รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวา

Development of charcoal briquette from mixed corn cob and water hyacinth

ผศ.ดร. เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์

เสนอ

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์. 2562. **การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวา**. สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง โดยมีอัตราส่วนของซังข้าวโพดและผักตบชวาทั้งหมด 4 อัตราส่วนคือ 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 ตามลำดับ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน และได้ทำการทดสอบสมบัติทางด้านถ่านอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่าถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งเหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่าถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่ง ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานคืออัตราส่วน 70:30 โดยมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 2.11% ปริมาณเถ้าเท่ากับ 11.60% ปริมาณสารระเหยเท่ากับ 2.59% ปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 83.70% ค่าดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 1.00 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.51 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 4959.20 แคลอรีต่อกรัม และประสิทธิภาพการใช้งานเท่ากับ 7.50% การผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวามีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Khamanitjaree Saripan.2018. Development of charcoal briquette from mixed corn cob and water hyacinth. Environmental Science Program, Research and Development, Thepsatri Rajabhat University.

Abstract

The objective of this research was to study the production of charcoal briquette from corn cob and water hyacinth which carbonization before and after briquetted. The ratio of corn cob and water hyacinth of 100:0, 90:10, 80:20 and 70:30, respectively were investigated. The cassava starch was used as a binder. The properties of charcoal briquettes were analyzed according to ASTM standards. The results showed that charcoal briquettes which carbonization before briquetted more appropriated to use than charcoal briquettes which carbonization after briquetted. The optimum ratio of corn cob and water hyacinth for charcoal briquette was 70:30. The properties of charcoal briquette were moisture of 2.11%, ash of 11.60%, volatile matter content of 2.59%, fixed carbon of 83.70%, the shatter index value of 1.00, charcoal bulk density of 0.51 g/cm^3, heat value of 4959.20 cal/g and utilization efficiency of 7.50%. The breakeven point of corncob and water hyacinth briquette production was 1.00 year.

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
ชื่อโครงการ	1
ประเภทงานวิจัย	2
สาขาวิชาที่ทำการวิจัย	2
คำสำคัญ (keywords) ของการวิจัย	2
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ถ่านอัดแท่ง	5
วัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านอัดแท่ง	5
การอัดแท่งถ่าน	14
ตัวประสาน	14
ขั้นตอนการอัดแท่ง	15
คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง	15

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
วัสดุ อุปกรณ์	19
วิธีการดำเนินการวิจัย	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่ง	22
การศึกษาต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	31
บรรณานุกรม	32
ภาคผนวก	35

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

บทที่ 1

บทนำ

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) ...การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวา....

(ภาษาอังกฤษ) ..Development of charcoal briquette from mixed corn cob and water hyacinth.....

ส่วน ก : ลักษณะโครงการวิจัย

◉ โครงการวิจัยใหม่

○ โครงการวิจัยต่อเนื่อง ระยะเวลา.....ปี.....เดือน ปีนี้เป็นปีที่.....

1. ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี

ยุทธศาสตร์ ยุทธศาสตร์ที่ 5 : ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เป้าประสงค์ 5.3 พัฒนาและใช้พลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในทุกภาคเศรษฐกิจ

2. ยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

ยุทธศาสตร์ ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 8 : การพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัย และนวัตกรรม

เป้าประสงค์ -ไม่ต้องระบุ-

3. ยุทธศาสตร์วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ 20 ปี

ยุทธศาสตร์ 3. การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อการสร้างองค์ความรู้พื้นฐานของประเทศ

ประเด็นยุทธศาสตร์ 1.5 พลังงาน

แผนงาน -

4. ยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติรายประเด็น

ยุทธศาสตร์การวิจัยรายประเด็นด้านพลังงานทดแทน

5. ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์ของมหาวิทยาลัย

ยุทธศาสตร์ ยุทธศาสตร์ที่ 1 : การพัฒนาท้องถิ่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เป้าประสงค์ ยุทธศาสตร์ที่ 1 เป้าประสงค์ที่ 3: สร้างความเติบโตที่สมดุลและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ส่วน ข : องค์ประกอบในการจัดทำโครงการวิจัย

1. **ผู้รับผิดชอบ**

ผศ.ดร. เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์
ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการวิจัย
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
โทรศัพท์(ที่ติดต่อได้) 083-0953057
อีเมลล์ fangkum.a@gmail.com

2. **ประเภทการวิจัย**

วิจัยประยุกต์

3. **สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย**

สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา

4. **คำสำคัญ (keywords) ของโครงการวิจัย**

การคาร์บอไนเซชัน/ ถ่านอัดแท่ง/ ซังข้าวโพด/ ผักตบชวา
carbonization/ charcoal briquette/ corn cob/ water hyacinth

5. **ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย**

พลังงานถือเป็นปัจจัยสำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และปัจจัยการผลิตที่สำคัญทั้งในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม รัฐบาลจึงต้องจัดหาแหล่งพลังงานให้ได้ปริมาณที่เพียงพอในราคาที่เหมาะสมและมีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการ แต่เนื่องจากทรัพยากรพลังงานภายในประเทศมีค่อนข้างจำกัดจึงจำเป็นต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานภายในประเทศที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553) ดังนั้น เพื่อให้มั่นใจว่าในอนาคตประเทศไทยจะมีพลังงานใช้อย่างพอเพียงรัฐบาลและผู้เกี่ยวข้องจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการพัฒนาแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดและหาแหล่งพลังงานทดแทนจากวัตถุดิบที่มีภายในประเทศ (บริษัทไทยซูมิจำกัด, 2551) ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตรมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่หลากหลายและมีจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้ให้อยู่ในรูปของพลังงานชีวมวลได้ เช่น ซังข้าวโพดที่เกษตรกรมักมีการกำจัดโดยการเผาทำลาย ซึ่งเป็นการสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม แต่ซังข้าวโพดมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีและให้ค่าพลังงานความร้อนในระดับที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550) นอกจากนี้ ยังพบว่ามีชีวมวลที่เป็นวัชพืชซึ่งเจริญเติบโตได้รวดเร็วและก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ คือ ผักตบชวา
(พงสถิต, 2552)

ดังนั้น เพื่อเป็นการนำชีวมวลดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานทดแทน งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำซังข้าวโพดและผักตบชวามาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างซัง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ข้าวโพดและผักตบชวาและกระบวนการคาร์บอไนต์เซชันที่เหมาะสมในการทำถ่านอัดแท่ง และระยะเวลาในการคืนทุน ซึ่งจะทำให้ได้แหล่งพลังงานต้นทุนต่ำจากวัตถุดิบหาได้ง่ายในท้องถิ่น ช่วยลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้ และทราบข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการลงทุนผลิตอีกด้วย

6. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

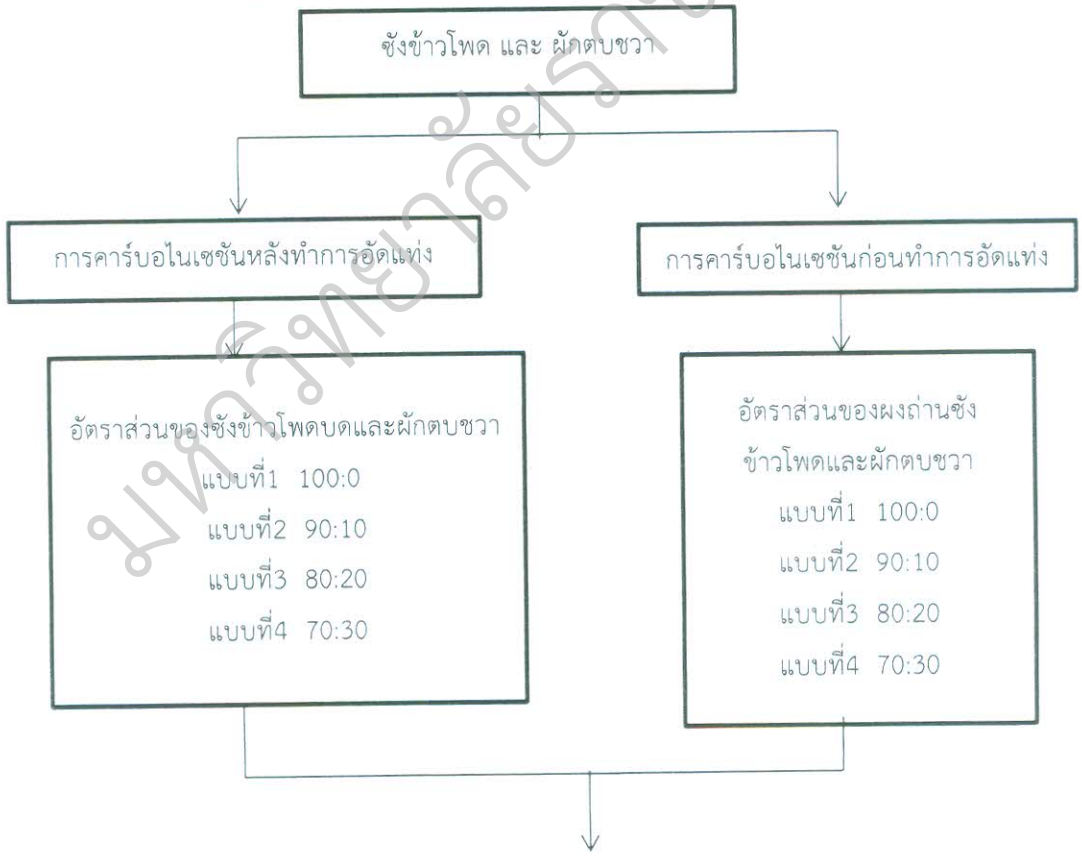
6.1 เพื่อพัฒนาถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนหรือหลังทำการอัดแท่ง

6.2 เพื่อหาต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดและผักตบชวาด้วยเครื่องอัดแท่งแบบใช้แรงคน

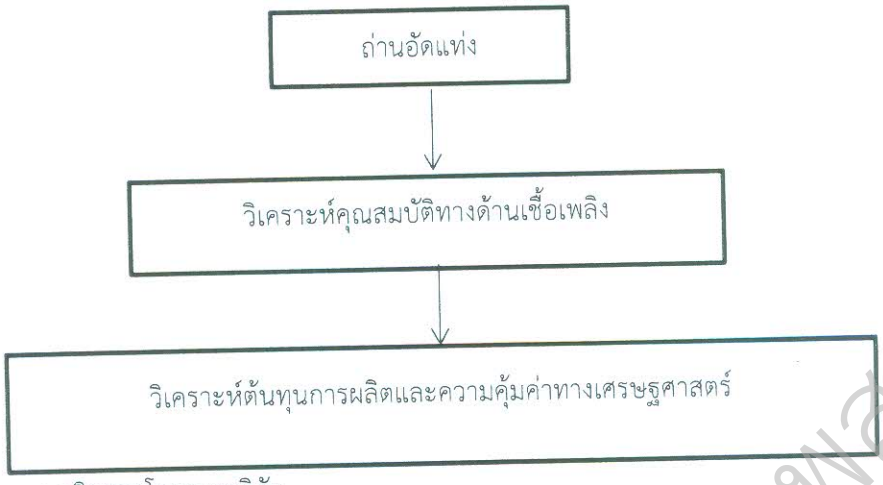
7. ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ 2 ประเภท คือ ชังข้าวโพดและผักตบชวา โดยมีอัตราส่วนดังนี้ 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 และมีตัวเชื่อมประสานคือ แป้งมันสำปะหลัง ทำการคาร์บอไนเซชันก่อนหรือหลังทำการอัดแท่ง แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ความชื้น ปริมาณสารระเหย เถ้า คาร์บอนคงตัว ค่าพลังงานความร้อน และประสิทธิภาพการใช้งาน ทำการศึกษาหาต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของถ่านอัดแท่งจากชังข้าวและผักตบชวาด้วยเครื่องอัดแท่งแบบใช้แรงคน

8. ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

9.1 ได้พลังงานเชื้อเพลิงทดแทนเพื่อใช้ในครัวเรือน
9.2 เพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุเหลือใช้
9.3 ลดปัญหามลภาวะทางน้ำ
9.4 ช่วยลดปัญหาในการตัดไม้ทำลายป่า
9.5 ลดปริมาณการเผาซังข้าวโพดในไร่ลงได้และช่วยลดภาวะโลกร้อน
9.6 ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยในรูปแบบต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดของมหาวิทยาลัยได้

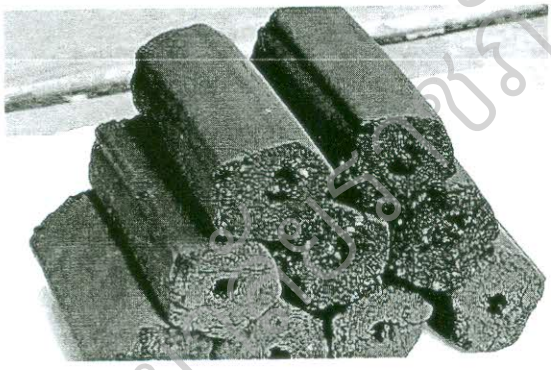
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านอัดแท่ง

ถ่านอัดแท่ง (charcoal briquettes) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น เศษไม้ ท่อนไม้ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ซังข้าวโพดมาเผาจนเป็นถ่าน นำมาบดเป็นผงหรือเม็ดแล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการหรือนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย มาอัดเป็นรูปทรงที่ต้องการแล้วนำมาเผาเป็นถ่าน (รุ่งโรจน์, 2553) สามารถนำไปใช้ประโยชน์แทนฟืนและถ่านได้ นอกจากนี้ถ่านอัดแท่งยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ช่วยลดเศษวัสดุเหลือใช้ที่การเกษตรและภาคอุตสาหกรรมต่างๆได้โดยการแปรสภาพให้อยู่ในรูปเดียวกันเพื่อง่ายต่อการใช้งาน การจัดเก็บขนส่ง อย่างไรก็ตามถ่านอัดแท่งก็ยังมีข้อเสียอยู่บ้าง เช่น ถ่านอัดแท่งที่มีความชื้นมากจะมีควันมากเมื่ออัดแท่งมาก็อาจจะแตกร่วนได้ มีความชื้นเมื่อตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องทำให้เกิดเชื้อรา ติดไฟยาก (ไกรพัฒน์, 2551)การอัดแท่งใช้แรงอัดสูงเป็นต้นเหตุหนึ่งทำให้กระบอกอัดและสกรูสามารถสึกกร่อนได้ง่าย (กรมพัฒนาและการส่งเสริมพลังงาน, 2535) ตัวอย่างถ่านอัดแท่งแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ถ่านอัดแท่ง
ที่มา: แว่นธรรมดา (2554)

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำซังข้าวโพดผสมผักตบชวามาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง ซึ่งลักษณะของซังข้าวโพดและผักตบชวา มีดังนี้

2.2.1 ข้าวโพด (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542)

เป็นธัญพืชชนิดหนึ่ง ชื่อสามัญ:Corn, Indian corn, Maize ชื่อวิทยาศาสตร์: *Zea mays* Linn. จัดอยู่ในวงศ์หญ้า (POACEAE หรือ GRAMINEAE)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

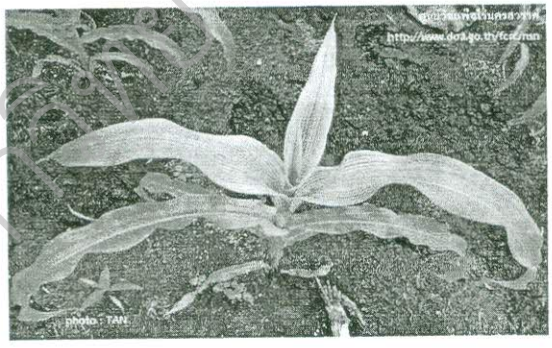
ชื่อท้องถิ่น: ข้าวแช่(แม่ฮ่องสอน), ข้าวสาลี(ภาคเหนือ), โพด(ภาคใต้), บือเคส่ะ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน), เข้าโพด(ไทย), เป๊าก๋อ(ม้ง), แผละลี(ลั้วะ), ข้าวแช่(เงี้ยว, ฉาน, แม่ฮ่องสอน), เง็กบี้ เง็กจกซู่ (จีน), ยวีหมี่ ยวีสู่สู่ (จีนกลาง) เป็นต้น

1) ลักษณะของข้าวโพด

- ต้นข้าวโพด จัดเป็นไม้ล้มลุกจำพวกหญ้า มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ในปัจจุบันมีการปลูกทั่วไปในเขตร้อนและเขตอบอุ่นทั่วโลก ลำต้นนั้นมีลักษณะอวบกลมและตั้งตรงแข็งแรง มีความสูงของต้นประมาณ 1-4 เมตร ผิวต้นเรียบ เนื้อภายในคล้ายกับฟองน้ำ ขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเพาะเมล็ด

รูปที่ 3 ต้นข้าวโพด
ที่มา: Medthai (2557)

-ใบข้าวโพด ใบเป็นใบเดี่ยวออกเรียงสลับ ใบมีลักษณะเรียวยาวเป็นรูปขอบขนานปลายใบแหลม โคนใบมน ส่วนขอบใบมนและมีขนอ่อนๆสีขาว เส้นกลางใบมองเห็นได้ชัดเจน ใบมีขนาดกว้างประมาณ 2-10 เซนติเมตรและยาวประมาณ 30-100 เซนติเมตร ส่วนก้านใบเป็นกาบหุ้มลำต้น

