อาจเป็นผลจากการปรับตัวในสภาพแวดล้อม อีกทั้งเมื่อเลี้ยงเคราฤาษีไว้ในช่วงก่อนทดลองในสภาพจริงเคราฤาษีมีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมน้ำหนักเริ่มตันจึงไม่เท่ากัน แต่ในเดือนสิงหาคมเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลง เคราฤาษีที่ทดลองด้วยการฉีดน้ำมีแนวโน้มเจริญเติบโตน้ำหนักเพิ่มขึ้น ส่วนการ

ทดลองแบบไม่ให้น้ำและให้น้ำไม่มีการเจริญเติบโต แสดงให้เห็นว่าน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของแครอท เมื่อเริ่มเดือนตุลาคมจึงปรับการทดลองใหม่เป็นให้ปัจจัยน้ำทั้งหมด และเป็นช่วงเริ่มเข้าฤดูฝน ซึ่งทางด้านทิศเหนือเป็นด้านที่สามารถรับน้ำฝนได้เนื่องจากเป็นระเบียงที่ฝนตกถึง ส่งผลให้แครอทมีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตทั้ง 3 แบบการทดลอง ซึ่งมีแนวโน้มน้ำหนักเจริญเติบโตดีขึ้นสูงสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ คือ ไม่ให้น้ำ ให้น้ำ และให้น้ำ 5.54 ± 1.87, 16.24 ± 4.14 และ 11.00 ± 5.46 กรัม/เดือน ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) แต่เมื่อเริ่มเดือนมีนาคมเป็นช่วงฤดูร้อน การให้ปัจจัยน้ำกับแครอทสัปดาห์ละ 1 ครั้งไม่เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้แครอทมีแนวโน้มน้ำหนักลดลงจากเดิม

Month	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
Rainfall (mm)	91.71	37.09	54.33	223.51	116.57	197.6	149.6	611.11	7.35	0	0	81.78
humidity (%)	82	80	77	80	83	87	88	89	81	75	72	77



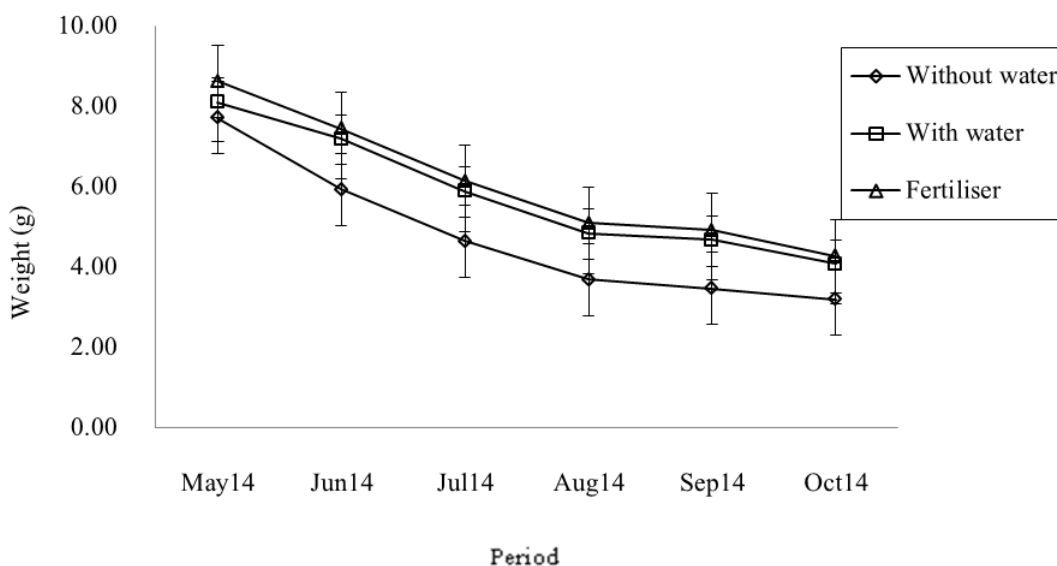
รูปที่ 4.3 น้ำหนักแครอททิศเหนือ

2) ผลน้ำหนักระเบียงทิศใต้

การเจริญเติบโตของแครอทไร่กระเบียงด้านหลัง (ทิศใต้) ในช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม เป็นช่วงฤดูร้อนฝนตกน้อย จากผลการทดลองการเจริญเติบโต ทั้งแบบไม่ให้น้ำ ให้น้ำ และให้น้ำ มีแนวโน้มไม่มีการเจริญเติบโต และน้ำหนักของแครอทลดลงจากเดิม อาจเป็นผลจากการปรับตัวในสภาพแวดล้อม แต่ในเดือนสิงหาคมเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลง แครอทที่ทดลองด้วยการให้น้ำ

และนิตปุ๋ยมีแนวโน้มน้ำหนักลดลงไม่มาก ส่วนการทดลองแบบไม่ให้น้ำไม่มีการเจริญเติบโตและน้ำหนักลดลงจากเดิม แสดงให้เห็นว่าน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของเคราฤาษี เมื่อเข้าเดือนกันยายนจึงปรับการทดลองใหม่เป็นให้ปัจจัยน้ำทั้งหมด และเป็นช่วงเริ่มเข้าฤดูฝน ซึ่งทางด้านทิศใต้เป็นด้านที่อยู่ติดภายในอาคารซึ่งไม่สามารถรับน้ำฝนและน้ำค้างจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้ ส่งผลให้เคราฤาษีไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตทั้ง 3 แบบการทดลอง และน้ำหนักลดลงจากเดิม เคราฤาษีเริ่มเหี่ยวมีสีน้ำตาลซึ่งมีแนวโน้มไม่มีเจริญเติบโตเนื่องจากสภาพแวดล้อมโดยรอบไม่อำนวยต่อการเจริญเติบโตของเคราฤาษี อีกทั้งการให้ปัจจัยน้ำกับเคราฤาษีสัปดาห์ละ 1 ครั้งไม่เพียงพอต่อความต้องการส่งผลให้เคราฤาษีมีแนวโน้มน้ำหนักลดลงจากเดิม ทำให้น้ำหนักในเดือนตุลาคมทั้ง ไม่ให้น้ำ นิตปุ๋ย และนิตปุ๋ย เหลือเพียง 3.20 ± 0.54 , 4.08 ± 0.76 และ 4.27 ± 0.83 กรัม/เดือน ตามลำดับ (รูปที่ 4.4) ในทิศนี้จึงไม่สามารถทดลองต่อได้ตั้งแต่ช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน เนื่องจากเคราฤาษีมีน้ำหนักน้อยและแห้งเหี่ยวตาย

Month	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Rainfall (mm)	91.71	37.09	54.33	223.51	116.57	197.6
humidity (%)	82	80	77	80	83	87

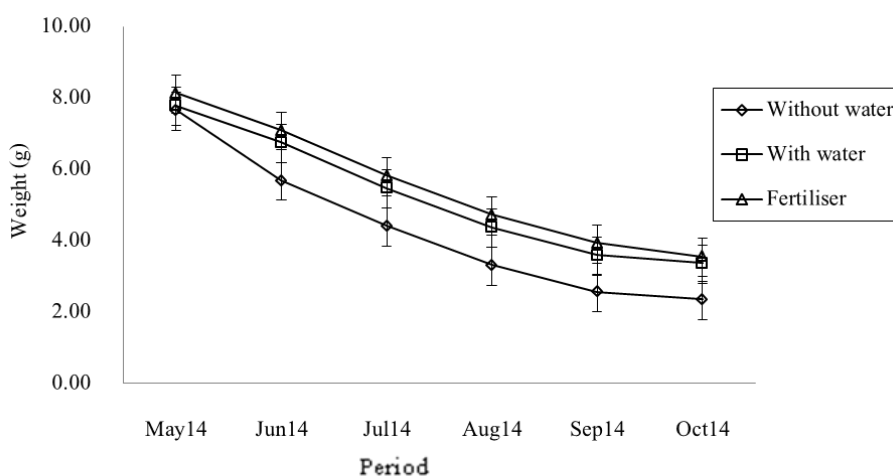


รูปที่ 4.4 น้ำหนักเคราฤาษีทิศใต้

3) ผลน้ำหนักกระเป๋ียงทิศตะวันออก

การเจริญเติบโตของแครอทำมีระเบียบทางด้านห้องสมุด (ทิศตะวันออก) ในช่วงเดือน พฤษภาคม-กรกฎาคม เป็นช่วงฤดูร้อนฝนตกน้อย จากผลการทดลองการเจริญเติบโต ทั้งแบบไม่ให้น้ำ ให้น้ำ และฉีดปุ๋ย มีแนวโน้มไม่มีการเจริญเติบโต และน้ำหนักของแครอทำลดลงจากเดิม อาจเป็นผลจากการปรับตัวในสภาพแวดล้อม ในเดือนสิงหาคมแครอทำที่ทดลองด้วยการให้น้ำ ให้น้ำ และไม่ให้น้ำไม่มีการเจริญเติบโตและน้ำหนักลดลงจากเดิม เป็นผลมาจากทางด้านทิศตะวันออก เป็นด้านที่อยู่ติดภายในโครงสร้างอาคารซึ่งไม่สามารถรับน้ำฝนและน้ำค้างจากสภาพแวดล้อม ภายนอกได้ ส่งผลให้แครอทำไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตทั้ง 3 แบบการทดลอง และน้ำหนักลดลงจากเดิมทั้ง ไม่ให้น้ำ ให้น้ำ และฉีดปุ๋ย เหลือเพียง 3.31 ± 0.56 , 4.37 ± 0.34 และ 4.71 ± 1.40 กรัม/เดือน เมื่อเข้าเดือนกันยายนทางทิศนี้ปรับการทดลองใหม่เป็นให้ปัจจัยน้ำทั้งหมด แต่ก็ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตแต่อย่างใด แครอทำเริ่มเหี่ยวมีสีน้ำตาลซึ่งมีแนวโน้มไม่มีเจริญเติบโต เนื่องจากสภาพแวดล้อมโดยรอบไม่อำนวยต่อการเจริญเติบโตของแครอทำ อีกทั้งการให้ปัจจัยน้ำกับแครอทำสัปดาห์ละ 1 ครั้งไม่เพียงพอต่อความต้องการส่งผลให้แครอทำมีแนวโน้มน้ำหนักลดลงจากเดิม ทำให้น้ำหนักในเดือนตุลาคมทั้ง ไม่ให้น้ำ ให้น้ำ และฉีดปุ๋ย เหลือเพียง 2.35 ± 0.49 , 3.36 ± 0.34 และ 3.55 ± 1.17 กรัม/เดือน ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) ในทิศนี้จึงไม่สามารถทดลองต่อได้ ตั้งแต่ช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน เนื่องจากแครอทำมีน้ำหนักน้อยและแห้งเหี่ยวตายเช่นเดียวกับทิศระเบียบด้านใต้

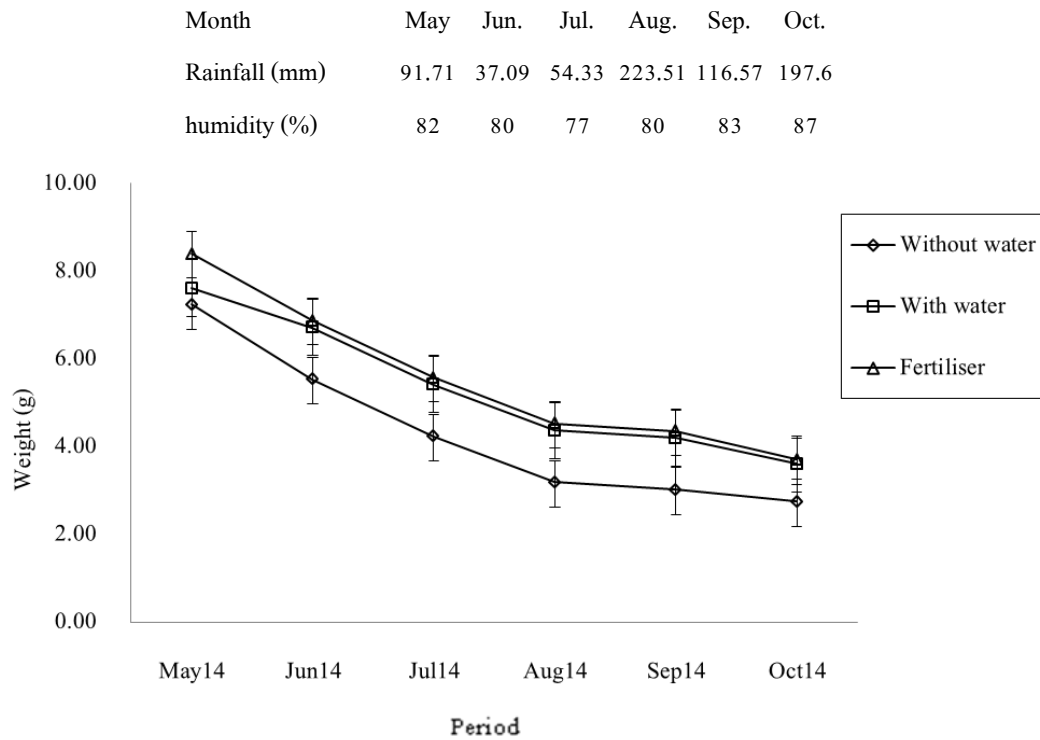
Month	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Rainfall (mm)	91.71	37.09	54.33	223.51	116.57	197.6
humidity (%)	82	80	77	80	83	87



