

ถ่านอัดเม็ดและน้ำส้มควันไม้จากการคาร์บอนในเซชัน
ของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ปริญญา นูวบุตร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2558

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



ถ่านอัดเม็ดและน้ำส้มควันไม้จากการคาร์บอนเซชัน
ของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ปริญญา นูวบุตร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2558

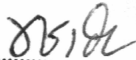
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายปริญญา นูบุตร
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ.ดร.ทรงชัย วีริยะอำไพวงศ์)

ประธานกรรมการ

(กรรมการบัณฑิตศึกษาประจำคณะ)



(ผศ.ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์)

กรรมการ

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)



(ผศ.ดร.เจริญพร เลิศสถิตธนกร)

กรรมการ

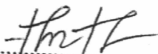
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)



(ผศ.ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด)

กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)



(ผศ.ดร.อำไพศักดิ์ ธิบุญมา)

กรรมการ

(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



(รศ.ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์



(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดทูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 12 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2558



กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากบุคคลและองค์กร ดังต่อไปนี้

ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญพร เลิศสถิตธนกร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้สละเวลาให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ ความเข้าใจ แนะนำแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

อาจารย์และเจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งเป็นสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำชิ้นงานที่ได้จากการค้นคว้าและวิจัย ตลอดจนจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ผู้ปกครองของผู้วิจัย ที่คอยเอาใจใส่ดูแล ให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ด้วยดีตลอดมา

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและองค์กรที่กล่าวมาข้างต้นเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ หากเนื้อหาหรือข้อมูลของวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นประโยชน์และสามารถก่อให้เกิดนวัตกรรมด้านใหม่ ๆ จากผู้สนใจศึกษาหรือทำการวิจัย ทางคณะผู้จัดทำขอยกความดีให้บุคคลและองค์กรที่กล่าวมาข้างต้น

ปริญญญา นุวบุตร



ชื่อเรื่อง	ถ่านอัดเม็ดและน้ำส้มควันไม้จากการคาร์บอนในเซชันของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้
ผู้วิจัย	ปริญญา นวบุตร
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
กรรมการควบคุม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญพร เลิศสถิตธนกร
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2558

บทคัดย่อ

เปลือกไม้และเปลือกผลไม้ถือเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะเจาะจง เพื่อที่จะจัดการและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ วิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตถ่านอัดเม็ดและน้ำส้มควันไม้จากการคาร์บอนในเซชันของเปลือกยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอดิบ โดยก่อนกระบวนการอัดเม็ดยังได้นำเปลือกไม้และเปลือกผลไม้มาผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันในเตาเผา 200 ลิตรชนิดแนวตั้งเพื่อให้ได้ถ่านและน้ำส้มควันไม้ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ปริมาณผลได้และสมบัติของถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่ได้ ในส่วนของกระบวนการอัดเม็ดยังใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสาน ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของวัสดุประสานในน้ำ (ร้อยละ 5 10 และ 20) และอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสานในน้ำ (1:1 , 2:1 และ 3:1) ที่มีต่อสมบัติของถ่านอัดเม็ดที่ได้ นอกจากนี้ยังได้มีการนำถ่านอัดเม็ดที่ได้ไปทดสอบเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

จากผลการทดลอง พบว่า หลังผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชัน ร้อยละของคาร์บอนเสถียรของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกามีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 150, 272 และ 280 ตามลำดับ โดยการคาร์บอนในเซชันของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจะให้ปริมาณผลได้ของถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่มากกว่าการคาร์บอนในเซชันของเปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกอ ปริมาณผลได้เฉลี่ยของถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 20.89-24.06 และ 8.36-9.26 ตามลำดับ ในแง่ของค่าความร้อน พบว่า มีเพียงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (มผช.657/2547) ในขณะที่น้ำส้มควันไม้กลิ่นที่ได้เปลือกไม้และเปลือกผลไม้ทุกชนิดผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำส้มควันไม้ (มผช.659/2553) ทั้งหมด

ความเข้มข้นของวัสดุประสานในน้ำและอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและตัวประสานส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของถ่านชีววมวลอัดเม็ดเป็นอย่างมาก โดยถ่านอัดเม็ดซึ่งเตรียมที่ความเข้มข้นของวัสดุประสานสูงและอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและตัวประสานที่ต่ำจะมีความยาวเฉลี่ยที่มากกว่า มีการแตกร้าวที่ผิวน้อยกว่า มีค่าความหนาแน่นมากกว่า และมีสมบัติเชิงกล (เช่น ค่าแรงกดสูงสุด และค่าความเค้นสูงสุด) ที่ดีกว่าถ่านอัดเม็ดซึ่งเตรียมที่ความเข้มข้นของวัสดุประสานต่ำและอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและตัวประสานที่สูง การใช้ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ดปริมาณ 4.2-4.5 กิโลกรัม เป็นเชื้อเพลิงในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นเพื่อการต้มน้ำ พบว่า ได้อุณหภูมิเปลวไฟสูงสุดประมาณ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำให้น้ำเริ่มเดือดได้ภายในเวลา 20 นาที และเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถเปลี่ยนความร้อนที่ผิวน้ำเตาให้กลายเป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 0.30 วัตต์ (กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.21 วัตต์)



TITLE	Charcoal pellet and Wood Vinegar from Carbonization of Barks and Fruit Peels
AUTHOR	Mr. Parinya Nuwaboot
DEGREE	Master of Engineering Major Mechanical Engineering
ADVISORS	Asst. Prof. Jindaporn Jamradloedluk, Ph.D. Asst. Prof. Charoenporn Lertsatitthanakorn, Ph.D.
UNIVERSITY	Maharakham University YEAR 2015

ABSTRACT

Barks and fruit peels, agricultural residues, have not been used for any specific purpose. To manage and add value to such agricultural wastes, this thesis is therefore aimed at producing charcoal pellets and wood vinegar from carbonization of eucalyptus barks, pineapple peels and raw papaya peels. Prior to the pelleting process, the barks and peels were firstly carbonized in a 200 L-vertical drum kiln to obtain charcoals and wood vinegar. Yields and properties of the charcoals and the wood vinegar were examined. Cassava flour was used as a binding agent for preparing charcoal pellets. Influences of binding agent concentration in water (5%, 10% and 20%) and mass mixing ratio of biomass charcoal material : binding agent with water (1:1 , 2:1 and 3:1) on properties of the charcoal pellets were investigated. The prepared charcoal pellets were used to test a small-scale updraft gasifier integrated with a thermoelectric generator.

The experimental results indicated that percentage of fixed carbon of the eucalyptus bark, pineapple peel and papaya peel was increased by 157%, 272% and 280% respectively, after the carbonization process. Carbonization of eucalyptus barks provided the charcoal and the wood vinegar with the higher yield than carbonization of pineapple and papaya peels. Average yields of the charcoal and the wood vinegar derived from the barks and fruit peels were in the ranges of 20.89-24.06% and 8.36-9.26%, respectively. Only the charcoal derived from eucalyptus barks having the calorific value that was in accordance with the requirement of the wood charcoal standard (community product standard no. 657/2547). Whilst properties of the distilled wood vinegar derived from all barks and fruit peels met the requirement of the wood vinegar standard (community product standard no. 659/2553).

Binding agent concentration in water and mass mixing ratio of biomass material: binding agent had strong influence on characteristics of the biomass pellets. The pellets prepared at higher binding agent concentration and lower mass mixing ratio had longer average length, less fissures on the surface, higher density and superior mechanical properties (i.e., maximum force and maximum stress and) compared to those prepared



at lower binding agent concentration and higher mass mixing ratio ($p < 0.05$). Eucalyptus charcoal pellets (4.2-4.5 kg) were used as a fuel for an up-drafted gasifier integrated with thermoelectric generator. The generated heat was for boiling 1 kg of water. It was found that the maximum flame temperature was 600°C and the water started to boil at 20 minutes. Thermoelectric modules could convert heat at the gasifier wall to the maximum electrical power of 0.30 W (average electrical power of 0.21 W).



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพประกอบ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 สถานที่ทำวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล	5
2.1 พลังงานชีวมวล	5
2.2 ตัวอย่างชนิดของชีวมวล	6
2.3 เตาเผาถ่าน 200 ลิตรแบบตั้ง	8
2.4 น้ำส้มควันไม้	9
2.5 ถ่านอัดเม็ด	11
2.6 กระบวนการอัดเม็ด (Densification)	12
2.7 ตัวประสาน (Binder)	14
2.8 การแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน	15
2.9 ชนิดของเตาผลิตก๊าซชีวมวล	16
2.10 ปฏิกิริยาที่สำคัญที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น (Gasifier)	16
2.11 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก	18
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	23
3.1 การเตรียมตัวอย่างชีวมวลดิบ กระบวนการเผาถ่าน และน้ำส้มควันไม้	23
3.2 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ดิบ	24
3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (Proximate analysis) ของผงถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้	27
3.4 การทดสอบหาค่าความร้อน	30
3.5 การหาทดสอบสมบัติของน้ำส้มควันไม้	32
3.6 การเตรียมและการอัดขึ้นรูปจากชีวมวลในชุมชน	33
3.7 การทดสอบเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับการผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ถ่านเม็ดเป็นเชื้อเพลิง	36



	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปราย	39
4.1 สมบัติเบื้องต้นของเปลือกไม้ และเปลือกผลไม้	39
4.2 ร้อยละผลได้ ลักษณะทั่วไป และสมบัติของถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้	42
4.3 ลักษณะทั่วไปและสมบัติของน้ำส้มควันไม้	47
4.4 ลักษณะทั่วไปของผงถ่านและถ่านอัดเม็ด	50
4.5 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)	53
4.6 การทดสอบเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับการผลิตไฟฟ้า แบบเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ชีวมวลอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิง	54
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผล	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก ตารางการทดลอง	68
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ	91
ภาคผนวก ค ตัวอย่างภาพประกอบการทำวิทยานิพนธ์	100
ประวัติย่อผู้วิจัย	109



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์ขั้นต้น (Proximate analysis) และค่าความร้อน (Calorific value) ของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้	41
ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้	42
ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์ขั้นต้น (Proximate analysis) และค่าความร้อน (Calorific value) ของผงถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้	46
ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้	46
ตาราง 4.5 ค่า pH และความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้ชนิดต่างๆ	49
ตาราง 4.6 ขนาดและลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดเม็ด	52
ตาราง 4.7 ค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนของถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้	53
ตาราง 4.8 สมบัติเชิงกลของถ่านอัดเม็ดที่ได้จากการอัดขึ้นรูปที่สภาวะต่างๆ	54
ตาราง 4.9 ลักษณะการติดไฟ เปลวไฟ และซีเถ้า ที่ได้จากระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลของถ่านอัดเม็ดที่ได้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกอ ที่ความเข้มข้นของวัสดุประสาน 10% และอัตราส่วนโดยมวลระหว่างวัสดุหลักและวัสดุประสาน 2:1	60



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 สับปะรด	6
ภาพประกอบ 2.2 มะละกอ	7
ภาพประกอบ 2.3 ยูคาลิปตัส	8
ภาพประกอบ 2.4 เตาเผาผลิตถ่าน 200 ลิตรแนวตั้ง	8
ภาพประกอบ 2.5 ถ่านอัดเม็ด (a) และ เชื้อเพลิงเขียวอัดเม็ด (b)	13
ภาพประกอบ 2.6 (a) แป้งมันสำปะหลัง (b) หัวมันสำปะหลัง	15
ภาพประกอบ 2.7 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft gasifier)	16
ภาพประกอบ 2.8 โซนต่างๆภายในเตาผลิตก๊าซ	18
ภาพประกอบ 2.9 ส่วนต่างๆของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	19
ภาพประกอบ 3.1 เตาเผาถ่านแบบแนวตั้งขนาด 200 ลิตร	24
ภาพประกอบ 3.2 เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริก	37
ภาพประกอบ 4.1 ลักษณะของ (a) เปลือกไม้ยูคาลิปตัส (b) เปลือกสับปะรด และ (c) เปลือกมะละกอ หลังผ่านการตากแห้งเป็นเวลา 1-2 สัปดาห์	40
ภาพประกอบ 4.2 แผนภูมิร้อยละผลได้ของถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการคาร์บอนเซชันของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้	43
ภาพประกอบ 4.3 ลักษณะทั่วไปของ (a) ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (b) ถ่านเปลือกสับปะรด และ (c) ถ่านเปลือกมะละกอ	44
ภาพประกอบ 4.4 แสดงการกระจายตัวของผงถ่านหลังจากผ่านการบดแล้ว	45
ภาพประกอบ 4.5 ลักษณะทั่วไปของ (a) น้ำส้มควันไม้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (b) น้ำส้มควันไม้จากเปลือกสับปะรด (c) น้ำส้มควันไม้จากเปลือกมะละกอ (d) น้ำส้มควันไม้จากเปลือกไม้และผลไม้ที่ผ่านการกลั่นแล้ว	48
ภาพประกอบ 4.6 ลักษณะทั่วไปของ (a) ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (b) ผงถ่านเปลือกสับปะรด และ (c) ผงถ่านเปลือกมะละกอ	50
ภาพประกอบ 4.7 ลักษณะทั่วไปของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการอัดขึ้นรูป (เม็ด) ที่สภาวะ (a) อัตราส่วนระหว่างผงถ่านและตัวประสาน 3:1 และ ความเข้มข้นของตัวประสาน 5% (b) อัตราส่วนระหว่างผงถ่านและตัวประสาน 1:1 และความเข้มข้นของตัวประสาน 20%	51
ภาพประกอบ 4.8 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง	55
ภาพประกอบ 4.9 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกสับปะรดเป็นเชื้อเพลิง	55



ภาพประกอบ 4.10	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกมะละกอเป็นเชื้อเพลิง	56
ภาพประกอบ 4.11	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง	57
ภาพประกอบ 4.12	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกสับปะรดเป็นเชื้อเพลิง	58
ภาพประกอบ 4.13	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกมะละกอเป็นเชื้อเพลิง	58
ภาพประกอบ 4.14	กำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้จากเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	59



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

พลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญกับการดำเนินชีวิตของคนในปัจจุบัน จากความจำเป็นของการใช้พลังงานเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศซึ่งต้องพึ่งพาน้ำมันจากต่างประเทศ ทำให้ต้องสูญเสียเงินตราเป็นจำนวนมาก เพื่อลดการพึ่งพาและการสูญเสียเงินตรา รัฐบาลจึงได้มีนโยบายและแนวทางในการผลิตพลังงานทดแทนจากแหล่งภายในประเทศ โดยปัจจุบันรัฐบาลมีการส่งเสริมและกำหนดเป้าหมายให้มีการพัฒนาพลังงานทดแทนให้เพิ่มขึ้น ซึ่งในปี พ.ศ. 2565 มีเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนจากชีวมวลเพิ่มขึ้นเป็น 1,933 กิโลตันน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 8 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายและมุ่งหวังให้การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อีกทั้งพลังงานชีวมวลยังเป็นการนำเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในประเทศมาเพิ่มมูลค่าการใช้ซึ่งเป็นการเพิ่มผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจให้ภาคอุตสาหกรรมและชุมชนอีกด้วย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

เนื่องจากในหลายภูมิภาคของประเทศไทยมีการทำเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลัก ทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นปริมาณพอสมควร ยุคาลิปตัสถือเป็นไม้เศรษฐกิจประเภทหนึ่งซึ่งจากรายงานของกรมพัฒนาที่ดินในปีพ.ศ. 2550 พบว่า มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 2.8 ล้านไร่ และสามารถผลิตไม้ยูคาลิปตัสได้มากถึง 25 ล้านตัน ไม้ยูคาลิปตัสที่ผลิตได้ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 70-80) ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ส่วนที่เหลือมักนำไปใช้ผลิตถ่าน (ร้อยละ 10-15) และใช้ในงานก่อสร้าง (ร้อยละ 5) (อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนไทย, 2554) โดยในการใช้ไม้ยูคาลิปตัสจะมีเปลือกไม้เหลืออยู่ในสัดส่วนร้อยละ 20 ของไม้สด หรือ 5.3 ล้านตัน/ปี ซึ่งมีค่าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 1,120 กิโลตัน นอกจากเปลือกไม้แล้วเปลือกผลไม้ถือเป็นของเสียจากบ้านเรือนและอุตสาหกรรมการผลิตผลไม้แปรรูปซึ่งยังไม่มีมีการนำมาใช้งานอย่างจริงจัง ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานนั้นอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ การแปรรูปด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Biological process) และการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมี-ความร้อน (Thermo-chemical process) ในส่วนของการแปรรูปด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ กระบวนการหมักแก๊สชีวภาพซึ่งเหมาะสำหรับชีวมวลทั่วไปแต่มีข้อเสียคือการทำบ่อต้องใช้พื้นที่เป็นบริเวณกว้าง และมีกลิ่นเหม็น และจะต้องมีระบบการอัดก๊าซชีวภาพใส่ในถังความดันสูงเพื่อให้ใช้งานได้นาน ซึ่งในปัจจุบันนี้ยังไม่มีมีความคุ้มทุนที่จะทำ ดังนั้นกระบวนการอีกทางเลือก คือ การแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมี-ความร้อน โดยนำไปเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มหรือเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าในระบบอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประกอบด้วยสารประกอบต่าง ๆ มากมาย โดยมีเซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบหลักประมาณร้อยละ 50 สารประกอบแต่ละชนิดจะให้ความร้อนแตกต่างกันไป แต่เนื่องจากการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงนั้นยังคงมีประสิทธิภาพที่ต่ำอยู่เนื่องจากยังคงมีปัญหาอยู่หลายอย่างเช่น ความชื้นในตัวชีวมวล และค่าความร้อนที่ต่ำ ดังนั้นวิธีที่จะลดความชื้นและเพิ่มคุณภาพให้แก่ชีวมวลได้แก่การแปรรูปไปเป็นถ่าน



ถ่าน (Charcoal) คือ ชีวมวลที่ผ่านกระบวนการ “คาร์บอนไนเซชัน” (Carbonization) เป็นกระบวนการสลายตัวของชีวมวลด้วยความร้อนในสภาพอับอากาศ แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ 1. การไล่ความชื้น ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิบรรยากาศจนถึง 180 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ชีวมวลจะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Free water) และน้ำที่อยู่ในผนัง 2. การไล่สารระเหย เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิประมาณ 180 - 270 องศาเซลเซียส ช่วงนี้เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) จะสลายตัวออกมา 3. การเปลี่ยนชีวมวลเป็นถ่าน อุณหภูมิจะอยู่ประมาณ 270 - 400 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ชีวมวลสลายตัวด้วยตัวเองจากปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) อันเกิดจากความร้อนที่สะสมไว้ เซลลูโลสจะเริ่มสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 275 องศาเซลเซียส คว้นที่ออกมาจะมีสีขาวปนเหลือง การดักเก็บน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพจะทำได้ในช่วงนี้ ลิกนิน (Lignin) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 310 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส หลังจากกระบวนการนี้ ชีวมวลจะกลายเป็นถ่านทั้งหมด 4. การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ แม้ว่าชีวมวลจะกลายเป็นถ่านแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส แต่ยังคงมีน้ำมันดินในปริมาณที่สูง จึงยังเป็นถ่านที่มีคุณภาพต่ำ ควรอบถ่านที่อุณหภูมิในช่วง 500 - 600 องศาเซลเซียส ต่อไปอีกระยะหนึ่งเพื่อไล่น้ำมันดินให้หมดไป (สถาบันธรรมรัฐเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม, 2552) อย่างไรก็ตามเนื่องจากถ่านจะมีลักษณะเปราะ/แตกหักง่ายกว่าไม้หรือชีวมวลสด และในกรณีของเปลือกไม้หรือเปลือกผลไม้ที่นำไปผลิตเป็นถ่านจะมีความหนาแน่นที่ต่ำมาก ทำให้อาจเกิดปัญหาในเรื่องของการจัดเก็บและการขนส่งได้ ดังนั้นจึงควรนำถ่านที่ได้ไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปให้กลายเป็นถ่านอัดเม็ด/อัดแท่ง เพื่อให้มีความแข็งแรงทนทาน สามารถจัดเก็บและขนย้ายได้สะดวกมากขึ้น

ถ่านอัดเม็ดยังถือเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้าในระบบอุตสาหกรรมซึ่งเป็นที่ยอมรับสำหรับประเทศกำลังพัฒนา ทั้งนี้เนื่องจากถ่านชีวมวลอัดเม็ดมีข้อดี คือ มีค่าความร้อนต่อหน่วยปริมาตรสูง มีระยะเวลาเผาไหม้ที่นาน ขณะเผาไหม้เกิดควัน การแตกปะทุ และการฟุ้งกระจายของขี้เถ้า น้อย อีกทั้งยังให้ความร้อนที่สม่ำเสมอกว่าชีวมวลอัดเม็ดหรือถ่านชีวมวลปกติ (การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุทางการเกษตร, กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี) โดยทั่วไปถ่านอัดเม็ดมักผลิตโดยการนำชีวมวลมาลดความชื้นแล้วไปผ่านกระบวนการทำให้เป็นถ่าน (Carbonization) จากนั้นจึงนำถ่านที่ได้ไปบดแล้วขึ้นรูป ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้กระบวนการขึ้นรูปเย็น (Cold extrusion) และใช้ตัวประสาน (Binder) เช่น แป้งมันสำปะหลังและกากน้ำตาล เป็นต้น ที่ผ่านมามีการศึกษาวิจัยในการนำวัสดุเหลือทิ้งหรือวัสดุทางเลือกหลายชนิดมาเป็นตัวประสาน เช่น การผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดโดยใช้กากน้ำตาล แป้งมัน และน้ำมันเครื่องเป็นตัวประสาน จากผลการศึกษา พบว่า น้ำมันเครื่องใช้แล้วไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นตัวประสาน เนื่องจากไม่สามารถอัดเม็ดเศษซังข้าวโพดได้ อีกทั้งการอัดเม็ดที่สัดส่วนตัวประสาน 10% แป้งมันสำปะหลังไม่สามารถทำได้เช่นกัน นอกจากนี้การใช้กากน้ำตาล และกากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานเพียงอย่างเดียว ก็ไม่สามารถอัดเม็ดได้ จึงต้องมีการใส่แป้งมันสำปะหลังลงไปผสมประมาณ 250 กรัม จึงจะสามารถอัดเม็ดได้ ในการศึกษาการนำถ่านอัดเม็ดไปใช้งานนั้น พบว่า ส่วนใหญ่นำไปใช้ในกระบวนการทางเคมี-ความร้อน เช่น กระบวนการเผาไหม้โดยการศึกษากะบวนการเผาไหม้ของถ่านเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากต้นข้าวโพด ฟาง หญ้า ใบไม้ โดยให้ความร้อนสูงและติดไฟได้นาน และยังได้ทดลองอัดเม็ดถ่านจากเศษใบไม้ กิ่งไม้ หรือเศษกระดาษจากจดหมายเก่าๆ พบว่า สามารถจุดติดไฟได้ง่ายโดยใช้เวลาเพียง 2 นาทีและให้อุณหภูมิสูงถึง 816 องศาเซลเซียส



(Owen et al., 2001) นอกจากกระบวนการเผาไหม้แล้วกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันถือเป็นกระบวนการทางเคมี-ความร้อนที่น่าสนใจอีกกระบวนการหนึ่ง โดยได้ทำการศึกษากการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขยะในชุมชนเพื่อใช้กับเตาแก๊สซิไฟเออร์ โดยได้ศึกษาการลดความชื้นในขยะอินทรีย์จากการใช้วิธีทางชีวภาพ (อากาศไหลผ่านเพื่อย่อยสลาย) ร่วมกับวิธีทางเชิงกล (การบดรีดความชื้น) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลา 3 วันเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยสลายทางชีวภาพ ก่อนนำขยะแห้งไปขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด ผลของค่าความร้อนสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 1,083 กิโลแคลอรี/ลูกบาศก์เมตร และมีประสิทธิภาพร้อยละ 54.05 ในสภาวะมาตรฐาน (สัญญา แก้วศรีงาม, 2552)

ดังนั้นการนำเปลือกไม้และเปลือกผลไม้มาเตรียมถ่านอัดเม็ดเป็นหนึ่งในแนวทางการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ และในส่วนของกระบวนการคาร์บอนเซชันที่ให้ผลผลิตหลักเป็นถ่านนั้น ยังเกิดผลพลอยได้ คือ น้ำส้มควันไม้ ซึ่งมีคุณประโยชน์ที่หลากหลายอีกด้วย จากการรวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การผลิตถ่านอัดเม็ดและน้ำส้มควันไม้จากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้เหล่านี้ ยังมีข้อมูลค่อนข้างจำกัด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงมีแนวคิดในการนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและเปลือกผลไม้มาผลิตน้ำส้มควันไม้และถ่านอัดเม็ด โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของน้ำส้มควันไม้และถ่านอัดเม็ดที่ได้ รวมถึงการนำถ่านอัดเม็ดที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาร้อยละผลได้และสมบัติของถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนเซชันของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวประสานและอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสานที่มีต่อสมบัติของถ่านอัดเม็ด

1.2.3 เพื่อศึกษาการนำถ่านอัดเม็ดมาประยุกต์ใช้งานในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เปลือกไม้ที่ทำการศึกษา ได้แก่ เปลือกยูคาลิปตัส ที่ได้จากบริษัทศรีบ้านไผ่ จำกัด จังหวัดขอนแก่น

1.3.2 เปลือกผลไม้ที่ทำการศึกษา ได้แก่ เปลือกมะละกอและเปลือกสับปะรด ที่ได้จากตลาดสด ในจังหวัดขอนแก่น

1.3.3 กระบวนการคาร์บอนเซชันทำในเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบแนวตั้ง

1.3.4 เวลาในการเก็บน้ำส้มควันไม้คือหลังจากจุดเตาแล้วประมาณ 30 นาที หรือสังเกตเมื่อควันเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

1.3.5 ความเข้มข้นของตัวประสาน (แป้งมัน) ในน้ำที่ทำการศึกษา คือ ร้อยละ 5, 10 และ 20

1.3.6 อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน (แป้งมันผสมน้ำ) ที่ทำการศึกษาคือ 1:1, 2:1 และ 3:1

1.3.7 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านอัดเม็ด คือ 6 มิลลิเมตร



1.3.8 สมบัติของถ่านอัดเม็ดที่ทำการศึกษา ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี (ความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว) ค่าความร้อน ความหนาแน่น และสมบัติเชิงกล

1.3.9 สมบัติของน้ำส้มควันไม้ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่า pH และค่าความถ่วงจำเพาะ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

1.4.2 ได้เชื้อเพลิงแข็งทางเลือกที่สามารถใช้ในกระบวนการทางเคมี-ความร้อน

1.4.3 ได้น้ำส้มควันไม้ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาถ่าน

1.5 สถานที่ทำวิทยานิพนธ์

1.5.1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.5.2 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.5.3 คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



บทที่ 2

ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 พลังงานชีวมวล

2.1.1 ความหมายของชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานอาจจะทำโดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่างๆ กัน เช่น พืชผลทางการเกษตร (Agricultural crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural residues) ไม้และเศษไม้ (Wood and wood residues) หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2552)

2.1.2 ความสำคัญของพลังงานจากชีวมวล

จากปัญหาของทรัพยากรประเภที่ใช้แล้วหมดไป เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้กันมาก ประกอบกับการเกิดวิกฤตการณ์พลังงาน ทำให้มนุษย์หาทางประหยัดการใช้พลังงาน และพัฒนาพลังงานรูปอื่นขึ้นมาทดแทน โดยเฉพาะประเภทที่ไม่มีวันหมดสิ้นไปหรือเรียกว่าพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากแหล่งน้ำ พลังงานลม และพลังงานจากชีวมวล เป็นต้น ปัจจุบันโลกของเราใช้พลังงานสิ้นเปลืองกันมากขึ้น ยิ่งใช้มากก็เกิดก๊าซเรือนกระจกมากซึ่งก่อปัญหาหลายๆ ด้าน เช่น น้ำแข็งจากขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ละลายระดับน้ำทะเลสูงขึ้น เป็นต้น ก๊าซเรือนกระจกประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน เป็นต้น คาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนมีเทนเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เช่น มูลสุกร น้ำเสียจากโรงงานแปรงมัน เป็นต้น ซึ่งมนุษย์มีส่วนช่วยลดก๊าซเหล่านี้ได้ เช่น ใช้พลังงานแสงอาทิตย์กันให้มากขึ้น ใช้พลังงานชีวมวลให้มากขึ้น ใช้ฟืนและถ่านไม้แทนก๊าซหุงต้ม ถึงแม้จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ก็จะถูกต้นไม้ดูดซับไปใช้ในการสังเคราะห์แสงตอนกลางวัน และยังมีชีวมวลอีกมาก เช่น ใบโอติเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้ว เอทานอลที่ผลิตจากมันสำปะหลังและกากน้ำตาล เป็นต้น ดังนั้นถ้าเราหันมาใช้พลังงานทดแทนให้มากขึ้น นอกจากจะทำให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้นแล้วยังเกิดวิถีชีวิตเศรษฐกิจพอเพียงอีกด้วย

2.1.3 องค์ประกอบของชีวมวล

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ความชื้น ส่วนที่เผาไหม้ได้ และส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2552)

1) ความชื้น (Moisture) ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกินร้อยละ 50



2) ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatile matter และ Fixed carbon คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatile matter สูงแสดงว่าติดไฟง่าย

3) ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1-3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณร้อยละ 15-20 ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

2.2 ตัวอย่างชนิดของชีวมวล

สับปะรด

สับปะรด (ภาพประกอบ 2.1) เป็นพืชที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมเกษตร นอกจากจะนิยมบริโภคสดแล้ว ยังสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น สับปะรดกระป๋อง น้ำสับปะรด สับปะรดแช่แข็ง สับปะรดกวน สับปะรดอบแห้ง และอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง สัดส่วนองค์ประกอบของสับปะรดทั้งต้นคิดเป็น น้ำหนักผล 37.35 เปอร์เซ็นต์ ใบ 38.78 เปอร์เซ็นต์ จุก 7.77 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของต้น ก้านผลและหน่อเท่ากับ 12.86 3.08 และ 0.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (มาลี, 2521) ผลสับปะรดเมื่อเข้าโรงงาน จะทำการปลิดจุกและก้านออกคิดเป็น น้ำหนักประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักทั้งผล โดยทั่วไปสับปะรดมีผลผลิตประมาณ 3,870 กิโลกรัมต่อไร่ สับปะรดหนึ่งผลจะหนัก ประมาณ 1,754 กรัม เมื่อเข้าแปรรูปในโรงงาน จะมีเศษเหลือใช้จากการทาสับปะรดกระป๋องประมาณ 1,228 กรัม/ผล (หรือร้อยละ 70 ของผล) ในพื้นที่ 1 ไร่ จะได้เศษเปลือกสับปะรดเฉลี่ย 2,700 กิโลกรัม หรือ ถ้าคิดจากภาพรวมทั้งประเทศจะได้ประมาณ 1.62 ล้านตัน ส่วนของใบและจุกสับปะรดประมาณ 2.50 ล้านตัน (คิดจากพื้นที่ปลูกประมาณ 6 แสนไร่)