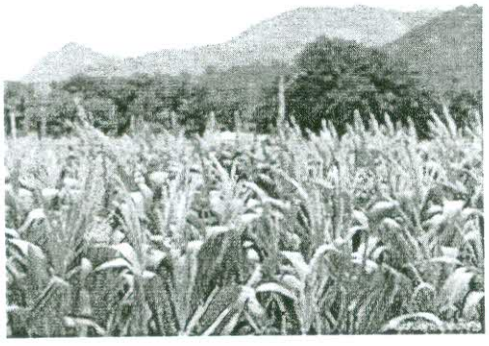


รูปที่ 4 ใบข้าวโพด
ที่มา: ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ (2560)

- ดอกข้าวโพด ออกดอกเป็นช่อ ดอกเพศผู้และดอกเพศเมียจะอยู่ในต้นเดียวกัน โดยดอกเพศผู้จะออกดอกเป็นช่อและออกที่ปลายยอด ส่วนดอกเพศเมียจะอยู่ต่ำถัดลงมา ออกระหว่างกาบของใบและ

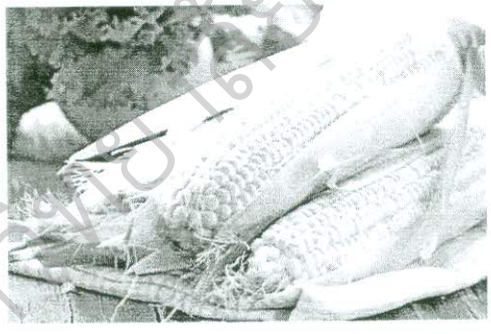
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ลำต้น เรียงเป็น 2 แถว มีประมาณ 8-18 ดอก ดอกย่อยจะมีก้านเกสรเพศผู้จำนวน 9-10 ก้าน และมีอับเรณูสีเหลืองส้ม ยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร ส่วนยอดเกสรเพศเมียเป็นเส้นบาง ๆ ยื่นออกมาเป็นจำนวนมาก คล้ายกับเส้นไหมจำนวนมาก (บ้างก็เรียกว่าหนวดข้าวโพด) โดยจะอยู่ระหว่างกาบใบและลำต้น และดอกเพศเมียเมื่อเจริญเติบโตแล้วก็จะออกเป็นฝักหรือเรียกว่าผล



รูปที่ 5 ดอกข้าวโพด
ที่มา: เดลินิวส์ (2560)

- ผลข้าวโพด ออกผลเป็นฝัก ผลถูกหุ้มไปด้วยกาบบางๆ หลายชั้น ฝักอ่อนเป็นสีเขียว เมื่อแก่แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีนวล เรียกว่าเปลือกข้าวโพด ฝักมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ในหนึ่งฝักจะมีเมล็ดอยู่รอบฝักเรียงเป็นระเบียบรอบแกนกลางของฝัก เมล็ดจะเกาะอยู่เป็นแถวประมาณ 8 แถว แต่ละแถวจะมีประมาณ 30 เมล็ดและมีสีต่าง ๆ กัน เช่น สีนวล เหลือง ขาว หรือสีม่วงดำ

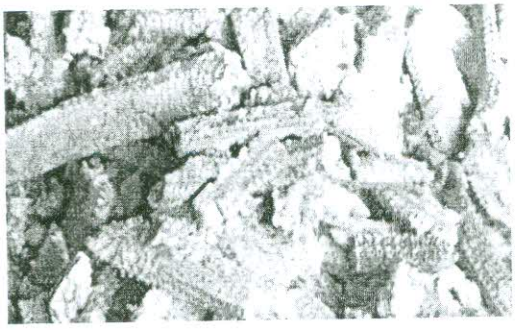


รูปที่ 6 ผลข้าวโพด
ที่มา: ไทยพีค (2558)

2.2.2 ซังข้าวโพด

1) ซังข้าวโพด (Corn cob) หมายถึง ฝักข้าวโพดที่กะเทาะเปลือกและเมล็ดออกแล้ว ดังรูปที่ 7 ส่วนใหญ่เป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี



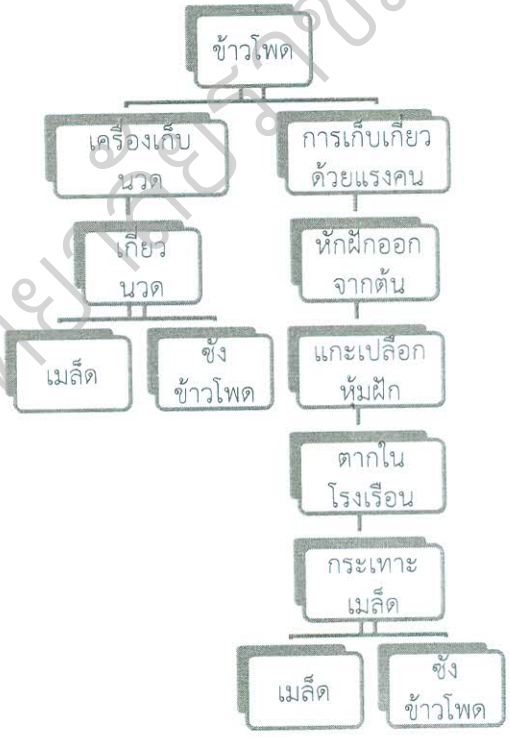
รูปที่ 7 ซังข้าวโพด
ที่มา: ฉัตรชัย (2560)

2) ปริมาณซังข้าวโพด

จากข้อมูลกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานปี2556 มีปริมาณซังข้าวโพดที่เกิดขึ้นทั้งหมดประมาณ 1.2 ล้านตัน ปริมาณซังข้าวโพดที่นำไปใช้ประโยชน์ประมาณ 1.09 ล้านตัน และยังเหลือปริมาณซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ประมาณ 0.10 ล้านตัน

3) การเก็บเกี่ยว (สุทัศน์, 2540)

การเก็บเกี่ยวข้าวโพดในประเทศไทยมี 2 วิธี คือการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร และด้วยวิธีใช้แรงคนโดยมีขั้นตอนการเก็บเกี่ยว ดังนี้



รูปที่ 8 ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

- การเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร (วีรวัฒน์, 2560)

การเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร นิยมจ้างรถเก็บเกี่ยวแบบเครื่องเกี่ยวนวดชนิดขับเคลื่อนด้วยตนเอง (Combine Harvester) มาเก็บเกี่ยวข้าวโพด แสดงดังรูปที่9 เครื่องชนิดนี้มีหัวเกี่ยวที่สามารถเก็บเกี่ยวข้าวโพดได้ครั้งละ 4 แถว ฝักข้าวโพดที่ถูกปลิดจะถูกลำเลียงด้วยชุดลำเลียงไปสู่ระบบนวดเพื่อนวดเมล็ดให้ออกจากฝักจากนั้นเมล็ดจะถูกลำเลียงไปเก็บไว้ในถังเก็บ เมื่อเต็มถังจะถูกถ่ายไปยังรถบรรทุกที่อยู่ข้างแปลง จากการทดสอบ พบว่า ชุดเก็บเกี่ยวข้าวโพดสามารถทำงานได้ดีมาก แต่เนื่องจากตัวถังมีขนาดใหญ่ (น้ำหนักประมาณ 10 ตัน) จึงไม่เหมาะกับแปลงที่มีขนาดเล็ก และในฤดูเก็บเกี่ยวดินยังมีความชื้นอยู่ ทำให้ติดหล่มทำงานไม่สะดวก อีกทั้งการขนย้ายเครื่องไปทำงานในท้องที่ต่างๆไม่คล่องตัว นอกจากนี้การที่เมล็ดยังมีความชื้นสูงถ้าหากไม่สามารถลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ทันก็จะทำให้เมล็ดเน่าเสียง่าย

ระยะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวนวด คือ เมื่อข้าวโพดมีความชื้นประมาณ 21-28 เปอร์เซ็นต์ การเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่มีความชื้นสูงกว่าจะสิ้นเปลืองพลังงานในการลดความชื้นมากแต่ถ้าเก็บเกี่ยวช้าเกินไปจะมีความเสียหายในแปลงเนื่องจากต้นล้ม

รูปที่ 9 เครื่องเกี่ยวข้าวโพด
ที่มา: ThaiTheme (2560)