รูปที่ 4.5 น้ำหนักแครอทำทิศตะวันออก

4) ผลน้ำหนักคราถาษีด้านระเบียงทิศตะวันตก

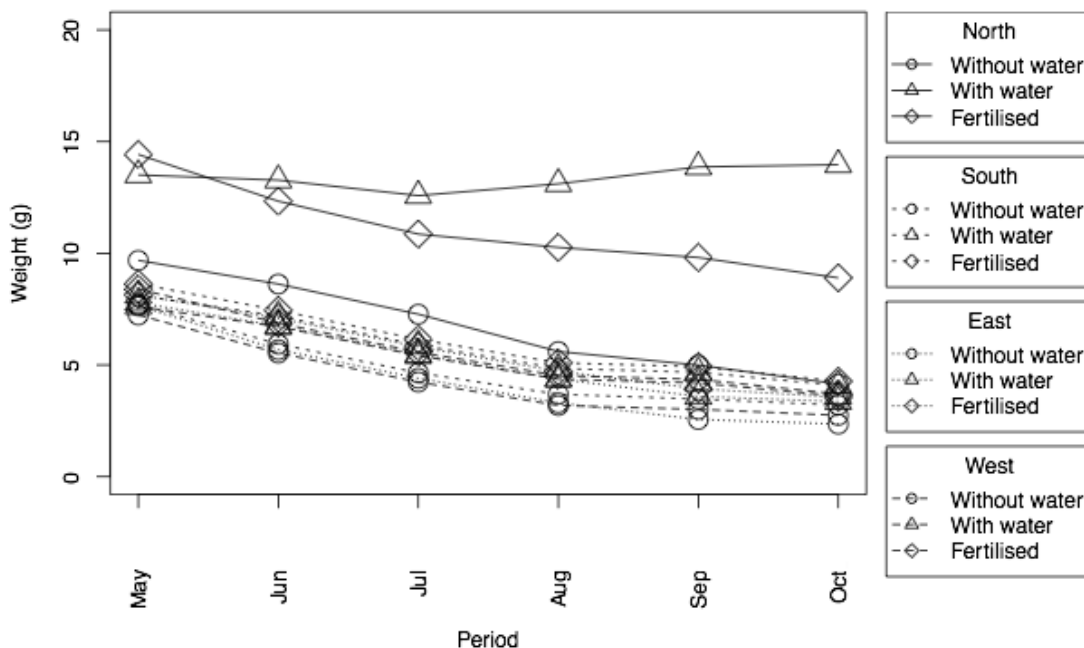
การเจริญเติบโตของคราถาษีระเบียงด้านห้องพักอาจารย์ (ทิศตะวันตก) ในช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม เป็นช่วงฤดูร้อนฝนตกน้อย จากผลการทดลองการเจริญเติบโต ทั้งแบบไม่ให้น้ำ ให้น้ำ และฉีดปุ๋ย มีแนวโน้มไม่มีการเจริญเติบโต และน้ำหนักของคราถาษีลดลงจากเดิม อาจเป็นผลจากการปรับตัวในสภาพแวดล้อม แต่ในเดือนสิงหาคมเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลง คราถาษีที่ทดลองด้วยการให้น้ำ และฉีดปุ๋ยมีแนวโน้มน้ำหนักลดลงไม่มาก ส่วนการทดลองแบบไม่ให้น้ำไม่มีการเจริญเติบโตและน้ำหนักลดลงจากเดิม เป็นผลมาจากทางด้านทิศตะวันออกเป็นด้านที่อยู่ติดภายในโครงสร้างอาคารซึ่งไม่สามารถรับน้ำฝนและน้ำค้างจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้ อีกทั้งด้านนี้ยังมีคอมเพรสเซอร์แอร์ ซึ่งคอมเพรสเซอร์แอร์ทำหน้าที่ควบแน่นสารทำความเย็นที่มีแรงดันสูงและอยู่สถานะเป็นไอหรือเป็นก๊าซโดยระบายความร้อนออกจากร้านแอร์ด้วยพัดลมระบายอากาศภายนอกตัวคอยล์จึงมีอากาศร้อนหรือพัดลมที่ไว้คอยระบายความร้อน ส่งผลให้คราถาษีไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต และน้ำหนักลดลงจากเดิมทั้ง ไม่ให้น้ำ ให้น้ำ และฉีดปุ๋ย เหลือเพียง 3.19 ± 0.54 , 4.37 ± 0.76 และ 4.52 ± 1.28 กรัม/เดือน เมื่อเข้าเดือนกันยายนทางทิศนี้ก็ปรับการทดลองใหม่เป็นให้ปัจจัยน้ำทั้งหมด แต่ก็ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตแต่อย่างใด คราถาษีเริ่มเห็นมีสีน้ำตาลซึ่งมีแนวโน้มไม่มีการเจริญเติบโตเนื่องจากสภาพแวดล้อมโดยรอบไม่อำนวยต่อการเจริญเติบโตของคราถาษี อีกทั้งการให้ปัจจัยน้ำกับคราถาษีสัปดาห์ละ 1 ครั้งไม่เพียงพอต่อความต้องการส่งผลให้คราถาษีมีแนวโน้มน้ำหนักลดลงจากเดิม ทำให้น้ำหนักในเดือนตุลาคมทั้ง ไม่ให้น้ำ ให้น้ำ และฉีดปุ๋ย เหลือเพียง 2.75 ± 0.54 , 3.61 ± 0.74 และ 3.70 ± 1.17 กรัม/เดือน ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) ในทิศนี้จึงไม่สามารถทดลองต่อได้ตั้งแต่ช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน เนื่องจากคราถาษีมีน้ำหนักน้อยและแห้งเหี่ยวตายเช่นเดียวกับทิศระเบียงด้านใต้และตะวันออก



รูปที่ 4.6 น้ำหนักเคราฤาษีทิศตะวันตก

5) ผลน้ำหนักรวมเคราฤาษีทิศเหนือ ได้ ตะวันออก และตะวันตก

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของเคราฤาษีรวมทั้ง 4 ทิศการทดลอง ในช่วงเดือน พฤษภาคม-ตุลาคม พบว่าเคราฤาษีสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณระเบียบทางด้านทิศเหนือ เนื่องจากสามารถรับละอองน้ำค้างและน้ำฝนได้ ไม่มีส่วนของอาคารมาเบียดบังอีกทั้งไม่มีคอมเพรสเซอร์แอร์ที่ส่งผลต่อการดำรงชีพของเคราฤาษี ส่วนทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เคราฤาษีไม่มีการเจริญเติบโตเนื่องจากสภาพแวดล้อมโดยรอบมีผลต่อปัจจัยน้ำที่มีผลต่อการดำรงชีพของเคราฤาษี ทำให้เคราฤาษีทั้ง 3 ด้านของการทดลองเหี่ยว มีสีน้ำตาล เริ่มมีการขาดหลุดร่วง และตาย ไม่มีการเจริญเติบโต (รูปที่ 4.7) จึงไม่สามารถทำการทดลองในส่วนของทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกต่อไป จึงเพิ่มการทดลองอีก 2 จุด คือ ระเบียบด้านล่างคณะทางด้านทิศเหนือ และบนคาบฟ้าของคณะ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเคราฤาษีต่อไป

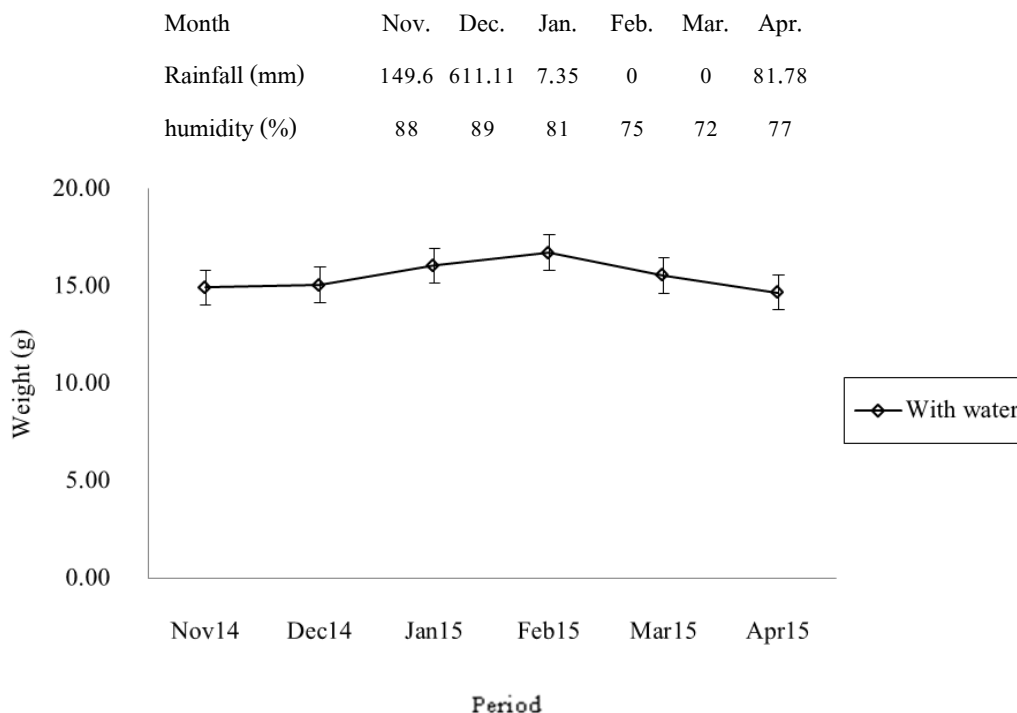


รูปที่ 4.7 ผลน้ำหนักรวมแครอทกษีทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก

4.4.2 การทดลองเพิ่มเติม

1) ผลน้ำหนักแครอทกระเบียงด้านล่างคณะทางด้านทิศเหนือ

ในการทดลองการเจริญเติบโตของแครอทกระเบียงด้านล่างคณะทางด้านทิศเหนือเพื่อดูปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ซึ่งน้ำหนักแครอทเริ่มต้นก่อนการทดลองอยู่ที่ 15 กรัม/ต้น โดยจากผลการทดลองที่ผ่านมาน้ำและน้ำค้างเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีพของแครอท การทดลองจึงปรับเป็นฉีดน้ำทั้งหมด โดยให้ปัจจัยการเจริญเติบโตอาทิตย์ละ 1 ครั้งเช่นเดิมในช่วงเย็น 18.00-19.00 น. พบว่าในช่วงเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ แครอทที่ทดลองด้วยการฉีดน้ำเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มเจริญเติบโตน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่า 16.73 ± 1.09 กรัม/เดือน แสดงให้เห็นว่าน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของแครอท และเป็นช่วงเริ่มเข้าฤดูฝน ซึ่งกระเบียงด้านล่างคณะทางด้านทิศเหนือสามารถรับน้ำฝน น้ำค้างและเป็นบริเวณที่แดดสามารถส่องถึงไร่ เนื่องจากมีรั้วไม้บังให้เล็กน้อยไม่ร้อนมากเกินไป และไม่มีสภาพแวดล้อมอื่นรบกวน ส่งผลให้แครอทมีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตขึ้นทั้งทดลอง (รูปที่ 4.8) แต่เมื่อเริ่มเข้าเดือนมีนาคมเป็นช่วงฤดูร้อน ฝนตกน้อยลงการให้ปัจจัยน้ำกับแครอทสัปดาห์ละ 1 ครั้งไม่เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้แครอทมีแนวโน้มน้ำหนักลดลงจากเดิมทำให้เดือนมีนาคมและเมษายนน้ำหนักเฉลี่ยของแครอทเหลือเพียง 15.55 ± 1.00 และ 14.68 ± 1.24 กรัม/เดือน ตามลำดับ

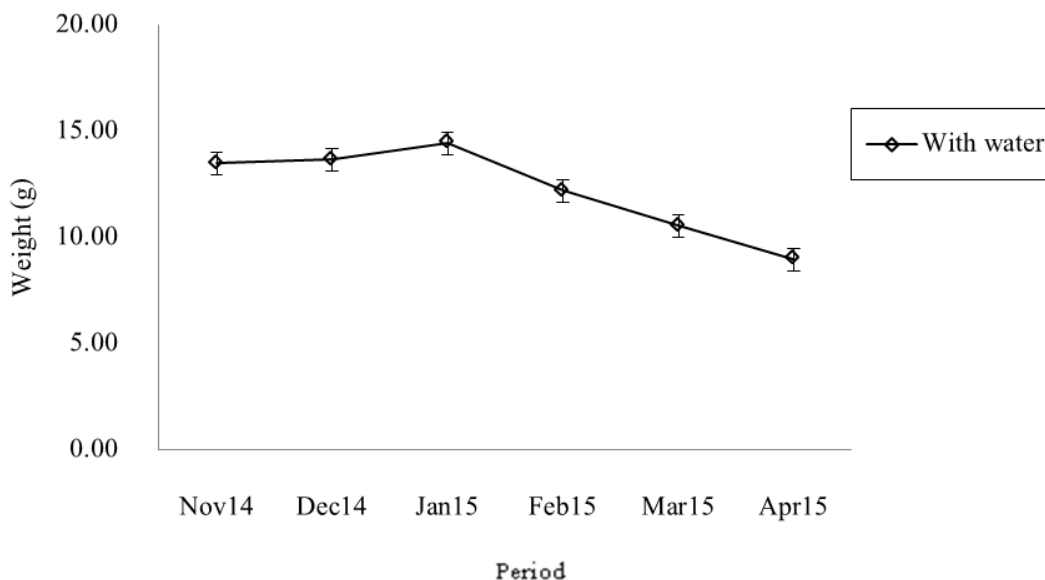


รูปที่ 4.8 ผลน้ำหนักคราถาษีระเบียงด้านล่างคณะทางด้านทิศเหนือ

2) ผลน้ำหนักคราถาษีบนคาคฟ้าของคณะ

ในการทดลองการเจริญเติบโตของคราถาษีบนคาคฟ้าของคณะ เพื่อดูปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ซึ่งน้ำหนักคราถาษีเริ่มต้นก่อนการทดลองอยู่ที่ 15 กรัม/ต้น โดยจากผลการทดลองที่ผ่านมาและน้ำค้างเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีพของคราถาษี การทดลองจึงปรับเป็นฉีดน้ำทั้งหมด โดยให้ปัจจัยการเจริญเติบโตอาทิตย์ละ 1 ครั้งเช่นเดิมในช่วงเย็น 18.00-19.00 น. พบว่าในช่วงเดือนพฤศจิกายน-มกราคม คราถาษีที่ทดลองด้วยการฉีดน้ำเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มเจริญเติบโตน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมกราคม มีค่า 14.47 ± 0.36 กรัม/เดือน (รูปที่ 4.9) แสดงให้เห็นว่าน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีพของคราถาษี และเป็นช่วงเริ่มเข้าฤดูฝน ซึ่งบนคาคฟ้าของคณะสามารถรับน้ำฝน น้ำค้าง ได้โดยไม่มีสิ่งในบังเพราะเป็นพื้นที่โล่งเป็นบริเวณที่แดดสามารถส่องถึงได้ และในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ฝนเริ่มตกน้อยลงมีผลต่อคราถาษีทำให้น้ำหนักเฉลี่ยคราถาษีลดลง มีค่า 12.23 ± 0.59 กรัม/เดือน และบนคาคฟ้าเป็นบริเวณที่ร้อนจัดคราถาษีจึงแห้งเหี่ยวได้ง่าย และการให้ปัจจัยน้ำในการดำรงชีพของคราถาษีสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ไม่เพียงพอ ในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนเป็นช่วงฤดูร้อนคราถาษีที่ทดลองบนคาคฟ้าของคณะจึงมีแนวโน้มน้ำหนักลดลงเรื่อยๆ และเริ่มเป็นสีน้ำตาลบางส่วน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนเมษายน มีค่า 9.02 ± 0.52 กรัม/เดือน