ภาพประกอบ 2.1 สับปะรด (จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2547)

เศษเหลือของสับปะรดจากโรงงาน ทั่วไปเรียกว่าเปลือกหรือกากสับปะรด ประกอบไปด้วย ส่วนต่าง ๆ มีเปลือกด้านข้าง ส่วนหัว ส่วนล่าง ไส้ (แกนกลาง) และเศษเนื้อ อาจจะมีส่วนใดส่วนหนึ่ง มาก น้อยแล้วแต่โรงงาน ซึ่งจะทำให้ส่วนประกอบทางเคมี ของเศษเหลือของสับปะรดรวมมีค่าแตกต่างกัน โดยทั่วไปเปลือกสับปะรดรวมสดจากโรงงานทำสับปะรดกระป๋องจะมีปริมาณน้ำอยู่สูง มีวัตถุแห้งประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 3.2-3.4 (Perez et al., 1973) มี

ยอด โภชนะย่อยได้ (TDN) 65-74 เปอร์เซ็นต์ (Muller, 1974, 1975) ปริมาณน้ำตาลที่พบมากส่วนใหญ่เป็นพวก ซูโครส (70%) กลูโคส (20%) และฟรุคโตส (10%) (Muller, 1978)

มะละกอ

มะละกอ (ภาพประกอบ 2.2) เป็นผลไม้ที่นิยมรับประทานผลสุกทั้งในประเทศ และต่างประเทศ แต่ในต่างประเทศนั้นนิยมมะละกอพันธุ์ที่มีผลขนาดเล็ก มีน้ำหนักต่อผลไม่เกิน 600 กรัม แต่มะละกอของไทยยังมีปริมาณการผลิตเพื่อการส่งออกโดยตรงมีน้อย และพันธุ์ที่ปลูกสวนมากเป็นพันธุ์ที่มีผลขนาดใหญ่ จึงไม่เหมาะสำหรับส่งตลาดต่างประเทศ สถานีวิจัยปากช่องได้ผลิตมะละกอสายพันธุ์บริสุทธิ์ปากช่อง 1 ซึ่งมีผลขนาดเล็กตรงตามความต้องการของตลาดยุโรป เปลือกมะละกอใช้ทำเป็นอาหารสัตว์หรือสืผสมอาหาร ยางมะละกอใช้ในโรงงานผลิตเบียร์ ผลิตน้ำปลา อาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมเคมี และเครื่องสำอางค์ เป็นต้น



ภาพประกอบ 2.2 มะละกอ (ไทยเกษตรศาสตร์, 2554: เว็บไซต์)

ยูคาลิปตัส

ยูคาลิปตัส (ภาพประกอบ 2.3) ถือเป็นไม้เศรษฐกิจประเภทหนึ่ง มีการปลูกทั่วไปปัจจุบัน ยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนในด้านพื้นที่ปลูกไม้ยูคาลิปตัสทั้งหมดที่มีอยู่ในประเทศ จากรายงานของกรมพัฒนาที่ดินในปี พ.ศ. 2550 พบว่ามีพื้นที่เพาะปลูก ประมาณ 2.8 ล้านไร่ และสามารถผลิตไม้ยูคาลิปตัสได้มากถึง 25 ล้านตัน ไม้ยูคาลิปตัสที่ผลิตได้ส่วนใหญ่ร้อยละ 70-80 ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ส่วนที่เหลือมักนำไปใช้ผลิตถ่านร้อยละ 10-15 และใช้ในงานก่อสร้างร้อยละ 5 ส่วนเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่เหลือจากการใช้ประโยชน์นิยมนำมาเป็นส่วนผสมเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ย (อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนไทย, 2554) และจากการใช้ไม้ยูคาลิปตัส จะมีเปลือกไม้เหลืออยู่ในสัดส่วนร้อยละ 20 ของไม้สด หรือ 5 ล้านตัน/ปี สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบได้ 1,120 ktoe

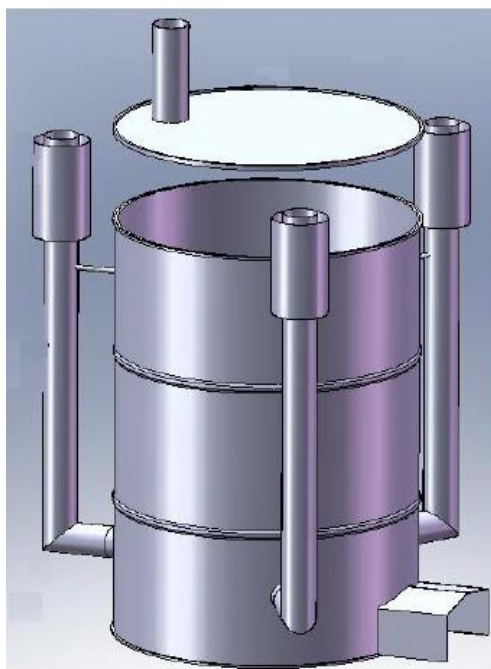




ภาพประกอบ 2.3 ยูคาลิปตัส (ลุงแวน, 2551. : เว็บไซต์)

2.3 เตาเผาถ่าน 200 ลิตรแบบตั้ง

เป็นเตาเผาถ่านที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาเผาถ่านแบบดั้งเดิมประมาณ 1.2 -1.5 เท่า โดยใช้ถังขนาด 200 ลิตร เป็นตัวเตา เตาประเภทนี้อาศัยความร้อนไล่ความชื้นในเนื้อไม้ที่อยู่ในเตา ทำให้กลายเป็นถ่าน หรือ ที่เรียกกันว่า " กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) นอกจากนี้เตายังมีโครงสร้างที่มีลักษณะปิด ทำให้สามารถควบคุมอากาศได้ จึงไม่มีการลุกติดไฟของเนื้อไม้ ผลผลิตที่ได้จึงเป็นถ่านที่มีคุณภาพ มีสารก่อมะเร็งต่ำ ชี้น้ำมันน้อย และผลพลอยได้จากกระบวนการเผาถ่านอีกอย่างหนึ่งคือ “น้ำส้มควันไม้ หรือ Wood vinegar” สามารถดูลักษณะของเตาเผาถ่านจาก ภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 เตาเผาผลิตถ่าน 200 ลิตรแนวตั้ง
(ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, ม.ป.ป.)



ขั้นตอนในการเผาถ่าน

1. ตั้งถังให้ช่องลมตรงทางลม แล้วจึงเริ่มจุดไฟในถังด้วยเศษไม้เล็กๆก่อน เมื่อไฟสุกดีแล้วจึงเติมฟืนลงไปจนเต็มถังให้ไฟลุกติดตลอดเวลา ถ้าเป็นกะลามะพร้าวต้องคอยเติมลงไปทีละน้อยให้ไฟลุกดีไม่ดับเนื่องจากกะลามะพร้าวจะติดไฟได้ช้า
2. ใช้กิ่งไม้สอดสอดเข้าไปทางช่องลม ช่วยเขี่ยให้ไฟลุกดีไม่ดับจนเห็นว่ามีช่องลมรูปร่างมีถ่านเต็มและไฟลุกสว่างเป็นสีนวลดีแล้วจึงปิดช่องลมด้วยลูกอุด ในขณะที่เดียวกันยังคงเติมฟืนหรือกะลามะพร้าวให้ไฟลุกตลอดเวลาจนถ่านเต็มรูที่สองและไฟลุกสว่างดีแล้วจึงอุดรูที่สองเช่นเดียวกับครั้งแรก รูที่สามก็ทำเช่นเดียวกัน และยังคงเติมเชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลา
3. รอจนกระทั่งไฟลุกสว่างดีจึงเอาฝาถังปิดลงไป แล้วเอาท่อเหล็กที่เตรียมไว้สอดเข้าไปในรูให้ฝาดังอยู่ใต้ท่อเหล็ก ยกถังคว่ำบนดินหรือทราย ใช้ดินหรือทรายอุดช่องต่าง ๆ ให้หมด และชันเกลียวลูกอุดให้แน่นไม่ให้อากาศเข้าได้ ถ้ามีรูรั่วใช้ดินเหนียวอุดไว้ แล้วทิ้งไว้ค้างคืน
4. รอจนกระทั่งถังเย็นดีแล้วจึงเทถ่านออกพร้อมทั้งพรมน้ำเล็กน้อยลงบนถ่านให้ทั่ว ป้องกันไม่ให้ไฟลุกขึ้นมาอีก ทิ้งไว้จนเห็นว่าปลอดภัยดีแล้วจึงนำไปเก็บ ถ้าต้องการเผาปริมาณมากอาจเผาพร้อมกันได้ทีเดียวหลายถัง โดยมัดถังรวมกันด้วยลวดกลุ่มละ 4-6 ถัง พยายามให้ช่องลมรับลมได้มากที่สุด การเผาพร้อมกันหลายถังและมัดรวมกันนี้ช่วยไม่ให้สูญเสียความร้อนข้างถังทำให้การเผาดำเนินไปด้วยดี และถ้าเอาฝาที่เปิดออกวางบนปากถังจะใช้เป็นที่ตากไม้เปียกขึ้นได้ด้วยจนไม้ที่ตากไว้เริ่มลวกไหม้จึงเขี่ยลงถังเผาต่อไป การเผาถ่านวิธีนี้แต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.: เว็บไซต์)

2.4 น้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้เป็นของเหลวสีน้ำตาลใสมีกลิ่นควันไฟ ที่ได้มาจากการควบแน่น (Condensation) ควันที่เกิดจากการผลิตถ่านไม้ในช่วงที่ไม้กำลังเปลี่ยนเป็นถ่าน (Carbonization) อุณหภูมิในเตาอยู่ระหว่าง 300–400 องศาเซลเซียส สารประกอบต่าง ๆ ในไม้ฟืนจะถูกสลายตัวด้วยความร้อน (Pyrolysis) เกิดเป็นสารประกอบใหม่มากมาย แต่ถ้าเก็บควันในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส แม้ว่า เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) จะสลายตัวแล้ว และเซลลูโลสกำลังเริ่มสลายตัว แต่ก็จะมีสารประกอบที่มีประโยชน์น้อยมากไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ถ้าเก็บควันที่อุณหภูมิ 425 องศาเซลเซียส ขึ้นไป น้ำมันดินจะสลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ Benzopyrene และ Dibenzanthra cenemently cholnisrene แม้ว่าสารดังกล่าวสามารถกำจัดออกไปได้ง่ายเมื่อมากเกินไปที่อุณหภูมิ 60 -70 องศาเซลเซียส แต่การนำมากลั่นซ้ำก็จะสูญเสียสารประกอบบางอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อการเกษตร

สมาคมน้ำส้มควันไม้แห่งประเทศไทยซึ่งเป็นคนกลางในการซื้อขายน้ำส้มควันไม้ ได้ตั้งเกณฑ์ของการเก็บน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตจากเตาอิวเตะ (Iwate) ไว้โดยการวัดอุณหภูมิที่ปากปล่องควัน ระหว่าง 80 -150 องศาเซลเซียสซึ่งอุณหภูมิภายในเตาจะอยู่ระหว่าง 300 – 400 องศาเซลเซียสน้ำส้มควันไม้สามารถเก็บได้โดยอาศัยเครื่องมืออย่างง่าย โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากปล่องตักควันที่มีอุณหภูมิสูงสู่อากาศรอบปล่องตักควันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ความชื้นในควันก็จะควบแน่นเป็นหยดน้ำ นำมารวบรวมและทำให้บริสุทธิ์ขึ้นก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ จุดสำคัญของการเก็บน้ำส้มควันไม้ก็คือต้องให้ปล่อง



ดักควันอยู่ห่างจากปากปล่องควันของเตาเผาถ่าน 20-30 เซนติเมตร หากทั้งสองส่วนเชื่อมต่อกันโดยตรงจะเท่ากับเป็นการต่อความยาวให้กับปล่องควันของเตาซึ่งจะมีผลกระทบไปถึงการไหลเวียนของอากาศภายในเตาและส่งผลถึงคุณภาพและผลผลิตของถ่านไม้ด้วย น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเก็บจากเตาเผาถ่านยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที เนื่องจากการเปลี่ยนเป็นถ่านไม้ได้เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งเตา แต่จะเริ่มก่อนที่หน้าเตาด้านบน แล้วแผ่กระจายมายังหลังเตาด้านล่าง ดังนั้นควันที่ออกมาจากปล่องควันจึงเป็นควันที่ผสมกันระหว่างควันอุณหภูมิต่ำและสูง และเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 310 องศาเซลเซียส ลิกนิน (Lignin) ก็จะเริ่มสลายตัว และจะมีน้ำมันดิน (Tar) และสารระเหยง่าย (Volatile) เกิดขึ้น (มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2557)

การให้น้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์สามารถทำได้ 3 วิธี

1. ปล่อยให้ตกตะกอน

โดยนำน้ำส้มควันไม้มาเก็บในถังทรงสูง มีความสูงมากกว่าความกว้างประมาณ 3 เท่า โดยทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 90 วัน น้ำส้มควันไม้ก็จะตกตะกอนแบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นบนสุดจะเป็นน้ำมัน (Light oil) ชั้นกลางเป็นของเหลวใสสีขาวคือน้ำส้มควันไม้ และชั้นล่างสุดจะเป็นของเหลวข้นสีดำหรือน้ำมันดิน หากนำผงถ่านมาผสมประมาณ 5% โดยน้ำหนัก ผงถ่านก็จะดูดซับทั้งน้ำมันใสและน้ำมันดิบให้ตกตะกอนลงสู่ชั้นล่างสุดในเวลาเร็วขึ้น เพียงประมาณ 45 วันเท่านั้น ระหว่างการปล่อยให้ตกตะกอน สารประกอบในน้ำส้มควันไม้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน เปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ที่มีโมเลกุลยาวขึ้น (Polimerization) เช่น ฟอมาดีไฮด์ (Formaldehyde) ทำปฏิกิริยากับฟีนอล (Phenol) เปลี่ยนเป็นน้ำมันดิน (Tar) แล้ว ตกตะกอนหรือจับตัวติดแน่นกับผนังของถังเก็บ ดังนั้นหากนำน้ำส้มควันไม้มากรองโดยไม่ตกตะกอนเสียก่อนก็จะเกิดน้ำมันดินใหม่ได้ทั้ง ๆ ที่ได้ผ่านการกรองแล้ว

เก็บควรมีวาล์ว 3 ระดับ คือ

ระดับ 1 บนมีไว้สำหรับแยกน้ำใส (Light oil)

ระดับ 2 กลางมีไว้สำหรับเก็บน้ำส้มควันไม้

ระดับ 3 สำหรับถายน้ำมันดิน

แต่ถ้าใช้ถ่านช่วยตกตะกอนมีเพียงระดับ 2 ก็พอ เมื่อแยกน้ำส้มควันไม้เสร็จแล้วต้องยกถังเพื่อเทผงถ่านผสมน้ำมันดินออก เพราะผงถ่านผสมน้ำมันดินไม่สามารถไหลผ่านวาล์วได้ ผงถ่านผสมน้ำมันดิน สามารถนำไปใช้โรยรอบอาคารเพื่อป้องกันสัตว์ต่าง ๆ เช่น มด ปลวก ตะขาบ ฯลฯ และจะสลายตัวได้เองภายในเวลาไม่นานนัก แต่ห้ามทิ้งลงแหล่งน้ำเด็ดขาด หลังจากตกตะกอนจนครบกำหนดแล้ว นำน้ำส้มควันไม้มากรองซ้ำอีกครั้งด้วยผ้ากรองแล้วจึงนำไปใช้ประโยชน์ได้ น้ำส้มควันไม้ที่บริสุทธิ์ต้องมีน้ำมันดินไม่เกิน 1% ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ง่ายโดยการดูความใส หากมีน้ำมันดินเกิน 1% น้ำส้มควันไม้จะขุ่นและมีสีดำ น้ำส้มควันไม้ที่ดีจะมีลักษณะใส สีขาว หรือน้ำตาลแดง แตกต่างกันไปตามชนิดของไม้

2. การกรอง

โดยใช้ผ้ากรองหรือถังกรองที่ใช้ผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะได้คุณสมบัติแตกต่างกันไป เพราะถ่านกัมมันต์จะลดความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้ และจะใช้วิธีนี้เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในการอุตสาหกรรม



3. การกลั่น

โดยกลั่นได้ทั้งที่ความดันบรรยากาศ และกลั่นแบบลดความดันรวมทั้งกลั่นแบบลำดับส่วนเพื่อแยกเฉพาะสารหนึ่งสารใดในน้ำส้มควันไม้มาใช้ประโยชน์ มักใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยา อย่างไรก็ตาม ทั้งการกรองและการกลั่น ต้องทำหลังจากตกตะกอนก่อนเท่านั้น เนื่องจากต้องรอให้เกิดปฏิกิริยาในน้ำส้มควันไม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ก่อน ไม่เช่นนั้นจะมีน้ำมันดินที่ละลายน้ำไม่ได้ (Oil base) ออกมาด้วย

มาตรฐานน้ำส้มควันไม้ของผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช.659/2553

1. ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นของเหลวใสเนื้อเดียวกัน มีสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล ไม่แยกชั้น ไม่มีตะกอนหรือสารแขวนลอย ไม่มีสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2. กลิ่น

ต้องมีกลิ่นเหมือนควันไฟ ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นเหม็นเปรี้ยว การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

3. ความเป็นกรด-ด่าง

ต้องอยู่ระหว่าง 2.0 ถึง 3.0 การทดสอบให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

4. ความถ่วงจำเพาะ

ต้องอยู่ระหว่าง 1.010 ถึง 1.025 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การทดสอบให้ใช้เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2553)

2.5 ถ่านอัดเม็ด

ถ่านอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้ม ผลิตขึ้นจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือเศษถ่านโดยมีแป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล อย่างใดอย่างหนึ่งเป็นตัวประสานทำให้ผงถ่านยึดติดกันโดยการนำชีวมวลมาลดความชื้นให้มีความน้อยที่สุดแล้วนำไปเข้ากระบวนการเผาให้กลายเป็นถ่าน แล้วจึงนำถ่านที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นถ่านอัดเม็ด วัตถุดิบทางการเกษตรที่นำมาทำถ่านอัดเม็ด ได้แก่ เศษเปลือกผลไม้ เช่น เปลือกทุเรียน มังคุด เป็นต้น ข้อดีของถ่านอัดเม็ดคือ ถ่านให้ความร้อนสูงและใช้ได้นาน เผาไหม้ไม่มีกลิ่น ไม่มีควัน ไม่แตกปะทุ ชี้อัดไม่ฟุ้งกระจาย ให้ความร้อนสม่ำเสมอ (กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี, 2553) และเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งถ่านอัดเม็ดจะให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าการอัดแท่งดิบมาก โดยจากการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากซังข้าวโพด พบว่าค่าความร้อนอยู่ที่ 4,200-4,300 kcal/kg และพบว่า ถ่านอัดเม็ดจากซังข้าวโพดนั้นมีค่าความร้อนสูงถึง 6,000-7,000 kcal/kg ซึ่งนับว่ามีค่าความร้อนที่สูงกว่ามากเมื่อเทียบกับการอัดแท่งดิบ (พิเชษ ลาภานุพัฒน์, 2553) ถ่านอัดเม็ดที่มีคุณภาพและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมีดังนี้ (บุญมา ปานประดิษฐ์ และคณะ, ม.ป.ป.)

1. การแตกปะทุขณะติดไฟ ถ่านที่แตกปะทุขณะติดไฟจะเป็นที่รังเกียจของผู้ใช้อันดับหนึ่ง ดังนั้นถ่านที่มีคุณภาพดีจะไม่มีการแตกปะทุเล็กน้อยในช่วงเวลาที่แรกที่ติดไฟ

2. น้ำหนักถ่าน ถ่านหนักจะลุกไหม้ให้ความร้อนแรงได้นาน

3. ควัน ถ่านที่มีคุณภาพดีไม่ควรจะมีควัน และกลิ่นฉุนในขณะลุกไหม้



มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช.238/2547

1. ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะถ่านอัดแท่งที่ทำจากถ่านผงหรือถ่านเม็ด มาอัดเป็นแท่ง หรือทำจากวัสดุธรรมชาติมาอัดเป็นแท่งแล้วเผาจนเป็นถ่าน

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ถ่านอัดแท่ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชังข้าวโพดมาเผาจนเป็นถ่าน อาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ดแล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ หรือนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น แกลบ ชี้อยู่ มาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ แล้วจึงนำมาเผาเป็นถ่าน

2.2 ค่าความร้อน หมายถึง พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหนัก ๑ กรัม มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปทรงเดียวกัน ขนาดใกล้เคียงกัน มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะ อาจแตกหักได้บ้าง

3.2 การใช้งาน

เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควันและกลิ่น

3.3 ความชื้น

ต้องไม่เกินร้อยละ ๘ โดยน้ำหนัก

3.4 ค่าความร้อน

ต้องไม่น้อยกว่า 5,๐๐๐ แคลอรีต่อกรัม

ข้อดีของแท่งเชื้อเพลิงเมื่อเปรียบเทียบกับฟืนและถ่าน

1. มีสมบัติทางกายภาพและความร้อนสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนได้
2. ไม่ต้องสิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติ จากการตัดไม้ทำลายป่า เพียงแต่ใช้เศษเหลือจากการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรมาประยุกต์
3. มีรูปร่างและขนาดเป็นแบบเดียวกัน สามารถใช้ป้อนเชื้อเพลิงในทางอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่องและสะดวกในการใช้งาน
4. มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้
5. สะดวกในการเก็บรักษา
6. เนื่องจากการนำเศษเหลือทิ้งจากเกษตรและโรงงานมาใช้ จึงเป็นการประหยัดพลังงานในการทำลายเศษเหลือเหล่านี้อีกด้วย

2.6 กระบวนการอัดเม็ด (Densification)

กระบวนการอัดเม็ด เป็นกระบวนการเปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงและช่วยลดความชื้นในของเสีย ขณะเดียวกันยังสามารถปรับปรุงขนาดและรูปร่างของของ



เสียให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งาน ด้วยกระบวนการอัดแท่งสามารถแปรรูปของเสียให้เป็นเชื้อเพลิงได้ในหลายรูปแบบเช่น

1. อัดเป็นเม็ดหรือแท่งตะเกียบๆ (Pelleting)
2. อัดเป็นก้อนรูปลูกบาศก์ (Cubing)
3. อัดเป็นแท่งฟืน (Extruded log)

ประเภทของเม็ดเชื้อเพลิง

เม็ดเชื้อเพลิงที่มีการผลิตขึ้นในปัจจุบันมี 2 ประเภทคือ

1. ถ่านอัดเม็ด เป็นการนำชีวมวลหรือของเสียที่เผาจนเป็นถ่านแล้วมาอัดเป็นแท่งหรืออาจนำเม็ดเชื้อเพลิงที่อัดเป็นเม็ดแล้วมาเผาให้เป็นถ่านก็ได้
2. เม็ดเชื้อเพลิงเขียวเป็นการนำชีวมวลหรือของเสียมาอัดเม็ดแล้วนำไปใช้งานโดยตรง ไม่ต้องมีขั้นตอนการเผาเหมือนเช่นถ่านอัดเม็ด ตัวอย่างของเม็ดเชื้อเพลิงเขียวแบบต่างๆดังในภาพประกอบ 2.5



(a)

(b)

ภาพประกอบ 2.5 ถ่านอัดเม็ด (a) และ เชื้อเพลิงเขียวอัดเม็ด (b) (Amazon, n.d.: Web Site)

กรรมวิธีการอัดเม็ดเชื้อเพลิง

จำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 ลักษณะคือ กระบวนการอัดร้อนและกระบวนการอัดเย็น

1. กระบวนการอัดร้อน (Hotpress Process) เป็นกระบวนการอัดวัสดุโดยให้ความร้อนตลอดเวลาที่ทำการอัด โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส เหมาะกับวัสดุที่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดเนื้อวัสดุเข้าหากันจึงทำให้สามารถยึดเกาะขึ้นรูปเป็นเม็ดได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน ตัวอย่างวัสดุที่สามารถนำมาทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดด้วยกระบวนการอัดร้อน คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (แกลบ ชี้เลื่อย ยอดอ้อย ฟางข้าว เปลือกผลไม้ ชังข้าวโพด ชานอ้อย ฯลฯ) วัสดุพืชบกและน้ำ และผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะพืชที่มีแป้งและน้ำตาล(ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวฟ่าง ฯลฯ)

2. กระบวนการอัดเย็น (Cold press Process) เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวได้ด้วยความร้อนมี 2 วิธี คือ

2.1 การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน เป็นการอัดเย็นที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป เนื่องจากเครื่องมือและวิธีที่ง่าย และใช้พลังงานต่ำ ใช้วัสดุผสมกับตัวประสาน โดยทั่วไปจะเป็นแป้งมัน



สำหรับ หากวัสดุใดมีขนาดใหญ่ เช่น กะลามะพร้าวต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการ

2.2 การอัดเ็นด้วยแรงอัดสูง เป็นการอัดเ็นระบบใหม่ที่ไม่ต้องใช้ตัวประสานแต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมาก เพื่อให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้ซึ่งการอัดเ็นประเภทนี้จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูงและยังใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะไม่ต้องผสมตัวประสานและไม่มีเวลาจำเป็นที่ต้องบดวัสดุก่อนเข้าอัด หากวัสดุไม่ได้มีขนาดใหญ่จนเกินไปนัก

2.7 ตัวประสาน (Binder)

ตัวประสานจะทำหน้าที่ยึดเกาะชีวมวลที่นำมาใช้ทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้มีรูปแบบดังลักษณะที่ต้องการอัดออกมาได้ และตัวประสานจะยังทำหน้าที่เพิ่มสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น ค่าความต้านทานความเค้นอัด ด้านแรงกระแทก รวมถึงการต้านทานน้ำ ซึ่งสมบัติทางกายภาพที่กล่าวมานั้นสามารถบอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

ลักษณะของตัวประสานที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ มีแรงยึดเกาะที่ดี ราคาถูก หาง่าย ไม่ดูดความชื้น ไม่สึกกร่อนง่าย ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหรือสารมลพิษขณะเผาไหม้และเถ้าของตัวประสานเมื่อผ่านการเผาแล้วควรมีชี้เถ้าที่น้อยที่สุด มีฉนวนค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะลดลงไปด้วย

ชนิดของตัวประสาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ (Bryand, 1985)

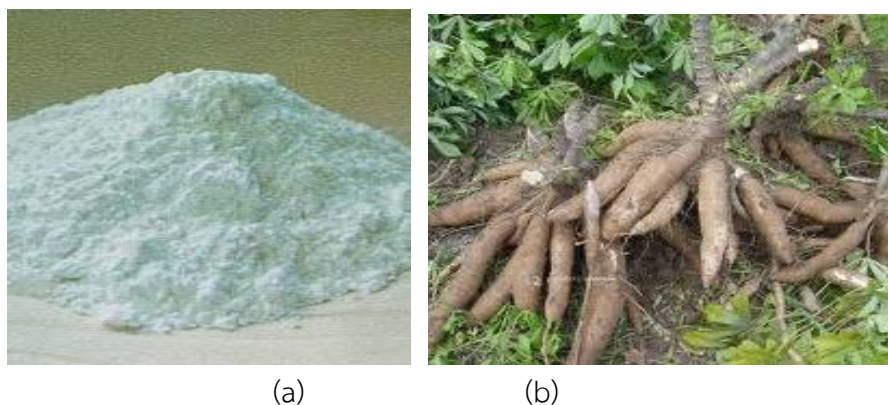
1. ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible binder) ได้แก่ ทาร์ (Tar), แป้ง (Starch), สาหร่าย (Algae), มูลสัตว์ (Dung), เรซินตามธรรมชาติ (Natural resins) กลีเซอริน และเรซินสังเคราะห์ (Synthetic resins)

2. ตัวประสานที่เผาไหม้ไม่ได้ (Incombustible binder) ได้แก่ ดินเหนียว (Clay), โคลน (Mud), และซีเมนต์ (Cement) เป็นต้น

2.7.1 แป้งมันสำปะหลัง

เป็นแป้งที่ได้จากมันสำปะหลัง ลักษณะของแป้งมีสีขาว เนื้อเนียน ลื่นเป็นมันเมื่อทำให้สุกด้วยการกวนกับน้ำไฟอ่อนปานกลาง แป้งจะละลายง่าย สุกง่าย แป้งเหนียวติดภาชนะ หนืดขึ้นชั้นเรื่อยๆ ไม่มีการรวมตัวเป็นก้อน เหนียวเป็นใย ติดกันหมด เนื้อแป้งใสเป็นเงา พอเย็นแล้วจะติดกันเป็นก้อนเหนียว ติดภาชนะ ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการนำแป้งมันมาใช้เป็นตัวประสานในการอัดแท่งเชื้อเพลิงเช่น ถ่านอัดแท่งจากผักตบชวา ถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียน เป็นต้น (อาทิศย์ มะลิทอง, 2532)





ภาพประกอบ 2.6 (a) แป้งมันสำปะหลัง (b) หัวมันสำปะหลัง

2.8 การแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน

การแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน ทำได้หลายวิธีดังนี้ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2552)

1. การเผาไหม้โดยตรง (Combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผาจะได้รับความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวล ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้

2. การผลิตแก๊ส (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง เรียกว่าแก๊สชีวภาพ (Biogas) มีองค์ประกอบของ ก๊าซมีเทน ไฮโดรเจน และ คาร์บอนมอนนอกไซด์ สามารถนำไปใช้กับกังหันก๊าซ (Gas turbine)

3. การหมัก (Fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัวเกิดก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่องค์ประกอบของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทนที่ได้สามารถนำไปใช้ เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

4. การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช มีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

4.1 กระบวนการทางชีวภาพ ทำการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และ เซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลังให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน

4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี โดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการทางเคมี เช่น ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

4.3 กระบวนการใช้ความร้อนสูง เช่น กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้รับความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจนจะเกิดการสลายตัวเกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและก๊าซผสมกัน



2.9 ชนิดของเตาผลิตก๊าซชีวมวล

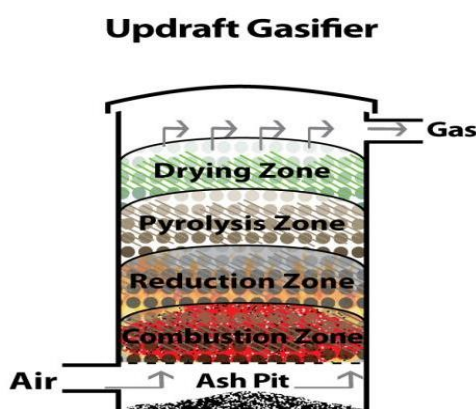
เตาผลิตก๊าซชีวมวลนั้นมีอยู่ 4 รูปแบบหลักๆคือ

1. เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft gasifier)
2. เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier)
3. เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลขวาง (Crossdraft gasifier)
4. เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไซ์เบด (Fluidized bed gasifier)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขึ้นเนื่องจากเป็นเตาที่สามารถผลิตได้ง่าย และรูปแบบการทำงานของเตาไม่ซับซ้อน

2.9.1 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft gasifier)

เป็นเตาผลิตก๊าซที่ใช้ตั้งแต่แรกเริ่ม และแบบที่ง่ายที่สุดเชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าทางด้านบนของเตาและอากาศถูกส่งผ่านตะแกรงเข้ามาทางด้านล่างเหนือตะแกรงขึ้นไปจะมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงบริเวณนี้เรียกว่า บริเวณเผาไหม้ เมื่อมีอากาศผ่านเข้าไปในบริเวณเผาไหม้ จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ก๊าซที่ผ่านออกมาจากบริเวณเผาไหม้จะมีอุณหภูมิสูงและจะเข้าไปยังบริเวณรีดักชัน ที่บริเวณนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิด คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน หลังจากนั้นก๊าซที่ได้จะไหลเข้าสู่บริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่าในชั้นของชีวมวล และกักสลายในช่วงอุณหภูมิ 200 - 500 องศาเซลเซียส ต่อจากนั้นก๊าซก็จะไหลเข้าสู่ชั้นของชีวมวลที่ขึ้น เนื่องจากก๊าซยังมีอุณหภูมิสูงอยู่จึงไประเหยน้ำที่อยู่ในชีวมวลเหล่านั้นทำให้ก๊าซที่ออกจากเตาผลิตก๊าซมีอุณหภูมิต่ำลง ดูภาพประกอบ 2.7



ภาพประกอบ 2.7 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft gasifier)

2.10 ปฏิกิริยาที่สำคัญที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น (Gasifier)

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง โดยภายในเตาจะแบ่งเป็นออกโซนต่างๆ 4 ประเภทคือ โซนอบแห้ง (Drying zone) โซนกลั่นตัว (Devotalization zone) หรือ โซนไพโรไลซิส (Pyrolysis zone) โซนเผาไหม้ (Combustion zone) และ โซนรีดักชัน (Reduction zone)



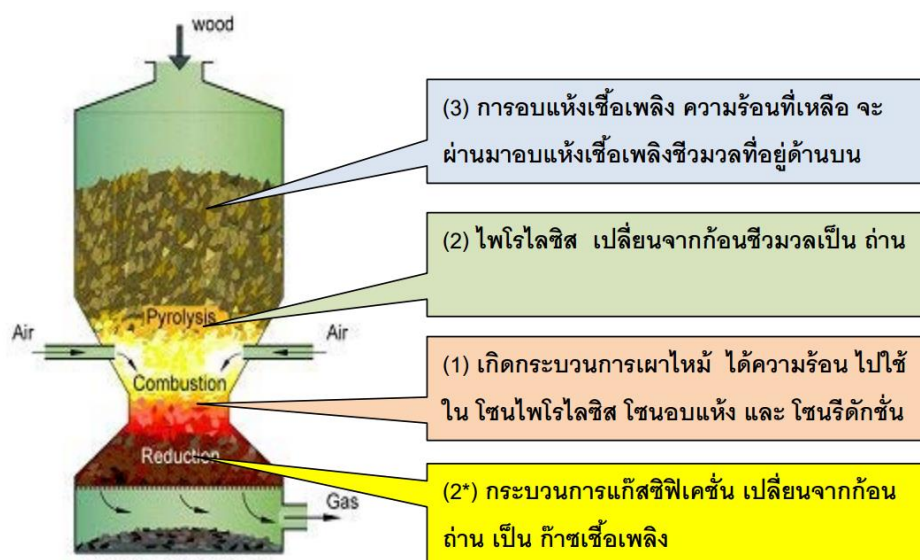
2.10.1 โซนอบแห้ง (Drying Zone) เป็นโซนที่อยู่ด้านบนสุด มีหน้าที่อบแห้งและระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบด้วยความร้อนในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ประมาณ 40 – 200 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้ความชื้นลดลงได้ ประมาณ ร้อยละ 5 และค่าความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานควรมีค่าต่ำกว่า ร้อยละ 30 เพื่อให้วัตถุดิบเชื้อเพลิงมีความแห้งและง่ายต่อการติดไฟ จะเห็นได้ว่าวัตถุดิบที่นำมาใช้ควรมีความชื้นต่ำ เนื่องจากปริมาณความชื้นในวัตถุดิบมีผลต่อความเสถียรต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงในระบบ

2.10.2 โซนกลั่นตัว (Devolatilization Zone) หรือ โซนไพโรไลซิส (Pyrolysis Zone) เป็นโซนที่ติดต่อกับโซนเผาไหม้และได้รับความร้อนโดยตรงจากโซนเผาไหม้ โดยกระบวนการกลั่น ตัวหรือไพโรไลซิส เป็นกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบด้วยความร้อนได้ผลิตภัณฑ์ คือ ก้อนถ่านและก๊าซ และได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียง คือ อนุมูลของกรด (หรือ น้ำส้มควันไม้) และน้ำมันดิน (Tar) โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 500 – 600 องศาเซลเซียส โดยในช่วงนี้ออกซิเจนที่มีอยู่ในระบบจะไม่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้สารระเหย (Volatile matter) ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในวัตถุดิบจะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในรูปของก๊าซ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) และไฮโดรเจน (H₂) และของเหลว เช่น น้ำ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก อะซิโตน เมธานอล เมทิลอะซิเตท ฟีนอล ซึ่งอาจรวมตัวกันอยู่ในสภาพของเหลวชั้นสีน้ำตาลปนดำ เรียกว่า น้ำมันดิน หรือ ละลายปนอยู่กับน้ำซึ่งจะมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีเหลืองอ่อนที่ เรียกว่า น้ำส้มควันไม้ ส่วนก้อนถ่านที่ เหลืออยู่จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซเชื้อเพลิงในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันต่อไป

2.10.3 โซนเผาไหม้ (Combustion Zone) เป็นโซนที่ผลิตความร้อนเพื่อส่งความร้อนไปสู่โซนอื่นในเตาแก๊สซิฟายเออร์ ในโซนนี้เกิดปฏิกิริยา การเผาไหม้หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน วัตถุดิบหรือถ่านคาร์บอนที่เกิดจากโซนไพโรไลซิสถูกเผาไหม้ เกิดเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นถูกถ่ายเทโดยตรงให้กับโซนรีดักชันและโซนไพโรไลซิส และถ่ายเทให้กับโซนอบแห้ง

2.10.4 โซนรีดักชัน (Reduction Zone) เป็นโซนที่ผลิตก๊าซสังเคราะห์ ซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์หลัก โดยกระบวนการแปรรูปถ่านคาร์บอนให้เป็นก๊าซสังเคราะห์ ปฏิกิริยาเกิดในช่วงอุณหภูมิ ประมาณ 800 – 1,000 องศาเซลเซียส ของการเผาไหม้ภายใต้สภาวะการจำกัดปริมาณอากาศ ซึ่งจะทำให้ ถ่านคาร์บอนและน้ำมันดินแตกตัวเป็นก๊าซสังเคราะห์ โดยปฏิกิริยาในกระบวนการนี้สามารถเกิดได้หลาย รูปแบบ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) (เทคโนโลยีการผลิตพลังงาน/เชื้อเพลิงจากเศษไม้, เว็บบไซต์) ดูภาพประกอบ 2.8





ภาพประกอบ 2.8 โซนต่างๆภายในเตาผลิตก๊าซ

2.11 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก

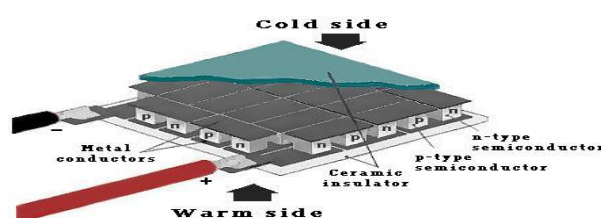
การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล แบ่งเป็น 2 โหมด โดยโหมดแรกเรียกว่าโหมดผลิตไฟฟ้า (Generator mode) โดยให้ความต่างของอุณหภูมิบนแผ่นเซรามิกด้านบนและด้านล่างทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเนื่องจากพาหะเอ็นและพีในสารกึ่งตัวนำเหล่านั้น ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่างการไหลของความร้อนจำทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลผ่านผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพีมีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวก เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าผิวด้านล่าง โฮลก็จะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจึงไหลตามกันไปทิศทางเดียวกัน ส่วนการทำงานอีกโหมดหนึ่งในทางกลับกัน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นเกิดขึ้นที่ผิวด้านล่างและด้านบน เรียกว่า โหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้า (Refrigerator mode) เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก เช่น แบตเตอรี่ จะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความร้อนและความเย็นที่ผิวแต่ละด้าน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง

เทอร์โมอิเล็กทริก ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้แล้วในต่างประเทศที่มีอากาศหนาว เช่น โหมดการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลด้านหนึ่งมาประกอบเข้ากับแหล่งความร้อนที่สูญเสียต่างๆ เช่น เครื่องจักร เครื่องยนต์ประเภทใช้ไดฟฟ้าและน้ำมัน ท่อไอเสีย คอมเพรสเซอร์แอร์ เตา ความร้อน หรือแม้แต่บนดาวเทียม ที่ผิวอีกด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลอากาศเย็นกว่าก็จะเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ส่วนโหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้า มีบริษัทผู้ผลิตตู้เย็นเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ไม่ต้องใช้สารทำความเย็นไม่ต้องใช้คอมเพรสเซอร์แอร์ จึงสามารถเพิ่มพื้นที่บรรจุของในตู้เย็นมากขึ้นอีกทั้งยังเงียบไม่มีเสียงดัง



ก่อนเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ควรมีการหาค่าตัวแปรที่สำคัญเบื้องต้น 3 ชนิดคือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (Cold surface temperature, T_c) อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (Hot surface temperature, T_h) และปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกที่ผิวด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (Hot to be absorbed at cold surface, Q_c) เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลต่อไป จากการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสำคัญต่อการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมาก เพราะถ้าไม่สามารถถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกออกได้ ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะไม่สามารถเย็นลงได้โดยตัวแปรที่สำคัญในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน คือ อุณหภูมิแวดล้อมที่รองรับความร้อนที่ถ่ายเทจากเทอร์โมอิเล็กทริก (Ambient temperature) และประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (The efficiency of heat) ซึ่งข้อมูลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนได้แสดงค่าประมาณการถ่ายเทความร้อนไว้ ดังนี้ (Melcor Corporation, 1995: 50) ดูภาพประกอบ 2.9

1. การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศโดยพาความร้อนด้วยครีบบังคับ (Finned forced air) มีค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงกว่าแวดล้อมประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส
2. การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศการพาความร้อนด้วยครีบบังคับธรรมชาติ (Free convection) มีค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงกว่าแวดล้อมประมาณ 20-40 องศาเซลเซียส
3. การถ่ายเทความร้อนด้วยของเหลว (Liquid exchanger) มีค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงกว่าแวดล้อมประมาณ 2-5 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 2.9 ส่วนต่างๆของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Melcor Corporation, 1995: 50)

Specification of Thermoelectric Module TEP1-1264-3.4

Description

The power module is designed and manufactured by our unique technology for converting heat source directly into electricity.

The module is Bi-Te based thermoelectric module that can work at the temperature of as high as 330 °C (626 °F) heat source continuously and up to 400 °C (752 °F) intermittently. The thermoelectric module will generate DC electricity as long as there is a temperature difference across the module. The more power will be generated when the temperature difference across the module becomes larger, and the efficiency of converting heat energy into electricity will increase therefore. The



module is stuck with the high thermal conductivity graphite sheet on its both sides of the ceramic plates to provide low contact thermal resistance, hence you do not need to apply thermal grease or other heat transfer compound when you install the module. The graphite sheet can work well in extremely high temperature .

Specification of the Module

Hot Side Temperature (°C)	300
Cold Side Temperature (°C)	30
Open Circuit Voltage (V)	10.8
Matched Load Resistance (ohms)	5.4
Matched load output voltage (V)	1.0
Matched load output current (A)	5.4
Matched load output power (W)	≈ 98.2
Heat flow across the module (W)	≈ 6.2
Heat flow density (W cm ⁻²)	2.8 ~ 3.9
AC Resistance (ohms) Measured under 27 °C at 1000Hz	

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเชื้อเพลิงจากชีวมวลมีอยู่ค่อนข้างมาก และส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาในกรณีของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเสียต่างๆ ในชุมชน ตัวอย่างเช่น การผลิตถ่านเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดย Owen และคณะ (2001) ได้ศึกษาการทำถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ต้นข้าวโพด ฟาง หย้า ใบไม้ เป็นต้น โดยนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไปเผาให้เป็นถ่านจากนั้นนำมาบดให้ละเอียด แล้วจึงนำไปอัดเป็นแท่ง โดยแท่งเชื้อเพลิงจะมีลักษณะคล้ายโดนัท จากนั้นนำไปตากให้แห้ง สามารถนำไปใช้แทนฟืนหรือถ่านไม้ได้ โดยให้ความร้อนสูงและติดไฟได้นาน นอกจากนั้นยังได้มีการทดลองอัดแท่งถ่านจากเศษใบไม้ กิ่งไม้ หรือเศษกระดากจากจดหมายเก่าๆ ซึ่งพบว่าเชื้อเพลิงที่ได้สามารถจุดติดไฟได้ง่ายโดยใช้เวลาเพียง 2 นาทีและให้อุณหภูมิสูงถึง 816 องศาเซลเซียส ผักตบชวานับว่าเป็นพืชน้ำที่ไม่มีประโยชน์ก็สามารถมาทำเป็นถ่านอัดเม็ดได้เช่นกันโดยอาทิตย์ มลิตทอง (2532) ได้ศึกษาการผลิตถ่านอัดเม็ดจากผักตบชวาและผักตบชวาผสมถ่านลิกไนต์ โดยทดลองใช้อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาต่อถ่านลิกไนต์ ที่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 50:50 โดยปริมาตร โดยใช้แปรงเปือกเป็นตัวประสาน แล้วอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาทำให้แห้งด้วยกระบวนการ 3 วิธีคือ 1. อบในตู้อบแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิ 50 องศาเป็นเวลา 4 วัน 2. ตากบนพื้นปูนซีเมนต์อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3. ตากบนแผ่นสังกะสี อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน พบว่าถ่านอัดเม็ดที่ผสมถ่านลิกไนต์อัตราส่วน 90:10 ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 4,194 kcal/kg นอกจากนั้นยังได้มีการนำไม้แต่ละชนิดซึ่งเป็นไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งชนิดต่างๆ มาทำเป็นถ่านอัดเม็ดเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้แต่ละชนิดอีกด้วย โดย Syred และ



คณะ (2005) ได้ศึกษาการทำถ่านอัดเม็ดของไม้แต่ละชนิดและทดสอบสมบัติเบื้องต้นและค่าความร้อนของถ่านอัดเม็ดเทียบกับเชื้อเพลิงดิบโดยใช้ไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งรวมกันแล้ว 5 ชนิด ได้แก่ Alder wood Birch wood Oak wood Pine wood และ Spruce wood โดยทำการวิเคราะห์หาระเหย ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนเสถียร ซึ่งพบว่าค่าความร้อนของถ่านอัดเม็ดนั้นดีกว่าค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงดิบอยู่มาก ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเพื่อหาสภาวะหรืออัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อที่จะผลิตถ่านอัดเม็ดให้ได้คุณภาพดีที่สุดซึ่ง อรรถกร ฤกษ์วี (2549) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเชื้อเพลิงแข็งจากขยะมูลฝอยชุมชน โดยนำขยะมูลฝอยชุมชน 2 ประเภท ได้แก่ เศษกระดาษ และเศษไม้หรือใบไม้ มาผสมกันในอัตราส่วนต่างกัน 5 อัตราส่วน และทำการวิเคราะห์หาปริมาณค่าความร้อน เพื่อหาว่าอัตราส่วนใดมีค่าความร้อนมากที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองสรุปได้ว่า อัตราค่าความร้อนที่สูงที่สุดคืออัตราส่วนผสมของเศษกระดาษต่อเศษใบไม้และเศษไม้ 95%:5% โดยน้ำหนัก มีค่าความร้อนเฉลี่ย 3,518.06 แคลอรีต่อกรัมสำหรับเชื้อเพลิงแห้ง และ 4,314.16 แคลอรีต่อกรัม สำหรับถ่านเชื้อเพลิง ดังนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกันกับถ่านกลบ หรือถ่านขานอ้อย และนอกจากนั้นยังได้มีการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุผสมจากขยะและของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปได้แก่ Nagano และคณะ (1999) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขยะชุมชน สำหรับใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะในชุมชนมาเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 623 K แล้วนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 1,123 K แล้วผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งผลสรุปได้ว่า ถ่านคาร์บอนที่มีคุณสมบัติรูพรุนที่เหมาะสมในการดูดซับไดออกซินที่สุด คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางเคมีด้วย กรดไนตริกความเข้มข้น 3.3 และ 5.2 N ที่จุดเดือดเป็นเวลา 3 ชั่วโมงก่อนที่จะกระตุ้นด้วยไอน้ำโดยค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับถ่านคาร์บอนในเชิงที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และมีการนำถ่านลิโนต์เข้ามาเป็นส่วนผสมในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วย Yaman และคณะ (2001) ศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยนำลิโนต์มาผสมกับตัวประสาน 6 ชนิด คือ กากน้ำตาล แกนสับปะรด กากมะกอก ชี้อ้อย กากของเสียจากโรงงานกระดาษ และกากฝ้าย สัดส่วนตัวประสานที่ใช้มีค่าระหว่าง 0 - 30 wt.% จากนั้นนำไปอัดแท่งที่ความดัน 50 - 250 MPa ผลจากการทดลองพบว่า เมื่อนำลิโนต์มาผสมกับกากของเสียจากโรงงานกระดาษ ค่าดัชนีการแตกร่วนเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อนำไปผสมกับชี้อ้อยและกากของเสียจากโรงงานกระดาษ ค่าความทนแรงอัดสูงขึ้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานการดูดซึมจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กากมะกอก กากฝ้าย แกนสับปะรด หรือกากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานและยังมีการนำวัสดุหลากหลายชนิดมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงด้วยโดย Yadong และคณะ (2001) ศึกษาการ High-pressure compaction of municipal solid waste to form densified fuel โดยทดลองอัดขยะที่มีส่วนผสมต่างกันคือ 1.กระดาษและพลาสติกอ่อน 2.กระดาษและพลาสติกแข็ง 3. กระดาษและพลาสติกผสม 4. กระดาษ พลาสติก ฝ้าย และเศษไม้ มาทดสอบคุณสมบัติทั้งความหนาแน่น ความทนทานต่อแรงกระแทก ลักษณะการเผาไหม้และประสิทธิภาพในระยะยาว พบว่ากระดาษจะเป็นตัวประสานในการอัดขึ้นรูป และจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าทุกส่วนผสมควรมีความชื้นน้อยกว่า 15% ซึ่งความหนาแน่นที่อบแห้งมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 8 กรัม/ลบ.ซม. ความดันที่เหมาะสมมีค่าต่ำสุดที่ 70 MPa สำหรับส่วนผสมที่ 1 2 และ 3 และความดันสูงสุดที่ 100 MPa สำหรับส่วนผสมที่ 4 ซึ่งจากการทดสอบหาความร้อนจะมีค่าเท่ากับถ่านหินที่สามารถนำไปผลิตไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังได้มีการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเตาแก๊สซิฟิเคชันเพื่อผลิตแก๊สชีวมวลอีกด้วยโดย สัญญา แก้วศรีงาม (2552) ได้



ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะในชุมชนเพื่อใช้กับเตาแก๊สซีพีเออร์ เพื่อศึกษาการลดความชื้นในขยะอินทรีย์จากการใช้วิธีทางชีวภาพร่วมกับวิธีทางเชิงกล โดยใช้วิธีทางชีวภาพด้วยการให้อากาศไหลผ่านขยะเพื่อย่อยสลายในบางส่วนก่อนนำไปเข้าวิธีทางกลด้วยการบดรีดความชื้น ซึ่งผลสรุปคือระยะเวลา 3 วัน เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยสลายทางชีวภาพ ก่อนนำขยะแห้งไปขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ผลของค่าความร้อนสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 1,083 กิโลแคลอรี/ลบ.ม. และมีประสิทธิภาพร้อยละ 54.05 ในสภาวะมาตรฐาน

จากการค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ยังไม่มีการนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด ละเปลือกมะละกอ มาเป็นวัสดุหลักในการทำเป็นถ่านอัดเม็ด ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมีแนวคิดในการนำวัสดุเหล่านี้มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเป็นถ่านอัดเม็ด โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของถ่านอัดเม็ดที่ได้และนำไปทดสอบเผาในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นต่อไป



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 7 ส่วน คือ การเตรียมตัวอย่างและกระบวนการเผาถ่าน การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างชีวมวลดิบในชุมชน การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างถ่านชีวมวลในชุมชน การทดสอบหาค่าความร้อน การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของน้ำส้มควันไม้ การเตรียมและการวิเคราะห์สมบัติของถ่านจากชีวมวลในชุมชน และการนำจากชีวมวลในชุมชนไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมตัวอย่างชีวมวลดิบ กระบวนการเผาถ่าน และน้ำส้มควันไม้

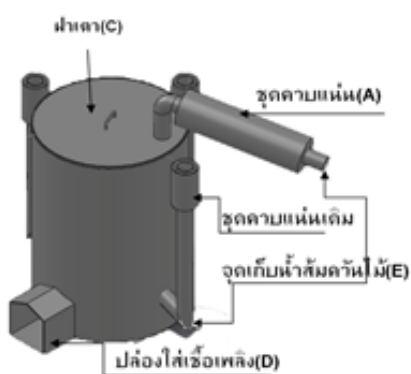
วัสดุและอุปกรณ์

1. ตัวอย่างชีวมวลได้แก่ เปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ได้จากบริษัทศรีบ้านไผ่ จำกัด จังหวัดขอนแก่น เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอ ที่ได้จากตลาดสด ในจังหวัดขอนแก่น
2. เตาเผาถ่านแบบแนวตั้งขนาด 200 ลิตร (ภาพประกอบ 3.1)
3. กระป๋องหรือขวดสำหรับใส่น้ำส้มควันไม้
4. เครื่องบดย่อยวัสดุ รูตะแกรงขนาด 1 mm

กระบวนการเผาถ่าน

1. นำเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอ มาตากแดดเป็นเวลา 1 - 2 สัปดาห์
2. นำชีวมวลที่แห้งแล้วชั่งน้ำหนักแล้วจึงนำไปใส่ลงในเตาเผาถ่าน
3. ปิดฝาเตาแล้วทำการจุดไฟ
4. เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที หรือดูสีของควันเปลี่ยนเป็นสีเหลืองขุ่นจึงเริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้
5. เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2 ชั่วโมง หรือสังเกตว่าควันเริ่มจางลง ให้ทำการปิดปล่องเตาให้สนิทและนำน้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้ออกมาชั่งน้ำหนัก
6. ทิ้งไว้จนถ่านเย็นตัวจึงทำการเก็บถ่านออกมาจากเตาแล้วชั่งน้ำหนัก
7. นำถ่านที่ได้มาไปเข้าเครื่องบดย่อยทำให้เป็นผงเพื่อง่ายต่อการนำไปทดสอบและนำไปอัดเม็ด





ภาพประกอบ 3.1 เตาเผาถ่านแบบแนวนอนตั้งขนาด 200 ลิตร

3.2 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ดิบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis)

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ดิบตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ของชีวมวล (Biomass) โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

3.2.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามมาตรฐาน ASTM E871-82

วัสดุและอุปกรณ์

1) เปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอที่ผ่านการตากแดด เป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ และผ่านการบดย่อยแล้ว

2) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น 100-800

3) เครื่องชั่งน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Pioneer™ (PA413)

4) โถดูดความชื้น (Desiccators)

5) ถ้วยครุชีเบล (Crucible)

6) ซ้อนสแตนเลสตักสาร

7) ถาดสแตนเลส

วิธีดำเนินการ

1) นำถ้วยครุชีเบล ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที (เพื่อไล่ความชื้น)

2) ชั่งน้ำหนักถ้วยครุชีเบล บันทึกค่า เมื่อบันทึกเสร็จแล้วตั้งค่าเครื่องชั่งเป็น 0

3) ตักตัวอย่างเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ด้วยซ้อนสแตนเลส ตักสารปริมาณ 2 กรัม ลงในถ้วยครุชีเบล ชั่งน้ำหนักแล้ว บันทึกค่า ตัวอย่างละ 3 ถ้วย

4) ปิดถ้วยครุชีเบลที่มีเปลือกไม้และเปลือกผลไม้โดยปิดแบบไม่สนิทมากนัก จากนั้นจึงนำถ้วยครุชีเบลที่บรรจุเปลือกไม้และเปลือกผลไม้วางลงบนถาดสแตนเลส แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



5) เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำถ้วยครุชิวีลออกจากตู้อบลมร้อน และทำให้เย็นลง ด้วยการนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนักถ้วยครุชิวีลไม่รวมฝาปิด แล้วบันทึกค่า

6) ปิดฝาถ้วยครุชิวีลให้สนิท และนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

7) คำนวณค่าร้อยละปริมาณความชื้น โดยใช้สูตรคำนวณจากสมการ 3.1 ดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (3.1)$$

โดยที่ a = น้ำหนักเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ก่อนอบแห้ง (กรัม)
b = น้ำหนักเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังอบแห้ง (กรัม)

3.2.2 วิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ตามมาตรฐาน ASTM E872-82

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เปลือกไม้และเปลือกผลไม้ที่ผ่านการหาค่าความชื้นแล้ว
- 2) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น 100-800
- 3) เครื่องน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Tdedo รุ่น AL204.
- 4) เตาเผาความร้อนสูง (Muffle furnace) ยี่ห้อ Carbolite รุ่น CFW 1200
- 5) ถ้วยครุชิวีล (Crucible) พร้อมฝา
- 6) โถดูดความชื้น (Desiccators)
- 7) ถาดเหล็กไวใส่ถ้วยครุชิวีล
- 8) แท่งเหล็กสำหรับนำถาดเหล็กเข้าเตาเผาความร้อนสูง
- 9) คีมกริบถ้วยครุชิวีล

วิธีดำเนินการ

1) ชั่งน้ำหนักถ้วยครุชิวีลที่บรรจุเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ที่ผ่านจากการหาปริมาณความชื้นมาแล้วแบบไม่ปิดฝา (เพื่อทำการตรวจสอบน้ำหนัก เพราะมีการเคลื่อนย้ายและเปลี่ยนตาชั่งในการชั่งน้ำหนัก) บันทึกค่า

2) ปิดฝาถ้วยครุชิวีล แล้วนำไปวางไว้ในถาดเหล็กที่เตรียมไว้

3) เปิดสวิตช์เตาเผาความร้อนสูง ตั้งค่าอุณหภูมิ ไว้ที่ 1,120 องศาเซลเซียส

4) เมื่ออุณหภูมิถึง 1,120 องศาเซลเซียส เปิดเตาเผาแล้วรับนำถาดเหล็กที่มีถ้วยครุชิวีลเข้าไปในเตาเผา โดยนำแท่งเหล็กเสียบเข้าไปที่รูของถาดเหล็กที่เตรียมไว้ จากนั้นจึงปิดเตาเผา (ในขั้นตอนนี้ควรดำเนินการอย่างรวดเร็ว โดยหลังจากปิดเตาเผา อุณหภูมิในเตาจะเข้าสู่สมดุลที่อุณหภูมิประมาณ 970 ± 5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน) เริ่มจับเวลาพร้อมกับตั้งค่าอุณหภูมิใหม่เป็น 970 องศาเซลเซียส เพื่อให้เตาเผารักษาอุณหภูมิตามค่ามาตรฐาน

5) ใช้เวลาในการเผา 7 นาที

6) หลังจากครบ 7 นาที ให้รีบเปิดฝาเตาเผา นำถาดเหล็กออกจากเตาเผา วางทิ้งไว้บนโต๊ะหิน หรือวัสดุที่ทนไฟ จากนั้นรอปประมาณ 30 นาที ให้อุณหภูมิของถ้วยครุชิวีลลดลง



7) หลังจากอุณหภูมิของถ้วยครุชชีเบลลดลงใช้คีมคีบถ้วยครุชชีเบลออกจากถาดเหล็ก มาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนักถ้วยครุชชีเบลไม่รวมฝาปิด บันทึกค่า

8) ปิดฝาถ้วยครุชชีเบล แล้วนำไปวางในถาดเหล็ก

9) คำนวณค่าร้อยละปริมาณสารระเหย โดยใช้สูตรคำนวณจากสมการ 3.2 ดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณสารระเหย} = \frac{b-c}{b} \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่ b = น้ำหนักเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังอบแห้ง (หาปริมาณความชื้นแล้ว) (กรัม)

c = น้ำหนักเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังเผาที่ 970 องศาเซลเซียส (กรัม)

หมายเหตุ: ปริมาณสารระเหยที่ได้จะเป็นมาตรฐานแห้ง โดยวิธีการคำนวณให้เป็นมาตรฐานเปียกดูในภาคผนวก ข

3.2.3 วิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash) ตามมาตรฐาน ASTM E1755-01

วัสดุและอุปกรณ์

1) เปลือกไม้และเปลือกผลไม้ที่ผ่านการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยแล้ว

2) อุปกรณ์ที่ใช้เหมือนกับการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย

วิธีดำเนินการ

1) นำถ้วยครุชชีเบลที่บรรจุเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ที่ผ่านการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยเข้าเตาเผา

2) กำหนดอุณหภูมิเตาเผาที่ 575 องศาเซลเซียส

3) ทำการเผาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4) หลังจากครบ 24 ชั่วโมง เปิดฝาเตาเผา นำถาดเหล็กออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้บนโต๊ะหิน หรือวัสดุที่ทนไฟ จากนั้นรอประมาณ 30 นาที ให้อุณหภูมิของถ้วยครุชชีเบลลดลง

5) หลังจากอุณหภูมิของถ้วยครุชชีเบลลดลงใช้คีมคีบถ้วยครุชชีเบลออกจากถาดเหล็กมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนักถ้วยครุชชีเบลไม่รวมฝาปิด บันทึกค่า

6) คำนวณค่าร้อยละปริมาณเถ้า โดยใช้สูตรคำนวณจากสมการ 3.3 ดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{d}{b} \times 100 \quad (3.3)$$

โดยที่ b = น้ำหนักเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังอบแห้ง (หาปริมาณความชื้นแล้ว) (กรัม)

d = น้ำหนักเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังเผา 575 องศาเซลเซียส (กรัม)

หมายเหตุ: ซึ่งค่าร้อยละปริมาณเถ้าที่ได้จะเป็นมาตรฐานแห้ง โดยวิธีการคำนวณให้เป็นมาตรฐานเปียกดูใน ภาคผนวก ข