- การเก็บเกี่ยวด้วยแรงคน

การเก็บเกี่ยวด้วยแรงคน โดยใช้ไม้ปลายแหลมกรีดปลอกเปลือก และหักฝักข้าวโพดโยนกองรวมกันไว้บนพื้นดินหรือในเข่ง จากนั้นจึงเทรวมใส่กระสอบแล้วขนเข้าไปกองรวมกันไว้ในยุ้งหรือบริเวณใกล้เคียงโดยไม่มีการจัดการใดๆทั้งสิ้น(คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542) การเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานคน ไม่ควรวางฝักข้าวโพดบนพื้นที่ชื้นแฉะ อย่าโยนฝักข้าวโพดเพราะทำให้เกิดบาดแผลบนผิวของเมล็ดหรือเมล็ดร้าว ทำให้เชื้อราเข้าทำลายเมล็ดได้ง่าย ขณะเก็บเกี่ยวให้แยกฝักเน่าหรือมีเชื้อราเข้าทำลายออกจากฝักดี และเผาทำลายฝักเน่าและฝักที่มีเชื้อรา(สุทัศน์, 2540)

- การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

- ระดับเกษตรกร ตากฝักข้าวโพดบนลานซีเมนต์ที่แห้งและสะอาด มีแสงแดดจัด 2-3 วัน เพื่อให้ฝักข้าวโพดมีความชื้นในเมล็ดต่ำกว่า 23 เปอร์เซ็นต์ และควรเก็บฝักข้าวโพดไว้ในยุ้งฉางที่มีหลังคาและถ่ายเทอากาศได้ดี

รูปที่ 10 การตากฝักข้าวโพด
ที่มา: sanook (2556)

- ระดับพ่อค้าท้องถิ่น กะเทาะฝักข้าวโพดที่มีความชื้นในเมล็ดต่ำกว่า 26 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเครื่องกะเทาะที่มีความเร็วรอบ 8-12 รอบต่อวินาทีหลังการกะเทาะแล้ว ต้องลดความชื้นเมล็ดข้าวโพดให้เหลือประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยการตากเมล็ดบนลานซีเมนต์ที่แห้งและสะอาด มีแสงแดดจัด 1-2 วัน

รูปที่ 11 เครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพด
ที่มา: ไทยรัฐ (2560)

- การแยกเมล็ดออกจากฝัก

ปัจจุบันการสีข้าวโพดจะใช้เครื่องจักรที่สามารถเคลื่อนที่ไปตามไร่ข้าวโพด ดังนั้นจะสามารถหาซังข้าวโพดและต้นข้าวโพดได้ตามไร่ข้าวโพดทั่วไป

4) การเก็บรักษา

การเก็บรักษาซังข้าวโพดของเกษตรกรมักกองไว้ในที่โล่งแจ้ง หากขาดการจัดการที่ดีทำให้ซังข้าวโพดเสียหาย และหากฝนตกหรือพื้นที่กองมีน้ำขังอาจทำให้เน่าเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ และส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ทั้งในด้านก่อให้เกิดน้ำเสียและส่งกลิ่นเหม็น

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ดังนั้น หากต้องการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ต่อซังข้าวโพด จำเป็นต้องมีการจัดการที่เหมาะสมโดยจัดเก็บในบริเวณที่มีหลังคา มีรั้วกั้นบริเวณพื้นที่จัดเก็บ อากาศถ่ายเทได้สะดวก บริเวณพื้นที่จัดเก็บต้องไม่เปียกชื้น ไม่มีน้ำขัง โดยปรับระดับพื้นให้สามารถระบายน้ำได้ดี มีถนนทางเข้า-ออกสะดวกต่อการขนส่ง

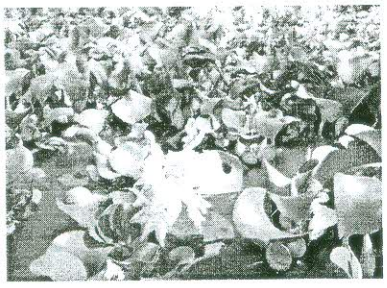
5) ประโยชน์จากซังข้าวโพด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

- ทำเป็นก้อนเชื้อเพลิงได้
- ใช้บดเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์หรือใช้ในการเพาะเห็ดได้
- ส่วนของซังที่เป็น wood ring ซึ่งเป็นชั้นที่มีสีขาวละเอียดมีความยืดหยุ่นมากใช้ประโยชน์ในงานที่ค่อนข้างละเอียด ได้แก่ ทำฉนวนไฟฟ้า ตลับลูกปืนในเครื่องยนต์ ส่วนผสมของจาระบี สารฆ่าแมลงชนิดผง เป็นต้น
- ชั้นที่อยู่ในสุดของซังข้าวโพด หรือ แก่น สามารถนำมาใช้เพื่อทำความสะอาดขนสัตว์ เช่น ขนมิงค์ ใช้ทำสบู่ ผงเครื่องสำอาง หรือส่วนผสมของไวตามิน เป็นต้น
- ผลิตก๊าซชีวมวลและความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถนำมาลดความชื้นเมล็ดพืชได้

2.2.3 ผักตบชวา

2.2.3.1 ชื่อวิทยาศาสตร์:*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms ลักษณะทั่วไป ผักตบชวา จัดเป็นพรรณไม้น้ำที่มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในทวีปอเมริกาใต้ ได้มีการนำเข้ามาปลูกครั้งแรกไว้ที่วังสระปทุมในกรุงเทพมหานครเมื่อปี พ.ศ. 2444 แต่จากการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วและเกิดน้ำท่วมจึงทำให้ผักตบชวาหลุดรอดออกมา และเกิดการแพร่กระจายไปทั่ว จนกลายเป็นวัชพืชน้ำที่รุนแรง โดยผักตบชวานั้นจัดเป็นพืชน้ำล้มลุกมีอายุหลายฤดู มีลำต้นสั้นแตกใบเป็นกอลอยไปตามน้ำ มีไหล ซึ่งเกิดตามซอกใบแล้วเจริญเป็นต้นอ่อนที่ปลายไหล ลำต้นมีลักษณะอวบน้ำ ผิวลำต้นเรียบเป็นสีเขียวอ่อนและเข้ม ลำต้นจะมีขนาดสั้นหรือยาวจะขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของแม่น้ำ ก้านใบจะพองออกตรงช่องกลาง ภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนจึงช่วยพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ ลำต้นสั้น มีความสูงได้ประมาณ 3-90 เซนติเมตร รากจะแตกออกจากลำต้นบริเวณข้อ รากมักมีสีม่วงดำ ซึ่งลำต้นลอยอยู่บนผิวน้ำบางต้นอาจจะขึ้นอยู่ตามโคลนในที่น้ำตื้น สามารถขึ้นบนบกก็ได้ มีความทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี แต่จะไม่ทนน้ำเค็ม ผักตบชวาเป็นพืชที่ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว โดยการแยกกอหรือใช้ไหล พบได้ทั่วไปตามริมน้ำ มีชื่อเรียกในแต่ละท้องถิ่นดังนี้: ผักปอด สวะ ผักโรค ผักตบชวา ผักยะวา ผักอีโยกและผักป่อง (วิทย์, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี



รูปที่ 12 ผักตบชวา
ที่มา: ลูกแก้ว (2557)

2.2.3.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ผักตบชวามีลำต้นสั้นแตกใบเป็นกอลอยไปตามน้ำ มีไหล ซึ่งเกิดตามซอกใบแล้วเจริญเป็นต้นอ่อนที่ปลายไหล ถ้าน้ำตื้นก็จะหยั่งรากลงดิน ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่หรือเกือบกลม ก้านใบกลมอวบน้ำตรงกลางพองออกภายในเป็นช่องอากาศคล้ายฟองน้ำช่วยให้ลอยน้ำได้ ดอกเกิดเป็นช่อที่ปลายยอดมีดอกย่อย 3-25 ดอก สีม่วงอ่อน มีกลีบดอก 6 กลีบ กลีบบนสุดขนาดใหญ่กว่ากลีบอื่น ๆ และมีจุดเหลืองที่กลางกลีบ ขยายพันธุ์โดยการแยกต้นอ่อนที่ปลายไหลไปปลูก

2.2.3.3 ปัญหาที่เกิดจากผักตบชวา ผักตบชวาก่อให้เกิดปัญหาแก่วงการที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำ (ศุภฤกษ์, 2554) เช่น