Month	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
Rainfall (mm)	149.6	611.11	7.35	0	0	81.78
humidity (%)	88	89	81	75	72	77



รูปที่ 4.9 ผลน้ำหนักคราถาขีบนดาดฟ้าของคณะ

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของคราถาขีในบริเวณพื้นที่ต่างๆ ที่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างกัน แสดงให้เห็นว่าคราถาขีสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณพื้นที่ที่สามารถรับน้ำฝน น้ำค้าง และเป็นบริเวณที่มีแสงแดดรำไรไม่ร้อนจัดมาก อีกทั้งคราถาขีมีปัจจัยน้ำเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีพเพื่อการเจริญเติบโต หากต้องการเลี้ยงคราถาขีเพื่อจัดสวนแนวตั้ง ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของคราถาขี

4.5 ผลปริมาณที่เหมาะสมของเศษคราถาญีในการใช้ประโยชน์

จากการศึกษาคราถาญีปริมาณที่เหมาะสมของเศษคราถาญีในการใช้ประโยชน์ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ปริมาณเศษคราถาญี} = \frac{\text{ค่าความร้อนของแกลบ (MJ/kg)} \times \text{จำนวนแกลบที่ใช้ (kg/day)}}{\text{ค่าความร้อนของคราถาญี (MJ/kg)}}$$

จากกรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก บริษัท มุ่งเจริญกรีนเพาเวอร์ จำกัด เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 8.8 MW โดยมีเชื้อเพลิงหลักที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงแกลบค่าความร้อนของแกลบ 16.29 MJ/kg ซึ่งโรงไฟฟ้าต้องการใช้แกลบประมาณ 85,000 ตัน/ปี หรือประมาณ 270 ตัน/วัน (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2548) ดังนั้นจึงเลือกโรงไฟฟ้าชีวมวล บริษัท มุ่งเจริญกรีนเพาเวอร์ จำกัด ในการคำนวณหาคราถาญีปริมาณที่เหมาะสมของเศษคราถาญีในการใช้ประโยชน์ ในประเด็นค่าความร้อน เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลจากแกลบมีค่าใกล้เคียงความร้อนใกล้เคียงกัน และเป็นโรงไฟฟ้า VSPP ที่มีกำลังการผลิตไม่ใหญ่มาก มีความเป็นไปได้ที่จะใช้คราถาญีเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งจากการคำนวณจะได้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณเศษคราถาญี} &= \frac{16.29 \text{ (MJ/kg)} \times 270,000 \text{ (kg/day)}}{15.60 \text{ (MJ/kg)}} \\ &= 281,942.31 \quad \text{kg/day} \\ \text{ปริมาณเศษคราถาญี} &= 281.94 \quad \text{ton/day} \end{aligned}$$

จากการคำนวณกรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก บริษัท มุ่งเจริญกรีนเพาเวอร์ จำกัด พบว่าปริมาณเศษคราถาญีที่ต้องใช้สำหรับป้อนเข้าโรงไฟฟ้าเพื่อให้ได้กำลังการผลิตที่เท่ากับบริษัทมีค่าเท่ากับ 281.94 ตัน/วัน ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้อยู่เนื่องจากเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้อยู่มีค่าความร้อนมากกว่าคราถาญีจึงใช้แกลบในปริมาณที่น้อยกว่าคราถาญี

4.6 ผลการศึกษาค่าความร้อนสำหรับคราฤาษีเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพในการใช้ประโยชน์เศษคราฤาษี

จากการผลศึกษาโดยศึกษาคุณสมบัติของคราฤาษี ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพ (ค่าความร้อน ค่าความชื้น และเถ้า) และคุณสมบัติทางเคมี (ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 รวมทั้ง เปรียบเทียบค่าความร้อนของคราฤาษีด้วยวิธีการคำนวณ เปรียบเทียบค่าความร้อนของคราฤาษีกับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่น ศึกษาการเจริญเติบโตของคราฤาษี อีกทั้งคำนวณหาปริมาณเศษคราฤาษีในการใช้ประโยชน์ พบว่า องค์ประกอบของคราฤาษีทั้งกายภาพและเคมีจากตัวอย่างการทดลองในพื้นที่ต่างๆ มีความสอดคล้องกับข้อมูลค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงชีวภาพ และมีความใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคราฤาษีมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ อีกทั้งเมื่อเทียบเคียงกับเชื้อเพลิงชีวมวลอื่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีค่าองค์ประกอบใกล้เคียงกับ แกลบ ชานอ้อย ไม้ยางพารา และมีค่าความร้อนสูงกว่าฟางข้าว แต่ในการใช้ประโยชน์ควรนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพเผาพร้อมกับเชื้อเพลิงชีวภาพหลัก หรือนำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อคงสภาพคุณสมบัติของเชื้อเพลิงไว้ แต่จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเจนมีค่ามากเกินไปค่ามาตรฐานเชื้อเพลิง มีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพคราฤาษีมีการเผาไหม้ได้เร็วกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดอื่น

ตารางที่ 4.9 แสดงลักษณะสมบัติของคราฤาษี

องค์ประกอบของคราฤาษี	ค่ามาตรฐานเชื้อเพลิง	ผลการศึกษา
ความชื้น (%)	$M \leq 50.00\%$	34.8
ปริมาณเถ้า (%)	$C \leq 10.00\%$	8.84
ค่าความร้อน (MJ/kg)	-	15.60
ออกซิเจน (%)	$0\% \leq O \leq 50.00\%$	50.68
ไนโตรเจน (%)	$0\% \leq N \leq 5.60\%$	0.76
คาร์บอน (%)	$0\% \leq C \leq 92.25\%$	42.86
ไฮโดรเจน (%)	$0.43\% \leq H \leq 25.15\%$	5.65
กำมะถัน (%)	$0\% \leq S \leq 2\%$	0.05

บทที่ 5

สรุปผล

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาเรื่องค่าความร้อนสำหรับเคราถาญีเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ มีเป้าหมายศึกษาค่าความร้อนของเคราถาญีเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดอื่น ศึกษาองค์ประกอบหลักของเคราถาญีเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ และศึกษาการเจริญเติบโตของเคราถาญีเพื่อทราบเศษเคราถาญีที่เกิดขึ้นจากการตัดแต่งใช้ประโยชน์ งานวิจัยได้เลือกเคราถาญีเนื่องจากเป็นพืชชนิดหนึ่งที่ใช้ในการจัดสวนในแนวตั้ง สามารถเติบโตได้โดยไม่ต้องใช้การบำรุงรักษามาก และปลูกโดยไม่ใช้ดิน อีกทั้งไม่เกิดการหลุดร่วงของใบที่ส่งผลให้เกิดทัศนวิสัยไม่ดีต่ออาคาร จึงคิคนำเศษจากการบำรุงรักษาของพืชไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นจึงเลือกเคราถาญีเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อลดปริมาณขยะจากเศษพืชที่เหลือจากการตัดแต่งจากอาคารซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาองค์ประกอบกายภาพของเคราถาญี และองค์ประกอบทางเคมีของเคราถาญี รวมทั้งเปรียบเทียบค่าความร้อนของเคราถาญีกับเชื้อเพลิงชีวมวลอื่นที่ใช้ในปัจจุบัน ศึกษาการเจริญเติบโตของเคราถาญี และคำนวณหาปริมาณเศษเคราถาญี พบว่า

- ลักษณะองค์ประกอบกายภาพและเคมีของเคราถาญี จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงประมาณค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงชีวมวล (Jigisha Parikh *et al.*, 2005) และมีความสอดคล้องกับลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักในปัจจุบัน คือ แกลบ ไม้ยางพารา ชานอ้อย และเคราถาญีมีค่าองค์ประกอบมากกว่าฟางข้าว
- การเจริญเติบโตของเคราถาญีที่ได้จากการทดลองมีปริมาณน้อยในแต่ละเดือน ซึ่งหากต้องการให้ได้ปริมาณมากขึ้นต้องเพิ่มปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต คือ น้ำและปุ๋ย ซึ่งหากต้องการให้ได้ปริมาณเศษเคราถาญีมากขึ้นควรวางวิธีเร่งการเจริญเติบโตของเคราถาญี

เนื่องจากคราถาญีเป็นพืชโตช้า การเจริญเติบโตในแต่ละเดือนจึงมีค่าน้อยเฉลี่ย คือ 0.51 ± 0.39 กรัม/เดือน ใน 1 ต้น

- การประเมินปริมาณที่เหมาะสมของเศษคราถาญีในการใช้ประโยชน์ จากกรณีศึกษาบริษัท มุ่งเจริญกรีนเพาเวอร์ จำกัด จากการคำนวณปริมาณเศษคราถาญีมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก
- การใช้คราถาญีเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพมีความเป็นไปได้ เนื่องจากองค์ประกอบของคราถาญีมีความเป็นไปได้ แต่หากต้องการให้ได้ปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล หลักควรหาวิธีเร่งการเจริญเติบโต เพื่อให้ได้เศษคราถาญีที่ต้องการใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือหาวิธีในการเก็บเศษคราถาญี เช่น การอัดแท่งเชื้อเพลิงคราถาญี เพื่อให้คงสภาพองค์ประกอบที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาค่าความร้อนสำหรับคราถาญีเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ มีข้อเสนอแนะที่ควรนำมาศึกษาเพิ่มเติม พบว่า

- ควรมีการศึกษาวิธีในการเพิ่มปริมาณเศษคราถาญีให้เพียงพอต่อความต้องการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น การศึกษาการนิตยาเร่งในการเจริญเติบโตของคราถาญี
- ควรเลี้ยงคราถาญีในบริเวณที่สามารถรับอากาศถ่ายเทได้สะดวกและสามารถรับน้ำฝนและน้ำค้างได้ตลอด คราถาญีเป็นพืชที่สามารถโตได้ดีหากมีแสงแดดไม่ร้อนจัดเกินไปจะทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นและออกดอก
- ควรมีการศึกษามูลค่าทางเศรษฐกิจหากต้องการนำคราถาญีมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลหลักเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นๆ เพื่อทราบต้นทุนที่ใช้ในการได้มาซึ่งพลังงานและความคุ้มค่าของการลงทุน
- ควรนำเศษคราถาญีที่เกิดจากการตัดแต่งสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง เพื่อให้สามารถเก็บรักษาองค์ประกอบของเชื้อเพลิงได้

เอกสารอ้างอิง

- กานต์รวี ศรีพวงผกาพันธุ์. 2554. การเจริญเติบโต และมวลชีวภาพของกระถิน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ อายุ 3 ปี เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่), สาขาพืชไร่ภาควิชาพืชไร่ฯ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กฤษพนธ์ เพ็ญศรี. 2546. ฐานข้อมูลศักยภาพพลังงานชีวมวล. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- กรกต พิมทะวงศ์. 2547. พลังงานชีวมวลกับการพัฒนาที่ยั่งยืน. วารสารวิชาการราชภัฏอุตรดิตถ์. ฉบับที่ 3: 1-7.
- กรุงเทพธุรกิจ. กองบรรณาธิการ. 2551. พลังงานกู้โลก เชื้อเพลิงทางเลือก ทางรอดประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: เนชั่นมัลติมีเดีย กรุ๊ป.
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2558. เทคโนโลยีการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงจากเศษไม้ โครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีการนำวัสดุเหลือใช้และกากของเสียมาใช้ประโยชน์. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 4 พลังงานชีวมวล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอเบิล คอนซัลแตนท์ จำกัด.
- เกรียงไกร วงศาโรจน์. 2553. การศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากลำต้นสนปูดำ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ไกรพัฒน์ จินขจร. 2551. พลังงานหมุนเวียน. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กัญญา บุญเกียรติ, พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, และอุดม ชูโรจน์สกุล. 2525. การปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดก้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. *เคมีวิศวกรรม เทคโนโลยีทางอาหาร และเชื้อเพลิง*. 4(1): 61-74.

จิระ อาชายุทธการ และพงษ์ศักดิ์ มฤคทัต. 2550. การตรวจวัดประสิทธิภาพกระบวนการผลิต **Cogeneration** สำหรับ **SPP** และ **VSPP**. กรุงเทพมหานคร: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เจษฎานันท์ เวียงนนท์, ชีรพจน์ พุทธิภักก์วิวงศ์ และภัทราวดี ศรีบุญสม. 2549. การผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นถั่วเหลือง. *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร มหาวิทยาลัยนเรศวร*. 14(3): 11-18

คู่มือสารชีวมวลเอเชีย. 2005. www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/All_T.pdf (สืบค้นเมื่อ 24 เมษายน 2558).

เคราฤณี. 2557. <http://www.olx.co.th/product-5403427/> (สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2557).

ชัชรินทร์ ศักดิ์กาบัง. 2552. การศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พาสินี สุนากร, พูนพิภพ เกษมทรัพย์, และชนิกานต์ ยิ้มประยูร. 2555. ผนังสีเขียว. *พลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*. 8(1): 83-53.