3.2.4 ร้อยละปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

ร้อยละปริมาณคาร์บอนคงตัวคำนวณจากความต่างในวิทยานิพนธ์นี้ใช้มาตรฐานเปียก (%wb) โดยใช้สมการ 3.4 ดังนี้

$$FC = 100 - MC - VM - Ash \quad (3.4)$$

โดย FC = ร้อยละปริมาณคาร์บอนคงตัว
 MC = ร้อยละปริมาณความชื้น
 VM = ร้อยละปริมาณสารระเหย
 Ash = ร้อยละปริมาณเถ้า

3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (Proximate analysis) ของผงถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามมาตรฐาน ASTM D1762 - 84

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ตัวอย่างผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอ ที่เตรียมไว้แล้ว

2. ตู้อบ (Drying oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UNE-500
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Ohaus รุ่น EP413 ความละเอียด ± 0.001 g
4. กระจกป้องกันความชื้น (Moisture cans)
5. โถดูดความชื้น (Desiccator)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำ Moisture can ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อไล่ความชื้นของกระจกป้องกันความชื้น แล้วนำออกตั้งทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนักของ Moisture can

2. ใส่ตัวอย่างถ่านที่ผ่านการเตรียมแล้วลงในกระจกป้องกันความชื้น
 ตัวอย่างละ 3 กระจก ในปริมาณ 1.0 ± 0.001 g

3. นำกระจกป้องกันความชื้นที่ใส่ตัวอย่างไว้แล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C โดยใช้เวลาอบ 2 ชั่วโมง จากนั้นนำ Moisture can ออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น 30 นาที

4. นำตัวอย่างแต่ละชนิดออกไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

5. นำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้น ดังสมการต่อไปนี้
 ปริมาณความชื้นที่มาตรฐานเปียก



$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (3.5)$$

โดยที่ a = น้ำหนักถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ก่อนอบแห้ง (กรัม)

b = น้ำหนักถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังอบแห้ง (กรัม)

3.3.2. การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ตามมาตรฐาน ASTM D1762

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ตัวอย่างผงถ่านที่ผ่านการวิเคราะห์หาค่าความชื้น
2. ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Binder
3. เตาเผาแบบมuffle ยี่ห้อ Carbolite รุ่น CWF 1200 ความละเอียด ± 0.001 g
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Ohaus รุ่น EP413
5. โถดูดความชื้น (Desiccator)
6. ครุชีเบล (Crucible)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำครุชีเบลไปอบในตู้อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 10 นาทีเพื่อไล่ความชื้นของครุชีเบลแล้วนำออกตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงชั่งน้ำหนักครุชีเบล
2. นำตัวอย่างถ่านที่เตรียมไว้ใส่ในครุชีเบลตัวอย่างละ 3 ถ้วย แล้วปิดฝาให้สนิทเพื่อไม่ให้อากาศเข้า ทำการชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึก
3. เปิดสวิทซ์เตาเผาความร้อนสูง ตั้งค่าอุณหภูมิ ไว้ที่ 1,120 องศาเซลเซียส
4. เมื่อได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้แล้ว นำครุชีเบลที่บรรจุตัวอย่างใส่ในเตาเผา muffle แล้วทำการปิดฝาเตาให้สนิท ทิ้งไว้เป็นเวลา 6 นาที อุณหภูมิจะลดลงมาอยู่ประมาณ 950 องศาเซลเซียส แล้วนำมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น 1 ชั่วโมงก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก
5. นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาค่าสารระเหย ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณสารระเหย} = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (3.6)$$

โดยที่ a = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (g)

b = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผาที่ 950°C (g)

ปริมาณสารระเหย (%)

3.3.3. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash) ตามมาตรฐาน ASTM D1762 – 84

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ตัวอย่างถ่านที่ผ่านการหาค่าสารระเหย
2. เตาเผาแบบมuffle ยี่ห้อ Carbolite รุ่น CWF 1200
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Ohaus รุ่น EP413 ความละเอียด ± 0.001 g
4. โถดูดความชื้น (Desiccator)



5. ครุชีเบิล (Crucible)

วิธีการวิเคราะห์

- นำตัวอย่างถ่านที่ผ่านการหาค่าสารระเหยแล้ว โดยไม่ต้องปิดฝา นำเข้าไปเผาในเตาเผาแบบมuffle อีกครั้งโดยเผาที่ 750 ± 25 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำครุชีเบิลออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น 1 ชั่วโมง แล้วจึงชั่งน้ำหนัก
- นำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาค่าเถ้า ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{d}{b} \times 100 \quad (3.7)$$

โดยที่ b = น้ำหนักเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังอบแห้ง (หาปริมาณความชื้นแล้ว) (กรัม)

d = น้ำหนักเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังเผา 575 องศาเซลเซียส (กรัม)

หมายเหตุ: ซึ่งค่าร้อยละปริมาณเถ้าที่ได้จะเป็นมาตรฐานแท้ๆ โดยวิธีการคำนวณให้เป็นมาตรฐานเปิกกดูในภาคผนวก ข

3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนเสถียร (Fixed carbon)

ปริมาณคาร์บอนเสถียรสามารถหาได้จากการเอา 100 ลบออกด้วยปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย และปริมาณเถ้า ดังสมการ

$$FC = 100 - \text{Ash} - \text{Vol} - \text{MC} \quad (3.8)$$

โดยที่

FC = ปริมาณคาร์บอนเสถียร

Ash = ปริมาณเถ้า

Vol = ปริมาณสารระเหย

MC = ปริมาณความชื้น (Annual book of ASTM standards 2002, 2002)

3.3.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Ultimate analysis)

นำผงเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และผงเปลือกมะละกอ ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ชัลเฟอร์ Carbon 628,628 S ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3.6 การหาการกระจายตัวของวัสดุ

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA 4102 ความละเอียด ± 0.01 กรัม
- เครื่องร่อนแยกขนาดอนุภาค (Vibratory Sieve Shaker) ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS 200
- ถาดสแตนเลส
- ตัวอย่างผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และผงถ่านเปลือกมะละกอ

วิธีการวิเคราะห์



1. เตรียมเครื่องร่อนแยกขนาดอนุภาค ให้พร้อมใช้งาน โดยตั้งความเร็วรอบที่ 50 รอบต่อนาที เวลาในการร่อน 20 นาที
2. นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ จากข้อ 4 มาชั่งน้ำหนัก อย่างละ 100 กรัม
3. เทผงถ่านที่ชั่งน้ำหนักแล้วลงในตะแกรงชั้นแรกของเครื่องร่อนแยกขนาดอนุภาค ปิดฝาเครื่องร่อนให้เรียบร้อย
4. เปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงานแล้วรอจนกว่าเครื่องหยุดทำงาน
5. นำผงถ่านที่ได้จากเครื่องร่อน ในแต่ละชั้นของตะแกรงมาชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกค่าไว้
6. นำผลที่ได้ไปทำกราฟแสดงผล

3.4 การทดสอบหาค่าความร้อน

บอมบ์แคลอริมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง โดยอาศัยหลักการทำงานด้วยกระบวนการตามมาตรฐาน ASTM D 204 เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปแล้วจะให้พลังงานความร้อนออกมาซึ่งจะกำหนดให้อยู่ในรูปของค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนัก เช่น กิโลจูล/กิโลกรัม บีทียู/ปอนด์ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เป็นต้น

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวัสดุตัวอย่าง

1. ตัวอย่างเปลือกไม้และผลไม้ดิบ และ ถ่านเปลือกไม้และผลไม้
2. บอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย 1341 Calorimeter พร้อมมอเตอร์และสายพานลูกบอมบ์ ถังน้ำ ที่จุดการสันดาปพร้อมสายไฟ เทอร์โมมิเตอร์แบบอ่านค่าเป็นตัวเลขพร้อมนาฬิกาจับเวลา
3. ถังออกซิเจน 1 ถัง พร้อมสายต่อออกซิเจนเข้ากับบอมบ์
4. เครื่องชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม หรือ 0.001 กรัม
5. หลอดฉีดยาชนิดแก้ว มีสเกลวัดปริมาตร
6. หลอดจุ่มระเบิดยาวประมาณ 10 เซนติเมตร
7. น้ำกลั่น
8. Benzoic acid ชนิดเม็ด พร้อมค่าความร้อนมาตรฐาน
9. แท่นอัดเม็ด

วิธีการทดสอบ

การเตรียมการทดสอบ

1. จัดตั้งอุปกรณ์ทดลองบนโต๊ะที่แข็งแรงและเรียบ และไม่วางใกล้อุปกรณ์ที่มีการแผ่ความร้อน
2. ชั่งน้ำหนักวัสดุทดสอบ จากนั้นจึงใส่ลงในถ้วยของชุดการทดลอง แล้วนำถ้วยทดลองไปใส่ไว้ในขायึดที่ฝาของบอมบ์
3. ตวงน้ำกลั่นใส่ลงในถังน้ำของชุดทดลอง 2,000 มิลลิลิตรโดยอุณหภูมิของน้ำควรต่ำกว่าอุณหภูมิห้องไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียส



4. ตัดลวด Parr 45C10 ของชุดทดลองยาว 10 เซนติเมตร แล้วไปผูกติดเข้ากับหัวอิเล็กทรอนิกส์ โดยให้อยู่ใกล้กับผิวหน้าเชื้อเพลิง แต่ห้ามสัมผัสกับเชื้อเพลิงหรือถ้วยทดลอง
5. ใส่ น้ำกลั่น 1 หยดลงในบอมบ์เพื่อช่วยดูดกลืนไอ แล้วปิดฝาบอมบ์ให้แน่น
6. เต็มออกซิเจนผ่านสายเติมเข้าสู่บอมบ์ช้าๆ จนได้ความดันประมาณ 25 atm (ห้ามเติมออกซิเจนเกิน 30 atm) ในระหว่างนี้ให้หลีกเลี่ยงการใช้มือสัมผัสกับบอมบ์โดยตรงเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากมือสู่บอมบ์ ให้ใช้ปากคีบจับแทน

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำบอมบ์ที่เตรียมเสร็จแล้วค่อย ๆ หย่อนลงในถังน้ำโดยใช้ปากคีบจับ สังเกตฟองอากาศที่รั่วไหลจากบอมบ์ ถ้ามีห้ามทำการทดลองต่อให้นำมาแก้ไขซ่อมแซมก่อน
 2. ต่อสายไฟ 2 เส้นเข้าที่หัวบอมบ์แล้วปิดฝาแคลอรีมิเตอร์ เปิดสวิตช์มอเตอร์เพื่อทำการกวนน้ำ
 3. เปิดสวิตช์เทอร์โมมิเตอร์ รอจนอุณหภูมิน้ำคงที่ (ประมาณ 5 นาที) แล้วจึงจดบันทึกอุณหภูมิ
 4. เมื่ออุณหภูมิน้ำคงที่ แล้วกดสวิตช์จุดระเบิด ให้ไฟสีแดงติดจนกระทั่งดับจึงปล่อยมือแล้ววัดอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที จนกว่าอุณหภูมิจะขึ้นสูงสุด (ประมาณนาทีที่ 13 ถึง 15)
 5. เมื่ออุณหภูมิลดลงวัดอุณหภูมิทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 3 นาทีแล้วบันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้ไว้
 6. นำบอมบ์ออกจากแคลอรีมิเตอร์เปิดวาล์วระบายความดัน แล้วจึงนำลวดที่เหลือออกมาวัดความยาว ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ
 7. ทำความสะอาดอุปกรณ์ แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าความร้อน
- การคำนวณหาค่าความร้อน
- ค่าความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.9)

$$Hg = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (3.9)$$

เมื่อ

- Hg = ค่าความร้อน (Gross of combustion) (แคลอรีต่อกรัม)
- t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการทดลอง (อุณหภูมิสูงสุด – อุณหภูมิก่อนที่จะทำการจุดระเบิด) (องศาเซลเซียส)
- W = ค่าพลังงานของลูกบอมบ์ที่ได้จากการทำ Standardization (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)
- e₁ = ค่าความร้อนจากกรดไนตริก โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0
- e₂ = ค่าความร้อนจากกรดซัลฟิวริก โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0
- e₃ = ค่าความร้อนจากลวด โดยนำลวดเริ่มต้นยาว (10 เซนติเมตร) หักลบจากลวดที่เหลือมาคูณ 2.3 (แคลอรี)
- m = น้ำหนักของวัสดุทดสอบ (กรัม)



3.5 การหาทดสอบสมบัติของน้ำส้มควันไม้

ในการทดสอบสมบัติของน้ำส้มควันไม้ในวิทยานิพนธ์นี้ ต้องทิ้งน้ำส้มควันไม้ไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 45 วัน เพื่อให้ตกตะกอน แล้วนำมาทดสอบว่าค่า pH และค่าความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้ทั้งแบบที่กลั่นและยังไม่กลั่น โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 การทดสอบค่า pH ของน้ำส้มควันไม้

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการเผาถ่าน และเก็บทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 45 วัน
2. เครื่องกลั่นสารระเหยแบบหมุน Rotary evaporator รุ่น BUCHI R215100-240 โวลต์
3. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ยี่ห้อ Harmony รุ่น VCP 8101 ขนาด 100 วัตต์
4. ขวดกรองสาร (Suction flask) ขนาด 1000 มิลลิลิตร
5. กรวยกรองบูชเนอร์ (Buchner Funnel) 90 มิลลิเมตร
6. เครื่องวัดค่า pH Digital pH meter Hanna HI98103 ความละเอียด 0.1
7. กระจกชากรอง เบอร์ 1 ความละเอียด 11 ไมโครเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร

วิธีดำเนินการ

1. นำกระจกชากรองใส่ในกรวยกรองบูชเนอร์แล้ววางบนขวดกรองสาร แล้วต่อสายจากปั๊มสุญญากาศให้เรียบร้อย
2. เปิดปั๊มสุญญากาศแล้วเทน้ำส้มควันไม้ที่จะกรองลงไปในกรวยกรองบูชเนอร์แล้วนำน้ำส้มควันไม้ที่ได้ไปวัดค่า pH บันทึกค่า แล้วแบ่งเก็บไปหาค่าความหนาแน่นประมาณ 100 มิลลิลิตร
3. นำน้ำส้มควันไม้ที่กรองแล้วไปกลั่นในเครื่องกลั่นสารระเหยแบบหมุน โดยทำตามคู่มือ โดยใช้อุณหภูมิในการกลั่นที่ 60-65 องศาเซลเซียส ปรับความดันให้อยู่ในช่วง 150 – 160 มิลลิบาร์ (mbar)
4. วัดน้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการกลั่นด้วยเครื่องตรวจวัด pH บันทึกค่า และแบ่งเก็บไปหาค่าความหนาแน่นประมาณ 100 มิลลิลิตร

3.5.2 การทดสอบค่าความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. น้ำส้มควันไม้ที่กลั่นและยังไม่กลั่นแต่ผ่านกระบวนการกรองแล้ว
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Ohaus รุ่น EP413 ความละเอียด ± 0.001 กรัม
3. ขวดพิกโนมิเตอร์ Pycnometer ยี่ห้อ Marienfeld ขนาด 25.451 มิลลิลิตร
4. กระจกชากรอง

วิธีการวิเคราะห์

1. นำขวดพิกโนมิเตอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อไล่ความชื้น



2. นำขวดพิกโนมิเตอร์ไปชั่งบนเครื่องชั่ง บันทึกค่า (m_1)
3. นำน้ำส้มควันไม้ใส่ในขวดพิกโนมิเตอร์จนเต็มแล้วปิดฝาให้สนิท ทำการชั่งน้ำส้มควันไม้ที่ล้นออกมาด้วยกระดาษชำระให้แห้งและสะอาด
4. นำขวดพิกโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำส้มควันไม้ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า (m_2)
5. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่นตามสมการ 3.10

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.10)$$

โดยที่ D = ความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้ (กรัมต่อมิลลิลิตร)

V = ปริมาตรของน้ำส้มควันไม้ ได้จากค่ามาตรฐานของขวดพิกโนมิเตอร์ (มิลลิลิตร)

m = น้ำหนักของน้ำส้มควันไม้ที่อุณหภูมิห้อง (หาได้จาก $m_2 - m_1$) (กรัม)

3.6 การเตรียมและการอัดขึ้นรูปจากชีวมวลในชุมชน

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดเย็น

1. วัสดุหลัก ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ผงถ่านเปลือกสับปะรด และผงถ่านเปลือกมะละกอ

2. ตัวประสาน คือ แป้งมัน

3. น้ำ

4. เครื่องอัดเม็ดแบบอัดเย็นตะแกรงรังผึ้ง

5. กะละมังพลาสติก

6. ถาดอะลูมิเนียม

7. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA 4102 ความละเอียด ± 0.01 กรัม

8. ปีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร

วิธีการขึ้นรูป

1. เตรียมเครื่องอัดเชื้อเพลิงให้พร้อมใช้งาน

2. ทำการชั่งวัสดุหลัก ตัวประสาน และน้ำ โดยชั่งครั้งละไม่เกิน 1,000 กรัม

3. ปริมาณวัสดุหลัก ตัวประสาน และน้ำที่ใช้

3.1 ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน ร้อยละ 5 สำหรับการอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 1:1 (ใช้ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 1 กิโลกรัม แป้งมัน 50 กรัม และน้ำ 950 กรัม) ส่วนที่อัตราส่วน 2:1 (ใช้ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 2 กิโลกรัม แป้งมัน 50 กรัม และน้ำ 950 กรัม) สำหรับที่อัตราส่วน 3:1 (ใช้ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 3 กิโลกรัม แป้งมัน 50 กรัม และน้ำ 950 กรัม)

3.2 ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน ร้อยละ 10 สำหรับการอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 1:1 (ใช้ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 1 กิโลกรัม แป้งมัน 100



กรัม และน้ำ 900 กรัม) ส่วนที่อัตราส่วน 2:1 (ใช้ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 2 กิโลกรัม แป้งมัน 100 กรัม และน้ำ 900) สำหรับที่อัตราส่วน 3:1 (ใช้ผงถ่านไม้เปลือกยูคาลิปตัส 3 กิโลกรัม แป้งมัน 100 กรัม และน้ำ 900 กรัม)

3.3 ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน ร้อยละ 20 สำหรับการอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน โดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 1:1 (ใช้ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 1 กิโลกรัม แป้งมัน 200 กรัม และน้ำ 800 กรัม) ส่วนที่อัตราส่วน 2:1 (ใช้ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 2 กิโลกรัม แป้งมัน 200 กรัม และน้ำ 800 กรัม) สำหรับที่อัตราส่วน 3:1 (ใช้ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 3 กิโลกรัม แป้งมัน 200 กรัม และน้ำ 800 กรัม)

3.4 ทำการผสมระหว่างวัสดุหลักกับตัวประสาน โดยการนำผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส มาผสมกับตัวประสานตามอัตราส่วนที่ต้องการในกะละมังพลาสติก แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อน จากนั้น จึงค่อย ๆ ใช้ปิกเกอร์เติมน้ำลงไป แล้วผสมให้เข้ากันอีกครั้ง

4. นำส่วนผสมที่เตรียมเรียบร้อยแล้วใส่ลงไปในเครื่องอัดเม็ดแบบอัดเย็น
5. ใช้ถาดอะลูมิเนียมรองรับตัวถ่านอัดเม็ดที่ได้
6. นำถ่านอัดเม็ดที่ได้ไปตากแดดประมาณ 2-3 วัน เพื่อไล่ความชื้นออก
7. ทำซ้ำ หัวข้อ 1-6 โดยปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุหลักจากผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเป็น ผงถ่านเปลือกมะละกอ และผงถ่านเปลือกสับปะรด

3.6.1 การทดสอบค่าความหนาแน่นของถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ด้วยโดยใช้ สาร n-heptane

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Ohaus รุ่น EP413 ความละเอียด ± 0.001 กรัม
3. บิวเรตต์ (Burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. คีมคีบสาร
5. ฐานตั้งเหล็ก (Stand and Base) และที่จับ (Clamp)
6. n-Heptane
7. ถาดสแตนเลส

วิธีการวิเคราะห์

1. ติดตั้งบิวเรตต์เข้ากับฐานตั้งเหล็กโดยใช้ที่จับ
2. เติมน-Heptane ลงใน บิวเรตต์ ให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
3. คีบถ่านอัดเม็ดที่เตรียมไว้ 3 ชิ้น คีบด้วยคีมคีบสารมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าไว้ (m_1)
4. นำเม็ดถ่านอัดเม็ดที่ชั่งแล้ว หย่อนลงไปในบิวเรตต์ที่ใส่น-Heptane
5. สังเกตปริมาตร n-Heptane ที่เพิ่มขึ้น และบันทึกค่าไว้ (V_1)
6. เปิดวาล์ว บิวเรตต์ ให้ n-Heptane ไหลออกให้หมด
7. เทถ่านอัดเม็ดหลังจากจุ่ม n-Heptane ออกจากบิวเรตต์ใส่ถาดสแตนเลส หลังจากนั้นนำถ่านอัดเม็ด ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าไว้ (m_2) ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ
8. นำค่าที่ได้ไปคำนวณความหนาแน่นของตามสมการ



$$\rho_{\text{ถ่านอัดเม็ด}} = \frac{m_1}{V_{\text{total}}} \quad (3.12)$$

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2$$

หา V_2 จาก

$$V_2 = \frac{m_2 - m_1}{\rho_{\text{n-Heptane}}} \quad (3.13)$$

โดยที่

m_1 = น้ำหนักของถ่านอัดเม็ดเริ่มต้นก่อนจุ่ม (กรัม)

m_2 = น้ำหนักของถ่านอัดเม็ดหลังจุ่มลง n-Heptane (กรัม)

V_1 = ปริมาตรของ n-Heptane ที่เพิ่มขึ้น (มิลลิลิตร)

$\rho_{\text{n-Heptane}}$ = 0.684 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3.6.2 การทดสอบค่าความหนาแน่นของถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้โดยวิธีมวลต่อปริมาตร

3.6.3 การทดสอบความต้านทานแรงกด (Compressive strength) ของ

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอ
2. เครื่อง NRI Universal testing machine รุ่น Capacity 100 KN Model NRI-

TS501

3. ใช้ Load cell หรือหัววัด ยี่ห้อ VAETBK Model V201BH-500 kg ขนาด 500

กิโลกรัม

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดโปรแกรม NRI Universal testing ทำการตั้งค่าการทำงานของโปรแกรมให้เหมาะสมกับตามคู่มือของเครื่อง

2. ใช้หัวกด (Load cell) ขนาด 500 กิโลกรัม และอัตราเร็วในการกด 20 มิลลิเมตร

ต่อนาที

3. เลือกถ่านอัดเม็ดที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมาตัดให้มีความยาว 1 เซนติเมตร โดยทำให้ผิวหน้าของเรียบ (ใช้จำนวน 30 ชิ้น ต่อการทดสอบ 1 สภาวะ)

4. นำวางในแนวตั้งให้จุดศูนย์กลางอยู่ระหว่างหัวกดด้านบนและแท่นหัวกดด้านล่างของเครื่องทดสอบ

5. เปิดสวิตซ์ทำการทดสอบ

6. บันทึกค่าที่ได้จากโปรแกรม

7. ปิดการทำงานของเครื่อง ทำความสะอาดบริเวณเครื่อง



3.7 การทดสอบเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับการผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ถ่านอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิง

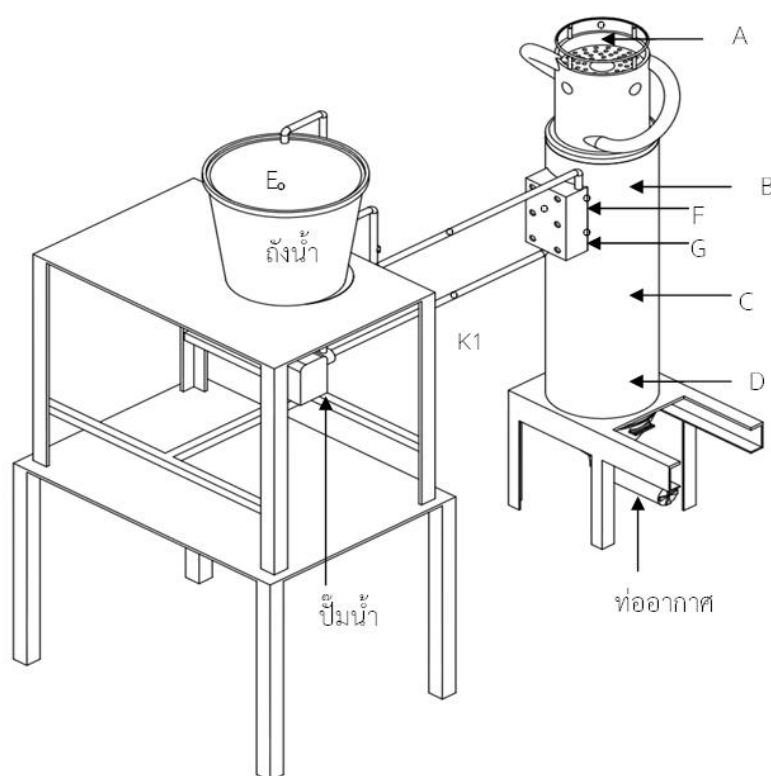
วิทยานิพนธ์นี้ได้นำที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ดแบบอัดเย็นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับการผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริก โดยมีรายละเอียดการทดสอบ ดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอ ความเข้มข้นของตัวประสาน ร้อยละ 10 และที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 2:1
2. เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับการผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริก (ภาพประกอบ 3.2)
3. พัดลมดูดอากาศ
4. หม้อต้ม
5. เทอร์โมเวล Model JB-35 และสายเทอร์โมคัปเปิล Type K (Thermocouple-Type K)
6. เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ TESTO Model 445 ค่าความถูกต้อง ± 0.2 เปอร์เซ็นต์
7. เครื่องจ่ายกระแสไฟ (Power supply) Model PSS-2005
8. เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น MX100
9. ตาชั่งหยابสำหรับการชั่งวัสดุหลัก
10. ตาชั่ง 2 ตำแหน่ง สำหรับชั่งน้ำ
11. บีมน้ำ ยี่ห้อ YAMANO รุ่น SP 2600
12. บีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร
13. ไฟแช็ค
14. เทียน
15. กระดาษเหลือใช้
16. มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ยี่ห้อ Digital รุ่น DT9205



3.7.1 เตาผลิตก๊าซชีววมวล



ภาพประกอบ 3.2 เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

1. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับผิวเตา และดาต้าล็อกเกอร์เพื่อวัดอุณหภูมิที่ผิวเตา บริเวณเตาช่วงบน กลาง และล่าง (B, C, D) วัดอุณหภูมิในถัง 1 ตำแหน่ง (E) อุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน (F) 1 ตำแหน่ง อุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น (G) 1 ตำแหน่ง (ซึ่ง) และอุณหภูมิเปลวไฟ (A) 1 ตำแหน่ง โดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิลติดตั้งกับเทอร์โมเวล

3.7.2 วิธีการทดสอบเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

1. เตรียมเตาผลิตก๊าซชีววมวลให้พร้อม (ดังภาพประกอบ 3.2)
2. ชั่งน้ำหนักน้ำ 3 กิโลกรัม ใส่หม้อต้ม
3. นำถ่านอัดเม็ดมาชั่งน้ำหนักไว้ประมาณ 5 กิโลกรัม แล้วใส่ถ่านอัดเม็ดลงในเตาผลิตก๊าซชีววมวลจนเต็มพอดีกับปากเตาผลิตก๊าซชีววมวลจากนั้นนำถ่านอัดเม็ดที่เหลือมาชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกค่า แล้วจึงคำนวณน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้ไป
4. ใส่น้ำลงในถังที่ใช้ระบายความร้อนด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 20 ลิตร
5. เปิดปั๊มน้ำให้ทำงานอัตราการไหลของน้ำ 7.8 ลิตรต่อนาที



6. เปิดพัดลมด้วยความเร็วลม 4.6 เมตรต่อวินาที จากนั้นใช้ไฟแช็คจุดเทียนแล้วนำกระดาษมาติดไฟ เพื่อใช้เป็นตัวล่อให้กับโดยทำให้ลูกติดไฟทั่วพื้นที่หน้าตัดของเตา จากนั้นนำหัวเตามาครอบปิดเตาเพื่อให้ไฟดับ รอจนกระทั่งเกิดก๊าซขึ้น

7. นำหม้อต้มที่ใส่น้ำไว้ 3 ลิตร ขึ้นตั้งบนหัวเตาผลิตก๊าซชีวมวลแล้วนำสายเทอร์โมคัปเปิลจุ่มลงในหม้อต้มน้ำ

8. จุดไฟที่หัวเตาผลิตก๊าซชีวมวลเพื่อให้ก๊าซที่เกิดการลุกไหม้

9. จับเวลาตั้งแต่เริ่มจุดไฟที่หัวเตาและบันทึกค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามที่ได้ติดตั้ง ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) โดยบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 5 นาที

10. วัดกระแสไฟฟ้า (Amp) และแรงดันไฟฟ้า (Volt) ที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยมัลติมิเตอร์ทุก ๆ 10 นาที แล้วจดบันทึกค่าไว้

11. วัดอัตราการไหลของน้ำทุก ๆ 30 นาที เพื่อตรวจสอบความสม่ำเสมอของอัตราการไหล

12. เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวล (ไฟดับ) นำน้ำในหม้อต้มไปวัดปริมาณที่เหลือ จากนั้นจึงคำนวณหาน้ำหนักน้ำที่ระเหย แล้วนำซีเมนต์ที่ร้อนใส่ถาดไปชั่งน้ำหนัก พร้อมจดบันทึกน้ำหนัก (เก็บซีเมนต์ใส่ภาชนะปิด รอให้เย็นตัวลงอย่างช้า ๆ)



บทที่ 4

ผลการวิจัย และการอภิปราย

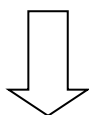
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตถ่านอัดเม็ดจากชีวมวลจำพวกเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ เพื่อให้ได้ถ่านอัดเม็ดสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ มีดังต่อไปนี้

4.1 สมบัติเบื้องต้นของเปลือกไม้ และเปลือกผลไม้

ในวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัสซึ่งได้จากบริษัท ศรีบ้านไผ่ จำกัด จังหวัดขอนแก่น ส่วนเปลือกมะละกอ และเปลือกสับปะรดสดนั้นได้จากตลาดสด ในจังหวัดขอนแก่น หลังจากนั้นจึงนำเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ที่ได้ไปตากแดดเป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ เพื่อลดปริมาณความชื้นเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังผ่านการตากแดดมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 4.1



(a)





(b)



(c)

ภาพประกอบ 4.1 ลักษณะของ (a) เปลือกไม้ยูคาลิปตัส (b) เปลือกสับปะรด และ (c) เปลือกมะละกอ
หลังผ่านการตากแห้งเป็นเวลา 1-2 สัปดาห์