1) การชลประทาน จุดมุ่งหมายสำคัญของงานชลประทานในประเทศไทย คือ การพัฒนาแหล่งน้ำโดยการจัดสรรน้ำเพื่อใช้ประโยชน์หลายๆอย่าง โดยวิธีการต่างๆกัน ผักตบชวาทำให้การพัฒนาแหล่งน้ำไม่ได้ผลเต็มตามเป้าหมายเนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- ลดการไหลของน้ำลงประมาณ 40%
- ส่วนต่างๆของผักตบชวาที่จมลงใต้น้ำก่อให้เกิดอุปสรรคกับการระบายน้ำของฝาย ประตูระบาย และอื่นๆ ทำให้ทางเดินของน้ำเกิดการตื้นเขินเร็วกว่าปกติ และทำให้เกิดการน้ำท่วมในหน้าฝน
- การระเหยของน้ำในที่ซึ่งมีผักตบชวาจะสูงกว่าในที่ซึ่งไม่มีผักตบชวา ประมาณ 3-8 เท่า

2) การไฟฟ้าพลังงานน้ำ ผักตบชวาก่อให้เกิดปัญหาสำคัญในการผลิตไฟฟ้าพลังงาน ดังต่อไปนี้

- ลดปริมาณน้ำจากการที่ผักตบชวาตายทับถมกัน ทำให้อ่างเก็บน้ำตื้นเขิน
- เพิ่มอัตราการระเหยน้ำ ทำให้น้ำหมดไปโดยเปล่าประโยชน์อย่างรวดเร็ว
- แย่งเนื้อที่การกักเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำ ทำให้เก็บรักษาน้ำได้น้อยลง

3) การกสิกรรม ปัญหาที่เกิดกับการกสิกรรม คือ

- แย่งน้ำและอาหารจากพืชปลูก ซึ่งควรจะได้รับมากขึ้นจากการชลประทานหากไม่มีผักตบชวาอยู่ในแหล่งน้ำ
- แพผักตบชวาที่ไหลมาตามแหล่งน้ำเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ศัตรูพืชนานาชนิด เช่น หนูซึ่งมีปริมาณมาก เมื่อแพผักตบชวาไปติดที่ใด ศัตรูพืชก็ทำความเสียหายให้แก่พืชผลของเกษตรกร

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

- ทำให้การพัฒนาแหล่งน้ำไม่เต็มตามเป้าหมาย เป็นเหตุให้เกิดผลกระทบต่อการกสิกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อกสิกรรมปลูกพืชไปแล้ว และหวังว่าจะได้รับน้ำจากชลประทาน แต่ผักตบชวาเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ไม่ได้รับน้ำตามที่คาดไว้เป็นเหตุให้พืชผลเสียหาย

4) การประมง ปัญหาผักตบชวาที่มีต่อการประมง คือ

- ผักตบชวาที่ขึ้นหนาแน่นเป็นอุปสรรคแก่การเจริญเติบโตของปลาและการจับปลา

- ปริมาณผักตบชวาที่ลอยอยู่อย่างหนาแน่นบนผิวน้ำ จะทำให้แสงสว่างในน้ำลดลง เป็นผลทำให้พืชอาหารปลาขนาดเล็กมีปริมาณน้อยลง

- น้ำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน จึงไปลดที่อยู่อาศัยของปลา

- พื้นน้ำที่มีผักตบชวาขึ้นอยู่หนาแน่นและน้ำไม่มีการไหล จะมีปลาหรือสัตว์น้ำอาศัยอยู่น้อยกว่าปกติ

5) การสาธารณสุข ผักตบชวามีส่วนก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสาธารณสุข ดังนี้

- เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำซึ่งบางชนิดเป็นพาหะนำโรค

- เป็นที่อาศัยของลูกน้ำของยุงนำโรคเท้าช้าง ลูกน้ำของยุงชนิดนี้สามารถปากเจาะไชรากผักตบชวาเพื่อใช้เป็นที่หายใจ นากจากนั้น น้ำที่ค้างตามซอกใบก็เป็นที่อาศัยวางไข่ของยุงอื่นๆ

- เป็นที่อาศัยสัตว์ร้าย เช่น งูพิษ ซึ่งเป็นอันตรายแก่ราษฎร

6) การคมนาคมทางน้ำ ผักตบชวาเป็นอุปสรรคสำคัญที่กีดขวางการสัญจรทางน้ำบางแห่ง เช่น คลองรังสิตเขตที่ติดต่อกับแม่น้ำในและแม่น้ำนอก จังหวัดนครนายก การสัญจรทางน้ำในหน้าน้ำเป็นไปได้ยากไม่ว่าจะเป็นเรือที่มีขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ก็ตาม คลองธรรมชาติบางแห่ง เช่น คลองสามจุ่น จังหวัดอุทัยธานี มีผักตบชวาขึ้นหนาแน่นปะปนกับต้นลำเจียก ปิดกั้นการสัญจรทางน้ำ

7) การท่องเที่ยว ในการตั้งถิ่นฐานมนุษย์แต่ก่อนมักจะเลือกทำเลใกล้แหล่งน้ำเพื่อจะได้ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้เต็มที่ ในปัจจุบันผู้ที่ไม่มีโอกาสได้อาศัยอยู่ใกล้แหล่งน้ำ ก็มักจะไปท่องเที่ยวในแหล่งที่มีน้ำ สถานที่ที่มีแหล่งน้ำใหญ่ๆ เช่น บึงบอระเพ็ด ทะเลสาบสงขลา และอ่างเก็บน้ำต่างๆ เป็นต้นเป็นสถานที่ที่ประชาชนมักจะไปเที่ยวพักผ่อนหย่อนใจ ถ้าสถานที่เหล่านี้มีผักตบชวาขึ้นอยู่หนาแน่นแล้ว การที่พัฒนาให้สถานที่นั้นเป็นแหล่งท่องเที่ยวก็เป็นไปได้ยาก เพราะผักตบชวามีส่วนทำลายความสวยงามของแหล่งน้ำนั้น นากเหนือไปจากการรบกวนกิจกรรมอื่นๆในขณะพักผ่อนหย่อนใจแหล่งน้ำนั้นๆ เช่น การลงเรือท่องเที่ยว การว่ายน้ำ ตกปลา เป็น

2.2.3.4 การใช้ประโยชน์จากผักตบชวา (วิทย์, 2551)

1) การบริโภค ดอกอ่อนและก้านใบอ่อนกินเป็นผักลวกจิ้มน้ำพริกหรือทำแกงส้ม

2) ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่นหมู ใช้ทำปุ๋ยหมัก ก้านและใบอ่อนนำมารับประทานได้

3) ด้านสมุนไพร ใช้แก้พิษภายในร่างกาย และขับลม ใช้ทาหรือพอกแก้แผลอักเสบ

4) ด้านการบำบัดน้ำเสีย ใช้ผักตบชวากรองน้ำเสีย เพราะ ผักตบชวามีคุณสมบัติทำหน้าที่เป็นตัวกรอง ซึ่งเรียกว่า "เครื่องกรองน้ำธรรมชาติ" คือใช้ผักตบชวา ซึ่งเป็นวัชพืชที่มีอยู่มากมาทำหน้าที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ดูดซับความโสโครกและสารพิษจากแหล่งน้ำ เน่าเสีย และในเวลาเดียวกันต้องหมั่นนำผักตบชวาออกจากน้ำทุกๆ 10 สัปดาห์เพื่อไม่ให้ผักตบชวามีการเจริญพันธุ์จนบังแสงแดดที่จะส่องลงไปในน้ำ

5) ด้านพลังงาน ผักตบชวาสามารถนำมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ (ศุภฤกษ์, 2554)

6) การทำสิ่งประดิษฐ์ ใช้ทำเป็นของใช้ต่างๆ เช่น กระเป๋าถือ เครื่องจักสาน เป็นต้น

2.3 การอัดแท่งถ่าน

การอัดถ่านแท่งเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นแท่งๆโดยใช้เครื่องอัดแท่ง วิธีการอัดแท่งแบ่งได้เป็น 2 วิธี (กัญญา, 2544) ดังนี้

1) การอัดแบบใช้ความร้อนหรือเรียกว่าการอัดร้อนเป็นวิธีการอัดแท่งที่ใช้ความร้อนและแรงอัดสูงในการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง โดยความร้อนจะทำให้สารพวกลิกโนเซลลูโลสในวัสดุชีว-มวลถูกสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกลายเป็นตัวประสานทำให้วัสดุสามารถจับตัวกันเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ วิธีนี้สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย เศษไม้ เมื่อทำการอัดแท่งแล้วจะลดความชื้นให้เหลือไม่เกินร้อยละ 5 การอัดแบบใช้ความร้อนเรียกอีกอย่างว่า การผลิตเชื้อเพลิงแข็ง เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงมีความแข็งและแน่นมาก ปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวเป็นแท่งของการอัดร้อนได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า แรงดัน อุณหภูมิและขนาดวัตถุดิบ เป็นต้น