มนตรี พิรุณเกษตร. 2539. **เทอร์โมไดนามิกส์วิศวกรรมเคมี**. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เขาวชิร อัจฉรวงศ์. 2553. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวล (**Biomass Gasification**). วิศวกรเครื่องกลปฏิบัติการสำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

รอบ โบเต็น. 2549. **พลังงาน**, แปลจาก *Sustainable : Energy* โดย จารนัย พาณิชยกุล. กรุงเทพมหานคร: ปาเจรา.

ลลนา บุญญาอารักษ์. 2553. การศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านชีวมวลจากวัสดุท้องถิ่นที่
เหลือใช้. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัย
ราชภัฏเชียงราย.

วัลย์รัตน์ อุตตะมะปรากรม และธราพงษ์ วิทิตสานนท์. 2554. การผลิตถ่านอัดแท่งจากตะกอนเปียก
เหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้น. วารสารวิจัยพลังงาน. 8(3): 1-19.

วานิช โสภาสพ, บุญยิ่ง อินทรบุตร, และสมพล พวงดอกไม้. 2550. การผลิตถ่านอัดแท่งด้วยเศษ
วัสดุเหลือใช้เพื่อเป็นพลังงานทดแทน. การศึกษาอิสระปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต,
สาขาพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วาริณี ผางจันทดา. 2553. ชีวมวลจากข้าวฟ่างหวาน. รายงานการศึกษาอิสระ ปรินญาวิศวกรรม
มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมพลังงาน, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศุภวิทย์ ลวณะสกล. 2558. ทิศทางธุรกิจ Biomass pellet สำหรับประเทศไทย และ เทคโนโลยี
Gasification ในภาคอุตสาหกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2548. รายงานผลการดำเนิน
โครงการหมู่บ้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน.
www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/2012371435251.pdf
(สืบค้นเมื่อ 27 มกราคม 2558).

ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2545. ข้อมูลชีวมวลทั่วไป. บทความ
ด้านพลังงานชีวมวล, ฉบับที่ 1, หน้า 3-42.

ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2548. กรณีศึกษา โครงการผลิตไฟฟ้า
เชื้อเพลิงจากแกลบ. [www.anamai.moph.go.th/download/download/HIA/
020309/12%20HIA.doc](http://www.anamai.moph.go.th/download/download/HIA/020309/12%20HIA.doc) (สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2558).

- สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์. 2554. คุณลักษณะทางเชื้อเพลิงของแกลบในจังหวัดเพชรบุรี. วารสาร
วิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 8(1): 8-13.
- สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. 2555. เตาเอนกประสงค์ประหยัดฟืน. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัย
ศิลปากร. www.surdi.su.ac.th/paper_public/toetan55.pdf (สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2556).
- เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา. 2539. นิเวศวิทยา: สิ่งแวดล้อมกับการปรับปรุงความเป็นอยู่ของมนุษย์.
พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- อสมมา ประเสริฐสุข. 2554. วิธีการทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล. การศึกษาอิสระ
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Alves E.S. and Moura B. B. 2012. Sturctural Analysis of usneoides L.Exposed in Air
Pollutants in Sao Paolo – Brazil. *Water, Air, Soil Pollution*. 189(1): 61-68.
- Beckman D., Elliot D.C., Gevert B., Hornell C., Kjellstrom B and Ostman A. 1990. **Techno-
economic assessment of selected biomass liquefaction process (VTT research
report 697)**. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Benzing DH. 1976. Bromeliad trichomes: structure, function, and egological significance.
Selbyana, 1: 330-448.
- Brett W.B. and Craig E.M. 2006. Foliar trichomes, boundary layer and gas exchange in 12
species of epiphytic Tillandsia (Bromeliaceae). *J. Plant Physiol*, 163: 648-656.
- Brighigna L., Ravanelli M., Minell A. and Ercoli L. 1997. The use of an epiphyte
(*Tillandsia caput-medusae morren*) as bioindicator of air pollution in Costa Rica. *Sci.
Total Environ*, 198: 175-180.

- Brown R.D and Gillspies T.J. 1995. **Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort And Energy Efficiency**. NY: John Willey and Sons.
- Callejón-Ferré A.J., Velázquez-Martín B., López-Martínez JA. and Manzano-Agugliaró F. 2011. Greenhouse crop residues: energy potential and models for the prediction of their higher heating value. **Renew Sustain Energy**, 15: 948–55.
- Danish International Development Assistance. 2003. Biomass one-stop Clearing House Energy for Environment Foundation. **Introduction to conversion of Biomass to Electricity and Thermal Energy**, 17-18 March 2003, Bangkok, p. 54.
- Demirbas A. 1997. Calculation of higher heating values of biomass fuels. **Fuel**, 76: 431-434.
- Demirbas A. 2004. Estimating the calorific values of lignocellulosic fuels. **Energy Explor Exploit**, 22: 135–43.
- Larson E.D. 1998. **Small-Scale Gasification-Based Biomass Power Generation**. Center for Energy and Environmental Studies Princeton University Princeton: New Jersey, USA.
- Fanga W., Xiaosong Z., Junjie T. and Xiuwei L. 2011. The thermal performance of double skin facade with *Tillandsia usneoides* plant curtain. **Energy and Buildings**, 43: 2127-2133.
- Friedl A, Padouvas E, Rotter H and Varmuza K. 2005. Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. **Anal Chim Acta**, 544: 191-8
- García R., Pizarro C. and Lavín A.G. 2014. Spanish biofuels heating value estimation. Part I Ultimate analysis data. **Fuel**, 117: 1130-1138.

- George J., Husk GJ., and John F. 2004. Mineral dynamics in Spanish moss, *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae), from central Florida, USA, *Science of the Total Environment*, 321: 165–172.
- Huang C, Han L, Yang Z and Liu X. 2009. Ultimate analysis and heating value prediction of straw by near infrared spectroscopy. *Waste Manage*, 29: 1793–7.
- Jenkins BM and Ebeling JM. 1985. Physical and chemical properties of biomass. *Trans ASAE*, 28: 898–902.
- Jigisha Parikha, Channiwala S.A. and Ghosal G.K.. 2005. A Correlation for Calculating HHV from Proximate Analysis of Solid Fuels. *Fuel*, 84: 487-494.
- Jiménez L and González F. 1991. Study of the physical and chemical properties of lignocellulosic residues with a view to the production of fuels. *Fuel*, 70: 947-50.
- Kathiravale S, Yunus MNM, Sopian K, Samsuddin AH and Rahman RA. 2003. Modeling the heating value of municipal solid waste. *Fuel*, 82: 1119–25
- Kludeze H., Deen B., Weersink B., Acker R., Janovicek K., Laporte A., and McDonald I. 2013. Estimating sustainable crop residue removal rates and costs based on soil organic matter dynamics and rotational complexity. *Biomass and Energy*, 56: 607-618.
- Laohalidanond K. 2006. The production of synthetic diesel from biomass. *CMU. J. Nat. Sci.*, 6(1): 127-139.
- Martínez-Carrillo M.A. Solisa C., Andrade E., Isaac-Oliveb K., Rochac M., Murillod G., Beltran-Hernandee R.I., and Lucho-Constantinof C.A. 2010. PIXE analysis of *Tillandsia usneoides* for air pollution studies at an industrial zone in Central Mexico. *Microchemical Journal*, 96(2): 386-390.

- Nhuchhen D.R. and Abdul Salam P. 2012. Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. **Fuel**, 99: 55-63.
- Parikh J, Channiwala SA and Ghosal GK. 2005. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, 84: 487-94.
- Roberto Garcia, Consuelo Pizarro, Antonio G. Lavin and Julio L. Bueno. 2014. Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data. **Fuel**, 117: 1139-1147.
- Sheng C, Azevedo JLT. 2005. Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. **Biomass Bioenerg**, 28:499-507.
- Simsons B.A., Loque D., and Blanch H.W. 2008. Next generation biomass feedstocks for bifuel production. **Genome Biology**, 9: 242
- Sutton T.K., Cohen R.A. and Vives, S.P. 2014. Evaluating relationships between mercury concentrations in air and in Spanish moss (*Tillandsia usneoides* L.). **Ecological Indicators**, 36: 392-399.
- Tillman DA. 1978. Wood as an energy resource. New York: Academic Press.
- Thipkhunthod P, Meeyoo V, Rangsunvigit P, Kitiyanan B, Siemanond K. and Rirksomboon T. 2005. Predicting the heating value of sewage sludges in Thailand from proximate and ultimate analyses. **Fuel**, 84: 849-57.
- Vianna N.A., Goncalves D. and Bran F. 2010. Assessment of heavy metals in the particulate matter of two Brazilian metropolitan areas by using *Tillandsia usneoides* L. as atmospheric biomonitor. **Environmental Science & Pollution Research**, 18: 416-427

Wannaz E.D., Carreras H.A., Perez C.A. and Pignata M.L. 2006. Assessment of heavy metal accumulation in two species of *Tillandsia* in relation to atmospheric emission sources in Argentina. **Sci. Total Environ**, 361: 267-278.

Yin C.Y. 2011. Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses. **Fuel**, 90: 1128-1132.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการเจริญเติบโตของเคราถาษี

การเจริญเติบโตของเคราฤาษี

ตาราง ผ-1 ผลนำหน้าการเจริญเติบโตของเคราฤาษีระเบียบงด้านหน้า: ทิศเหนือ

ก) ระเบียบงด้านหน้า (ทิศเหนือ) ตัวอย่างต้นที่ 1-10

เดือน	ต้นที่ไม่ฉีดน้ำ										เฉลี่ย	±SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
พ.ค.57	8.24	9.24	9.50	8.86	9.28	10.07	12.23	7.65	10.34	11.40	9.68	1.39
มิ.ย.57	6.27	7.34	7.61	8.58	8.95	7.94	11.63	7.22	10.30	10.39	8.62	1.69
ก.ค.57	5.02	6.09	6.36	7.33	7.70	6.69	9.38	5.97	9.05	9.14	7.27	1.51
ส.ค.57	3.90	4.97	4.24	5.21	5.58	5.57	8.57	4.85	6.64	6.48	5.60	1.36
ก.ย.57	2.85	3.92	4.19	5.16	5.53	4.52	6.10	3.80	6.88	6.97	4.99	1.38
ต.ค.57	2.07	2.87	3.14	4.11	4.48	3.47	6.82	2.75	5.83	5.92	4.15	1.58
	ต้นที่ฉีดน้ำ										เฉลี่ย	±SD
พ.ย.57	1.76	2.43	2.58	3.73	3.62	3.02	6.94	3.17	5.96	5.63	3.88	1.71
ธ.ค.57	1.85	2.38	2.44	3.6	3.23	3.17	7.11	3.31	6.08	5.74	3.89	1.78
ม.ค.58	2.24	3.12	3.76	4.52	4.78	4.65	8.48	4.93	6.85	6.42	4.98	1.85
ก.พ.58	2.89	3.53	4.29	4.94	5.41	5.03	8.91	5.64	7.57	7.21	5.54	1.87
มี.ค.58	2.43	3.27	4.01	3.32	5.57	4.83	9.27	5.43	6.96	7.74	5.28	2.18
เม.ย. 58	1.97	2.55	3.65	3.05	4.72	3.41	8.75	4.27	6.13	6.21	4.47	2.05

ข) ระเบียบงค้ำหน้า (ทศเหนือ) ค้ำอย่างท้ 11-20

เดือน	ต้นท้จ้ดหน้า										เฉลี่ย	±SD
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
พ.ค.57	13.16	11.48	8.20	8.65	14.85	17.00	16.09	16.86	14.01	14.76	13.51	3.16
มิ.ย.57	11.15	9.40	8.18	9.28	16.09	17.05	16.83	17.19	14.22	13.34	13.27	3.54
ก.ค.57	9.90	8.15	7.98	10.58	14.84	15.80	15.58	15.94	14.32	12.72	12.58	3.18
ส.ค.57	8.78	7.58	8.82	9.88	15.59	16.55	16.76	16.69	15.56	14.88	13.11	3.82
ก.ย.57	9.28	8.53	9.08	12.23	16.24	17.20	17.18	17.34	16.08	15.50	13.87	3.69
ต.ค.57	9.78	8.03	8.05	10.15	16.96	17.92	17.70	18.06	16.77	16.22	13.96	4.35
พ.ย.57	10.22	8.76	8.49	10.83	17.48	18.36	18.26	18.72	17.41	16.86	14.54	4.35
ธ.ค.57	10.56	9.43	9.66	11.92	18.15	18.87	18.93	19.35	17.91	17.24	15.20	4.23
ม.ค.58	11.38	9.64	10.53	12.47	18.75	19.36	19.48	19.73	17.84	18.06	15.72	4.16
ก.พ.58	11.79	10.55	10.98	12.86	19.03	18.94	20.39	20.58	18.66	18.63	16.24	4.14
มี.ค.58	11.28	10.23	11.4	11.54	18.36	17.47	20.21	19.81	18.17	19.32	15.78	4.11
เม.ย.58	10.23	9.02	10.85	10.07	12.35	16.98	19.14	18.52	17.03	18.16	14.24	4.07

ค) ระเบียบด้านหน้า (ทิศเหนือ) ตัวอย่างที่ 21-30

เดือน	ต้นที่ฉีดน้ำปุ๋ย										เฉลี่ย	±SD
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
พ.ค.57	15.17	16.30	16.85	13.43	13.03	15.40	15.56	14.28	11.90	12.30	14.42	1.70
มิ.ย.57	15.10	15.86	15.98	13.17	12.74	11.16	12.16	9.28	10.43	7.44	12.33	2.84
ก.ค.57	13.85	14.61	14.73	11.92	10.96	8.70	9.92	8.03	9.18	6.69	10.86	2.85
ส.ค.57	14.60	15.36	15.48	12.67	10.27	7.28	8.33	6.91	6.65	5.07	10.26	3.97
ก.ย.57	15.25	15.81	15.93	13.12	7.77	6.64	6.69	5.86	7.01	4.02	9.81	4.65
ต.ค.57	15.77	15.12	14.83	11.73	6.94	5.59	5.43	4.65	5.96	2.97	8.90	4.92
ต้นที่ฉีดน้ำ											เฉลี่ย	±SD
พ.ย.57	17.32	15.68	15.56	12.18	5.64	5.31	5.06	4.47	4.74	3.24	8.92	5.57
ธ.ค.57	17.85	16.47	16.81	13.2	6.14	6.75	6.42	5.18	6.05	4.91	9.98	5.41
ม.ค.58	18.24	17.83	16.44	14.9	7.67	7.25	7.87	6.53	6.95	5.98	10.97	5.17
ก.พ.58	19.85	17.59	16.98	13.63	8.58	6.68	7.31	7.82	6.34	5.2	11.00	5.46
มี.ค.58	18.55	16.05	15.52	12.66	7.84	6.22	6.58	6.22	4.76	4.51	9.89	5.27
เม.ย.58	16.72	15.27	14.67	11.84	6.42	5.83	5.23	5.06	3.42	3.11	8.76	5.28