จากภาพประกอบ 4.1 พบว่า เปลือกมะละกอและเปลือกสับปะรด เมื่อผ่านการตากแดดจะมีการหดตัว มีสีที่เข้มขึ้น และมีลักษณะแห้งกรอบ ในขณะที่เปลือกไม้ยูคาลิปตัสไม่มีการหดตัว มีเพียงสีที่เข้มขึ้นเล็กน้อย เมื่อนำเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ทั้งหมดไปทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและค่าความร้อน ได้ค่าดังแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์ขั้นต้น (Proximate analysis) และค่าความร้อน (Calorific value) ของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนเสถียร (%)	ค่าความร้อน (cal/g)
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	7.48±0.51 ^a	59.60±0.56 ^a	6.86±0.34 ^a	26.06±0.67 ^b	3,719±108 ^b
เปลือกสับปะรด	9.76±0.37 ^b	63.79±1.17 ^b	10.37±0.44 ^b	16.08±0.87 ^a	3,054±100 ^a
เปลือกมะละกอ	10.05±0.73 ^b	65.19±1.72 ^b	10.28±0.98 ^b	14.48±1.46 ^a	2,865±112 ^a

หมายเหตุ: ^{abc}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p < 0.05$)

โดยทั่วไปนั้นค่าความร้อนของวัสดุจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี โดยค่าความร้อนมักแปรผันตรงกับปริมาณคาร์บอนเสถียรและปริมาณสารระเหย แต่จะแปรผกผันกับปริมาณเถ้า (Nhuchhen and Salam, 2012) ซึ่งจากตาราง 4 จะเห็นว่า เปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณคาร์บอนเสถียรมากกว่าเปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผลดังกล่าวจึงทำให้ค่าความร้อนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมากกว่าเปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกอ เมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าจะเห็นว่าเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณเถ้าน้อยกว่าเปลือกผลไม้ทั้งสองชนิด โดยปริมาณเถ้าที่น้อยจะส่งผลกระทบต่อในเชิงบวกเมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการทางความร้อน เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้กับงานวิจัยของ Nhuchhen และ Salam (2012) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและนำไปคำนวณตามสมการเชิงเส้น พบว่า ได้ผลการศึกษาที่ใกล้เคียงกัน (ปริมาณสารระเหยร้อยละ 65.70 ปริมาณเถ้าร้อยละ 19.0 ปริมาณคาร์บอนเสถียรร้อยละ 15.30 และค่าความร้อนเท่ากับ 15.20 MJ/kg หรือ 3,832.88 cal/g) ส่วนเปลือกสับปะรดนั้นพบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับผลงานวิจัยในอดีตของ Fu-min และ Feng (2010) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรด และพบว่ามี ความชื้นร้อยละ 7.55 สารระเหยร้อยละ 73.50 คาร์บอนเสถียรร้อยละ 14.03 และปริมาณเถ้าร้อยละ 4.92

นอกจากการวิเคราะห์ขั้นต้น (Proximate analysis) แล้ว ยังได้นำเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วย โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในตาราง 4.2 ซึ่งจะเห็นว่า เปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณธาตุคาร์บอนสูงที่กว่าเปลือกผลไม้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าในเปลือกไม้ยูคาลิปตัสนั้นมีปริมาณของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากกว่าเปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกอ (หนังสือคู่มือสารชีวมวลเอเชีย, 2545) สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้มีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากงานวิจัยในอดีตของ Sarin และ Pant (2006) ซึ่งพบว่า เปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 43.68 ไฮโดรเจนร้อยละ 8.14 และออกซิเจนร้อยละ 47.75 และ งานวิจัยของ Garcia และคณะ (2012) ซึ่งพบว่า เปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 46.53 ไฮโดรเจนร้อยละ 5.87 และออกซิเจนร้อยละ 45.61



ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

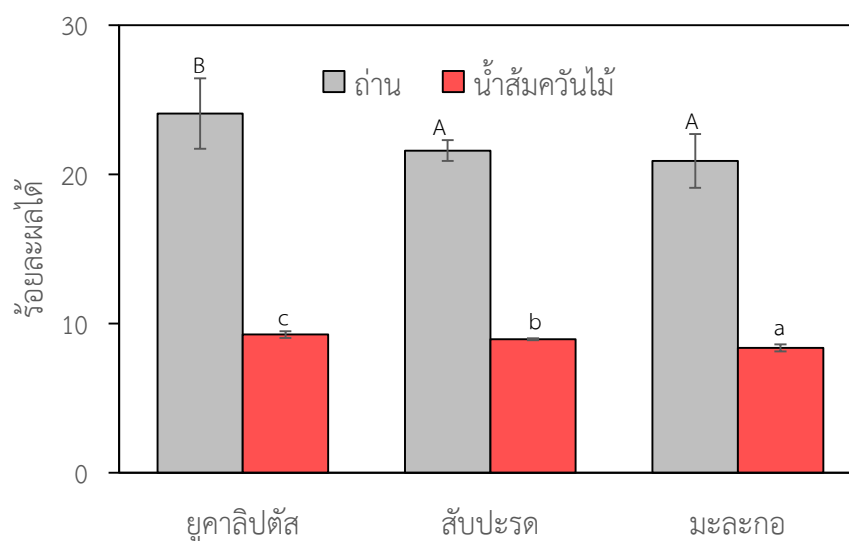
ตัวอย่าง	ร้อยละของธาตุองค์ประกอบ				
	C	H	O	N	S
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	42.92	5.60	51.11	0.22	0.14
เปลือกสับปะรด	39.20	6.70	53.39	0.65	0.06
เปลือกมะละกอ	38.70	6.27	50.96	3.16	0.80

อัตราส่วน H/C ถือเป็นดัชนีบ่งชี้ประเภทของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปนั้นค่าอัตราส่วน H/C ของชีวมวลมีค่าประมาณ 1.5 (Lehmann and Joseph, 2009) ซึ่งจะมีค่ามากกว่าของถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ ที่มีอัตราส่วนระหว่าง H/C ประมาณ 0.0656 (Capareda, 2013) โดยสำหรับชีวมวลนั้นค่าอัตราส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณลิกนินที่มีอยู่เป็นหลัก ในส่วนของค่าอัตราส่วน H/C ของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอ มีค่าเท่ากับ 0.13 , 0.17 และ 0.16 ตามลำดับ

4.2 ร้อยละผลได้ ลักษณะทั่วไป และสมบัติของถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

เมื่อนำเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ตากแห้งไปผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันในเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบแนวตั้งเป็นระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง พบว่า ได้ปริมาณร้อยละผลได้ของถ่านและน้ำส้มควันไม้ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.2 ซึ่งจะเห็นว่า ร้อยละผลได้ของถ่านและน้ำส้มควันไม้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกอนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยการคาร์บอนเซชันของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจะให้ร้อยละผลได้ของถ่านและน้ำส้มควันไม้มากกว่าการคาร์บอนเซชันของสับปะรดและเปลือกมะละกอตามลำดับ





ภาพประกอบ 4.2 ร้อยละผลได้ของถ่านและน้ำส้มคว้นไม้ที่ได้จากการคาร์บอนในเซชันของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

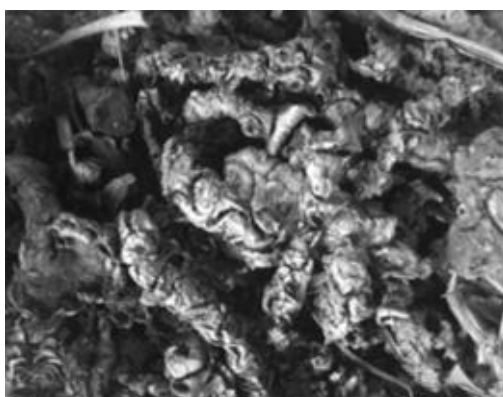
ร้อยละผลได้ของถ่านเปลือกผลไม้ที่น้อยกว่าถ่านเปลือกไม้ อาจเป็นผลจากการที่เปลือกไม้มีปริมาณเถ้าที่น้อยกว่าเปลือกผลไม้ (ดูตาราง 4.1) ซึ่งจากการสังเกตในระหว่างการทดลอง พบว่า เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการคาร์บอนในเซชันแล้วเปิดเตาเผาถ่าน จะพบว่า ในกรณีของถ่านเปลือกผลไม้จะมีเถ้าอยู่ในปริมาณที่มากกว่า

เมื่อพิจารณาลักษณะของถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ที่ได้ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3 พบว่า ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสนั้นจะมีสีดำทั้งหมด มีผงเถ้าขาวๆเล็กน้อยที่บริเวณขอบเปลือกไม้ ลักษณะผิวด้าน ในส่วนของถ่านเปลือกไม้นั้นมีลักษณะเป็นสีดำสม่ำเสมอทั้งหมด และมีเถ้าขาวเกาะอยู่บางส่วน ลักษณะผิวเป็นมันเงาเล็กน้อย ในภาพรวมนั้นถือว่าลักษณะทั่วไปของถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ที่ได้นั้นใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านหุงต้ม (มผช.657/2547) ซึ่งระบุว่าถ่านไม้หุงต้ม ต้องมีสีดำสม่ำเสมอ ไม่มีเศษดินและไม้ที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ปนอยู่





(a)



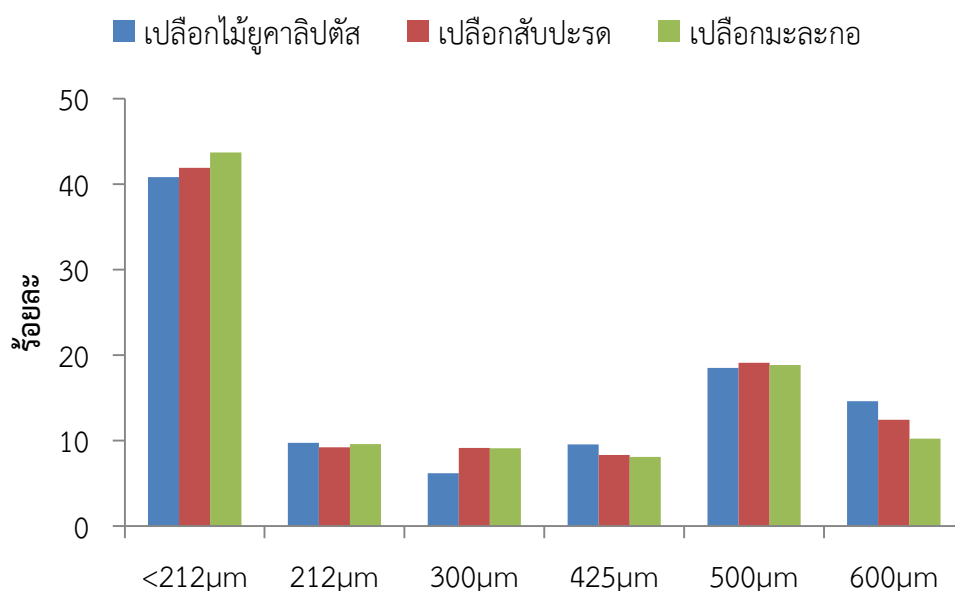
(b)



(c)

ภาพประกอบ 4.3 ลักษณะทั่วไปของ (a) ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (b) ถ่านเปลือกสับปะรด และ (c) ถ่านเปลือกมะละกอ

เมื่อนำเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ทั้ง 3 ชนิดไปบดย่อยแล้ว พบว่าส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 600 μm ซึ่งการกระจายตัวของผงเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ แสดงดังภาพประกอบ 4.4



ภาพประกอบ 4.4 การกระจายตัวของผงถ่านหลังผ่านการบดแล้ว

ในส่วนขององค์ประกอบทางเคมีแบบการวิเคราะห์ขั้นต้นของถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ ดังแสดงในตาราง 4.3 จะเห็นว่า ผลที่ได้คล้ายคลึงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ (ดูตาราง 4.1) กล่าวคือ ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณคาร์บอนเสถียรและค่าความร้อนสูงกว่าถ่านเปลือกสับปะรดและมะละกอ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การคาร์บอนไนเซชันทำให้เปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอ มีปริมาณคาร์บอนเสถียรเพิ่มขึ้นร้อยละ 157, 272 และ 280 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากว่า ระหว่างการคาร์บอนไนเซชันเมื่ออุณหภูมิภายในเตาถึง 180 องศาเซลเซียสจะทำให้ความชื้นที่อยู่ในชีวมวลนั้นระเหยไปจนหมด น้ำหนักที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นน้ำหนักของสารระเหยและเมื่ออุณหภูมิถึง 270 - 400 องศาเซลเซียส สารระเหยประเภทเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) และ ลิกนิน (Lignin) จะเริ่มสลายตัวออกไป ซึ่งหลังจากกระบวนการนี้ชีวมวลจะแปรสภาพเป็นคาร์บอนทั้งหมด (สถาบันธรรมรัฐเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม, 2552) ดังนั้นจากการที่สารระเหยต่าง ๆ จะสลายตัวออกไปจึงทำให้สัดส่วนของปริมาณสารระเหยลดลงและส่งผลให้สัดส่วนของปริมาณคาร์บอนเสถียรเพิ่มขึ้น (เจือจันทร์ เกตศา, 2556) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้น ถ้ำ และสารระเหย ที่มีอยู่ในถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (มผช.657/2547) พบว่า ถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ที่ได้มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.1 - 4.4 และปริมาณถ้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 1.26 - 4.22 ซึ่งตรงตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (ความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ถ้ำไม่เกินร้อยละ 8)

สำหรับค่าความร้อน พบว่า ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ถ่านเปลือกสับปะรด และถ่านเปลือกมะละกอ มีค่าความร้อนสูงกว่าเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอ ร้อยละ 72.1,



75.9 และ 76.0 ตามลำดับ โดยค่าความร้อนของถ่านจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสนั้นถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (มผช.657/2547) ซึ่งกำหนดว่า ถ่านไม้หุงต้มต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 6,000 แคลอรีต่อกรัม อย่างไรก็ตามถ่านจากเปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกอนั้นมีค่าความร้อนเพียง 5,374 และ 5,043 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ จึงไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยองค์ประกอบทางเคมีแบบการวิเคราะห์ขั้นต้นของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Roussel และคณะ (2011) ซึ่งพบว่า ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณคาร์บอนเสถียร สารระเหย และเถ้าอยู่ร้อยละ 65-75 ร้อยละ 25-35 และร้อยละ 2-5 ตามลำดับ

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์ขั้นต้น (Proximate analysis) และค่าความร้อน (Calorific value) ของผงถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนเสถียร (%)	ค่าความร้อน (cal/g)
ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส	2.12±0.22 ^a	29.63±0.69 ^a	1.26±0.19 ^a	66.99±0.48 ^c	6,402±125 ^c
ถ่านเปลือกสับปะรด	3.62±0.36 ^b	32.26±0.71 ^b	4.22±0.10 ^b	59.88±0.71 ^b	5,374±109 ^b
ถ่านเปลือกมะละกอ	4.44±0.44 ^c	36.65±1.40 ^c	3.89±0.27 ^b	55.02±1.67 ^a	5,043±118 ^a

หมายเหตุ: ^{abc}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p < 0.05$)

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีนอกจากการวิเคราะห์ขั้นต้นแล้วยังได้ทำการวิเคราะห์แบบแยกธาตุด้วย โดยผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุได้แสดงไว้ในตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	ร้อยละของธาตุองค์ประกอบ				
	C	H	O	N	S
ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส	53.44	3.83	42.96	0.76	0.01
ถ่านเปลือกสับปะรด	65.44	3.53	28.20	1.03	0.26
ถ่านเปลือกมะละกอ	52.47	4.23	36.55	4.95	1.79

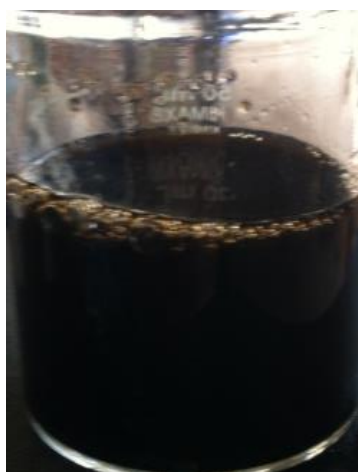
เมื่อเปรียบเทียบผลจากตาราง 4.4 กับตาราง 4.2 พบว่า อัตราส่วน H/C ในถ่านเปลือกไม้และถ่านเปลือกผลไม้มีค่าต่ำกว่าอัตราส่วน H/C ของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าในระหว่างกระบวนการคาร์บอนในเขื่อนนั้น สารประกอบอะลิฟาติก (Aliphatic compound) มีปริมาณลดลงในขณะที่สารประกอบอะโรมาติก (Aromatic compound) มีปริมาณเพิ่มขึ้น (Qian et al., 2013)



4.3 ลักษณะทั่วไปและสมบัติของน้ำส้มควันไม้

ในส่วนของน้ำส้มควันไม้ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการคาร์บอนเซชันนั้นโดยทั่วไปจะมีสีที่แตกต่างกันเล็กน้อยตามชนิดของชีวมวลที่ใช้เป็นวัตถุดิบ เมื่อพิจารณาลักษณะของน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้จากการคาร์บอนเซชันของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.5 พบว่า มีลักษณะเป็นของเหลวเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้น ไม่มีตะกอนหรือสารแขวนลอย มีกลิ่นคล้ายควันไฟ โดยน้ำส้มควันไม้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและเปลือกสับปะรดจะมีสีดำอมน้ำตาล แต่น้ำส้มควันไม้จากเปลือกมะละกอจะมีสีน้ำตาลเข้ม อย่างไรก็ตามเมื่อปล่อยให้ น้ำส้มควันไม้ตกตะกอนเป็นเวลา 45 วัน แล้วกรองเอาเฉพาะส่วนใสตรงกลาง แล้วนำมาผ่านการกลั่นที่ความดัน 200 มิลลิบาร์ และอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำส้มควันไม้กลั่นที่ได้จากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน คือขาวใส เป็นเนื้อเดียวกัน และไม่มีตะกอน แต่ยังคงมีกลิ่นควันไฟเหมือนกัน ซึ่งลักษณะของน้ำส้มควันไม้ที่ได้นั้นตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำส้มควันไม้ (มผช.659/2553) ซึ่งระบุว่า ต้องเป็นของเหลวใสเนื้อเดียวกัน มีสีน้ำตาลแฉวหรือสีเหลืองอมน้ำตาล ไม่แยกชั้น ไม่มีตะกอนหรือสารแขวนลอย ไม่มีสิ่งแปลกปลอม





(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพประกอบ 4.5 ลักษณะทั่วไปของ (a) น้ำส้มควันไม้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (b) น้ำส้มควันไม้จากเปลือกสับปะรด (c) น้ำส้มควันไม้จากเปลือกมะละกอ (d) น้ำส้มควันไม้จากเปลือกไม้และผลไม้ผ่านการกลั่นแล้ว

น้ำส้มควันไม้ที่ได้ในวิทยานิพนธ์นี้แบ่งออกเป็น น้ำส้มควันไม้ดิบ (น้ำส้มควันไม้ที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 45 วัน แล้วนำไปกรองด้วยระบบสุญญากาศ) และน้ำส้มควันไม้กลั่นซึ่งเป็นการนำน้ำส้มควันไม้ดิบมาผ่านกระบวนการกลั่นที่ความดัน 200 มิลลิบาร์ และอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำส้มควันไม้ที่ได้ทั้งหมดแสดงไว้ในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ค่า pH และความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้ชนิดต่างๆ

สมบัติของน้ำส้ม ควันไม้	ประเภทน้ำส้ม ควันไม้	เปลือกไม้ ยูคาลิปตัส	เปลือกสับปะรด	เปลือกมะละกอ
pH	ดิบ	3.08±0.04 ^{Da}	3.28±0.02 ^{Db}	3.84±0.03 ^{Dc}
	กลั่น	2.22±0.03 ^{Ca}	2.47±0.02 ^{Cb}	2.54±0.02 ^{Cb}
ความหนาแน่น (kg/m ³)	ดิบ	1.035±0.003 ^{Bb}	1.025±0.001 ^{Ba}	1.023±0.002 ^{Ba}
	กลั่น	1.020±0.001 ^{Ac}	1.012±0.001 ^{Aa}	1.015±0.001 ^{Ab}

หมายเหตุ: ^{ABC}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสมมติเดียวกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (p<0.05)

^{abc}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (p<0.05)

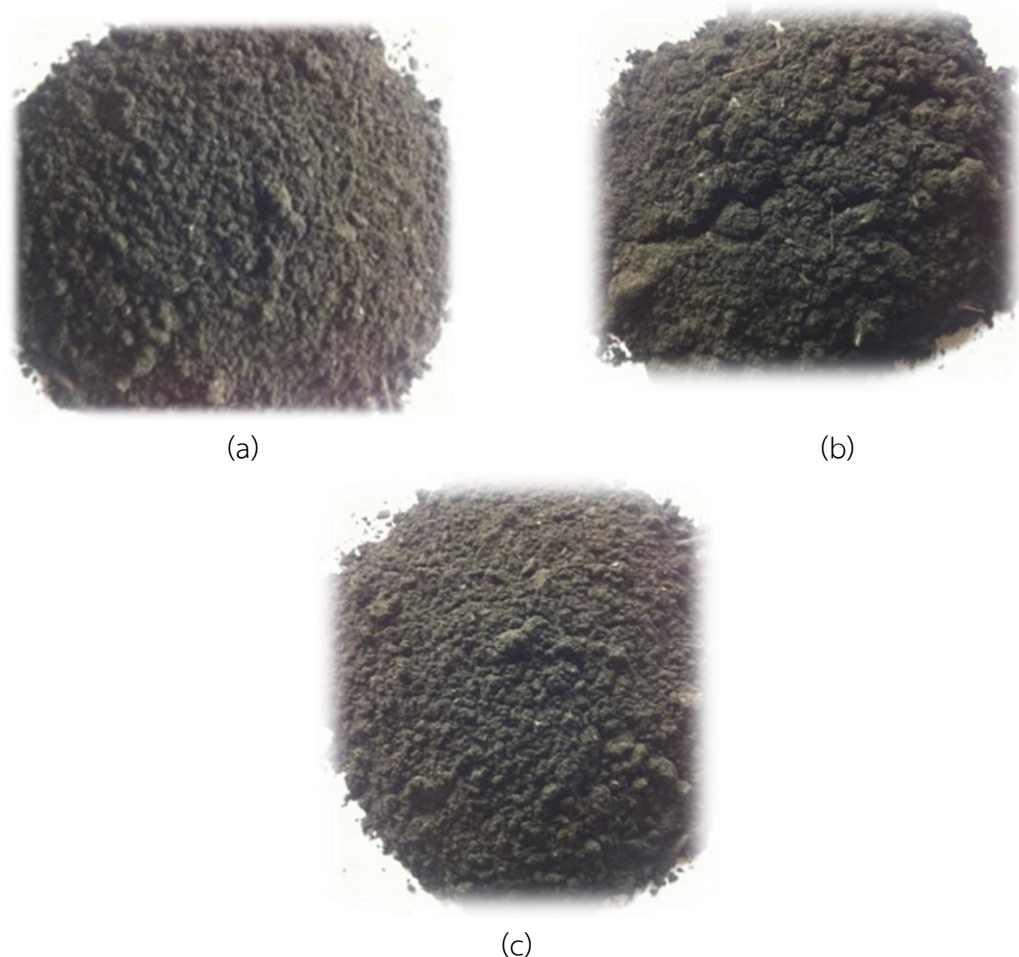
เมื่อพิจารณาในส่วนของค่า pH พบว่า สำหรับน้ำส้มควันไม้ดิบนั้น น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้มีค่า pH ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีค่า pH ต่ำกว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากเปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอตามลำดับ อย่างไรก็ตามในกรณีของน้ำส้มควันไม้กลั่นนั้น พบว่า ค่า pH ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสยังคงมีค่าต่ำสุด แต่ค่า pH ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากเปลือกผลไม้ทั้งสองชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของการกลั่นที่มีต่อค่า pH ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้ จะเห็นว่า การกลั่นทำให้ค่า pH ของน้ำส้มควันไม้ลดลง

ในส่วนของค่าความหนาแน่น พบว่า การกลั่นส่งผลให้ความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้มีค่าลดลง เนื่องจากในระหว่างกระบวนการกลั่น สารที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น น้ำ กรด แอลกอฮอล์ จะระเหยและควบแน่นออกมาในขณะที่น้ำมันดินซึ่งมีความหนาแน่นสูงและจุดเดือดสูงจะไม่ระเหยออกมา จึงทำให้ความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้หลังผ่านการกลั่นนั้นลดลง โดยความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้กลั่นที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 1.012-1.020 ในขณะที่ความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้ดิบมีค่าอยู่ในช่วง 1.023-1.035 (ค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำส้มควันไม้เท่ากับ 1.010 - 1.025) พบว่า เมื่อกลั่นแล้วทำให้น้ำส้มควันไม้จากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้นั้นตรงตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำส้มควันไม้



4.4 ลักษณะทั่วไปของผงถ่านและถ่านอัดเม็ด

ผงถ่านที่ได้จากการนำถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ไปบดย่อยลดขนาดมีลักษณะทางกายภาพดังแสดงในภาพประกอบ 4.6



ภาพประกอบ 4.6 ลักษณะทั่วไปของ (a) ผงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (b) ผงถ่านเปลือกสับปะรด และ (c) ผงถ่านเปลือกมะละกอ

โดยผงถ่านที่ได้มีลักษณะเป็นผงร่วน สีดำ ดูดซับน้ำได้ดี และมีการจับตัวกันเมื่อได้รับความชื้น เนื่องจากถ่านไม้ยูคาลิปตัสมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม มากที่สุด ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้คัดเลือกถ่านไม้ยูคาลิปตัสมาทำการศึกษาต่อ โดยนำมาผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดเย็นที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน (แป้งมันผสมน้ำ) และความเข้มข้นของตัวประสาน (แป้งมัน) ที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้ได้ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 4.7 โดยในระหว่างกระบวนการอัดเม็ดขึ้นรูปสังเกตได้ว่า สภาวะที่ทำให้เม็ดถ่านจับตัวกันได้ดีที่สุด คือ อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 1:1 และความเข้มข้นของตัวประสาน 20% ในขณะที่เม็ดถ่านจะจับตัวกันได้น้อยที่สุดที่

อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 3:1 และความเข้มข้นของตัวประสาน 5% ดังนั้นจึงนำเสนอเฉพาะภาพถ่ายของถ่านอัดเม็ดที่สภาวะทั้งสองเท่านั้น (ดูภาพประกอบ 4.7)



(a)



(b)

ภาพประกอบ 4.7 ลักษณะทั่วไปของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการขึ้นรูป (อัดเม็ด) ที่สภาวะ (a) อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 3:1 และความเข้มข้นของตัวประสาน 5% (b) อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 1:1 และความเข้มข้นของตัวประสาน 20%

ในส่วนของความยาวและลักษณะผิวของถ่านอัดเม็ดที่สภาวะการขึ้นรูปต่างๆ ได้แสดงไว้ในตาราง 4.6 ซึ่งจะเห็นว่า อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน และความเข้มข้นของตัวประสาน ส่งผลกระทบบอย่างชัดเจนต่อความยาวและลักษณะผิวของถ่านอัดเม็ด โดยการใช้อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสานที่มากขึ้นส่งผลให้ถ่านอัดเม็ดที่ได้มีลักษณะสั้นและมีผิวที่แตก ไม่เรียบ ในขณะที่ความเข้มข้นของตัวประสานที่มากขึ้นจะส่งผลให้ได้ถ่านอัดเม็ดที่ยาวและมีผิวเรียบ

ตาราง 4.6 ขนาดและลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดเม็ด

ความเข้มข้นของ ตัวประสาน	อัตราส่วนโดยมวล ระหว่างผงถ่านและ วัสดุประสาน	ความยาว (cm)	ลักษณะทางกายภาพ
5%	1 : 1	2.32 ± 0.48^{de}	ผิวนอกเรียบเนียน สีดำด้าน อัดขึ้นรูปได้ดี
	2 : 1	2.02 ± 0.39^b	ผิวนอกแตกบ้างเล็กน้อย สีดำด้าน อัดขึ้นรูปได้ปานกลาง
	3 : 1	1.74 ± 0.31^a	ผิวนอกแตกเป็นส่วนมาก สีดำด้าน อัดขึ้นรูปยากไม่ค่อยจับตัว
10%	1 : 1	2.46 ± 0.38^f	ผิวนอกเรียบเนียน สีดำด้าน อัดขึ้นรูปได้ดี
	2 : 1	2.28 ± 0.33^d	ผิวเรียบสม่ำเสมอ สีดำด้าน อัดขึ้นรูปได้ดี
	3 : 1	2.00 ± 0.34^b	ผิวนอกแตกบ้างบางส่วน สีดำด้าน อัดขึ้นรูปได้ปานกลาง
20%	1 : 1	3.02 ± 0.39^g	ผิวเรียบเนียนตลอดเม็ดถ่าน สีดำด้าน อัดขึ้นรูปได้ดีมาก
	2 : 1	2.38 ± 0.37^e	ผิวนอกเรียบเนียน สีดำด้าน อัดขึ้นรูปได้ดีมาก
	3 : 1	2.20 ± 0.34^c	ผิวนอกเรียบเนียน สีดำด้าน อัดขึ้นรูปได้ดี

หมายเหตุ: ^{abc}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสัณฐานเดียวกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p < 0.05$)

จากข้อมูลในตาราง 4.6 จะเห็นว่า ความยาวเฉลี่ยของถ่านอัดเม็ดส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 2-2.4 เซนติเมตร ยกเว้นถ่านอัดเม็ดที่ใช้ความเข้มข้นของตัวประสาน 5% ที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 3:1 ซึ่งมีความยาวเพียง 1.7 เซนติเมตร โดยถ้าพิจารณาจากภาพประกอบ 4.6 (a) จะเห็นว่าถ่านอัดเม็ดที่ได้มีความยาวที่น้อยกว่าถ่านอัดเม็ดที่สภาวะอื่น ๆ อย่างชัดเจน ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากว่า ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 5% มีปริมาณแป้งมันสำปะหลังน้อยเกินไป ทำให้การยึดเกาะตัวของผงถ่านไม่ดีเท่าที่ควร

ในการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดเม็ดนั้น ได้ทำการทดสอบ 2 วิธี คือ 1. วิธีการแทนที่ด้วย n-heptane และการคำนวณจากสูตรน้ำหนักหารด้วยปริมาตร (วัดขนาดถ่านอัดเม็ดแล้วคำนวณปริมาตร) ซึ่งผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ การเพิ่มความเข้มข้นของตัวประสานและการลดอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสานจะทำให้ถ่านอัดเม็ดที่ได้มีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่า การขึ้นรูป (อัดเม็ด) ที่สภาวะความเข้มข้นของตัวประสานที่สูงและอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและตัวประสานที่ต่ำ ทำให้กระบวนการอัดขึ้นรูปง่ายขึ้น จึงเกิดการเกาะอัดตัวของผงถ่านที่ดี ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของผงถ่านสูง ในส่วนของค่าความร้อนที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 5,883 – 6,116 แคลลอรีต่อกรัม เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนของถ่านอัดเม็ดที่ได้แสดงในตาราง (ดูตาราง 4.7) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของวัสดุประสานในขณะที่ลดอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสานส่งผลให้ถ่านอัดเม็ดที่ได้มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในส่วนของค่าความร้อน พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน มีแนวโน้มทำให้ค่าความร้อนของถ่านอัดเม็ดเพิ่มขึ้น