2) การอัดแบบไม่ใช้ความร้อนหรือเรียกว่าการอัดเย็น วิธีการอัดแท่งแบบนี้จะใช้แรงอัดและอุณหภูมิระหว่างการอัดต่ำ โดยอาศัยความสามารถของวัสดุชีวมวล ในการจับตัวกันเป็นแท่งหรือประสาน วัสดุที่ใช้อัดจะมีเส้นใยและความเหนียวที่สามารถทำให้วัสดุเกาะติดกันได้ เช่น เพกติน เยลลานินและกัม ซึ่งรูปแบบการอัดแบบนี้มีกระบวนการอัดแท่ง แบ่งได้ 2 แบบ (ธงชัย, 2547) คือ

- แบบไม่ใช้ตัวประสาน จะใช้วัสดุเดียวอัดตัวมันเองให้เป็นแท่ง โดยวัสดุนี้จะสามารถจับติดกันหรือประสานตัวมันเองได้ เช่น การอัดผักตบชวา เป็นต้น

- แบบใช้ตัวประสาน เป็นการอัดที่ใช้วัสดุอื่นเป็นตัวประสาน เรียกว่า ตัวเชื่อมประสาน (Binder) เพราะตัวมันเองไม่มีเส้นใยหรือยางเหนียวเพียงพอที่จะจับตัวได้ เช่น การอัดฟางข้าวผสมกับตะกอนน้ำเสีย การอัดเปลือกทุเรียนผสมกับผักตบชวา ตัวอย่างของตัวประสานที่ทำให้การจับตัวดีขึ้น เช่น ซีเมนต์ ดินเหนียว แป้งเปียก กากน้ำตาล เป็นต้น

2.4 ตัวประสาน (Binder)

ตัวประสานจะทำหน้าที่ยึดเกาะชีวมวลที่นำมาใช้ทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง ให้มีลักษณะดังรูปที่ต้องการออกมาได้ และตัวประสานยังทำหน้าที่เพิ่มสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น ความต้านทานต่อความเค้นอัด การต้านทานแรงกระแทก รวมถึงสมบัติการต้านทานน้ำ ซึ่งสมบัติทางกายภาพที่กล่าวมานั้นสามารถบอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

ลักษณะของตัวประสานที่ดีนั้นควรจะมีคุณสมบัติดังนี้คือ มีแรงยึดเกาะที่ดี ราคาถูก หาได้ง่าย ไม่ดูดความชื้น ไม่สึกกร่อนง่าย ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหรือสารมลพิษขณะเผาไหม้ และเถ้าของตัวประสานเมื่อผ่านการเผาแล้วควรจะมีขี้เถ้าน้อยที่สุด มิฉะนั้นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งก็จะลดลงไปด้วย (กรมพัฒนาและการส่งเสริมพลังงาน, 2535)

ชนิดของตัวประสาน

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (ธงชัย, 2547) คือ

1) ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Binder) ได้แก่ ทาร์ แป้ง สาหร่าย มูลสัตว์ เรซินตามธรรมชาติ และเรซินสังเคราะห์

2) ตัวประสานที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (Incombustible Binder) ได้แก่ ดินเหนียว โคลน และซีเมนต์ เป็นต้น

2.5 ขั้นตอนการอัดแท่ง (ธารินี, 2548)

วัสดุที่นำมาอัดแท่งทั้งนี้ต้องใช้ตัวประสานและไม่ใช้ตัวประสานโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนในการอัดแท่งเชื้อเพลิงดังต่อไปนี้

2.5.1 การบดย่อย (Grinding) เป็นการลดขนาดวัสดุให้มีความเหมาะสมต่อการคลุกเคล้าและการขึ้นรูป ทำได้โดยการใช้เครื่องสับ และเครื่องป่นวัสดุ โดยขนาดของวัสดุจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูตะแกรง

2.5.2 การผสม (Mixing) เป็นการผสมวัสดุกับตัวประสานเข้าด้วยกัน เพื่อให้อัดเชื้อเพลิงเป็นแท่งได้ โดยเวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่างๆเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ในขั้นนี้อาจมีการผสมน้ำถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป

2.5.3 การอัดขึ้นรูป (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัดแท่ง แรงในการอัดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการในการอัดและระยะเวลาที่อัด

2.5.4 การทำให้แห้ง (Drying) เพื่อให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งมีความชื้นเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ ควรใช้เวลาในการผึ่งแดด 3-4วัน หรือนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (ธารินี, 2548)

2.6 คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง

โดยทั่วไปถ่านอัดแท่งมีคุณลักษณะคล้ายฟืน มีค่าความร้อนต่ำกว่าเวลาจุดไฟ มีควันมาก ถ้าใช้กับเตาปล่องจะช่วยลดควัน การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจะใช้องค์ประกอบสำคัญของถ่านเป็นหลักในการประเมินคุณภาพ (สุริยา, 2544) คือ

1) ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณความชื้นต่อปริมาณของเนื้อถ่านอัดแท่งความชื้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งลดลงและทำให้ถ่านอัดแท่งแตกร่วนได้ง่าย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

2) ปริมาณเถ้า (Ash Content) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากสภาวะสันดาปภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ซึ่งประกอบด้วยซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น

3) สารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) ปริมาณสารระเหย คือ ส่วนของเนื้อถ่านอัดแท่งแห้งที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน

4) คาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon) คือ มวลของคาร์บอนที่เหลือในถ่านอัดแท่งหลังจากเอาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

5) กำมะถันรวม (Total Sulfur) คือ ปริมาณกำมะถันที่มีอยู่ในถ่านอัดแท่งน้อยที่สุด หากมีกำมะถันเยอะมากไป การลุกไหม้ในถ่านอัดแท่งอาจทำให้ระคายเคืองตา

6) ค่าความร้อน (Calorific Value or Heating Value) ค่าความร้อนของการสันดาปจะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในถ่านอัดแท่ง ถ่านที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณคาร์บอนที่เสถียรเป็นองค์ประกอบอยู่สูงแต่จะมีสารที่ระเหยได้ ปริมาณต่ำ ถ่านที่มีค่าความชื้นสูงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนต่ำ ถ่านที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี

ตารางที่ 1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

คุณสมบัติ	ปริมาณ
ความชื้น	ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์
สารระเหย	ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์
ขี้เถ้า	ไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์
คาร์บอนคงตัว	ไม่น้อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์
ค่าความร้อน	ไม่น้อยกว่า 5000 แคลอรี่ต่อกรัม

ที่มา: พุฒินันท์ (2546)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษมี (2555) ได้ศึกษาการนำเศษวัสดุชีวมวล คือ เปลือกกล้วยน้ำว้ามาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานโดยนำมาเผาเป็นถ่าน ทำฟืนอัดแท่ง และทำถ่านอัดแท่ง พบว่า เปลือกกล้วยเมื่อนำมาเผาเป็นถ่านด้วยเตาถังเดี่ยว มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตถ่านเฉลี่ย 17.13 เปอร์เซ็นต์และมีพลังงานความร้อนเฉลี่ย 6,771.16 แคลอรี่ต่อกรัม แต่ถ่านที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นบางไม่สะดวกต่อการนำไปใช้งาน การทำฟืนอัดแท่งจากเปลือกกล้วย โดยใช้เปลือกกล้วยสับ 2,000 กรัม ผสมกับแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 50 100 200 และ 300 กรัม สามารถอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ แต่แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความหนาแน่นน้อย เมื่อแห้งไม่เกาะติดกัน จึงยังไม่เหมาะต่อการนำไปใช้งานได้เช่นกัน การทำถ่านอัดแท่งจากเปลือกกล้วย โดยใช้ถ่านเปลือกกล้วยบด 2,000 กรัม ผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลังที่มีความเข้มข้นของแป้งต่อน้ำโดยน้ำหนักเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ 5 เปอร์เซ็นต์ 8เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นของกาวสามารถอัดเป็นแท่งได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

อัตราส่วนที่ให้ถ่านอัดแท่งที่มีคุณสมบัติดีที่สุดคือ อัตราส่วนที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านเปลือกกล้วยบด 2,000 กรัม กับกาวแป้งมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ่านอัดแท่งมีค่างานที่ได้ 1.85 ประสิทธิภาพการใช้งาน 24.76 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเผาไหม้ 6.64 กรัมต่อนาที และพลังงานความร้อนเฉลี่ย 5,718.25 แคลอรี่ต่อกรัม