ตาราง ผ-2 ผลน้ำหนักรการเจริญเติบโตของคราฤาษีระเบียบงด้านหลัง: ทิศใต้

ก) ระเบียบงด้านหลัง (ทิศใต้) ตัวอย่างต้นที่ 1-10

เดือน	ต้นที่ไม่ผลิตน้ำ										เฉลี่ย	±SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
พ.ค.57	8.44	8.18	7.78	7.43	8.80	5.31	8.10	8.29	7.69	7.13	7.72	0.98
มิ.ย.57	6.42	6.15	6.20	5.91	6.47	3.96	5.99	6.11	6.15	6.00	5.94	0.72
ก.ค.57	5.12	4.85	4.90	4.61	5.17	2.76	4.69	4.81	4.85	4.70	4.65	0.69
ส.ค.57	4.07	3.80	3.85	3.56	4.12	2.61	3.64	3.76	3.80	3.65	3.69	0.42
ก.ย.57	3.90	3.63	3.68	3.39	3.95	2.02	3.47	3.59	3.63	3.48	3.47	0.54
ต.ค.57	3.63	3.36	3.41	3.12	3.68	1.75	3.20	3.32	3.36	3.21	3.20	0.54

ข) ระเบียบงด้านหลัง (ทิศใต้) ตัวอย่างที่ 11-20

เดือน	ต้นที่ผลิตน้ำ										เฉลี่ย	±SD
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
พ.ค.57	6.33	8.04	8.75	8.44	6.49	9.68	6.96	9.27	7.86	9.30	8.11	1.20
มิ.ย.57	5.85	7.25	7.86	7.48	5.83	6.57	8.37	7.77	7.96	6.99	7.19	0.88
ก.ค.57	4.55	5.95	6.56	6.18	4.53	5.27	7.07	6.47	6.66	5.69	5.89	0.88
ส.ค.57	3.50	4.90	5.51	5.13	3.48	4.22	6.02	5.42	5.61	4.64	4.84	0.88
ก.ย.57	3.33	4.73	5.34	4.96	3.31	4.05	5.85	5.25	5.44	4.47	4.67	0.88
ต.ค.57	3.06	4.26	4.87	4.49	2.84	3.58	5.03	4.43	4.62	3.65	4.08	0.76

ค) การเจริญเติบโตของเคราฤาษีระเบียบงด้านหลัง (ทิศใต้) ตัวอย่างที่ 21-30

เดือน	ต้นที่ฉีดน้ำปุ๋ย										เฉลี่ย	±SD
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
พ.ค.57	9.62	9.62	9.81	9.22	8.11	7.56	8.75	8.40	8.22	7.00	8.63	0.94
มิ.ย.57	8.51	8.69	8.62	7.88	7.76	7.06	7.07	6.63	6.62	5.61	7.45	1.02
ก.ค.57	7.21	7.39	7.32	6.58	6.46	5.76	5.77	5.33	5.32	4.31	6.15	1.02
ส.ค.57	6.16	6.34	6.27	5.53	5.41	4.71	4.72	4.28	4.27	3.26	5.10	1.02
ก.ย.57	5.99	6.17	6.10	5.36	5.24	4.54	4.55	4.11	4.10	3.09	4.93	1.02
ต.ค.57	5.17	5.35	5.28	4.54	4.42	3.72	3.73	3.84	3.83	2.82	4.27	0.83

ตาราง ผ-3 ผลน้ำหนักรการเจริญเติบโตของเคราฤาษีระเบียบงด้านห้องสมุด: ทิศตะวันออก

ก) ระเบียบงด้านห้องสมุด (ทิศตะวันออก) ตัวอย่างที่ 1-10

เดือน	ต้นที่ไม่ฉีดน้ำ										เฉลี่ย	±SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
พ.ค.57	8.22	8.3	9.15	8.12	7	7.23	6.96	7.3	7.23	6.96	7.65	0.75
มิ.ย.57	6.95	5.81	4.84	5.99	5.42	5.98	5.45	5.37	5.7	5.34	5.69	0.56
ก.ค.57	5.67	4.53	3.56	4.71	4.14	4.7	4.17	4.09	4.42	4.06	4.41	0.56
ส.ค.57	4.57	3.43	2.46	3.61	3.04	3.6	3.07	2.99	3.32	2.96	3.31	0.56
ก.ย.57	3.79	2.65	2.03	2.83	2.26	2.82	2.29	2.21	2.54	2.18	2.56	0.51
ต.ค.57	3.56	2.42	2.03	2.6	2.03	2.59	2.06	1.98	2.31	1.95	2.35	0.49

ข) ระเบียบด้านห้องสมุด (ทิศตะวันออก) ตัวอย่างที่ 11-20

เดือน	ต้นไม้ที่จัดหน้า										เฉลี่ย	±SD
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
พ.ค.57	8.14	7.04	7.5	7.61	7.1	8.56	8.46	8.38	7.38	7.65	7.78	0.56
มิ.ย.57	6.77	6.54	6.93	6.74	6.12	7.32	6.95	7.04	6.42	6.68	6.75	0.34
ก.ค.57	5.49	5.26	5.65	5.46	4.84	6.04	5.67	5.76	5.14	5.4	5.47	0.34
ส.ค.57	4.39	4.16	4.55	4.36	3.74	4.94	4.57	4.66	4.04	4.3	4.37	0.34
ก.ย.57	3.61	3.38	3.77	3.58	2.96	4.16	3.79	3.88	3.26	3.52	3.59	0.34
ต.ค.57	3.38	3.15	3.54	3.35	2.73	3.93	3.56	3.65	3.03	3.29	3.36	0.34

ค) ระเบียบด้านห้องสมุด (ทิศตะวันออก) ตัวอย่างที่ 21-30

เดือน	ต้นไม้ที่จัดหน้าปุ๋ย										เฉลี่ย	±SD
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
พ.ค.57	8.52	9.82	10.3	8.1	9.01	7.74	7.24	7.01	7.08	6.51	8.13	1.27
มิ.ย.57	5.52	8.1	9.67	7.56	8.46	6.5	5.62	6.33	5.62	7.56	7.09	1.4
ก.ค.57	4.24	6.82	8.39	6.28	7.18	5.22	4.34	5.05	4.34	6.28	5.81	1.4
ส.ค.57	3.14	5.72	7.29	5.18	6.08	4.12	3.24	3.95	3.24	5.18	4.71	1.4
ก.ย.57	2.36	4.94	6.51	4.4	5.3	3.34	2.46	3.17	2.46	4.4	3.93	1.4
ต.ค.57	2.13	4.41	5.08	4.17	5.07	3.11	2.23	2.94	2.23	4.17	3.55	1.17

ตาราง ผ-4 ผลน้ําหน้กการเจริญเติบโตของคราฤาษีระเบียบด้านห้องพักอาจารย์: ทิศตะวันตก

ก) ระเบียบด้านห้องพักอาจารย์ (ทิศตะวันตก) ตัวอย่างที่ 1-10

เดือน	ต้นที่ไม่ฉีดน้ำ										เฉลี่ย	±SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
พ.ค.57	8.27	7.57	6.81	7.49	7.3	6.35	8.46	5.72	7.23	7.16	7.24	0.82
มิ.ย.57	6.05	5.76	5.01	5.93	5.61	5.03	6.13	4.47	5.93	5.43	5.54	0.54
ก.ค.57	4.75	4.46	3.71	4.63	4.31	3.73	4.83	3.17	4.63	4.13	4.24	0.54
ส.ค.57	3.7	3.41	2.66	3.58	3.26	2.68	3.78	2.12	3.58	3.08	3.19	0.54
ก.ย.57	3.53	3.24	2.49	3.41	3.09	2.51	3.61	1.95	3.41	2.91	3.02	0.54
ต.ค.57	3.26	2.97	2.22	3.14	2.82	2.24	3.34	1.68	3.14	2.64	2.75	0.54

ข) ระเบียบด้านห้องพักอาจารย์ (ทิศตะวันตก) ตัวอย่างที่ 11-20

เดือน	ต้นที่ฉีดน้ำ										เฉลี่ย	±SD
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
พ.ค.57	6.78	6.95	8.24	7.88	7.76	6.71	7.59	6.74	7.46	10.04	7.62	1.01
มิ.ย.57	5.77	6.47	7.25	7.06	7.48	5.91	6.2	6.25	6.62	8.16	6.72	0.76
ก.ค.57	4.47	5.17	5.95	5.76	6.18	4.61	4.9	4.95	5.32	6.86	5.42	0.76
ส.ค.57	3.42	4.12	4.9	4.71	5.13	3.56	3.85	3.9	4.27	5.81	4.37	0.76
ก.ย.57	3.25	3.95	4.73	4.54	4.96	3.39	3.68	3.73	4.1	5.64	4.2	0.76
ต.ค.57	2.98	3.48	4.26	4.07	4.49	2.92	2.86	2.91	3.28	4.82	3.61	0.74

ค) ระเบียบด้านห้องพักอาจารย์ (ทิศตะวันตก) ตัวอย่างที่ 21-30

เดือน	ต้นที่ฉีดน้ำปุ๋ย										เฉลี่ย	±SD
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
พ.ค.57	9.58	11.17	6.61	7.36	9.89	8.52	7.56	8.04	7.93	7.34	8.4	1.33
มิ.ย.57	8.51	9.48	7.85	6.52	6.24	7.21	5.44	5.95	5.72	5.82	6.87	1.28
ก.ค.57	7.21	8.18	6.55	5.22	4.94	5.91	4.14	4.65	4.42	4.52	5.57	1.28
ส.ค.57	6.16	7.13	5.5	4.17	3.89	4.86	3.09	3.6	3.37	3.47	4.52	1.28
ก.ย.57	5.99	6.96	5.33	4.00	3.72	4.69	2.92	3.43	3.2	3.3	4.35	1.28
ต.ค.57	5.17	6.14	4.51	3.18	2.9	3.87	2.1	3.16	2.93	3.03	3.7	1.17

ตาราง ผ-4 ผลน้ำหนักรากเจริญเติบโตของเถาฤาษีระเบียบด้านล่างคณะ: ทิศเหนือ

เดือน	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	เฉลี่ย	±SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
พ.ย. 57	14.16	14.48	14.96	14.65	14.85	15.51	16.09	14.86	15.01	14.76	14.93	0.54
ธ.ค. 57	13.65	14.07	15.58	13.28	16.09	16.05	16.83	15.19	14.62	15.34	15.07	1.15
ม.ค. 58	14.78	15.15	15.98	14.58	16.84	17.80	17.58	16.94	15.35	15.72	16.07	1.15
ก.พ. 58	15.56	15.98	16.82	15.88	17.59	18.55	17.76	17.69	15.56	15.88	16.73	1.09
มี.ค. 58	14.98	14.53	15.63	14.93	15.84	17.20	16.18	17.04	14.70	14.50	15.55	1.00
เม.ย. 58	14.42	14.03	14.75	13.45	14.42	16.52	15.70	16.68	13.63	13.22	14.68	1.24

ตาราง ผ-5 ผลน้ำหนักรากเจริญเติบโตของเถาฤาษีบนดาดฟ้าของคณะ

เดือน	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	ต้น	เฉลี่ย	±SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
พ.ย. 57	13.33	13.04	13.75	13.44	13.49	13.68	13.96	13.27	13.86	13.3	13.51	0.29
ธ.ค. 57	13.85	13.25	13.86	13.48	13.83	13.57	14.37	13.77	13.96	12.99	13.69	0.39
ม.ค. 58	14.55	14.95	14.56	14.18	14.53	14.27	14.85	14.47	14.66	13.69	14.47	0.36
ก.พ. 58	13.12	12.9	12.51	12.13	12.48	11.22	12.52	11.82	11.61	11.94	12.23	0.59
มี.ค. 58	11.43	10.73	10.57	10.96	10.61	10.05	11.15	10.25	10.44	9.47	10.57	0.56
เม.ย. 58	9.71	9.26	8.87	8.84	8.24	8.58	9.71	8.75	9.62	8.65	9.02	0.52

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลสภาพอากาศ

เดือนพฤษภาคม 57 - เดือนเมษายน 58

ข้อมูลสภาพอากาศ

ตาราง ข-1 สภาพอากาศรายวันเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557

May	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	1	36	29	23	100	74	37	13	5	0	
	2	36	29	23	94	82	40	24	3	7.87	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	3	35	29	23	100	85	49	34	5	9.91	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	4	36	29	23	100	79	49	21	5	0	ฝนตก
	5	34	29	24	100	88	56	29	5	11.94	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	6	35	29	24	100	83	43	23	5	0	
	7	34	28	23	100	81	47	23	3	1.02	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	8	34	29	23	100	84	49	29	5	7.11	ฝนตก
	9	33	28	23	100	79	51	11	5	0	
	10	34	29	23	100	87	59	19	3	3.05	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	11	36	29	23	100	77	42	19	5	0	พายุฟ้าคะนอง