ตาราง 4.7 ค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนของถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ความเข้มข้น ของตัวประสาน	อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง ผงถ่านและวัสดุประสาน	ความหนาแน่น (kg/m ³) แทนที่ด้วย n-heptane	ค่าความร้อน (cal/g)
5%	1 : 1	756.7±9.4 ^{bc}	6,116±126 ^{abc}
	2 : 1	734.5±11.3 ^{ab}	6,135±103 ^{abc}
	3 : 1	720.3±13.3 ^a	6,287±101 ^c
10%	1 : 1	783.6±10.8 ^d	5,921±146 ^a
	2 : 1	773.7±16.1 ^{cd}	5,906±128 ^a
	3 : 1	726.5±10.7 ^a	6,300±120 ^c
20%	1 : 1	874.4±17.5 ^f	5,883±106 ^a
	2 : 1	839.4±13.4 ^e	6,030±222 ^{ab}
	3 : 1	828.3±14.3 ^e	6,221±104 ^{cd}

หมายเหตุ: ^{abc}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p < 0.05$)

4.5 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

ในส่วนสมบัติเชิงกลของถ่านอัดเม็ดนั้นได้ทำการทดสอบด้วยแรงกด (Compression test) โดยใช้ Load cell ขนาด 500 กิโลกรัม ด้วยอัตราเร็วในการกด 20 มิลลิเมตรต่อวินาที ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกล 5 ชนิด คือ 1. ค่าแรงกดสูงสุด (Maximum force, N) ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยามเป็นค่าความแข็ง 2. ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum stress, N/mm²) 3. ค่า Energy to maximum (J) ซึ่งคือ ค่าพลังงานจากจุดเริ่มต้นทดสอบจนถึงจุดที่เกิดแรงกดสูงสุด 4. ค่า Break force ซึ่งคือ ค่าแรงกดที่จุดขาด และ 5. ค่า Energy to break (J) ซึ่งคือ ค่าพลังงานจากจุดเริ่มต้นทดสอบจนถึงจุดที่ชิ้นงานขาด โดยสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบแรงกดแสดงไว้ในตาราง 4.8



ตาราง 4.8 สมบัติเชิงกลของถ่านอัดเม็ดที่ได้จากการอัดขึ้นรูปที่สภาวะต่างๆ

ความเข้มข้น ของตัวประสาน	อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง ผงถ่านและวัสดุประสาน	Max. force (N)	Max. stress (N/mm ²)	Energy to maximum (J)	Break force (N)	Energy to Break (J)
5%	1 : 1	396.12±33.66 ^{cd}	6.02±1.56 ^c	1.76±0.75 ^{cd}	394.02±33.77 ^{cd}	1.70±0.74 ^{cd}
	2 : 1	384.17±45.99 ^{bc}	5.56±1.12 ^{bc}	1.53±0.36 ^{bc}	382.44±45.75 ^{bc}	1.46±0.35 ^{bc}
	3 : 1	322.49±37.58 ^a	5.65±0.68 ^{bc}	1.11±0.27 ^a	320.67±37.57 ^a	1.05±0.29 ^a
10%	1 : 1	431.45±41.04 ^{df}	5.53±0.80 ^{bc}	2.18±0.71 ^{ef}	426.74±41.85 ^{ef}	2.10±0.69 ^{df}
	2 : 1	415.71±36.86 ^{de}	5.24±0.56 ^{ab}	1.85±0.54 ^d	414.65±38.33 ^{de}	1.73±0.52 ^{cd}
	3 : 1	368.74±28.10 ^b	4.86±0.38 ^a	1.41±0.29 ^b	367.71±27.94 ^b	1.35±0.31 ^b
20%	1 : 1	453.72±41.17 ^f	4.96±1.11 ^a	2.56±0.59 ^g	451.33±41.36 ^g	2.34±0.57 ^f
	2 : 1	447.11±35.06 ^f	5.66±0.63 ^{bc}	2.43±0.39 ^{fg}	445.72±35.19 ^{fg}	2.36±0.39 ^f
	3 : 1	403.65±42.45 ^{cd}	5.53±0.73 ^{bc}	1.92±0.40 ^{de}	401.89±42.36 ^{cd}	1.83±0.39 ^{de}

หมายเหตุ: ^{abc}ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p < 0.05$)

จากตาราง 4.8 ซึ่งแสดงอิทธิพลของอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสานที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปถ่านอัดเม็ดที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลต่าง ๆ จะเห็นว่า การเพิ่มความเข้มข้นของตัวประสานและการลดอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสานมีแนวโน้มทำให้ถ่านอัดเม็ดที่ได้มีค่าแรงกดสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งค่าแรงกดสูงสุดนี้สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของวัสดุ

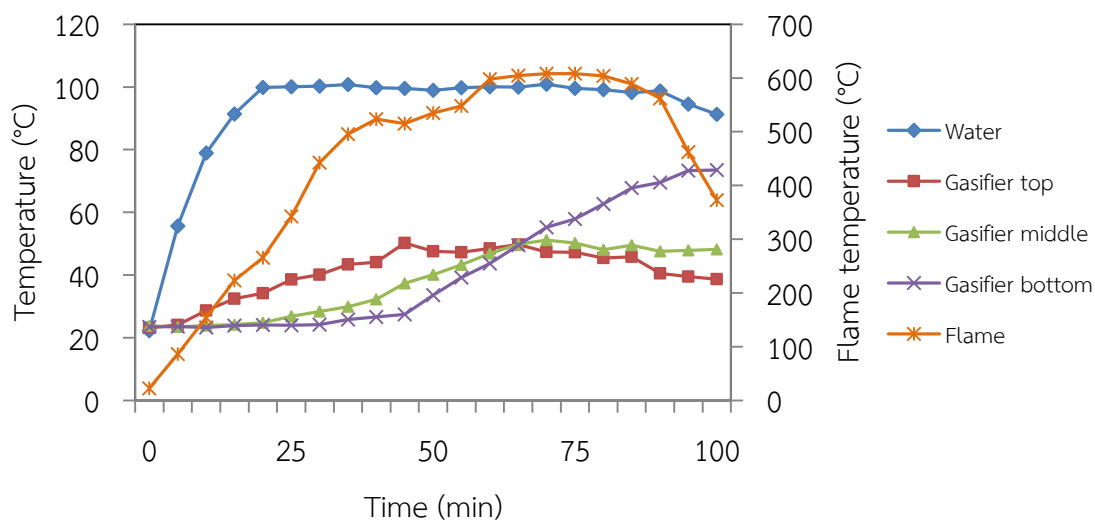
4.6 การทดสอบเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับการผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ชีวมวลอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิง

ผู้วิจัยได้ปรับปรุงเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับการผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นเพื่อใช้งาน โดยเตาดังกล่าวมีความสูง 50 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร ในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลจะนำความร้อนจากก๊าซผลิตภัณฑ์มาใช้ต้มน้ำ และนำความร้อนสูญเสียที่ผนังเตามาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก และมีการใช้น้ำในถังหมุนเวียนสำหรับการระบายความร้อนให้กับแผงเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ปริมาณน้ำในการระบายความร้อน 20 ลิตร และอัตราการไหลของน้ำ 7.8 ลิตรต่อนาที สำหรับถ่านอัดเม็ดที่นำมาใช้ได้เลือกเชื้อเพลิงที่สภาวะการอัดเม็ดที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 10% และอัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 2:1 ซึ่งผลที่ได้แสดงดังภาพประกอบ 4.8 ถึง 4.10

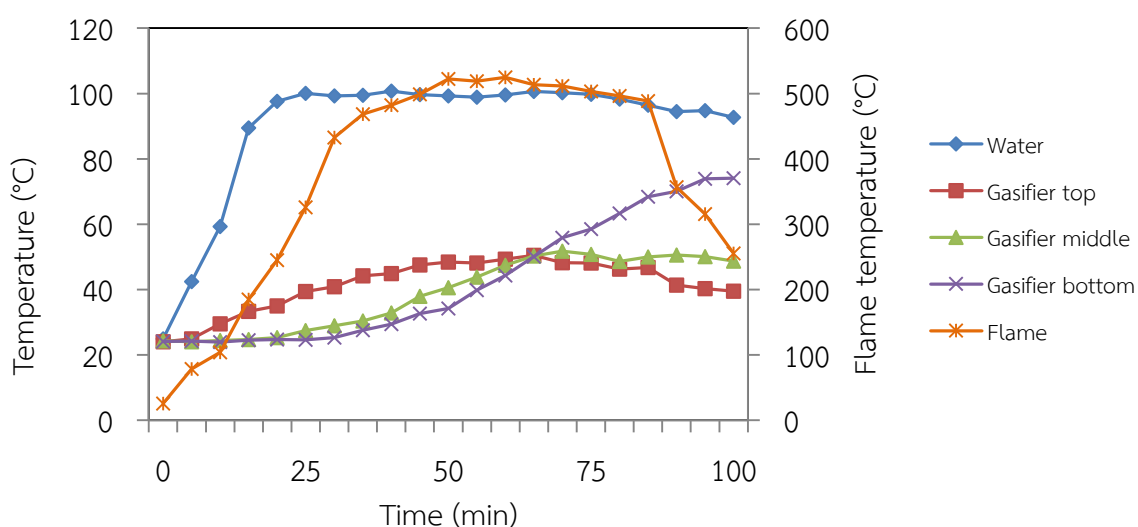
โดยที่

Water	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ต้ม
Gasifier top	คือ	อุณหภูมิของผิวเตาเผาด้านบน
Gasifier middle	คือ	อุณหภูมิของผิวเตาเผากลาง
Gasifier bottom	คือ	อุณหภูมิของผิวเตาเผาด้านล่าง
Flame	คือ	อุณหภูมิของเปลวไฟ





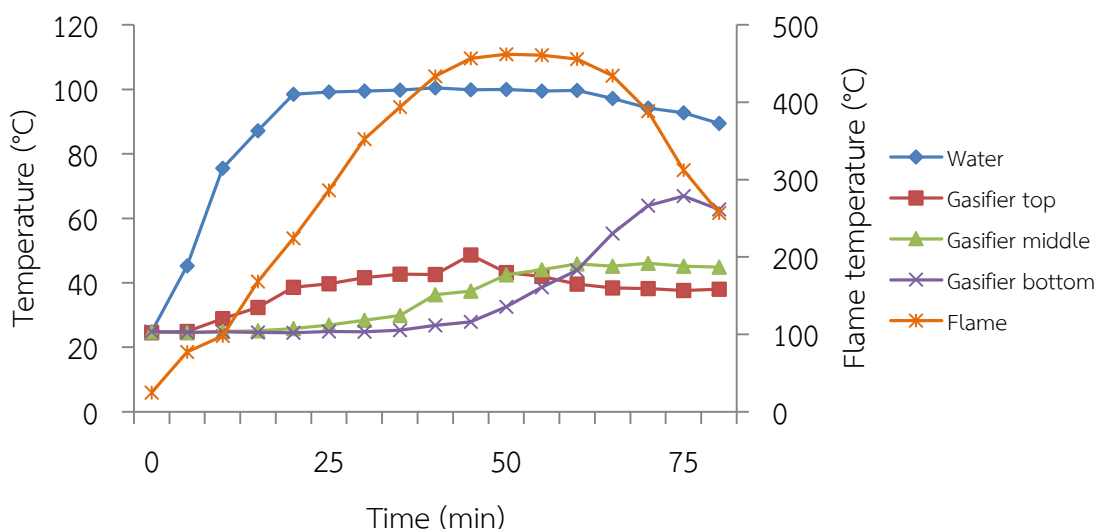
ภาพประกอบ 4.8 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง



ภาพประกอบ 4.9 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกสับประรดเป็นเชื้อเพลิง

สำหรับการทดสอบสมรรถนะของเตาผลิตก๊าซชีววมวลในกรณีที่ใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกยูคาลิปตัสและเปลือกสับประรดจะใช้เชื้อเพลิงประมาณ 4.2 - 4.5 กิโลกรัม (เต็มเตา) เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของเปลวไฟจากภาพประกอบ 4.8 และ 4.9 จะเห็นว่า เปลวไฟจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรกของกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล หลังจากนั้นอุณหภูมิส่วนใหญ่จะค่อยเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยน้ำจะเริ่มเดือดที่เวลาประมาณ 20 นาที และใช้ระยะเวลาในกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล (จนกระทั่งเปลวไฟดับ) ประมาณ 80-90 นาที





ภาพประกอบ 4.10 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกมะละกอเป็นเชื้อเพลิง

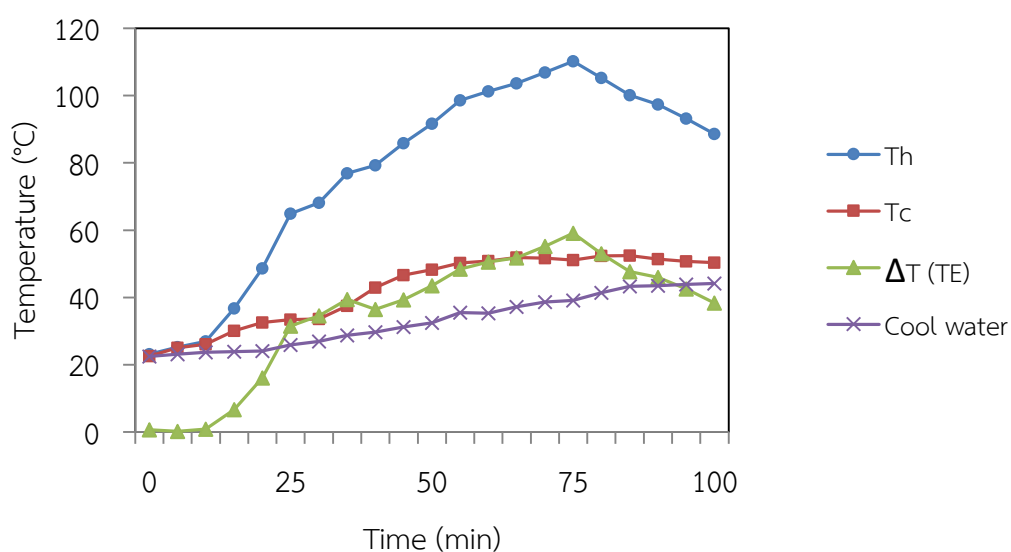
สำหรับกรณีที่ใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกมะละกอนั้นจะใช้เชื้อเพลิงประมาณ 4.0 - 4.2 กิโลกรัม (เต็มเตา) เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของเปลวไฟจากภาพประกอบ 4.10 จะเห็นว่า เปลวไฟจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรกของกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลหลังจากนั้นอุณหภูมิส่วนใหญ่จะค่อยเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ คล้ายกับถ่านจากเปลือกยูคาลิปตัสและเปลือกสับปะรด โดยน้ำจะเริ่มเดือดที่เวลาประมาณ 20 นาที และใช้ระยะเวลาในกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล (จนกระทั่งเปลวไฟดับ) ประมาณ 65-70 นาที โดยพบว่า อุณหภูมิของเปลวไฟที่ได้มีค่าต่ำกว่ากรณีการใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกยูคาลิปตัสและเปลือกสับปะรด ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดมีค่า 460 องศาเซลเซียส ที่เวลาประมาณ 50 นาที ทั้งนี้อุณหภูมิเปลวไฟที่ต่ำกว่ายังส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิที่ผิวผนังเตาและอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกด้วย การที่อุณหภูมิของเปลวไฟในกรณีของการใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าสูงกว่าถ่านอัดเม็ดจากเปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกอ เนื่องจากเปลือกยูคาลิปตัสนั้นมีค่าความร้อนที่สูงกว่า

และเนื่องจากในการทดลองไม่สามารถวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาผลิตก๊าซชีววมวลได้จึงใช้วิธีวัดอุณหภูมิที่ผิวเตาเพื่อดูช่วงการเคลื่อนตัวของโซนต่างๆ และเนื่องจากได้เริ่มจุดเตาหรือทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิชั่นที่ด้านบนก่อน ทำให้อุณหภูมิของเตาบริเวณช่วงบนเริ่มสูงขึ้นเร็วกว่าช่วงกลางและช่วงล่างตามลำดับ ทั้งนี้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวเตาช่วงบนและช่วงกลางค่อนข้างใกล้เคียงกัน (ดูจากค่าความชันของกราฟ) ในขณะที่อุณหภูมิผิวเตาช่วงล่างจะเริ่มสูงขึ้นที่เวลาประมาณ 60-70 นาที ทั้งนี้อุณหภูมิของผิวเตาสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงท้ายของการทดสอบเนื่องจากเชื้อเพลิงได้ยุบตัวลงไปทับถมกันบริเวณช่วงล่างของเตาชีววมวลทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นอย่างมากบริเวณช่วงล่างของเตา



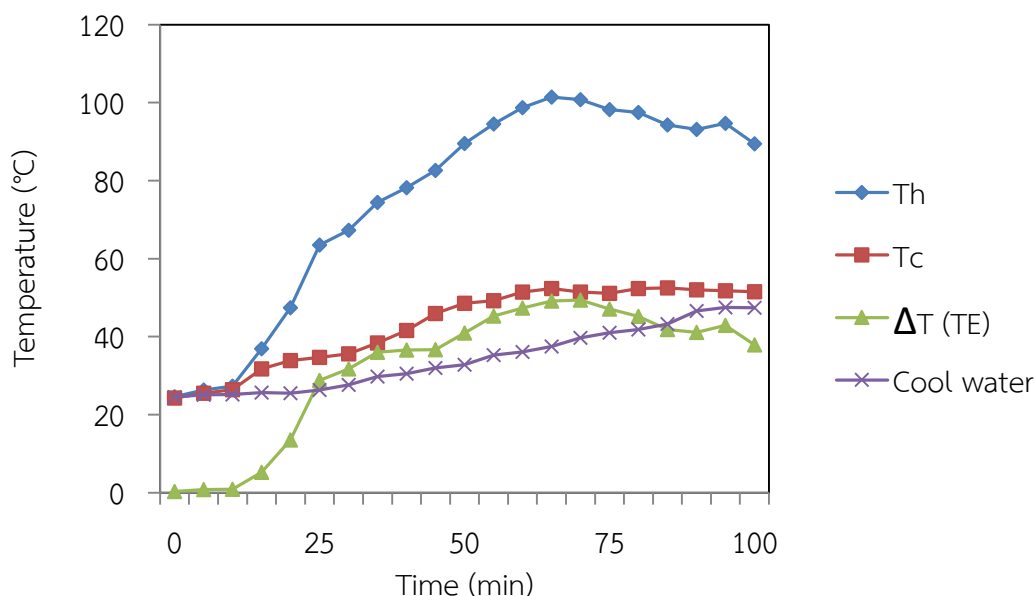
อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของส่วนการผลิตไฟฟ้าในระหว่างทดสอบเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับการผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 4.11-4.13 โดยที่

Th	คือ	อุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน
Tc	คือ	อุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น
ΔT	คือ	ความต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก
Cool water	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ระบายความร้อน

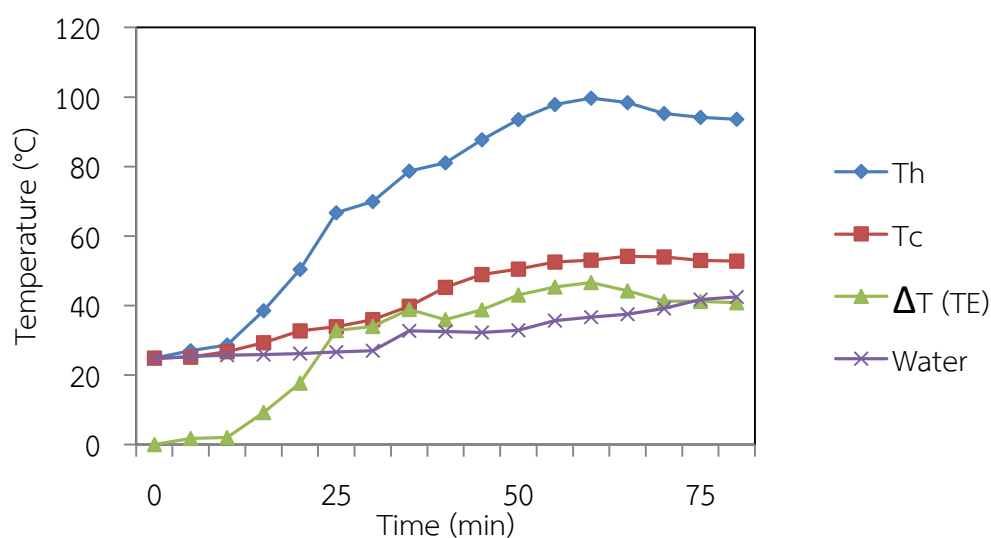


ภาพประกอบ 4.11 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง





ภาพประกอบ 4.12 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกสับปรดเป็นเชื้อเพลิง



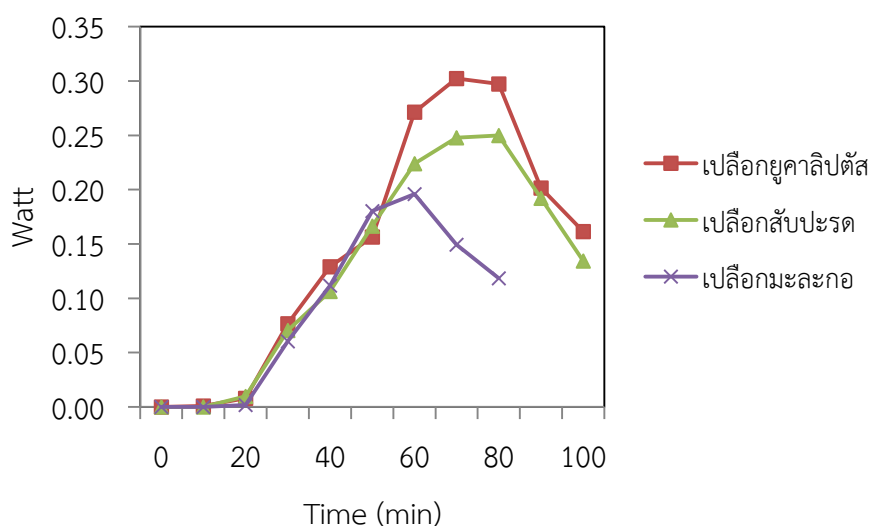
ภาพประกอบ 4.13 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของส่วนการผลิตไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลโดยใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกมะละกอเป็นเชื้อเพลิง

จากภาพประกอบ 4.11-4.13 พบว่า อุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อยในช่วงเวลา 5-10 นาที และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (สังเกต จากความชันของกราฟ) ในช่วงเวลา 10-70 นาที แต่ในช่วงเวลา 60-75 นาที อุณหภูมิมีการลดลงเล็กน้อย จนถึงระยะเวลาที่กระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลเสร็จสิ้น (เปลวไฟดับ) ส่วนอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างช้า ๆ ในช่วงเวลา 15 นาที หลังจากนั้น (20-50 นาที) อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 50 นาที อุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ไปจนถึงเวลาที่



กระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลเสร็จสิ้น ส่วนน้ำในถังระบายความร้อนนั้นจะมีการเพิ่มของอุณหภูมิอย่างช้าๆ โดยอุณหภูมิสูงสุดของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 45-47 องศาเซลเซียส

และเมื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยต่อตัวต้านทานที่ 5 โอห์ม แสดงในภาพประกอบ 4.14



ภาพประกอบ 4.14 กำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้จากเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสได้กำลังไฟสูงสุดประมาณ 0.3 วัตต์ (เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจำเพาะของเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วพบว่า วิทยานิพนธ์นี้ทำกำลังไฟสูงสุดได้มากกว่าข้อมูลจำเพาะของเทอร์โมอิเล็กทริก) รองลงมาคือถ่านอัดเม็ดจากเปลือกสับประด และถ่านอัดเม็ดจากเปลือกมะละกอ ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Lerdsatittanakorn (2012) ที่ได้กำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ประมาณ 0.4 วัตต์ และในระหว่างการทดสอบการนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดไปใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลได้ทำการสังเกตลักษณะการติดไฟ เปลวไฟ ชี้อากาศ และควันที่ได้ โดยข้อมูลดังกล่าวได้แสดงไว้ในตาราง 4.9



ตาราง 4.9 ลักษณะการติดไฟ เปลวไฟ และสีเถ้า ที่ได้จากระบวนการผลิตก๊าซชีววมวลของถ่านอัดเม็ดที่ได้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกอที่ความเข้มข้นของวัสดุประสาน 10% และอัตราส่วนโดยมวลระหว่างวัสดุหลักและวัสดุประสาน 2:1

วัสดุหลัก	ลักษณะการติดไฟของเชื้อเพลิงและเปลวไฟ	ลักษณะสีเถ้า
ถ่านจากเปลือกยูคาลิปตัส	จุดติดไฟง่าย ไม่มีควัน ไม่แตกประทุ เปลวไฟเป็นสีส้มปนฟ้าเล็กน้อย เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบพบว่า มีคราบเถ้าสีขาวเกาะอยู่บริเวณผนังเตาด้านในและที่หัวเตา	สีเถ้ามีสีขาว-เทา
ถ่านจากเปลือกสับปะรด	จุดติดไฟง่าย ไม่มีควัน เปลวไฟมีสีส้ม เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบพบว่า มีเขม่าเป็นสีขาวเกาะติดอยู่ที่ผนังเตาด้านในและที่หัวเตา	สีเถ้ามีสีขาว – เทา
ถ่านจากเปลือกมะละกอ	จุดติดไฟง่าย มีควันเล็กน้อย มีสะเก็ดไฟแตกประทุเล็กน้อย เปลวไฟมีสีส้มจางปนขาว เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบพบว่า มีเขม่าเป็นสีดำเกาะติดอยู่ที่ผนังเตาด้านในและที่หัวเตา	สีเถ้ามีสีดำ – เทา



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเตรียมถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกสับปะรด และเปลือกมะละกอ (วัตถุดิบหลัก) โดยใช้แบริ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่ความเข้มข้นของตัวประสานและอัตราส่วนโดยมวลระหว่างวัตถุดิบหลักและวัสดุประสานต่างๆ กัน ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะสำหรับใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 เปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีค่าความร้อนที่มากกว่าเปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อนำไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันจะทำให้ได้ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ถ่านเปลือกสับปะรด และถ่านเปลือกมะละกอซึ่งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 72.14 75.97 และ 76.02 ตามลำดับ

5.1.2 การคาร์บอนไนเซชันของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจะให้ร้อยละผลได้ของถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่มากกว่าการคาร์บอนไนเซชันของเปลือกสับปะรดและเปลือกมะละกอ ตามลำดับ โดยร้อยละผลได้เฉลี่ยของถ่านและน้ำส้มควันไม้ของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 20.89-24.06 และ 8.36-9.26 ตามลำดับ

5.1.3 มีเพียงถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (มผช.657/2547) ในแง่ของค่าความร้อน (ค่าความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 6,000 แคลอรีต่อกรัม) ในขณะที่น้ำส้มควันไม้กลิ่นที่ได้เปลือกไม้และเปลือกผลไม้ทุกชนิดผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำส้มควันไม้ (มผช.659/2553) ทั้งหมด

5.1.4 การเพิ่มความเข้มข้นของตัวประสานและอัตราส่วนโดยมวลระหว่างวัตถุดิบหลักและวัสดุประสานส่งผลให้ถ่านอัดเม็ดที่ได้มีความยาวเฉลี่ยมากขึ้น มีผิวที่เรียบเนียนขึ้น มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ในขณะที่มีค่าความร้อนลดลง

5.1.5 การใช้ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ดปริมาณ 4.2-4.5 กิโลกรัม เป็นเชื้อเพลิงในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นเพื่อการต้มน้ำ ได้อุณหภูมิเปลวไฟสูงสุดประมาณ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำให้น้ำเริ่มเดือดได้ภายในเวลา 20 นาที และเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถเปลี่ยนความร้อนที่ผนังเตาให้กลายเป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 0.30 วัตต์ (กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.21 วัตต์)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุทางธรรมชาติอื่นๆ เช่น กากน้ำตาล น้ำมันจากเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาใช้เป็นวัสดุประสานสำหรับการอัดเม็ดถ่านรวมถึงศึกษาวัสดุชีววมวลอื่นๆ ที่น่าสนใจ เช่น เปลือกมังคุด เปลือกทุเรียน ฝักคูณ ในการใช้เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตถ่านอัดเม็ดเพื่อใช้เป็นวัสดุทางเลือก



5.2.2 ควรเพิ่มกำลังของมอเตอร์ของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง เนื่องจากกำลังของมอเตอร์เครื่องอัดน้อยจะทำให้ต้องใช้อัตราส่วนตัวประสานที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มกำลังของมอเตอร์เครื่องอัดเม็ดจะทำให้ผงถ่านจับตัวกันได้ดีขึ้นกว่าเดิมดังนั้นจึงสามารถลดปริมาณตัวประสานที่ต้องใช้ในระหว่างกระบวนการอัดเม็ดได้



เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2554). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551 – 2565)*. [ออนไลน์]. ได้จาก:
http://www.eppo.go.th/cccep/download/REDP_15_yrs.pdf [สืบค้นเมื่อ 2557].
- เกรียงศักดิ์ ไข่มิม และเจษฎา อิศกุล. (2542). รายงานโครงการเรื่องการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. (2547). *การใช้เศษเหลือและผลพลอยได้จากสับปะรดเป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง* รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2547. กรุงเทพฯ: กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ชมธิดา ชื่นนิยม. (2553). *การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ไทยเกษตรศาสตร์. (2554). *มะละกอ: การปลูกมะละกอเรดแคร์เบียน*. [ออนไลน์]. ได้จาก:
<http://www.thaikasetsart.com/tag/มะละกอ/> [สืบค้นเมื่อ 2557].
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2552). *การผลิตเชื้อเพลิงขยะ*. [ออนไลน์]. ได้จาก:
<http://www.efe.or.th/pdf/waste.pdf> [สืบค้นเมื่อ 2557].
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก.-ธ.ก.ส. ถ่านไม้หุงต้ม มผช.657/2547
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก.-ธ.ก.ส. น้ำส้มควันไม้กลั่น มก.-ธ.ก.ส.NF032/2549
- รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล. (ม.ป.ป.). การผลิตถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและเห้งน้ำมันสาปะหลัง. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.
- ลือพงษ์ ลือนาม (2556). การวิจัยเตาผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากมังคุดที่เหลือทิ้ง. ใน: *งานประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6 ประจำปี 2556*. กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย. ม.ป.ท.: ม.ป.พ. หน้า 428-431.
- ลุงแวน. (2551). *ขอนแก่นยุคดิจิทัล*. [ออนไลน์]. ได้จาก:
<http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=skit&month=28-05-2008&group=4&gblog=4> [สืบค้นเมื่อ 2557].
- สมรัฐ เกิดสุวรรณ และสุธรรม ปทุมสวัสดิ์. (ม.ป.ป.). *เชื้อเพลิงที่ได้จากขยะมูลฝอย (Refuse Derived Fuel : RDF)* กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยการเผาากของเสีย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สถาบันธรรมาวุธเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม. (2552). *การเผาถ่านหรือคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)*. [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://measwatch.org/news/1460> [สืบค้นเมื่อ 2557].
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (ม.ป.ป.). *เตาเผาถ่านขนาดเล็กโดยถัง 200 ลิตร*. [ออนไลน์]. ได้จาก:
<http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/brazier1.php> [สืบค้นเมื่อ 2557].