ชมธิดา (2554) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษซังข้าวโพดซึ่งได้มาจากโรงงานผลิตเมล็ดพันธุ์พืชมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยในขั้นต้นของงานวิจัยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเศษซังข้าวโพด พบว่า มีปริมาณความชื้น 8.12 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารระเหยได้ 71.03 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้า 3.19 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.66 เปอร์เซ็นต์และค่าความร้อน 4054.56 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ จากนั้นนำเศษซังข้าวโพดมาผสมกับต้องประสาน 4 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล กากของเสียจากโรงงานกระดาษ และน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ในสัดส่วนร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 แล้วจึงนำไปอัดแท่ง นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและการเผาไหม้ ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าความทนแรงอัด ค่าดัชนีการแตกร่วน ค่าความต้านทานน้ำ เวลาในการจุดติดไฟ ความคงตัวของเถ้า และระยะเวลาการเผาไหม้ จากผลการทดลองพบว่า การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่สัดส่วน 50 เปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลัง เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอัดง่าย มีความแข็งแรงสูง และใช้เวลาในการจุดติดไฟต่ำ ในขณะเดียวกันการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้วไม่เหมาะสมกับการนำมาเป็นตัวประสานในการอัดแท่งเศษซังข้าวโพด ทั้งนี้ เมื่อใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความคงตัวของเถ้า และระยะเวลาการเผาไหม้สูงสุด ในขณะที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความร้อน ค่าดัชนีการแตกร่วน และค่าความต้านทานน้ำสูงสุด นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่สัดส่วน 50 เปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลัง มาคำนวณ พบว่า การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 100 ตันต่อปี โดยใช้ 2 สายการผลิต ให้ผลการลงทุนที่คุ้มค่าที่สุด โดยคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการได้เท่ากับ 1,980,712.32 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน เท่ากับ 45.73 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน เท่ากับ 1.16 และระยะคืนทุน เท่ากับ 2.18 ปี

ปิยณัฐ (2559) ได้ศึกษาและวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนจากถ่านชีวมวล โดยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาวัตถุดิบที่เหมาะสมในการทำถ่านชีวมวล และหาส่วนผสมระหว่างผักตบชวากับถ่านแกลบที่ให้ค่าความร้อนสูงสุด จากการศึกษาพบว่า ผักตบชวาแห้งมีค่าพลังงานความร้อน 2,963.8 แคลอรี่ต่อกรัม และถ่านแกลบมีค่าพลังงานความร้อน 3,300 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ดี จากการออกแบบการทดลองส่วนผสมซึ่งมีทั้งหมด 5 สูตร คือ 40:60 45:55 50:50 55:45 และ 60:40 (ผักตบชวา:แกลบ) พบว่า สูตรที่เหมาะสมคือ สูตรที่มีอัตราส่วนผสมผักตบชวา:แกลบ 40:60 มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ 3,223.33 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งสามารถนำใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ต่อไปได้

เกรียงไกร และคณะ (2554) ได้ศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็น รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในรูปของค่าความร้อนและความต้านทานอื่นๆอันได้แก่ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด สารเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานทำมาจาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

แป้งเปียกและโมลาส ก่อนทำการผสมตัวประสานลงไป วัตถุดิบจะถูกบดด้วยเครื่องบดจนมีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพ วัตถุดิบจะถูกนำมาผสมกับตัวประสานในสัดส่วนต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า ค่าความร้อนเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของสบู่ดำและที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานเล็กน้อย ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะมีค่าต่ำกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสาน แต่อย่างไรก็ตามค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตโดยใช้ตัวประสานทั้ง 2 ชนิดก็ยังคงมีค่าสูงพอที่จะใช้ผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าอยู่ประมาณ11.54-15.36 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และมีค่าความต้านทานแรงกดอยู่ที่ 0.46-2.46 เมกะปาสคาล

มนตรี (2555) ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมของการเผาถ่านจากแกลบและเปลือกข้าวโพดรวมทั้งศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านแกลบถ่านเปลือกข้าวโพดกับตัวประสาน นอกจากนี้ยังทำการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งจากแกลบและถ่านเปลือกข้าวโพดที่ผลิตได้และวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านแกลบและถ่านเปลือกข้าวโพด การวิจัยได้ทดลองการบรรจุแกลบและเปลือกข้าวโพดในภาชนะปิดสนิทและนำไปเผาที่เตาเผาอุณหภูมิให้คงที่ที่อุณหภูมิ 400 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 3 4 และ5 ชั่วโมง และหาค่าพลังงานความร้อนโดยบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ พบว่า ทั้งถ่านแกลบและถ่านเปลือกข้าวโพดเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ให้ค่าพลังงานความร้อนมากที่สุด คือ 19,973 จูล/กรัม และ 28,892 จูล/กรัม ทำการผสมถ่านแกลบและถ่านเปลือกข้าวโพด ในอัตราส่วน 5:5 4:6 3:7 2:8 1:9 และ 0:10 โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานในอัตราส่วน 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยมวล โดยถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 2.53 – 5.22 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.19 – 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีการแตกร่วนโดยวิธีทิ้งจากที่สูง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.63 – 0.96 และประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนเท่ากับ 19.2 เปอร์เซ็นต์ ทำการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับถ่านอัดแท่งจากถ่านแกลบและถ่านเปลือกข้าวโพดในอัตราส่วน 4:6 ใช้ตัวประสาน 20 เปอร์เซ็นต์โดยมวลโดยใช้เครื่องมือตามรูปแบบของการวิจัย ให้จุดคุ้มทุนในระยะเวลา 3.47 ปี และใช้เครื่องมือตามรูปแบบการผลิตถ่านอัดแท่งทั่วไปให้จุดคุ้มทุนในระยะเวลา 0.61 ปี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำถ่านอัดแท่ง

3.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำถ่านอัดแท่ง

1) ซังข้าวโพด
2) ผักตบชวา
3) แป้งมันสำปะหลัง
4) น้ำ

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) ครกหิน
2) เตาเผาแบบถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร
3) กะละมัง
4) เครื่องบดละเอียด
5) เครื่องอัดแท่ง
6) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
7) เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
8) ตู้อบแห้ง
9) ซ้อนตักสาร
10) โถดูดความชื้น
11) เตาเผา
12) ถ้วยกระเบื้อง
13) เครื่องปั่นผลไม้
14) เทอร์โมมิเตอร์

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.1 การผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่ง

3.2.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

1) ทำการเก็บตัวอย่างซังข้าวโพดนำไปตากแดดประมาณ 2-3 วันแล้วบดด้วยเครื่องบดละเอียดเก็บใส่ถุงพลาสติก เพื่อใช้ในการผสมกับผักตบชวาในขั้นตอนต่อไป

2) ผักตบชวา นำผักตบชวาสับให้มีขนาดเล็กนำไปตากแดดให้แห้ง และนำมาปั่นให้ละเอียด โดยใช้เครื่องปั่นที่มีอยู่ในครัวเรือน (นพพร, 2546) เก็บใส่ถุงพลาสติกเพื่อใช้ในการผสมกับซังข้าวโพดบด

3.2.1.2 การผสมวัตถุดิบ

1) นำซังข้าวโพดบดผสมกับผักตบชวาโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน โดยมีอัตราส่วนที่การผสมของ ซังข้าวโพดบดและผักตบชวา (ลักษมี, 2555) ดังตารางที่ 3.1

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของซังข้าวโพดบดและผักตบชวาที่ใช้ในการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

รูปแบบที่	อัตราส่วน (เปอร์เซ็นต์)	ซังข้าวโพดบด (กรัม)	ผักตบชวา (กรัม)	แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)
1	100 : 0	1000	0	500	2500
2	90 : 10	900	100	500	2500
3	0 : 20	800	200	500	2500
4	70 : 30	700	300	500	2500

3.2.1.3 การอัดแท่ง

1) นำส่วนผสมที่ได้ในหัวข้อ 3.2.1.2 มาอัดเป็นแท่ง ด้วยเครื่องอัดแบบอัดเกลียว จะได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีขนาดความสูง 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร นำไปตากแดด แล้วจึงนำไปเผาให้เป็นถ่าน ในเตาเผาแบบถังน้ำมัน 200 ลิตร

2) นำแท่งถ่านที่ได้ตากให้แห้ง แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

3.2.2 การผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่ง

3.2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

1) ทำการเก็บตัวอย่างซังข้าวโพด ในไร่ข้าวโพดที่ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว มาเผาในถังน้ำมันขนาด 200 ลิตรจนเป็นถ่าน จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปตากแดดให้แห้ง ถ่านที่ได้เก็บไว้เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง ถ่านที่เหลือนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียดเก็บใส่ถุงพลาสติก เพื่อใช้ในการผสมกับผักตบชวาในขั้นตอนต่อไป

2) ผักตบชวา นำผักตบชวาสับให้มีขนาดเล็กนำไปตากแดดให้แห้ง และนำมาปั่นให้ละเอียด โดยใช้เครื่องปั่นที่มีอยู่ในครัวเรือน (นพพร, 2546) เก็บใส่ถุงพลาสติกเพื่อใช้ในการผสมกับผงถ่านซังข้าวโพด