May	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
12	34	29	24	100	84	53	21	6	0	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
13	35	29	24	94	75	49	24	8	0	
14	34	29	23	100	84	47	35	6	2.03	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
15	35	29	24	100	81	44	21	5	0.51	ฝนตก
16	33	28	23	100	77	45	35	8	0.51	ฝนตก
17	31	27	23	94	84	62	11	3	0	ฝนตก
18	31	27	22	100	92	64	23	3	6.1	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
19	34	29	23	100	78	44	13	5	0	
20	34	29	24	100	76	46	21	6	0	
21	36	30	24	94	83	45	19	6	5.08	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
22	36	29	22	100	79	42	21	8	0	ฝนตก
23	35	29	23	94	79	40	19	5	0.76	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
24	35	29	23	100	75	42	21	5	0	
25	35	29	23	100	77	43	21	6	0	ฝนตก
26	34	29	24	96	83	56	21	6	2.03	ฝนตก
27	33	29	24	100	81	54	14	3	0	

May	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
28	35	29	23	96	84	49	24	3	23.88	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
29	34	29	23	95	85	49	14	5	0	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
30	34	29	23	100	90	54	21	5	9.91	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
31	35	29	23	100	83	52	16	6	0	ฝนตก
เฉลี่ย	34	29	23	99	82	48	21	5	91.71	

ตาราง ข-2 สภาพอากาศรายวันเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557

Jun	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
1	33	29	25	100	81	54	19	8	1.02	ฝนตก
2	34	29	24	100	85	47	16	3	20.07	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
3	33	28	24	100	86	66	26	5	0	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
4	33	28	24	100	83	60	23	6	0	ฝนตก
5	33	29	24	94	85	63	19	6	0	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
6	33	29	24	100	81	53	16	5	0	
7	35	29	24	100	76	40	23	5	0	

Jun	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	8	35	29	23	95	77	45	21	8	0	
	9	36	29	23	100	84	46	19	5	0	พายุฟ้าคะนอง
	10	36	30	23	100	81	45	19	5	0	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	11	35	29	23	100	77	44	29	6	0	
	12	29	27	23	100	90	69	26	10	7.11	ฝนตก
	13	32	28	23	100	81	54	19	5	0	
	14	31	27	23	99	85	57	14	3	3.05	ฝนตก
	15	34	29	23	100	78	51	16	3	0	
	16	33	29	24	100	82	55	14	3	0	ฝนตก
	17	33	29	25	100	81	52	14	5	0	
	18	34	29	23	100	78	46	19	5	0	
	19	36	29	23	100	73	34	14	5	0	
	20	36	29	22	100	72	42	19	5	0	
	21	34	28	23	94	78	50	21	3	0	
	22	34	29	24	100	83	59	101	5	0.25	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	23	34	29	24	100	78	50	29	6	0	
	24	34	29	24	94	79	52	32	6	2.03	ฝนตก
	25	34	28	22	100	79	49	16	3	0	
	26	35	28	22	100	78	41	16	3	0	ฝนตก
	27	36	28	21	100	72	36	21	5	0	หมอกคลุม
	28	36	29	22	94	70	31	26	6	0	
	29	33	28	23	94	81	54	26	8	3.05	ฝนตก
	30	33	28	23	94	84	57	19	8	0.51	ฝนตก

Jun	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
เฉลี่ย	34	29	23	99	80	50	23	5	37.09	

ตาราง ข-3 สภาพอากาศรายวันเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2557

Jul	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
1	33	28	23	100	90	66	21	3	16	ฝนตก
2	35	28	22	100	75	39	29	5	0	
3	35	28	21	100	76	45	24	6	0	
4	34	28	22	100	79	45	13	3	0	
5	33	28	23	100	76	46	21	6	0	
6	34	29	23	94	82	56	26	5	4.06	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
7	31	27	23	89	79	63	23	6	0	ฝนตก
8	34	29	23	91	71	46	32	13	0.25	ฝนตก
9	33	28	24	100	79	49	24	8	10.92	ฝนตก
10	33	28	24	100	79	55	13	5	0	ฝนตก
11	33	28	24	100	81	56	24	6	0.76	ฝนตก
12	33	28	23	100	77	48	34	8	2.03	ฝนตก
13	33	28	24	100	75	48	24	6	0	
14	32	27	22	94	82	54	60	5	4.06	ฝนตก
15	33	29	24	100	91	62	16	3	16	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
16	34	28	23	100	78	45	27	5	0	หมอกคลุม

Jul	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
17	34	29	23	100	75	44	27	6	0	
18	34	29	23	94	75	47	19	6	0	
19	34	28	22	94	74	42	19	3	0	
20	34	28	22	100	76	44	14	3	0	
21	34	28	23	100	76	41	19	5	0	
22	33	28	23	94	76	49	27	6	0	
23	35	29	24	100	74	38	24	8	0	
24	35	29	23	100	72	38	29	6	0	
25	35	29	23	89	73	40	19	6	0	
26	34	29	24	94	81	49	14	6	0.25	ฝนตก
27	35	29	22	100	70	35	21	8	0	
28	36	29	23	95	74	40	32	6	0	ฝนตก
29	35	29	23	100	72	37	32	8	0	
30	36	30	24	100	72	36	27	10	0	
31	34	29	24	89	68	38	32	8	0	
เฉลี่ย	34	28	23	97	77	46	25	6	54.33	

ตาราง ข-4 สภาพอากาศรายวันเดือนสิงหาคม พ.ศ.2557

Aug	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
1	36	30	24	89	68	39	29	10	0	
2	37	30	22	94	71	36	24	6	0	
3	36	29	22	100	74	37	35	5	0	
4	36	29	23	95	73	41	23	6	0	พายุฟ้าคะนอง

Aug	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	5	33	28	23	94	75	40	21	5	2.03	ฝนตก
	6	33	28	23	100	77	47	19	6	0.25	ฝนตก
	7	33	28	23	94	76	47	23	10	0	
	8	34	28	22	94	75	40	19	6	0	ฝนตก
	9	36	29	22	100	82	40	35	6	71.12	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	10	35	28	21	100	75	43	21	6	0	
	11	34	28	21	94	78	46	24	5	23.11	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	12	34	28	22	100	76	45	21	6	0	
	13	33	28	22	100	80	44	27	6	0.76	ฝนตก
	14	33	28	23	100	84	53	23	5	9.91	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	15	33	28	23	100	79	50	21	8	0	
	16	33	28	22	95	80	53	27	5	0.51	ฝนตก
	17	34	29	23	100	82	48	14	6	25.91	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	18	33	28	24	100	80	50	21	5	0	หมอกคลุม , ฝนตก
	19	33	28	24	100	80	51	14	6	0.25	ฝนตก
	20	32	28	24	94	86	62	13	5	28.96	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง

Aug	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	21	33	28	23	100	77	51	14	3	0	
	22	33	28	23	98	81	55	16	3	3.05	ฝนตก
	23	32	28	24	100	88	59	21	5	7.11	หมอกคลุม , ฝนตก
	24	33	28	23	100	88	50	14	5	27.94	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
	25	32	28	23	100	87	53	23	5	2.03	หมอกคลุม , ฝนตก
	26	31	27	23	100	89	66	24	6	2.03	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	27	29	26	23	100	84	58	23	8	0	ฝนตก
	28	30	26	22	94	85	66	29	6	7.11	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	29	33	27	22	100	82	53	26	5	0	
	30	33	28	24	94	83	51	13	3	0.51	ฝนตก
	31	33	28	23	100	86	46	29	5	10.92	หมอกคลุม , ฝนตก
เฉลี่ย		33	28	23	98	80	49	22	6	223.51	

ตาราง ข-5 สภาพอากาศรายวันเดือนกันยายน พ.ศ.2557

Sep	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
1	33	28	23	100	79	49	19	5	0	
2	33	28	23	100	87	54	19	5	0	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
3	34	29	24	100	83	48	16	5	0.25	พายุฟ้าคะนอง
4	33	28	23	100	85	52	14	5	5.08	
5	33	28	23	100	79	47	26	5	0.51	ฝนตก
6	33	28	24	100	73	46	23	6	0	
7	31	27	23	100	87	65	37	5	3.05	ฝนตก
8	31	27	23	100	80	55	16	6	0	ฝนตก
9	30	27	23	100	84	54	23	6	2.03	ฝนตก
10	31	27	23	100	87	54	29	8	4.06	ฝนตก
11	33	28	23	100	84	53	27	8	1.02	ฝนตก
12	31	27	23	94	84	61	27	10	1.02	ฝนตก
13	30	27	23	100	84	60	26	8	2.03	ฝนตก
14	31	27	23	94	85	60	34	10	7.11	ฝนตก
15	31	27	23	100	90	70	19	8	18.03	ฝนตก
16	29	26	23	100	91	71	19	6	13.97	ฝนตก
17	31	27	23	100	85	65	16	5	0	
18	34	29	23	100	81	51	21	5	0	
19	33	28	23	100	80	42	21	5	0	หมอกคลุม
20	34	29	23	100	72	41	21	3	0	
21	31	27	23	94	80	57	21	5	0	ฝนตก
22	33	28	23	100	80	45	13	5	1.02	ฝนตก

Sep	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	23	33	28	23	95	82	50	14	3	0	
	24	28	26	23	100	88	79	10	3	2.03	ฝนตก
	25	33	29	24	100	87	53	26	6	29.97	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	26	33	28	23	100	81	53	16	5	0	หมอกคลุม
	27	34	29	23	100	79	50	13	5	0	
	28	33	29	24	100	88	50	26	5	18.03	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
	29	34	29	23	100	85	44	21	5	0.25	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
	30	33	28	23	100	87	54	19	6	7.11	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
เฉลี่ย		32	28	23	99	83	54	21	6	116.57	

ตาราง ข-6 สภาพอากาศรายวันเดือนตุลาคม พ.ศ.2557

Oct	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
1	33	28	22	100	88	49	19	5	4.06	หมอกคลุม , ฝนตก
2	32	28	23	100	91	60	37	5	2.03	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
3	32	28	23	100	90	59	16	5	12.95	ฝนตก
4	29	27	23	100	86	59	19	5	2.03	ฝนตก
5	28	26	23	100	94	75	14	6	33.02	ฝนตก
6	32	27	23	100	82	47	26	10	7.87	ฝนตก
7	30	27	23	100	86	66	19	5	2.03	ฝนตก
8	33	28	23	100	86	51	16	5	8.89	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
9	32	28	23	100	88	62	14	3	2.03	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
10	33	28	23	100	87	49	19	3	1.02	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
11	33	28	23	100	89	62	21	5	11.94	หมอกคลุม , ฝนตก

Oct	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	12	32	28	23	100	93	57	19	3	13.97	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	13	31	27	22	100	89	60	26	5	4.06	หมอกคลุม , ฝนตก
	14	32	27	22	100	84	53	23	8	0.25	ฝนตก
	15	31	27	23	100	90	63	16	5	41.91	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	16	32	28	23	100	85	58	24	6	0	
	17	29	26	23	100	91	73	23	5	7.11	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	18	31	28	24	100	88	63	19	5	1.02	ฝนตก
	19	32	28	24	100	84	59	13	3	0.76	ฝนตก
	20	32	28	24	100	83	52	14	6	0.51	ฝนตก
	21	32	28	24	100	86	59	19	5	0	
	22	33	28	24	100	82	51	60	5	0.25	หมอกคลุม , ฝนตก
	23	31	27	24	100	89	66	14	5	3.05	ฝนตก
	24	32	28	23	100	89	54	19	3	3.05	หมอกคลุม , ฝนตก
	25	34	29	23	100	86	49	13	5	6.1	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง

Oct	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
26	32	28	23	100	86	56	21	5	0.51	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
27	32	28	23	100	90	66	24	5	21.08	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
28	33	28	23	100	88	49	19	5	3.05	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
29	33	28	23	100	87	49	11	5	3.05	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
30	33	28	23	100	88	57	19	3	0	หมอกคลุม , ฝนตก
31	32	27	23	100	85	57	13	5	0	
เฉลี่ย	32	28	23	100	87	58	20	5	197.60	

ตาราง ข-7 สภาพอากาศรายวันเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

Nov	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
1	28	26	24	100	91	75	11	3	2.03	ฝนตก
2	33	28	23	100	85	56	10	3	0	หมอกคลุม
3	33	28	23	100	83	59	24	5	0.25	ฝนตก
4	32	28	23	100	88	62	14	5	11.94	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
5	32	28	23	100	88	60	26	5	0.51	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
6	32	28	24	100	85	54	16	5	0	หมอกคลุม , พายุฟ้า คะนอง
7	28	26	23	100	94	79	13	3	1.02	ฝนตก
8	26	24	23	100	96	82	19	6	16	ฝนตก
9	32	27	23	100	85	56	16	5	2.03	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
10	32	28	23	100	88	65	26	5	0	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
11	33	28	22	100	84	50	23	6	0	
12	32	28	23	100	82	40	19	3	0	ฝนตก
13	30	27	23	100	92	67	19	6	35.05	ฝนตก

Nov	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	14	31	27	23	100	89	62	23	6	7.11	ฝนตก
	15	28	26	23	100	92	78	14	3	4.06	ฝนตก
	16	32	27	22	100	84	57	37	6	2.03	ฝนตก
	17	31	27	23	100	85	64	23	6	2.03	ฝนตก
	18	26	24	23	100	96	87	16	5	11.94	ฝนตก
	19	29	26	23	100	88	74	16	6	8.89	ฝนตก
	20	26	24	23	100	96	89	11	6	6.1	ฝนตก
	21	31	28	24	100	91	63	27	6	1.02	ฝนตก
	22	30	27	24	100	92	74	14	6	7.11	ฝนตก
	23	31	27	23	100	87	61	19	6	1.02	หมอกคลุม , ฝนตก
	24	32	28	24	100	85	56	19	5	8.89	ฝนตก
	25	32	28	23	100	88	62	19	5	0	หมอกคลุม , ฝนตก
	26	32	28	24	100	85	59	16	6	7.11	ฝนตก
	27	31	27	23	100	88	63	21	8	7.11	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
	28	31	27	23	100	91	68	14	3	6.1	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	29	32	28	23	100	85	60	14	3	0	
	30	34	29	23	100	83	39	11	5	0.25	หมอกคลุม , ฝนตก
	เฉลี่ย	31	27	23	100	88	64	18	5	149.60	