- สาวิตรี จันทรานุรักษ์. (ม.ป.ป.). *การศึกษาเกี่ยวกับเชื้อเพลิงแข็งจากขยะมูลฝอยชุมชนอัดแท่ง*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.
- สัญญา แก้วศรีงาม. (2552). *การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะชุมชนเพื่อใช้กับเตาแก๊สลิฟไฟเออร์*.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สำนักวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้ด้านการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (ม.ป.ป.). *น้ำส้มควันไม้*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (ม.ป.ป.). *คู่มือการใช้งานเตาเผาถ่านถึง 200 ลิตร (แบบตั้ง)*.
เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- อาทิตย์ มลิตอง. (2532). *การศึกษาผลิตเชื้อเพลิงชีวจากผักตบชวาและผักตบชวาผสมลิกไนต์*.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ASTM Standard D1762-84 Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal
- ASTM E1756-01 Standard Test Method for Determination of Total Solids in Biomass
- ASTM E872 – 82 (2013) Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels
- ASTM E1755 - 01(2007) Standard Test Method for Ash in Biomass
- Capareda, Sergio C. (2013). *Introduction to biomass energy conversions*. London: CRC Press.
- García, R., Pizarro, C., Lavín, A.G. and Bueno, J.L. (2014). Spanish biofuels heating value estimation. Part I: Ultimate analysis data. *Fuel*, 117, Part B(0), 1130-1138.
- Lehmann, J. and Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London: Earthscan.
- Muller, Z.O. (1974). *Feasibility studies on the utilization of pineapple wastes*. Singapore: Mimeographed report.
- . (1975). *Feed resources of weat Malaysia with special reference to cattle ration on Majuterna cattle farms*. Berlin: Mimeographed report.
- Muller, Z.O. 1978. Feeding potential of pineapple waste for cattle. *World animal Review*, 25, 25.
- Nhuchhen, D.R. and Abdul-Salam, P. (2012). Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. *Fuel*, 99(0), 55-63.
- Perez, C.B. and Hsu, C.T. (1973). Farm by-products and beef production. n.p.: n.p.
- Qian, K., Kumar, A., Patil, K., Bellmer, D., Wang, D., Yuan, W. and Huhnke, R.L. (2013). Effects of Biomass Feedstocks and Gasification Conditions on the Physiochemical Properties of Char. *Energies*, 6, 3972-3986.
- Ramírez-Gómez, Á., Gallego, E., Fuentes, J. M., González-Montellano, C., and Ayuga, F. (2014). Values for particle-scale properties of biomass briquettes made from agroforestry residues. *Particuology*, 12, 100-106.



- Rousset, P., Figueiredo, C., De Souza, M. and Quirino, W. (2011). Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. *Fuel Processing Technology*, 92(10), 1890-1897.
- Sarin, V. and Pant, K.K. (2006). Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark. *Bioresource Technology*, 97(1), 15-20.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดลอง



ตาราง ก.1 ข้อมูลดิบสำหรับการวิเคราะห์ขั้นต้น (Proximate analysis) ของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	น้ำหนัก ถั่ว (g)	น้ำหนัก ถั่ว+เปลือก ก่อนอบแห้ง (g)	*น้ำหนัก ถั่ว+เปลือก หลังอบแห้ง (g)	ค่าความชื้น (MC, %)	Average MC	SD	*น้ำหนัก ถั่ว+เปลือก ก่อนเผา (g)	น้ำหนัก ถั่ว+เปลือก หลังเผา 970°C (g)	สารระเหย (VM, %)	Average VM	SD	น้ำหนัก ถั่ว+เปลือก หลังเผา 575°C (g)	เถ้า (Ash, %)	Average Ash	SD
เปลือกยูคาลิปตัส	29.433	30.590	30.508	7.087	7.484	0.515	30.4465	29.7907	60.1265	59.5994	0.5566	29.5037	6.4729	6.8568	0.3398
	29.774	31.007	30.917	7.299			30.8741	30.1736	59.0174			29.8583	7.1192		
	28.742	30.019	29.916	8.066			29.8683	29.1374	59.6544			28.8274	6.9783		
เปลือกสับปะรด	30.132	31.374	31.257	9.420	9.758	0.372	31.2353	30.4464	64.7796	63.7897	1.1660	30.2595	10.4531	10.3702	0.4420
	29.235	30.633	30.491	10.157			30.4568	29.5855	64.0850			29.3698	9.8926		
	30.141	31.420	31.296	9.695			31.2546	30.4841	62.5044			30.2741	10.7649		
เปลือกมะละกอ	30.337	31.560	31.438	9.975	10.046	0.730	31.4235	30.6276	65.9462	65.1885	1.7235	30.4502	9.3795	10.2894	0.9804
	30.570	31.778	31.665	9.354			31.6547	30.8598	66.4033			30.7052	11.3276		
	30.548	31.760	31.629	10.809			31.6224	30.8609	63.2160			30.6704	10.1610		

หมายเหตุ *ที่จริงแล้วน้ำหนักถั่ว+เปลือกหลังอบ และน้ำหนักถั่ว+เปลือกก่อนเผา นั้นต้องเท่ากันแต่ในวิทยานิพนธ์นี้มีความไม่สะดวกในการใช้เตาเผาความร้อนสูงเป็นเวลานาน จึงได้ทำการหาค่าความชื้นและสารระเหยโดยใช้ตู้อบลมร้อนและเตาเผาความร้อนสูงต่างสถานที่กัน จึงทำให้ต้องใช้ตัวชั่งน้ำหนักต่างชนิดกัน อาจส่งผลทำให้น้ำหนักไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้ตัวเลขที่ใช้คำนวณตามมาตรฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ไม่ตรงกัน (ดังแสดงในหัวข้อตัวอย่างการคำนวณ)

ตาราง ก.2 ข้อมูลดิบสำหรับการวิเคราะห์ขั้นต้น (Proximate analysis) ของถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	น้ำหนัก ถั่ว (g)	น้ำหนัก ถั่ว+เปลือก ก่อนอบแห้ง (g)	*น้ำหนัก ถั่ว+เปลือก หลังอบแห้ง (g)	ค่าความชื้น (MC, %)	Average MC	SD	*น้ำหนัก ถั่ว+เปลือก ก่อนเผา (g)	น้ำหนัก ถั่ว+เปลือก หลังเผา 950°C (g)	สารระเหย (VM, %)	Average VM	SD	น้ำหนัก ถั่ว+เปลือก หลังเผา 750°C (g)	เถ้า (Ash, %)	Average Ash	SD
เปลือกยูคาลิปตัส	29.467	30.582	30.556	2.332	2.117	0.223	30.5512	30.2231	29.5645	29.6314	0.6869	29.4791	1.0633	1.2587	0.1904
	28.739	29.864	29.840	2.133			29.8375	29.5123	28.9804			28.7555	1.4437		
	26.837	27.950	27.929	1.887			27.9271	27.5899	30.3493			26.8511	1.2691		
เปลือกสับปะรด	29.602	30.846	30.798	3.859	3.623	0.362	30.7929	30.4032	31.4500	32.2645	0.7138	29.6526	4.1159	4.2283	0.0991
	29.691	30.845	30.808	3.206			30.8049	30.4303	32.5630			29.7409	4.3029		
	29.948	31.131	31.086	3.804			31.0821	30.6956	32.7806			29.9982	4.2661		
เปลือกมะละกอ	30.304	31.469	31.423	3.948	4.443	0.447	31.4171	31.0086	35.2376	36.6514	1.3980	30.3497	3.9766	3.8847	0.2646
	30.245	31.449	31.391	4.817			31.3865	30.9305	38.0331			30.2883	3.5865		
	30.540	31.723	31.669	4.565			31.6642	31.2320	36.6837			30.5880	4.0911		

หมายเหตุ *ที่จริงแล้วน้ำหนักถั่ว+เปลือกหลังอบ และน้ำหนักถั่ว+เปลือกก่อนเผา นั้นต้องเท่ากันแต่ในวิทยานิพนธ์นี้มีความไม่สะดวกในการใช้เตาเผาความร้อนสูงเป็นเวลานาน จึงได้ทำการหาค่าความชื้นและสารระเหยโดยใช้ตู้อบลมร้อนและเตาเผาความร้อนสูงต่างสถานที่กัน จึงทำให้ต้องใช้ค่าชั่งน้ำหนักต่างชนิดกัน อาจจะส่งผลทำให้น้ำหนักไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้ตัวเลขที่ใช้คำนวณตามมาตรฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ไม่ตรงกัน (ดังแสดงในหัวข้อตัวอย่างการคำนวณ)

ตาราง ก.3 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	ร้อยละของธาตุองค์ประกอบ				
	C	H	O	N	S
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	42.92	5.60	51.11	0.22	0.14
เปลือกสับปะรด	39.20	6.70	53.39	0.65	0.06
เปลือกมะละกอ	38.70	6.27	50.96	3.16	0.80

ตาราง ก.4 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	ร้อยละของธาตุองค์ประกอบ				
	C	H	O	N	S
ถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัส	53.44	3.83	42.96	0.76	0.01
ถ่านเปลือกสับปะรด	65.44	3.53	28.20	1.03	0.26
ถ่านเปลือกมะละกอ	52.47	4.23	36.55	4.95	1.79

ตาราง ก.5 ข้อมูลดิบสำหรับการหาค่าความร้อนของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังตากแห้ง

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	ΔT (°C)	ลวดเริ่มต้น (cm)	ลวดเหลือ (cm)	e3 (cal)	w (cal/°C)	HHV (cal/g)	Average HHV	SD
เปลือก ไม้ยูคาลิปตัส	0.34	30.827	30.311	0.516	10	3.5	14.95	2,414.26	3,620.02	3,718.96	108.51
	0.34	30.784	30.256	0.528	10	3	16.1	2,414.26	3,701.85		
	0.36	30.993	30.414	0.579	10	2.5	17.25	2,414.26	3,835.02		
เปลือก สับปะรด	0.40	31.362	30.848	0.514	10	2.5	17.25	2,414.26	3,059.20	3,054.56	99.78
	0.42	31.421	30.866	0.555	10	3	16.1	2,414.26	3,151.94		
	0.45	31.426	30.869	0.557	10	3	16.1	2,414.26	2,952.54		
เปลือก มะละกอ	0.30	31.232	30.855	0.377	10	2	18.4	2,414.26	2,972.59	2,865.52	112.86
	0.31	31.335	30.959	0.376	10	3	16.1	2,414.26	2,876.33		
	0.31	31.441	31.082	0.359	10	3.5	14.95	2,414.26	2,747.64		

ตาราง ก.6 ข้อมูลดิบสำหรับการหาค่าความร้อนของถ่านเปลือกไม้และเปลือกผลไม้หลังตากแห้ง

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	ΔT (°C)	ลวดเริ่มต้น (cm)	ลวดเหลือ (cm)	e3 (cal)	w (cal/°C)	HHV (cal/g)	Average HHV	SD
เปลือก ไม้ยูคาลิปตัส	0.66	31.819	30.026	1.793	10	2.1	18.17	2,414.26	6,531.21	6,401.82	125.05
	0.43	32.191	31.066	1.125	10	3.5	14.95	2,414.26	6,281.61		
	0.57	30.960	29.445	1.515	10	4	13.8	2,414.26	6,392.64		
เปลือก สับปะรด	0.50	31.273	30.155	1.118	10	1.5	19.55	2,414.26	5,359.19	5,374.02	109.07
	0.49	31.537	30.462	1.075	10	5	11.5	2,414.26	5,273.12		
	0.60	31.913	30.542	1.371	10	3	16.1	2,414.26	5,489.75		
เปลือก มะละกอ	0.32	31.496	30.822	0.674	10	1.5	19.55	2,414.26	5,023.94	5,043.48	118.84
	0.22	29.214	28.759	0.455	10	4.5	12.65	2,414.26	4,935.63		
	0.32	31.429	30.736	0.693	10	2	18.4	2,414.26	5,170.88		

ตาราง ก.7 ข้อมูลดิบสำหรับการหาค่าความร้อนของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ด

ความเข้มข้น*	อัตราส่วน**	น้ำหนัก (g)	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	ΔT (°C)	ลวดเริ่มต้น (cm)	ลวดเหลือ (cm)	e3 (Cal)	w (Cal/°C)	HHV (cal/g)	Average HHV (cal/g)	SD
5%	1 : 1	0.53	31.895	30.545	1.35	10	2	18.4	2,414.26	6,114.81	6,116.13	126.45
		0.49	31.855	30.633	1.22	10	3.5	14.95	2,414.26	5,990.35		
		0.51	31.782	30.456	1.33	10	2.5	17.25	2,414.26	6,243.24		
	2 : 1	0.58	31.992	30.515	1.48	10	1.5	19.55	2,414.26	6,114.32	6,134.85	103.15
		0.61	32.209	30.624	1.59	10	3	16.1	2,414.26	6,246.72		
		0.57	31.912	30.478	1.43	10	2.5	17.25	2,414.26	6,043.50		
	3 : 1	0.42	30.872	29.791	1.08	10	2.5	17.25	2,414.26	6,172.77	6,287.27	101.82
		0.43	31.222	30.088	1.13	10	1.5	19.55	2,414.26	6,321.44		
		0.49	30.882	29.582	1.30	10	2	18.4	2,414.26	6,367.62		
10%	1 : 1	0.58	31.811	30.345	1.47	10	2.5	17.25	2,414.26	6,072.50	5,920.64	146.22
		0.63	32.015	30.466	1.55	10	2.5	17.25	2,414.26	5,908.63		
		0.66	32.045	30.458	1.59	10	3	16.1	2,414.26	5,780.80		
	2 : 1	0.58	31.997	30.545	1.45	10	2.5	17.25	2,414.26	6,014.23	5,906.48	128.11
		0.63	31.993	30.482	1.51	10	3	16.1	2,414.26	5,764.83		
		0.56	31.995	30.609	1.39	10	1.5	19.55	2,414.26	5,940.38		
	3 : 1	0.47	31.791	30.551	1.24	10	3	16.1	2,414.26	6,335.27	6,300.24	120.91
		0.43	31.628	30.481	1.15	10	2.5	17.25	2,414.26	6,399.77		
		0.48	31.559	30.326	1.23	10	2.5	17.25	2,414.26	6,165.69		
20%	1 : 1	0.54	31.903	30.565	1.34	10	1.5	19.55	2,414.26	5,945.79	5,883.01	106.43
		0.58	32.102	30.712	1.39	10	3.5	14.95	2,414.26	5,760.12		
		0.63	32.046	30.488	1.56	10	2.5	17.25	2,414.26	5,943.11		
	2 : 1	0.55	32.095	30.655	1.44	10	2	18.4	2,414.26	6,287.51	6,030.28	222.91
		0.57	32.088	30.687	1.40	10	4	13.8	2,414.26	5,909.78		
		0.53	31.912	30.612	1.30	10	3.5	14.95	2,414.26	5,893.55		
	3 : 1	0.63	32.221	30.566	1.66	10	1.5	19.55	2,414.26	6,311.18	6,220.91	104.28
		0.68	32.412	30.645	1.77	10	1.5	19.55	2,414.26	6,244.77		
		0.64	32.112	30.486	1.63	10	2.5	17.25	2,414.26	6,106.77		

หมายเหตุ

* ความเข้มข้นของตัวประสาน (แป้งมัน)

** อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน (แป้งมันผสมน้ำ)



ตาราง ก.8 ข้อมูลการทดสอบค่าความหนาแน่นของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ดโดยใช้สาร
n-heptane

ความ เข้มข้น*	อัตรา ส่วน**	น้ำหนัก ถ่าน ก่อนจุ่ม (M ₁ , g)	น้ำหนัก ถ่าน หลังจุ่ม (M ₂ , g)	น้ำหนัก ถ่าน หลังจุ่ม- ก่อนจุ่ม (g)	ρ n-Heptane (g/cm ³)	ปริมาตร n-Heptane ที่เพิ่มขึ้น (v ₁ , ml)	ปริมาตร n-Heptane ที่ถ่านดูดซับ (v ₂ , ml)	v ₁ +v ₂ (ml)	ρ ถ่าน (kg/m ³)	Average ρ ถ่าน (kg/m ³)	SD
5%	1 : 1	1.278	1.644	0.366	0.684	1.15	0.535	1.685	758.42	756.68	9.44
		1.283	1.672	0.389	0.684	1.15	0.569	1.719	746.49		
		1.324	1.721	0.397	0.684	1.15	0.580	1.730	765.14		
	2 : 1	1.334	1.812	0.478	0.684	1.15	0.699	1.849	721.54	734.54	11.30
		1.365	1.840	0.475	0.684	1.15	0.694	1.844	740.06		
		1.361	1.829	0.468	0.684	1.15	0.684	1.834	742.01		
	3 : 1	1.309	1.785	0.476	0.684	1.10	0.696	1.796	728.88	720.31	13.28
		1.295	1.799	0.504	0.684	1.10	0.737	1.837	705.01		
		1.311	1.792	0.481	0.684	1.10	0.703	1.803	727.03		
10%	1 : 1	1.335	1.679	0.344	0.684	1.20	0.503	1.703	783.95	783.63	10.79
		1.333	1.658	0.325	0.684	1.25	0.475	1.725	772.69		
		1.334	1.662	0.328	0.684	1.20	0.480	1.680	794.27		
	2 : 1	1.340	1.728	0.388	0.684	1.15	0.567	1.717	780.32	773.67	16.09
		1.328	1.744	0.416	0.684	1.15	0.608	1.758	755.32		
		1.359	1.756	0.397	0.684	1.15	0.580	1.730	785.36		
	3 : 1	1.316	1.734	0.418	0.684	1.20	0.611	1.811	726.63	726.49	10.70
		1.310	1.739	0.429	0.684	1.15	0.627	1.777	737.12		
		1.295	1.746	0.451	0.684	1.15	0.659	1.809	715.72		
20%	1 : 1	1.350	1.478	0.128	0.684	1.35	0.187	1.537	878.26	874.39	17.46
		1.346	1.499	0.153	0.684	1.35	0.224	1.574	855.32		
		1.357	1.477	0.120	0.684	1.35	0.175	1.525	889.58		
	2 : 1	1.353	1.620	0.267	0.684	1.20	0.390	1.590	850.76	839.35	13.42
		1.361	1.635	0.274	0.684	1.25	0.401	1.651	824.56		
		1.322	1.540	0.218	0.684	1.25	0.319	1.569	842.73		
	3 : 1	1.351	1.665	0.314	0.684	1.20	0.459	1.659	814.31	828.33	14.30
		1.360	1.663	0.303	0.684	1.20	0.443	1.643	827.76		
		1.359	1.641	0.282	0.684	1.20	0.412	1.612	842.91		

หมายเหตุ

* ความเข้มข้นของตัวประสาน (แป้งมัน)

** อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน (แป้งมันผสมน้ำ)

น้ำหนักถ่านก่อนจุ่ม คือ น้ำหนักถ่านในอากาศปกติ

น้ำหนักถ่านหลังจุ่ม คือ น้ำหนักถ่านหลังจุ่มแล้วซับด้วยกระดาษชำระ (ตรวจสอบว่าถ่านดูดซับ n-heptane)



ตาราง ก.9 ร้อยละการกระจายตัวของวัสดุหลัก

ชนิดของผงถ่าน	เวลาในการเขย่า (นาทิจ)	ขนาดของผงถ่าน (μm)					
		<212	212-299	300-424	425-499	500-599	>600
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	5	36.32	7.62	6.84	7.12	22.26	19.13
	10	38.44	8.41	5.12	8.04	21.03	18.44
	15	40.14	9.16	6.38	9.14	19.27	15.19
	30	40.83	9.76	6.19	9.55	18.52	14.63
เปลือกสับปะรด	5	37.42	6.45	6.18	9.24	21.23	18.91
	10	40.11	7.72	8.39	6.21	20.13	17.11
	15	41.48	8.18	8.85	6.23	20.32	14.39
	30	41.93	9.22	9.15	8.32	19.11	12.43
เปลือกมะละกอ	5	38.92	7.48	6.42	7.17	22.13	17.38
	10	41.66	8.74	8.35	6.22	21.69	12.84
	15	42.84	9.32	8.93	7.32	20.42	10.69
	30	43.72	9.61	9.12	8.12	18.84	10.25



ตาราง ก.10 ข้อมูลค่า pH ของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนเซชันของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	น้ำส้มควันไม้ดิบ			น้ำส้มควันไม้กลั่น		
	pH	Average	SD	pH	Average	SD
เปลือก ไม้ยูคาลิปตัส	3.01	3.08	0.04	2.2	2.22	0.03
	3.14			2.2		
	3.10			2.3		
	3.06			2.2		
	3.07			2.2		
เปลือก สับปะรด	3.25	3.28	0.02	2.5	2.48	0.02
	3.28			2.5		
	3.26			2.5		
	3.30			2.5		
	3.29			2.4		
เปลือก มะละกอ	3.82	3.84	0.03	2.6	2.54	0.02
	3.84			2.5		
	3.86			2.5		
	3.84			2.5		
	3.85			2.6		



ตาราง ก.11 ข้อมูลค่าความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนเซชันของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	ปริมาตร Pycnometer (ml)	น้ำส้มควันไม้ดิบ					น้ำส้มควันไม้กลั่น				
		น้ำหนัก Pycnometer + น้ำส้มควัน ไม้ (g)	น้ำหนัก น้ำส้ม ควันไม้ (g)	ความ หนาแน่น (g/ml)	Average density (g/ml)	SD	น้ำหนัก Pycnometer + น้ำส้มควัน ไม้ (g)	น้ำหนักน้ำส้ม ควันไม้ (g)	ความ หนาแน่น (g/ml)	Average density (g/ml)	SD
เปลือก ไม้ยูคาลิปตัส	25.451	50.483	26.323	1.034	1.035	0.002894	50.016	25.926	1.019	1.020	0.001
	25.451	50.641	26.481	1.040			50.042	25.952	1.020		
	25.451	50.462	26.302	1.033			50.067	25.977	1.021		
	25.451	50.478	26.318	1.034			50.101	26.011	1.022		
	25.451	50.488	26.328	1.034			50.086	25.996	1.021		
เปลือก สับปะรด	25.451	50.221	26.061	1.024	1.025	0.001274	49.855	25.765	1.012	1.012	0.001
	25.451	50.213	26.053	1.024			49.832	25.742	1.011		
	25.451	50.288	26.128	1.027			49.853	25.763	1.012		
	25.451	50.269	26.109	1.026			49.854	25.764	1.012		
	25.451	50.264	26.104	1.026			49.888	25.798	1.014		
เปลือก มะละกอ	25.451	50.187	26.027	1.023	1.023	0.001776	49.951	25.861	1.016	1.015	0.001
	25.451	50.279	26.119	1.026			49.913	25.823	1.015		
	25.451	50.174	26.014	1.022			49.936	25.846	1.016		
	25.451	50.173	26.013	1.022			49.935	25.845	1.015		
	25.451	50.181	26.021	1.022			49.924	25.834	1.015		

ตาราง ก.12 สมบัติเชิงกลของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ด ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 5%
อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 1:1

Sample no	Max force (N)	Max stress (N/mm ²)	Energy to maximum (J)	Break force (N)	Energy to break (J)
1	323.56	4.17	1.88	320.44	1.89
2	302.11	3.66	0.46	300.67	0.4
3	398.76	5.43	0.91	394.66	0.89
4	408.44	7.76	1.02	405.44	1.01
5	412.62	5.42	1.14	410.02	1.09
6	372.11	6.07	1.83	371.69	1.81
7	378.65	5.11	1.46	375.42	1.33
8	411.45	6.53	2.5	410.11	2.47
9	419.52	5.84	1.77	418.53	1.66
10	395.94	6.13	1.74	393.76	1.68
11	399.54	7.45	1.17	399.02	1.1
12	412.76	5.43	1.64	410.76	1.53
13	414.75	8.24	1.62	410.63	1.52
14	402.77	6.38	1.21	402.11	1.2
15	412.44	9.8	1.34	410.13	1.33
16	409.68	6.15	1.78	408.76	1.68
17	414.38	8.72	2.18	413.62	2.07
18	376.42	6.72	2.02	374.93	2.02
19	383.47	5.09	1.55	380.64	1.54
20	408.65	4.11	2.46	407.97	2.35
21	411.93	6.32	2.84	410.63	2.8
22	409.02	6.75	1.16	407.42	1.14
23	436.75	4.76	3.93	434.33	3.81
24	472.11	4.35	3.3	469.32	3.2
25	342.77	7.44	1.9	339.47	1.75
26	379.21	3.26	1.59	376.02	1.57
27	385.33	5.44	1.1	382.06	1.1
Average	396.12	6.02	1.76	394.02	1.70
SD	33.66	1.56	0.75	33.77	0.74



ตาราง ก.13 สมบัติเชิงกลของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ด ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 10%
อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 1:1

Sample no	Max force (N)	Max stress (N/mm ²)	Energy to maximum (J)	Break force (N)	Energy to break (J)
1	432.74	5.44	1.86	430.62	1.8
2	371.95	4.32	1.44	370.23	1.42
3	458.39	5.39	2.65	454.12	2.61
4	446.22	5.79	2.76	442.51	2.7
5	439.87	5.62	1	435.32	0.95
6	439.66	5.48	1.73	436.21	1.68
7	484.63	6.84	2.6	481.23	2.44
8	472.77	6.72	2.17	470.08	2.13
9	387.84	4.87	1.65	384.82	1.58
10	467.74	6.41	2.14	460.96	2.08
11	435.42	5.83	2.2	451.36	2.16
12	443.48	5.56	2.04	437.85	1.98
13	469.72	6.14	3.43	462.72	3.32
14	416.59	5.12	2.79	410.92	2.71
15	321.84	3.8	1.15	314.44	1.09
16	466.82	6.3	3.96	460.48	3.76
17	374.92	3.94	1.56	369.75	1.49
18	477.36	6.77	2.26	470.62	2.03
19	436.99	5.73	2.42	432.43	2.29
20	443.66	5.12	2.31	438.72	2.27
21	438.68	5.32	2.9	431.94	2.86
22	467.92	6.32	2.58	462.37	2.44
23	359.52	5.14	1.16	355.59	1.08
24	401.72	5.09	1.54	380.44	1.48
25	429.72	5.17	2.21	422.82	2.11
Average	431.45	5.53	2.18	426.74	2.10
SD	41.04	0.80	0.71	41.85	0.69



ตาราง ก.14 สมบัติเชิงกลของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ด ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 20% อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 1:1

Sample no	Max force (N)	Max stress (N/mm ²)	Energy to maximum (J)	Break force (N)	Energy to break (J)
1	489.53	5.74	2.93	485.76	2.76
2	385.72	4.12	1.65	381.05	1.43
3	467.12	6.79	2.38	461.49	2.31
4	383.56	3.62	1.44	381.16	1.24
5	465.94	6.5	2.1	461.75	1.95
6	492.77	6.82	3.31	490.66	3.16
7	436.59	4.42	2.36	434.78	2.3
8	466.14	4.85	2.66	462.93	2.41
9	384.63	3.56	1.75	380.65	1.44
10	483.75	4.66	2.97	480.11	2.72
11	495.59	6.8	3.42	491.82	3.06
12	464.11	4.36	2.74	462.5	2.56
13	381.48	3.14	1.86	380.76	1.57
14	482.28	5.72	2.92	480.07	2.73
15	436.18	4.11	2.35	434.18	2.19
16	379.1	3.45	1.67	378.05	1.55
17	485.71	5.12	2.75	483.9	2.57
18	490.3	5.19	2.92	487.95	2.71
19	493.31	6.31	3.5	497.44	3.11
20	459.58	5.34	2.36	457.79	2.12
21	467.72	4.13	2.54	465.87	2.33
22	474.75	5.11	2.79	472.63	2.51
23	432.71	4.76	2.66	430.08	2.36
24	490.76	4.36	3.42	488.53	3.12
Average	453.72	4.96	2.56	451.33	2.34
SD	41.17	1.11	0.59	41.36	0.57



ตาราง ก.15 สมบัติเชิงกลของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ด ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 5%
อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 2:1

Sample no	Max force (N)	Max stress (N/mm ²)	Energy to maximum (J)	Break force (N)	Energy to break (J)
1	412.76	6.3	1.57	410.45	1.54
2	411.63	6.34	1.63	409.77	1.61
3	370.77	5.6	1.67	368.42	1.64
4	382.74	5.72	1.52	379.44	1.5
5	275.11	2.15	0.87	274.12	0.84
6	411.69	6.03	1.25	410.63	1.15
7	363.45	5.14	1.5	361.25	1.46
8	352.07	5.12	1.81	351.49	1.7
9	445.12	6.7	2.38	444.66	2.31
10	371.14	5.32	1.32	370.14	1.22
11	413.79	5.75	1.67	412.65	1.63
12	415.5	5.9	1.12	414.37	1.08
13	411.7	6.11	1.86	410.03	1.73
14	401.63	5.98	1.38	400.98	1.31
15	364.77	5.76	1.24	362.12	1.15
16	345.12	5.34	1.03	344.77	1
17	432.15	6.14	2.26	431.09	2.15
18	372.44	5.71	1.31	371.52	1.32
19	388.3	5.88	1.46	385.34	1.32
20	342.11	5.45	1.77	341.19	1.7
21	421.31	6.14	1.67	420.2	1.59
22	414.72	6.03	1.63	411.09	1.42
23	265.44	2.07	0.9	264.11	0.82
24	455.72	6.72	1.64	451.16	1.54
25	363.06	5.72	1.67	360.11	1.66
Average	384.17	5.56	1.53	382.44	1.46
SD	45.99	1.12	0.36	45.75	0.35



ตาราง ก.16 สมบัติเชิงกลของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ด ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 10%
อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 2:1