ตาราง ข-8 สภาพอากาศรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ.2557

Dec	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	1	33	28	23	100	82	51	16	3	0	
	2	33	28	23	100	86	53	21	5	0	
	3	32	28	23	100	89	54	16	5	4.06	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
	4	31	27	23	100	89	65	21	3	1.02	หมอกคลุม , ฝนตก , พายุฟ้าคะนอง
	5	32	28	23	100	85	61	16	3	0.76	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	6	32	27	23	100	91	70	19	5	14.99	ฝนตก
	7	31	27	23	100	88	64	21	5	2.03	หมอกคลุม , ฝนตก
	8	30	27	23	100	86	57	26	6	21.08	ฝนตก
	9	32	27	22	100	79	53	29	6	0	
	10	32	27	23	100	81	56	23	8	0	
	11	31	27	23	94	85	68	19	5	4.06	ฝนตก
	12	31	27	22	100	85	52	27	5	0	ฝนตก
	13	27	24	22	100	94	89	24	5	108.97	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง

Dec	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	14	25	24	23	100	97	89	23	8	87.88	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	15	29	26	23	100	92	78	19	6	3.05	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	16	28	26	23	100	96	84	11	5	35.05	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	17	26	24	23	100	97	89	23	5	77.98	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	18	27	24	22	100	93	81	23	6	20.07	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	19	30	27	23	100	87	67	32	8	0	ฝนตก
	20	29	26	23	100	92	74	26	8	54.1	ฝนตก
	21	27	25	23	100	96	84	13	5	68.07	ฝนตก
	22	28	26	23	100	94	78	21	8	29.97	ฝนตก
	23	28	26	23	100	92	70	23	8	30.99	ฝนตก
	24	27	26	24	100	93	78	19	8	4.06	ฝนตก
	25	29	27	24	100	91	74	23	10	11.94	ฝนตก
	26	31	27	24	100	87	58	27	10	7.11	ฝนตก
	27	32	28	23	94	87	74	26	8	7.11	หมอกคลุม , ฝนตก
	28	31	27	23	94	85	63	34	8	7.87	ฝนตก
	29	28	26	23	94	92	87	16	3	8.89	ฝนตก

Dec	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
30	30	27	23	94	81	59	16	5	0	ฝนตก
31	30	26	22	94	85	64	26	6	0	ฝนตก
เฉลี่ย	30	26	23	99	89	69	22	6	611.11	

ตาราง ข-9 สภาพอากาศรายวันเดือนมกราคม พ.ศ.2558

Jan	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
1	31	27	23	94	82	58	26	10	0	
2	29	26	22	95	87	62	19	6	0.25	ฝนตก
3	30	26	22	100	82	56	23	8	0	
4	29	26	23	100	89	70	19	5	1.02	ฝนตก
5	31	27	23	100	83	54	23	5	0.25	
6	32	28	23	100	82	18	23	8	0	
7	30	27	23	100	87	70	21	5	3.05	ฝนตก
8	30	27	23	100	82	66	182	10	2.03	ฝนตก
9	31	27	23	89	74	49	29	8	0	
10	29	27	23	94	81	57	24	6	0	ฝนตก
11	31	27	23	100	80	52	23	8	0	
12	31	27	22	100	79	50	32	10	0	
13	32	27	22	94	80	57	32	10	0	
14	32	27	22	100	80	63	26	10	0	
15	31	26	21	89	78	52	24	8	0	
16	31	26	20	100	83	59	24	6	0	
17	31	24	19	100	82	60	27	6	0	
18	31	25	19	94	77	54	32	11	0.25	ฝนตก

Jan	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
19	30	24	19	94	77	49	26	8	0.25	ฝนตก
20	31	26	21	94	80	54	27	10	0	
21	31	26	21	94	80	54	26	10	0	
22	31	26	20	100	81	58	24	6	0	
23	31	26	19	94	79	54	24	8	0	
24	32	26	19	100	81	52	23	8	0	
25	32	26	19	95	81	59	21	8	0	
26	32	26	21	94	79	57	26	8	0.25	ฝนตก
27	31	25	19	100	82	58	217	8	0	
28	31	26	19	100	78	52	23	5	0	
29	32	26	20	100	82	53	23	6	0	
30	32	27	21	100	76	51	27	8	0	
31	32	27	22	88	73	52	34	11	0	
เฉลี่ย	31	26	21	97	81	55	36	8	7.35	

ตาราง ข-10 สภาพอากาศรายวันเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2558

Feb	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
1	31	26	20	89	71	48	34	10	0	
2	32	26	19	100	74	48	39	11	0	
3	32	26	19	89	74	50	34	10	0	
4	32	26	20	94	73	43	27	10	0	
5	32	27	21	94	78	54	29	10	0	
6	31	26	21	83	67	39	37	13	0	
7	32	26	19	94	77	53	29	11	0	

Feb	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
8	32	26	19	94	73	42	32	8	0	
9	32	27	21	89	72	41	37	11	0	
10	32	25	18	94	72	41	26	6	0	
11	32	26	19	94	75	46	24	10	0	
12	32	25	18	94	77	50	32	8	0	
13	32	26	19	94	79	51	27	11	0	
14	32	25	18	94	74	42	21	8	0	
15	32	25	18	94	76	45	23	6	0	
16	31	25	19	94	77	54	23	8	0	ฝนตก
17	33	28	23	89	75	51	23	10	0	
18	33	28	24	94	76	49	23	8	0	
19	32	28	24	94	77	50	26	8	0	
20	32	27	22	94	76	48	27	11	0	
21	33	27	22	94	77	53	24	10	0	
22	32	27	22	100	76	46	24	8	0	
23	33	27	21	100	78	52	23	6	0	
24	33	26	19	100	75	39	24	6	0	
25	33	27	20	100	76	43	24	8	0	
26	33	26	19	100	77	45	26	6	0	
27	33	26	19	100	76	27	26	6	0	
28	33	27	20	94	75	44	23	8	0	
เฉลี่ย	32	26	20	94	75	46	27	9	0.00	

ตาราง ข-11 สภาพอากาศรายวันเดือนมีนาคม พ.ศ.2558

Mar	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
1	34	28	22	94	75	48	27	10	0	
2	33	28	22	89	75	47	26	8	0	
3	34	28	22	100	75	37	21	6	0	
4	37	29	21	100	73	32	19	5	0	
5	36	29	21	100	72	32	24	6	0	
6	34	28	21	100	71	36	23	6	0	
7	35	28	21	94	71	44	26	8	0	
8	35	28	22	89	77	53	26	5	0	
9	34	28	22	94	71	44	27	6	0	
10	33	27	21	89	75	50	29	8	0	
11	33	27	21	94	74	39	32	10	0	
12	35	27	19	94	69	26	26	8	0	
13	33	27	19	94	71	39	29	8	0	
14	35	27	19	83	61	25	24	6	0	
15	34	26	18	100	75	45	27	6	0	
16	36	27	19	100	72	30	23	6	0	
17	35	27	18	95	68	32	21	5	0	
18	36	28	21	94	73	39	23	6	0	
19	37	28	19	100	70	26	19	5	0	
20	37	28	20	100	70	27	23	5	0	
21	34	28	21	100	75	39	21	6	0	
22	36	29	23	100	72	37	23	6	0	
23	34	28	21	94	70	33	23	6	0	
24	35	28	22	94	69	34	27	10	0	
25	34	28	22	94	73	52	34	11	0	

Mar	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	26	34	28	23	84	72	51	29	10	0	
	27	34	28	22	94	76	51	34	10	0	ฝนตก
	28	34	28	23	94	76	49	29	8	0	
	29	34	29	23	94	77	50	29	11	0	
	30	34	29	24	89	74	50	32	10	0	
	31	35	29	23	94	73	39	24	8	0	
เฉลี่ย		35	28	21	95	72	40	26	7	0.00	

ตาราง ข-12 สภาพอากาศรายวันเดือนเมษายน พ.ศ.2558

Apr	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	1	36	29	23	100	76	44	24	6	0	
	2	37	29	22	95	68	24	19	5	0	
	3	37	30	22	94	73	31	21	5	0	
	4	37	29	21	100	69	31	23	6	0	
	5	38	30	22	89	67	25	26	5	0	
	6	37	29	22	94	70	27	19	3	0	
	7	35	29	22	100	74	47	24	8	0	
	8	36	29	23	89	68	36	27	8	0	
	9	35	29	23	94	70	38	26	10	0.25	ฝนตก
	10	35	29	23	89	72	51	27	8	0	
	11	35	29	24	89	75	49	24	5	0	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง

Apr	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events	
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg		sum
	12	36	29	23	94	76	46	29	8	0	
	13	36	29	23	94	71	35	27	8	0	
	14	33	28	24	100	82	55	48	8	25.91	ฝนตก
	15	32	28	24	100	84	54	23	6	7.87	ฝนตก
	16	34	29	23	100	78	48	26	10	0	
	17	34	29	24	94	79	49	24	8	0	
	18	36	30	23	100	80	44	19	5	6.1	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	19	35	29	23	100	77	51	21	5	0	
	20	36	29	22	94	74	42	14	5	0	
	21	37	30	23	95	74	39	23	3	0	
	22	36	30	25	94	83	47	23	5	0.51	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	23	34	29	24	100	86	52	29	5	2.03	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	24	34	29	23	100	83	59	24	5	0	
	25	34	29	24	100	83	59	32	6	0	
	26	35	29	24	97	79	50	29	8	0	
	27	34	29	23	100	84	54	35	5	10.92	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
	28	34	29	23	100	81	49	24	6	0.25	ฝนตก

Apr	Temp (°C)			Humidity (%)			Wind (km/h)		precipitation (mm)	Events
	date	high	avg	low	high	avg	low	high	avg	
29	34	29	23	100	82	43	45	5	20.07	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
30	33	28	23	100	89	62	21	5	7.87	ฝนตก , พายุฟ้า คะนอง
เฉลี่ย	35	29	23	97	77	45	26	6	81.78	

ตาราง ข-13สภาพอากาศรายปีตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ.57 - เดือนเมษายน พ.ศ.2558

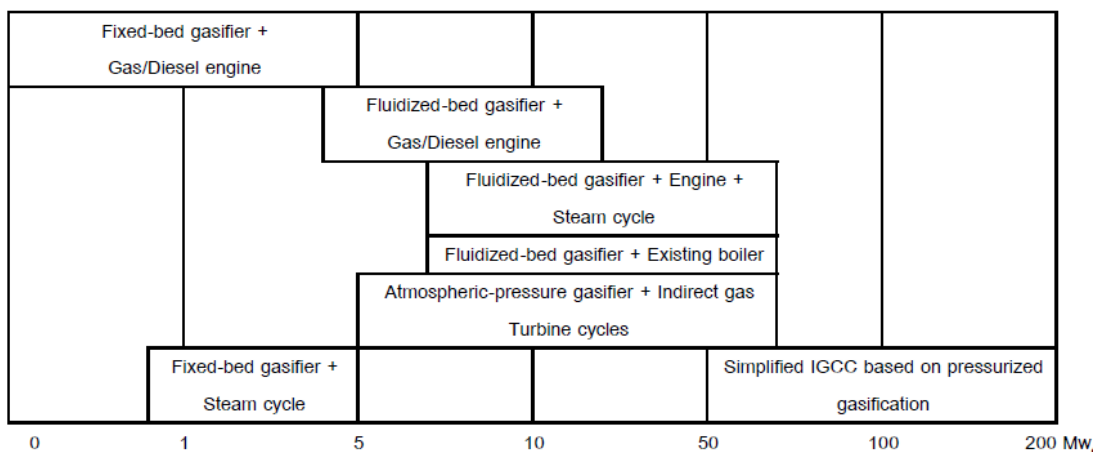
weather		Max	Avg	Min	Sum
Temperature (°C)	Max Temperature	38	33	25	-
	Mean Temperature	30	28	24	-
	Min Temperature	25	23	18	-
precipitation (mm)		109.0	4.3	0.0	1570.65
Wind (km/h)		217 km/h	6 km/h	0 km/h	-

ภาคผนวก ค.

เทคโนโลยีในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

เทคโนโลยีในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

เทคโนโลยีในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวลในปัจจุบันได้มีการศึกษาทดสอบ และสาธิต เทคโนโลยีต่าง ๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อให้ได้มาซึ่งเทคโนโลยีที่เหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด โดยข้อมูลส่วนมากที่ได้มาจากการศึกษาในประเทศแถบยุโรป และอเมริกา มีการสนับสนุนอย่างจริงจังเพื่อส่งเสริมให้เกิดการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากขบวนการผลิตและการลดต้นทุนการผลิตพลังงานเพื่อการอุตสาหกรรมในปัจจุบัน สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้วความต้องการที่จะใช้พลังงานเพิ่มขึ้น พลังงานชีวมวลเป็นตัวเลือกที่สามารถทำได้เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถหาได้ง่าย รวมถึงมีการจัดเก็บไว้และสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าได้โดยง่ายตามความต้องการ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ทั้งในโรงไฟฟ้าตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ (รูปที่ ก-1) การผลิตไฟฟ้าโดยเชื้อเพลิงชีวมวลจะผลิตด้วยระบบ Gasification

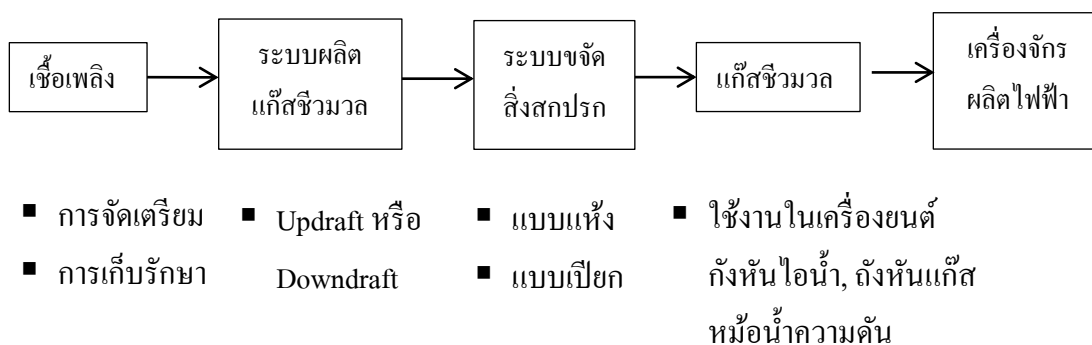


รูปที่ ก-1 การผลิตไฟฟ้าโดยเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยระบบ Gasification