Sample no	Max force (N)	Max stress (N/mm ²)	Energy to maximum (J)	Break force (N)	Energy to break (J)
1	436.45	5.63	2.04	436.25	2
2	453.32	5.44	2.13	453.18	2.08
3	472.76	6.2	2.48	472.5	2.34
4	372.44	4.76	1.45	372.03	1.32
5	413.45	5.47	1.18	413.21	1.08
6	363.52	4.92	1.24	363.45	1.12
7	375.69	4.81	1.33	375.47	1.21
8	381.65	4.28	1.34	381.23	1.24
9	459.26	5.79	2.36	458.66	2.27
10	422.66	5.2	1.7	421.72	1.4
11	419.87	5.46	1.57	419.62	1.5
12	433.17	5.71	2.14	432.77	1.95
13	352.44	4.2	1.54	331.951	1.38
14	374.12	4.35	1.72	373.62	1.7
15	451.32	5.82	2.23	450.8	2.11
16	482.11	6.41	3.44	481.76	3.23
17	444.62	5.24	2.32	444.39	2.12
18	429.49	5.35	2.11	429	2.01
19	461.33	5.71	2.93	461.03	2.71
20	415.02	5.11	1.72	414.96	1.5
21	367.22	4.92	1.33	367.04	1.3
22	416.9	5.33	1.74	416.72	1.7
23	410.6	5.13	1.6	410.4	1.42
24	372.83	4.3	1.26	372.65	1.11
25	415.68	5.31	1.6	415.23	1.52
26	382.74	4.95	1.44	382.64	1.43
27	443.62	5.63	1.9	443.31	1.85
Average	415.71	5.24	1.85	414.65	1.73
SD	36.86	0.56	0.54	38.33	0.52



ตาราง ก.17 สมบัติเชิงกลของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ด ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 20% อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและ วัสดุประสาน 2:1

Sample no	Max force (N)	Max stress (N/mm ²)	Energy to maximum (J)	Break force (N)	Energy to break (J)
1	448.45	5.74	2.31	446.77	2.3
2	475.86	6.35	2.79	473.12	2.7
3	463.63	6.23	2.6	460.12	2.54
4	391.26	4.95	1.81	389.88	1.76
5	371.66	4.4	1.72	370.15	1.67
6	472.77	5.84	2.49	470.68	2.35
7	456.78	5.66	2.13	456.02	2.02
8	463.95	5.72	2.41	462.17	2.34
9	471.25	5.9	2.95	470.11	2.85
10	448.35	5.41	2.37	448.03	2.27
11	433.68	5.3	2.34	432.99	2.23
12	436.73	5.14	2.11	435.86	2.02
13	418.62	4.98	2.13	418.03	2.11
14	496.11	6.65	3.13	495.76	3.01
15	485.72	6.44	2.88	484.62	2.77
16	453.65	6.3	2.86	452.11	2.76
17	476.31	6.61	2.63	475.12	2.7
18	373.53	4.76	1.88	370.03	1.72
19	445.75	5.34	2.42	444.16	2.31
20	435.95	5.23	2.16	434.15	2.03
21	484.39	6.13	3.02	483.56	2.98
22	441.66	5.44	2.33	440.67	2.31
23	486.15	6.28	2.71	485.13	2.7
24	398.42	4.92	2.12	398.05	2.08
Average	447.11	5.66	2.43	445.72	2.36
SD	35.06	0.63	0.39	35.19	0.39



ตาราง ก.18 สมบัติเชิงกลของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ด ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 5%
อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 3:1

Sample no	Max force (N)	Max stress (N/mm ²)	Energy to maximum (J)	Break force (N)	Energy to break (J)
1	365.77	6.73	1.25	363.11	1.2
2	354.23	6.44	1.35	353.12	1.31
3	313.77	5.42	1.23	311.75	1.15
4	374.38	6.82	1.18	373.65	1.15
5	365.7	5.94	1.46	364.02	1.4
6	308.65	5.23	1.14	306.15	1.11
7	321.74	5.45	1.26	320.99	1.21
8	277.92	5.23	0.87	276.84	0.82
9	270.97	4.9	0.72	268.92	0.66
10	255.43	4.74	0.51	253.44	0.45
11	244.77	4.83	0.77	243.6	0.61
12	298.72	4.85	0.95	296.21	0.82
13	336.25	5.94	1.49	333.3	1.45
14	343.76	5.86	1.32	341.56	1.28
15	357.18	6.52	1.38	355.88	1.34
16	339.71	5.91	1.33	338.14	1.29
17	349.76	5.61	1.21	347.73	1.17
18	363.48	6.92	1.15	361.17	1.08
19	288.74	5.11	0.65	286.56	0.55
20	325.96	5.32	1.14	324.19	1.08
21	303.7	5.14	0.92	302.26	0.82
22	334.15	5.46	1.14	332.14	1.13
Average	322.49	5.65	1.11	320.67	1.05
SD	37.58	0.68	0.27	37.57	0.29



ตาราง ก.19 สมบัติเชิงกลของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ด ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 10%
อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 3:1

Sample no	Max force (N)	Max stress (N/mm ²)	Energy to maximum (J)	Break force (N)	Energy to break (J)
1	377.45	5.11	1.83	376.22	1.8
2	363.77	5.09	1.48	361.75	1.45
3	371.6	5.1	1.58	370.11	1.53
4	366.11	5.03	1.56	365.42	1.51
5	382.69	5.24	1.74	381.18	1.64
6	371.63	5.1	1.62	369.28	1.57
7	362.46	4.53	1.56	361.45	1.53
8	319.52	4.23	1.14	319.45	1.11
9	382.75	5.12	1.56	382.62	1.5
10	364.72	4.6	1.22	363.44	1.18
11	379.53	4.72	1.35	378.53	1.32
12	385.7	5.14	1.48	384.17	1.45
13	382.74	5.11	1.52	381.48	1.43
14	299.48	3.85	0.76	299.03	0.7
15	351.6	5	1.44	350.11	1.39
16	379.74	4.83	1.32	378.6	1.28
17	398.72	5.05	1.56	397.95	1.52
18	425.62	5.38	1.72	424.11	1.68
19	388.44	4.82	1.6	387.95	1.53
20	373.85	4.88	1.8	372.11	1.72
21	311.48	4.13	0.84	310.44	0.75
22	394.63	5.16	1.55	393.82	1.52
23	352.11	4.52	1.08	351.66	0.93
24	324.79	4.36	1.02	324.25	0.87
25	395.46	5.2	1.44	395.03	1.4
26	385.62	5.11	1.53	384.25	1.48
27	363.8	4.88	0.83	363.64	0.79
Average	368.74	4.86	1.41	367.71	1.35
SD	28.10	0.38	0.29	27.94	0.31



ตาราง ก.20 สมบัติเชิงกลของถ่านเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ด ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 20%
อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 3:1

Sample no	Max force (N)	Max stress (N/mm ²)	Energy to maximum (J)	Break force (N)	Energy to break (J)
1	408.44	5.72	2.18	407.63	2.1
2	421.53	5.86	2.11	420.11	2.01
3	435.26	5.92	2.42	434.12	2.35
4	442.77	7.18	2.75	441.6	2.63
5	295.53	4.63	1.45	294.68	1.4
6	393.74	4.7	1.85	392.11	1.81
7	433.66	5.97	2.32	432.58	2.23
8	374.16	4.9	1.84	372.61	1.75
9	380.55	4.95	1.72	377.95	1.63
10	433.25	5.93	2.21	431.65	2.16
11	464.75	7.35	2.53	462.77	2.32
12	439.65	5.72	2.16	437.2	2.1
13	379.74	4.82	1.65	377.16	1.57
14	412.83	5.33	1.93	410.64	1.86
15	376.55	4.93	1.32	374.42	1.21
16	288.94	4.55	1.16	287.59	1.06
17	429.74	5.68	2.1	427.44	1.99
18	431.03	5.9	2.02	430.12	1.87
19	388.4	4.92	1.72	387.11	1.63
20	402.63	5.03	1.92	400.09	1.88
21	421.8	5.84	1.86	418.88	1.81
22	413.48	5.71	1.42	412	1.35
23	415.42	5.63	1.53	413.11	1.42
Average	403.65	5.53	1.92	401.89	1.83
SD	42.45	0.73	0.40	42.36	0.39



ตาราง ก.21 ข้อมูลการผลิตความร้อนและการผลิตไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล ซึ่งใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงโดยใช้ปริมาณน้ำในการระบายความร้อน 20 ลิตร และอัตราการไหลของน้ำ 7.8 ลิตรต่อนาที (สภาวะที่ใช้ในการอัดเม็ดถ่านคือ ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 10% อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 2:1)

เวลา (min)	อุณหภูมิของน้ำ ที่ใช้ระบายความร้อน (Cooling water, °C)	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ต้ม (Water, °C)	การผลิตความร้อน				การผลิตไฟฟ้า					
			อุณหภูมิของผิวเตาเผา (°C)			อุณหภูมิของเปลวไฟ (°C)	อุณหภูมิของ เทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน (T _h , °C)	อุณหภูมิของ เทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น (T _c , °C)	ΔT (TE) (°C)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
			ด้านบน	ตรงกลาง	ด้านล่าง							
0	22.4	22.3	23.2	23.8	23.5	23.1	23.1	22.5	0.6	0.00	0.00	0.00
5	23.1	55.7	24.1	23.5	23.6	86.5	25.2	25.0	0.2			
10	23.7	78.9	28.7	23.9	23.3	154.6	26.9	26.1	0.8	0.10	0.01	0.00
15	23.9	91.4	32.5	24.2	23.9	223.7	36.7	30.1	6.6			
20	24.1	99.8	34.2	24.8	24.1	265.9	48.6	32.5	16.1	0.26	0.03	0.01
25	25.9	100.1	38.6	26.9	24.0	342.7	64.9	33.4	31.5			
30	26.9	100.3	40.1	28.4	24.2	442.8	68.1	33.6	34.5	0.59	0.13	0.08
35	28.7	100.8	43.4	29.9	25.9	495.8	76.9	37.5	39.4			
40	29.7	99.7	44.1	32.3	26.7	523.7	79.3	42.9	36.4	0.86	0.15	0.13
45	31.2	99.5	50.2	37.4	27.5	515.4	85.9	46.6	39.3			
50	32.4	98.9	47.6	40.1	33.6	535.0	91.7	48.2	43.5	0.92	0.17	0.16
55	35.5	99.7	47.3	43.3	39.2	548.1	98.6	50.2	48.4			
60	35.3	100.1	48.5	46.9	43.7	598.2	101.3	50.8	50.5	1.18	0.23	0.27
65	37.2	99.9	49.7	49.8	49.5	604.4	103.7	51.9	51.8			
70	38.6	100.9	47.4	51.2	55.3	608.3	106.9	51.7	55.2	1.21	0.25	0.30
75	39.1	99.5	47.3	50.3	57.9	608.1	110.2	51.1	59.1			
80	41.4	99.1	45.5	48.1	62.7	603.7	105.3	52.3	53.0	1.19	0.25	0.30
85	43.3	98.2	45.9	49.5	67.8	588.9	100.1	52.4	47.7			
90	43.5	98.7	40.6	47.6	69.5	562.4	97.4	51.4	46.0	1.12	0.18	0.20
95	43.9	94.5	39.5	47.9	73.3	462.3	93.2	50.7	42.5			
100	44.1	91.3	38.7	48.2	73.5	372.6	88.6	50.3	38.3	0.95	0.17	0.16

ตาราง ก.22 ข้อมูลการผลิตความร้อนและการผลิตไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล ซึ่งใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกสับปะรดเป็นเชื้อเพลิงโดยใช้ปริมาณน้ำในการระบายความร้อน 20 ลิตร และอัตราการไหลของน้ำ 7.8 ลิตรต่อนาที (สภาวะที่ใช้ในการอัดเม็ดถ่านคือ ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 10% อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 2:1)

เวลา (min)	อุณหภูมิของน้ำ ที่ใช้ระบายความร้อน (Cooling water, °C)	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ต้ม (Water, °C)	การผลิตความร้อน				การผลิตไฟฟ้า					
			อุณหภูมิของผิวเตาเผา (°C)			อุณหภูมิของเปลวไฟ (°C)	อุณหภูมิของ เทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน (T _h , °C)	อุณหภูมิของ เทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น (T _c , °C)	ΔT (TE) (°C)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
			ด้านบน	ตรงกลาง	ด้านล่าง							
0	24.5	24.9	24.0	24.3	24.1	25.6	24.6	24.3	0.3	0.00	0.00	0.00
5	25.1	42.4	24.9	24.0	24.2	78.2	26.3	25.5	0.8			
10	25.2	59.3	29.5	24.4	23.9	103.8	27.3	26.4	0.9	0.08	0.00	0.00
15	25.7	89.5	33.3	24.7	24.5	184.6	36.9	31.7	5.2			
20	25.5	97.6	35.0	25.3	24.7	244.8	47.4	33.9	13.5	0.24	0.04	0.01
25	26.3	100.1	39.4	27.4	24.6	325.9	63.5	34.7	28.8			
30	27.6	99.3	40.9	28.9	25.3	432.7	67.3	35.6	31.7	0.64	0.11	0.07
35	29.8	99.5	44.2	30.4	27.5	468.4	74.4	38.4	36.0			
40	30.5	100.7	44.9	32.8	29.4	482.3	78.2	41.6	36.6	0.76	0.14	0.11
45	32.0	99.7	47.5	37.9	32.6	498.6	82.6	45.9	36.7			
50	32.8	99.3	48.4	40.6	34.2	522.4	89.5	48.6	40.9	0.98	0.17	0.17
55	35.3	98.9	48.1	43.8	39.8	518.7	94.5	49.2	45.3			
60	36.1	99.6	49.3	47.4	44.3	524.9	98.7	51.4	47.3	1.12	0.20	0.22
65	37.5	100.6	50.5	50.3	50.1	513.6	101.4	52.3	49.1			
70	39.7	100.2	48.2	51.7	55.9	511.7	100.8	51.4	49.4	1.18	0.21	0.25
75	41.0	99.8	48.1	50.8	58.5	503.4	98.2	51.1	47.1			
80	41.8	98.3	46.3	48.6	63.3	496.2	97.5	52.3	45.2	1.19	0.21	0.25
85	43.2	96.4	46.7	50.0	68.4	488.3	94.3	52.5	41.8			
90	46.6	94.5	41.4	50.6	70.1	356.9	93.1	52.0	41.1	1.13	0.17	0.19
95	47.5	94.8	40.3	50.1	73.9	315.7	94.7	51.8	42.9			
100	47.4	92.7	39.5	48.7	74.1	255.4	89.4	51.5	37.9	0.84	0.16	0.13

ตาราง ก.23 ข้อมูลการผลิตความร้อนและการผลิตไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล ซึ่งใช้ถ่านอัดเม็ดจากเปลือกมะละกอเป็นเชื้อเพลิงโดยใช้ปริมาณน้ำในการระบายความร้อน 20 ลิตร และอัตราการไหลของน้ำ 7.8 ลิตรต่อนาที (สภาวะที่ใช้ในการอัดเม็ดถ่านคือ ที่ความเข้มข้นของตัวประสาน 10% อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน 2:1)

เวลา (min)	อุณหภูมิของน้ำ ที่ใช้ระบายความร้อน (Cooling water, °C)	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ต้ม (Water, °C)	การผลิตความร้อน				การผลิตไฟฟ้า					
			อุณหภูมิของผิวเตาเผา (°C)			อุณหภูมิของเปลวไฟ (°C)	อุณหภูมิของ เทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน (T _h , °C)	อุณหภูมิของ เทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น (T _c , °C)	ΔT (TE) (°C)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
			ด้านบน	ตรงกลาง	ด้านล่าง							
0	24.7	24.8	24.5	24.8	24.9	24.9	24.9	24.9	0.0	0.00	0.00	0.00
5	25.3	45.3	24.9	24.5	24.6	77.4	27.0	25.2	1.8			
10	25.7	75.6	28.9	24.9	24.8	98.2	28.7	26.7	2.0	0.02	0.00	0.00
15	25.9	87.2	32.4	25.1	24.6	168.3	38.5	29.3	9.2			
20	26.2	98.5	38.6	25.8	24.5	224.1	50.4	32.7	17.7	0.19	0.01	0.00
25	26.6	99.2	39.7	26.9	24.9	286.2	66.7	33.9	32.8			
30	27.0	99.5	41.6	28.4	24.8	352.4	69.9	35.9	34.0	0.55	0.11	0.06
35	32.7	99.8	42.7	29.9	25.3	393.8	78.7	39.8	38.9			
40	32.5	100.5	42.6	36.3	26.8	433.5	81.1	45.2	35.9	0.86	0.13	0.11
45	32.3	99.9	48.6	37.4	27.9	456.7	87.7	48.9	38.8			
50	32.9	100.0	43.2	42.5	32.6	462.3	93.5	50.5	43.0	0.95	0.19	0.18
55	35.7	99.5	42.0	44.1	38.6	460.9	97.8	52.5	45.3			
60	36.7	99.7	39.6	45.9	43.9	455.7	99.7	53.1	46.6	0.98	0.20	0.20
65	37.5	97.2	38.4	45.2	55.3	434.2	98.4	54.2	44.2			
70	39.2	94.2	38.2	46.1	63.9	388.6	95.3	54.0	41.3	0.83	0.18	0.15
75	41.7	92.7	37.6	45.2	66.9	312.4	94.2	53.0	41.2			
80	42.5	89.5	38.0	44.9	62.7	256.7	93.6	52.8	40.8	0.74	0.16	0.12



ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ



ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณหาปริมาณความชื้น (Moisture content, MC)

ข้อมูลจากตาราง ก.1 (หน้า 69)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก ถ้วย (g)	น้ำหนัก ถ้วย+เปลือก ก่อนอบแห้ง (g)	น้ำหนัก ถ้วย+เปลือก หลังอบแห้ง (g)
เปลือกยูคาลิปตัส	29.433	30.590	30.508

จากสมการ (3.1) หน้า 25

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } a &= \text{น้ำหนักเปลือกไม้ยูคาลิปตัสก่อนอบแห้ง (กรัม)} \\ b &= \text{น้ำหนักเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังอบแห้ง (กรัม)} \end{aligned}$$

ตัวอย่างจากตาราง ก.1

$$\text{น้ำหนักเปลือกไม้ยูคาลิปตัสก่อนอบแห้ง} = 30.590 - 29.433 = 1.157 \text{ g}$$

$$\text{น้ำหนักเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังอบแห้ง} = 30.508 - 29.433 = 1.075 \text{ g}$$

แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } \%MC &= \frac{1.157 - 1.075}{1.157} \times 100 \\ &= 7.08 \% \end{aligned}$$

โดยค่าที่ได้นี้จะได้เป็นมาตรฐานเปียก (%wb)



การคำนวณหาปริมาณค่าสารระเหย (Volatile matter, VM)

ข้อมูลจากตาราง ก.1 (หน้า 69)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก ถ้วย (g)	น้ำหนัก ถ้วย+เปลือก ก่อนเผา (g)	น้ำหนัก ถ้วย+เปลือก หลังเผา 970°C (g)	สารระเหย (VM, %)	Average VM	SD
เปลือกยูคาลิปตัส	29.433	30.4465	29.7907	60.1265	59.5994	0.5566

จากสมการ (3.2) หน้า 26

$$\text{ร้อยละปริมาณสารระเหย} = \frac{b - c}{b} \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่ b = น้ำหนักเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังอบแห้ง (หาปริมาณความชื้นแล้ว) (กรัม)
 c = น้ำหนักเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังเผาที่ 970 องศาเซลเซียส (กรัม)

ตัวอย่างจากตาราง ก.1

น้ำหนักเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังอบแห้ง = $30.4465 - 29.433 = 1.0135 \text{ g}$
 (ดังที่ได้อธิบายในหมายเหตุ ตาราง ก.1)

น้ำหนักเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังเผา = $29.7907 - 29.433 = 0.3577 \text{ g}$

แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น \%VM} &= \frac{1.0135 - 0.3577}{1.0135} \times 100 \\ &= 64.70 \% \end{aligned}$$

จากการคำนวณจะได้ร้อยละปริมาณสารระเหยมาตรฐานแห้ง คือ ร้อยละ 64.70



ซึ่งค่าที่คำนวณได้จากสมการจะได้ ค่ามาตรฐานแห้ง ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอ ค่ามาตรฐานเปียก จึงต้องทำการคำนวณอีกครั้ง โดยใช้สมการดังนี้

$$\%VM_{wb} = \%VM_{db} \times \frac{(100 - \%MC_{wb})}{100}$$

โดยที่ $\%VM_{wb}$ = ร้อยละปริมาณสารระเหยมาตรฐานเปียก

$\%VM_{db}$ = ร้อยละปริมาณสารระเหยมาตรฐานแห้ง

$\%MC_{wb}$ = ร้อยละปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก

จากตัวอย่างด้านบน

$$\%VM_{db} = 64.70$$

$$\%MC_{wb} = 7.08$$

แทนค่า

$$\begin{aligned}\%VM_{wb} &= 64.70 \times \frac{(100 - 7.08)}{100} \\ &= 60.119\end{aligned}$$

ดังนั้นร้อยละปริมาณสารระเหยมาตรฐานเปียก คือ ร้อยละ 60.119



การคำนวณหาปริมาณขี้เถ้า (Ash,)

ข้อมูลจากตาราง ก.1 (หน้า 69)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก ถ้วย (g)	น้ำหนัก ถ้วย+เปลือก ก่อนเผา (g)	น้ำหนัก ถ้วย+เปลือก หลังเผา 575°C (g)	เถ้า (Ash, %)	Average Ash	SD
เปลือกยูคาลิปตัส	29.433	30.4465	29.5037	6.4729	6.8568	0.3398

จากสมการ 3.3 หน้า 26

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{d}{b} \times 100 \quad (3.3)$$

โดยที่ b = น้ำหนักเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังอบแห้ง (หาปริมาณความชื้นแล้ว) (กรัม)

d = น้ำหนักเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังเผา 575 องศาเซลเซียส (กรัม)

ตัวอย่างจากตาราง ก.1

$$\text{น้ำหนักไม้ยูคาลิปตัสหลังอบแห้ง} = 30.4465 - 29.433 = 1.0135 \text{ g}$$

$$\text{น้ำหนักไม้ยูคาลิปตัสหลังเผา} = 29.5037 - 29.433 = 0.0707 \text{ g}$$

แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } \% \text{Ash} &= \frac{0.0707}{1.0135} \times 100 \\ &= 6.97 \% \end{aligned}$$

จากการคำนวณจะได้ร้อยละปริมาณเถ้ามาตรฐานแห้ง คือ ร้อยละ 6.97



ซึ่งค่าที่คำนวณได้จากสมการจะได้ค่ามาตรฐานแห้ง ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอค่ามาตรฐานเปียก จึงต้องทำการคำนวณอีกครั้ง โดยใช้สมการดังนี้

$$\%Ash_{wb} = \%Ash_{db} \times \frac{(100 - \%MC_{wb})}{100}$$

โดยที่ $\%Ash_{wb}$ = ร้อยละปริมาณเถ้ามาตรฐานเปียก

$\%Ash_{db}$ = ร้อยละปริมาณเถ้ามาตรฐานแห้ง

$\%MC_{wb}$ = ร้อยละปริมาณเถ้ามาตรฐานเปียก

จากตัวอย่างด้านบน

$$\%Ash_{wb} = 6.97$$

$$\%MC_{wb} = 7.08$$

แทนค่า

$$\begin{aligned}\%Ash_{wb} &= 6.96 \times \frac{(100 - 7.08)}{100} \\ &= 6.47 \%\end{aligned}$$

ดังนั้นร้อยละปริมาณเถ้ามาตรฐานเปียก คือ ร้อยละ 6.47



การคำนวณหาปริมาณคาร์บอนเสถียร (Fixed carbon)

ร้อยละปริมาณคาร์บอนคงตัวคำนวณจากความต่าง ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้มาตรฐานเปียก (%wb) โดยใช้สมการ 3.4 ดังนี้

$$FC = 100 - MC - VM - Ash \quad (3.4)$$

โดย FC = ร้อยละปริมาณคาร์บอนคงตัวมาตรฐานเปียก
 MC = ร้อยละปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก
 VM = ร้อยละปริมาณสารระเหยมาตรฐานเปียก
 Ash = ร้อยละปริมาณเถ้ามาตรฐานเปียก

ตัวอย่างจากด้านบน

MC = 7.08
 VM = 60.12
 Ash = 6.47

แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned} FC &= 100 - MC - VM - Ash \\ &= 100 - 7.08 - 60.12 - 6.47 \\ &= 26.33 \end{aligned}$$

ดังนั้นร้อยละปริมาณคาร์บอนคงตัวมาตรฐานเปียก คือ ร้อยละ 26.33



การคำนวณหาค่าความร้อนของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้

ค่าความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.9 (หน้า 31)

$$H_g = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (3.9)$$

- เมื่อ H_g = ค่าความร้อน (Gross of combustion) (แคลอรีต่อกรัม)
 t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการทดลอง (อุณหภูมิสูงสุด – อุณหภูมิก่อนที่จะทำการจุดระเบิด) (องศาเซลเซียส)
 W = ค่าพลังงานของลูกบอมบ์ที่ได้จากการทำ Standardization (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)
 e_1 = ค่าความร้อนจากกรดไนตริก โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0
 e_2 = ค่าความร้อนจากกรดซัลฟิวริก โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0
 e_3 = ค่าความร้อนจากลวด โดยนำลวดเริ่มต้นยาว (10 เซนติเมตร) หักลบจากลวดที่เหลือมาคูณ 2.3 (แคลอรี)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	ΔT (°C)	ลวดเริ่มต้น (cm)	ลวดเหลือ (cm)	e_3	w
เปลือก ไม้ยูคาลิปตัส	0.34	30.827	30.311	0.516	10	3.5	14.95	2,414.26

ตัวอย่างจากตาราง ก. 5 (หน้า 72)

$$\begin{aligned} t &= 0.516 \\ W &= 2414.26 \text{ cal/g} \\ e_1 &= 0 \\ e_2 &= 0 \\ e_3 &= 14.95 \text{ cal} \\ m &= 0.34 \text{ g} \end{aligned}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$\begin{aligned} H_g &= \frac{(0.516 \times 2414.26) - 0 - 0 - 14.95}{0.34} \\ &= 3,620.02 \text{ Cal/g} \end{aligned}$$



การหาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดเม็ด

ตัวอย่างจากตาราง ก.8 (หน้า 75)

ความ เข้มข้น*	อัตรา ส่วน**	น้ำหนักถ่าน ก่อนจุ่ม (M ₁ , g)	น้ำหนักถ่าน หลังจุ่ม (M ₂ , g)	น้ำหนักถ่าน หลังจุ่ม-ก่อนจุ่ม (g)	ρ n-Heptane (g/cm ³)	ปริมาตร n-Heptane ที่เพิ่มขึ้น (v ₁ , ml)	ปริมาตร n-Heptane ที่ถ่านดูดซับ (v ₂ , ml)	v ₁ +v ₂ (ml)
5%	1 : 1	1.278	1.644	0.366	0.684	1.15	0.535	1.685

หมายเหตุ * ความเข้มข้นของตัวประสาน (แป้งมัน)

** อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงถ่านและวัสดุประสาน (แป้งมันผสมน้ำ)

$$\rho_{\text{ถ่านอัดเม็ด}} = \frac{m_1}{V_{\text{total}}}$$

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2$$

หา V₂ จาก

$$V_2 = \frac{m_2 - m_1}{\rho_{\text{n-Heptane}}}$$

$$m_1 = \text{น้ำหนักของถ่านก่อนจุ่ม} = 1.278 \text{ g}$$

$$m_2 = \text{น้ำหนักของถ่านหลังจุ่ม n-Heptane} = 1.644 \text{ g}$$

$$V_1 = \text{ปริมาตรของ n-Heptane ที่เพิ่มขึ้น} = 1.15 \text{ ml}$$

$$\rho_{\text{n-Heptane}} = 0.684 \text{ kg/m}^3$$

แทนค่า หา V₂ ในสมการจะได้

$$V_2 = \frac{1.644 - 1.278}{0.684} = 0.535 \text{ ml}$$

$$V_{\text{total}} = 1.15 + 0.535 = 1.685 \text{ ml}$$

$$\text{จะได้ } \rho_{\text{ถ่านอัดเม็ด}} = \frac{1.278}{1.685} = 0.75842 \text{ g/cm}^3$$

$$= 758.42 \text{ kg/m}^3$$



ภาคผนวก ค
ตัวอย่างภาพประกอบการทำวิทยานิพนธ์





ภาพประกอบ ค.1 เครื่องบดย่อยวัสดุ



ภาพประกอบ ค.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Pioneer™ (PA413)



ภาพประกอบ ค.3 เตาเผาความร้อนสูง (Muffle furnace) ยี่ห้อ Carbolite รุ่น CFW 1200





ภาพประกอบ ค.4 ถ้วยคูชิเบล



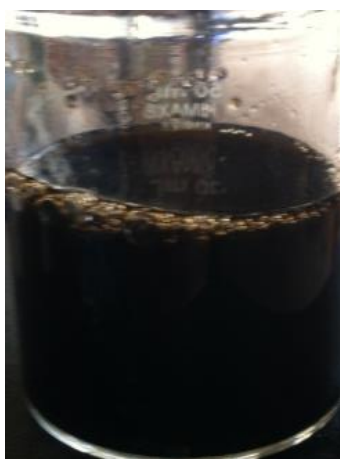
ภาพประกอบ ค.5 บอมป์แคลอรีมิเตอร์ 1341 Calorimeter พร้อมมอเตอร์สายพาน ลูกบอมป์ และ ถังน้ำ



ภาพประกอบ ค.6 การติดตั้งชุดควบแน่นน้ำส้มควันไม้เข้ากับเตาเผา



ภาพประกอบ ค.7 ชุดควบแน่นน้ำส้มคว้นไม้



ภาพประกอบ ค.8 น้ำส้มคว้นไม้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการกรอง



ภาพประกอบ ค.9 น้ำส้มคว้นไม้จากเปลือกสับปะรดที่ผ่านการกรอง



ภาพประกอบ ค.10 น้ำส้มควันไม้จากเปลือกมะละกอที่ผ่านการกรอง



ภาพประกอบ ค.11 ชุดกรองแบบปั๊มสุญญากาศ



ภาพประกอบ ค.12 เครื่องกลั่นสารระเหยแบบหมุน Rotary evaporator รุ่น BUCHI R215100-240



ภาพประกอบ ค.13 น้ำส้มควันไม้กลั่นจากเปลือกไม้และเปลือกผลไม้



ภาพประกอบ ค.14 เครื่องร่อนแยกขนาด (Vibratory sieve shaker) ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS 200





ภาพประกอบ ค.15 เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง



ภาพประกอบ ค.16 ถ่านไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ดโดยไม่ใช้ตัวประสาน



ภาพประกอบ ค.17 ถ่านไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ดโดยใช้อัตราส่วนตัวประสานมากเกินไป (มากกว่า30%)



ภาพประกอบ ค.18 ถ่านไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ดที่มีลักษณะไม่ดี ผิวถ่านแตกร้าว



ภาพประกอบ ค.19 ถ่านไม้ยูคาลิปตัสอัดเม็ดที่มีลักษณะดีผิวถ่านเรียบเนียน



ภาพประกอบ ค.20 การหาความหนาแน่นของถ่านอัดเม็ดด้วยการจุ่ม n-heptane



ภาพประกอบ ค.21 การทดสอบสมบัติเชิงกลของถ่านอัดเม็ด



ภาพประกอบ ค.22 เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นร่วมกับเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายปริญญา นวบุตร
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2531
จังหวัด และประเทศที่เกิด	จังหวัดตราด ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2554	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ. 2558	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน	-
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	บ้านเลขที่ 252 หมู่ 23 ตำบลหัวขวาง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม 44140