ที่มา: Larson, 1998

จากรูปที่ ค-1 แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยระบบ Gasification นั้นจะแบ่งตามระดับกำลังการผลิตไฟฟ้า ซึ่งโรงไฟฟ้าขนาด 0.1-5 MW นั้นเหมาะกับระบบ Fixed Bed Gasifier ซึ่งใช้เครื่องยนต์และกังหันไอน้ำในการผลิตไฟฟ้า ขณะที่โรงไฟฟ้าขนาด 5-50 MW นั้นเหมาะสำหรับระบบ Fluidized Bed Gasifier ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน, กังหันไอน้ำ, หม้อต้มไอน้ำความดัน ในการผลิตไฟฟ้า ส่วนโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่กว่า 50 MW จนถึง 200 MW มีเพียงระบบ Integrated Gasification Combined Cycle เท่านั้นที่สามารถผลิตได้

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวมวลแบบ Fixed Bed คือ การเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งให้เป็นก๊าซ ซึ่งนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและเศษวัสดุชีวมวลให้ความร้อนและการเผาและจำกัดอากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวมวลและจะนำไปใช้ต่อในเครื่องจักรต่างๆ ขบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเป็นก๊าซชีวมวลสามารถอธิบายได้ (รูปที่ ค-2)



รูปที่ ค-2 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล

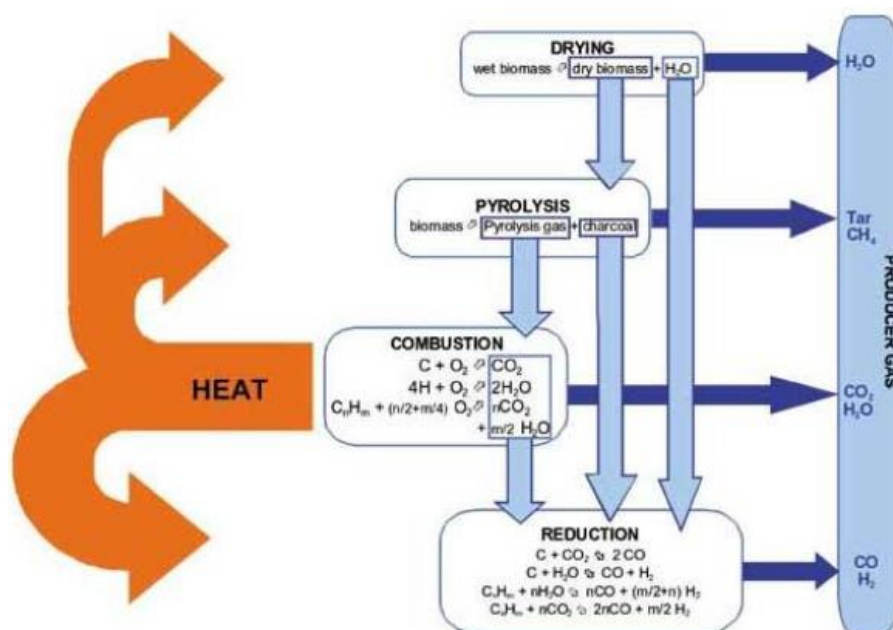
ที่มา: ยาวธีร อัจฉกุล, 2553

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวมวลด้วยระบบ Gasification นั้นเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ซับซ้อน (รูปที่ ค-3) ซึ่งในตัวเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้ คือ

- Drying : ไอน้ำที่แทรกตัวอยู่ในเชื้อเพลิงจะโดนไล่ออกด้วยความร้อนที่มาจากโชนเผาไหม้ของเตาปฏิกรณ์ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างเต็มที่
- Pyrolysis : เป็นขั้นตอนแรกของการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศ ขั้นตอนนี้เชื้อเพลิงแข็งจะแตกออกเป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

- Oxidation : เป็นโซนที่มีการเผาไหม้โดยจ่ายอากาศเข้าไปในเตาปฏิกิริยาซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงแข็งที่มาจาก Pyrolysis โซนเพื่อให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์และโมเลกุลของน้ำ

- Reduction : เป็นขั้นตอนที่สองของการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศโดยเป็นโซนที่มีอุณหภูมิสูงสุด การเผาแบบจำกัดนี้ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน



รูปที่ ค-3 ปฏิกิริยาเคมีในเตาปฏิกรณ์ระบบ Gasification

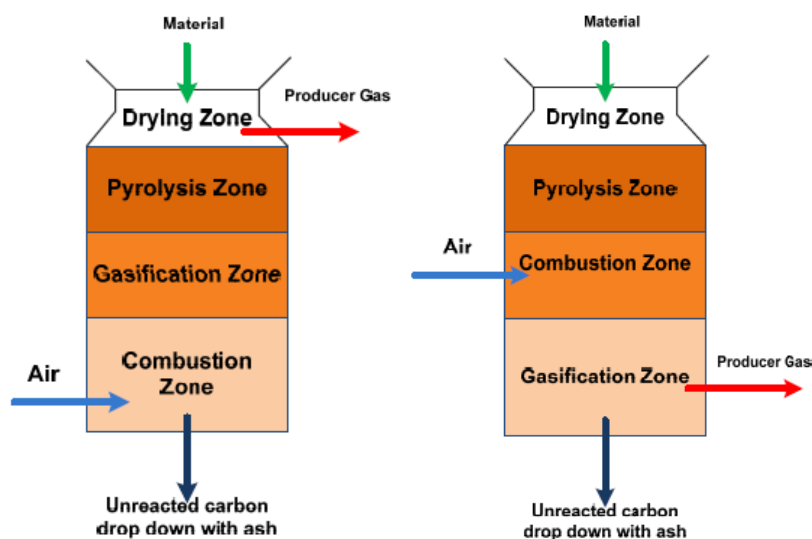
ที่มา: กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2558

เทคโนโลยีแบบ Fixed Bed นี้ เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเท่านั้น เพราะค่าใช้จ่ายในการลงทุนค่อนข้างต่ำซึ่งเทียบกับระบบที่ใหญ่กว่าแล้วจะคุ้มค่ากว่า อีกทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่และเดินระบบสายส่งไฟฟ้าและยังเป็นการสร้างรายได้ให้กับชุมชนอีกทางหนึ่งอีกด้วย โดยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีววมวลและใช้การผลิตไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 100 kW ที่จะกล่าวต่อไปคือ แบบ Downdraft และ Updraft

- แบบ Updraft เป็นระบบก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้จะไหลขึ้นสวนทางกับการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงหรือ Counter Current โดยเชื้อเพลิงชีววมวลจะถูกบรรจุเข้าทางด้านบนของเตาปฏิกรณ์และไหลตกลงสู่ด้านล่างของเตาซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นภายใน โดยอากาศจะถูกอัดเข้าทางด้านล่าง

ของเตาปฏิกรณ์ซึ่งจะสวนทางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงเพื่อให้ก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้นั้นไหลออกสู่ทางด้านบนของของเตาปฏิกรณ์ (รูปที่ ค-4)

- แบบ Downdraft เป็นระบบที่ก๊าซชีววมวลที่ผลิตจะไหลไปในทิศทางเดียวกับเชื้อเพลิงที่ใส่ลงไป ในเตาปฏิกรณ์หรือ Co-current โดยทั่วไปอากาศจะถูกอัดเข้าไปในเตาปฏิกรณ์จากด้านล่าง และก๊าซที่ผลิตได้จะออกจากด้านล่างของเตาปฏิกรณ์ (รูปที่ ค-5) จะแสดงให้เห็นว่าน้ำมันดินส่วนใหญ่จะถูกผลิตในนั้น Pyrolysis จะไหลลงมาตามอากาศและจะถูกกำจัดจนเกือบหมดในชั้นของ Oxidation เป็นผลให้ระบบนี้มีการเกิดตัวของน้ำมันดินน้อยกว่าระบบ Updraft มาก



รูปที่ ค-4 การผลิตก๊าซชีววมวลแบบ

Updraft Gasification

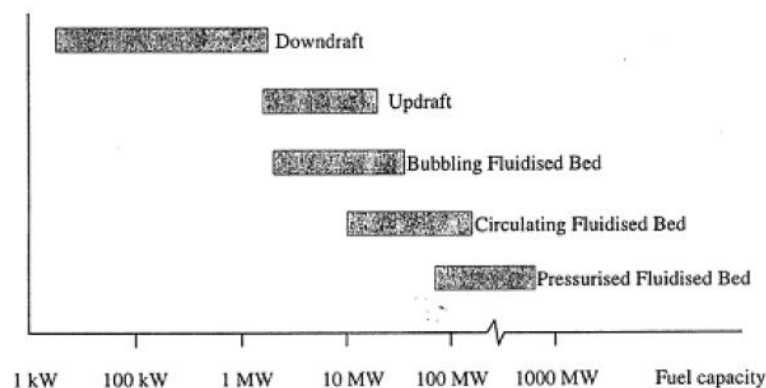
รูปที่ ค-5 การผลิตก๊าซชีววมวลแบบ

Downdraft Gasification

ที่มา: เยาวชิร อัศวังกุล, 2553

การผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากนั้นจะเห็นได้ว่าแบบเตาชีววมวลที่เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กไม่ต่ำกว่า 100 kW นี้จะเป็นแบบ Downdraft (รูปที่ ค-6) นอกจากความแตกต่างในเรื่องกำลังในการผลิตไฟฟ้าของเตาปฏิกรณ์แบบ Updraft และ Downdraft ยังมีข้อแตกต่างในการเตรียมเชื้อเพลิงและการใช้งาน ซึ่ง Downdraft จะต้องมีการเตรียมเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็กและมีรูปร่างที่แน่นอน ระบบ Updraft สามารถใช้งานกับเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงได้ เพราะการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในเตาปฏิกรณ์นั้นต่างจากระบบ Downdraft คือ ขั้นตอนการ Drying นั้นจะอยู่สุดท้าย ฉะนั้นก๊าซที่ผลิตได้จากระบบ Updraft จะมีความชื้นต่ำกว่า สามารถใช้งานกับวัตถุที่มีความชื้นสูงได้ ดังนั้นจึงมีความ

จำเป็นที่จะต้องเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับระบบ Downdraft โดยเฉพาะความชื้นและความหนาแน่นของวัสดุ



รูปที่ ค-6 รูปแบบการผลิตไฟฟ้าในเตาปฏิกรณ์แบบต่าง ๆ

ที่มา: ศุภวิทย์ ลวณะสกล, 2558

ตัวอย่างต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก

โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(รูปที่ ค-7) ได้รับความร่วมมือจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และบริษัท ซาตาเคคอร์ปอเรชั่น จำกัด ประเทศญี่ปุ่น โรงไฟฟ้าแห่งนี้ใช้เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) ซึ่งกำลังการผลิต 100 กิโลวัตต์ เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชันที่ใช้เป็นชนิด Open Top Downdraft Gasification ควบคุมปริมาณอากาศที่ไหลผ่านทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ มีการป้อนเชื้อเพลิงจากด้านบน โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่ถูกป้อนเข้าจะเป็นของแข็งจะมีองค์ประกอบทางเคมีคือ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 18-22% ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) 18-20% และ ก๊าซมีเทน (CH_4) 1-2% มีค่าความร้อนเฉลี่ยของเชื้อเพลิง 4.5-5.5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้สามารถใช้ได้กับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้ทุกประเภท ทั้งเศษไม้ ทางและทะเลสาบปาล์ม แกลบ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง ฯลฯ จึงเป็นเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กตัวอย่างที่เหมาะสมกับทุกภาคในประเทศไทย โดยโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 100 kW ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ระบบเตาผลิตก๊าซชีวมวล ระบบทำความสะอาดก๊าซ และระบบผลิตไฟฟ้า



รูปที่ ค-7 โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 ที่มา: ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2548

โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก บริษัท มุ่งเจริญกรีนเพาเวอร์ จำกัด

เป็นโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กที่มีโรงสีข้าวมุ่งเจริญพรเป็นแหล่งเชื้อเพลิงหลัก ทางโรงสีข้าวได้เห็นประโยชน์ของแกลบเพื่อผลิตเป็นไฟฟ้าใช้เองภายในจังหวัด และลดปริมาณแกลบที่เพิ่มขึ้นในจังหวัดรวมถึงส่งผลดีต่อการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าในจังหวัด เหตุผลนี้สนับสนุนและสอดคล้องกับนโยบายของประเทศที่จะช่วยรัฐประหยัดพลังงานและการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์อื่นๆ สำหรับใช้ในการผลิตไฟฟ้า จึงก่อสร้าง “โครงการโรงไฟฟ้ามุ่งเจริญกรีนเพาเวอร์” (รูปที่ ค-8) ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีกำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 8.8 MW เชื้อเพลิงหลักที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงแกลบจากโรงสีข้าวมุ่งเจริญพร และ โรงสีข้าวใกล้เคียงซึ่งค่าความร้อนของแกลบ 16.29 MJ/kg โดยโรงไฟฟ้าต้องการใช้แกลบประมาณ 85,000 ตัน/ปี หรือประมาณ 270 ตัน/วัน



รูปที่ ค-8 โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก บริษัท มุ่งเจริญกรีนเพาเวอร์ จำกัด
ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2548

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวนිරนุช วีระวงศ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5610920020

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2555

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท พ.ศ. 2557
- ทุนอุดหนุนทุนวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

- โปสเตอร์ทางวิชาการ RRI PSU Forum 2016
- โปสเตอร์ทางวิชาการ International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2014), Bangkok, Thailand

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Neeranoot Weerawong, Natthaya C. van Beem and Kuaanan Techato. (2016). Feasibility of

Using *Tillandsia usneoides* L. as Biomass. **Advances in Agricultural & Environmental**

Engg. (IJAAEE) Vol. 3, Issue 1 (2016) ISSN 2349-1523 EISSN 2349-1531