3.2.2.2 การผสมวัตถุดิบ

1) นำผงถ่านซังข้าวโพดผสมกับผักตบชวาโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน โดยมีอัตราส่วนของ ผงถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวา ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของผงถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวาที่ผสมเพื่อผลิตถ่านอัดแท่ง

รูปแบบที่	อัตราส่วนผสม (เปอร์เซ็นต์)	ผงถ่านซังข้าวโพด (กรัม)	ผักตบชวา (กรัม)	แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)
1	100 : 0	1000	0	500	1250
2	90 : 10	900	100	500	1250
3	80 : 20	800	200	500	1250
4	70 : 30	700	300	500	1250

3.2.2.3 การอัดแท่ง

1) นำส่วนผสมที่ได้ในหัวข้อ 3.2.2.2 มาอัดเป็นแท่งถ่านด้วยเครื่องอัดแบบอัดเกลียว จะได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีขนาดความสูง 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

2) นำแท่งถ่านที่ได้นำไปตากให้แห้ง ประมาณ 4-6 วัน ไม่ควรนำไปตากแดดที่ร้อนจัดเพราะจะทำให้ถ่านมีรอยแตกเนื่องจากการแห้งตัวอย่างรวดเร็วที่ไม่เท่ากัน (นภัสสวงศ์, 2555) จากนั้นนำแท่งถ่านไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

3.3 ศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

โดยวิเคราะห์หาปริมาณต่างๆ ดังนี้

1) วิเคราะห์ความชื้น (% Moisture) ตามมาตรฐาน ASTM D3173

2) วิเคราะห์ปริมาณเถ้า (% Ash) ตามมาตรฐาน ASTM D3174

3) วิเคราะห์ปริมาณการหาสารระเหย (% Volatile Metter) ตามมาตรฐาน ASTM D3175

4) วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว (% Fixed Carbon) ตามมาตรฐาน ASTM D3172

5) วิเคราะห์หาค่าความร้อน (% Heating Value) ตามมาตรฐาน ASTM D5865

6) วิเคราะห์ค่าดัชนีการแตกร่วน (% Shatter index) ตามมาตรฐาน Drop Shatter Test ASTM D3038

7) การหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน (Heat Utilization efficiency)

8) การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

3.4 ศึกษาต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

- ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของแท่งเชื้อเพลิง และวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการงานวิจัย โดยวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุนของการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ทำการเปรียบเทียบระหว่างรายได้และกำไรที่ได้รับต่อ 5 ปีในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยพิจารณาจากสมรรถนะและต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของแท่งเชื้อเพลิง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพลิงรี

บทที่ 4
ผลและอภิปรายผลการทดลอง

การศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนหรือหลังทำการอัดแท่ง โดยใช้อัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวาที่แตกต่างกัน มีอัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 ซึ่งมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไน-เซชันก่อนทำการอัดแท่งและหลังทำการอัดแท่ง

4.1.1 ปริมาณความชื้น

จากการศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดที่ผสมผักตบชวาเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มปริมาณความชื้นลดลงโดยจะเห็นได้ว่า ที่อัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 ที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังมีปริมาณความชื้น 2.97 และ 5.02% เมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวาเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนซังข้าวโพดที่ผสมผักตบชวา 70:30 ที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังคาร์บอไนเซชันปริมาณความชื้นจะลดลงโดยมีปริมาณความชื้น 2.11 และ 3.95% (ตารางที่ 4.1) ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่งอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ คือไม่เกิน 10% ซึ่งหากปริมาณความชื้นในเนื้อถ่านมีน้อยจะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานและความสามารถในการจุดติดไฟมีมากขึ้น (สังเวย, 2553) ในทางตรงกันข้ามหากปริมาณความชื้นในเนื้อถ่านมีมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ส่งผลให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้ต่ำลง และในขณะจุดติดไฟจะทำให้มีควันเกิดขึ้น (นฤภัทร, 2557)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

อัตราส่วน (ซังข้าวโพด:ผักตบชวา)	ความชื้น (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่ง)	ความชื้น (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่ง)
100:0	$2.97^{b} \pm 0.15$	$5.02^{b} \pm 0.10$
90:10	$2.02^{a} \pm 0.07$	$5.02^{b} \pm 0.33$
80:20	$2.11^{a} \pm 0.09$	$4.73^{b} \pm 0.05$
70:30	$2.11^{a} \pm 0.07$	$3.95^{a} \pm 0.08$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

4.1.2 ปริมาณเถ้า

จากการศึกษาปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผักตบชวาปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 มีปริมาณเถ้า 7.80% เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวาเป็น 70:30 ทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นเป็น 11.60% และการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 มีปริมาณเถ้า 3.54% เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวาเป็น 70:30 ทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นเป็น 12.32% (ตารางที่ 4.2) เมื่อนำปริมาณเถ้ามาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ชุมชนกำหนด คือไม่เกิน 8% จะเห็นได้ว่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งในอัตราส่วน 90:10 80:20 และ 70:30 และถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งในอัตราส่วน 80:20 และ 70:30 มีค่าปริมาณเถ้าเกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ชุมชนกำหนด ทั้งนี้เนื่องจากมีอัตราส่วนของผักตบชวามาก ซึ่งจากการวิเคราะห์ผักตบชวาจะพบว่ามีปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ย 16.11% จึงมีส่วนทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวาปริมาณเถ้าจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม เถ้าสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เช่น ใช้เป็นปุ๋ยต้นไม้ ซึ่งขี้เถ้ามีปริมาณด่างผสมอยู่มากและมีแคลเซียมกับโพแทสเซียมเล็กน้อยซึ่งช่วยให้ต้นไม้ออกดอกได้ดี ใช้ไล่แมลง ใช้กลบกลิ่นต่างๆได้ (เกษตรพอเพียง, 2560)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณเถ้าของถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

อัตราส่วน (ซังข้าวโพด : ผักตบชวา)	ปริมาณเถ้า (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่ง)	ปริมาณเถ้า (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่ง)
100:0	$7.80^{a} \pm 0.56$	$3.54^{a} \pm 0.22$
90:10	$10.90^{b} \pm 1.38$	$3.42^{a} \pm 1.08$
80:20	$12.30^{b} \pm 2.19$	$9.22^{b} \pm 0.90$
70:30	$11.60^{b} \pm 0.47$	$12.32^{c} \pm 0.18$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

4.1.3 ปริมาณสารระเหย

จากการศึกษาปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์-บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งที่มีอัตราส่วนผักตบชวาเพิ่มขึ้นถ่านมีแนวโน้มปริมาณสารระเหยลดลง โดยอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 มีปริมาณสารระเหย 3.05% และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวาเป็น 70:30 ปริมาณสารระเหยลดลงเป็น 2.59% และถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผักตบชวาค่าเฉลี่ยปริมาณสารระเหยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) จากผลการทดลองงานวิจัยนี้ พบว่า ค่าปริมาณสารระเหยไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ชุมชนกำหนดคือ น้อยกว่า 25% เช่นเดียวกับงานวิจัยของสังเวย (2555) ซึ่งศึกษาองค์ประกอบทางด้านเคมีของถ่านตอรากยางพารา ปริมาณสารระเหยที่ได้ คือ 17.75% ไม่มีการแตกประทุของถ่าน ไม่มีควันขณะใช้งาน ไม่ทำลายสุขภาพมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้งานหุงต้มในครัวเรือน ในขณะเดียวกันถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณสารระเหยมากจะทำให้เชื้อเพลิงติดไฟง่ายและมีควันมาก เมื่อนำมาใช้งานจะทำให้แสบตาและมีผลกระทบต่อระบบหายใจ (สุริยา, 2544)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารระเหยของถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

อัตราส่วน (ซังข้าวโพด : ผักตบชวา)	สารระเหย (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่ง)	สารระเหย (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่ง)
100:0	$3.05^{b} \pm 0.20$	$2.76^{a} \pm 0.11$
90:10	$2.77^{ab} \pm 0.20$	$2.83^{a} \pm 0.15$
80:20	$2.49^{a} \pm 0.13$	$2.91^{a} \pm 0.18$
70:30	$2.59^{a} \pm 0.19$	$2.83^{a} \pm 0.33$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

4.1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่ง ปริมาณคาร์บอนคงตัวจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวา โดยจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 ปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 88.68% เมื่อเพิ่มผักตบชวาอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวาเป็น 70:30 จะพบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเป็น 80.89% (ตารางที่ 4.4) จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ชุมชนกำหนดปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่น้อยกว่า 75% ซึ่งจากตารางที่4.4 จะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวามีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่งมีปริมาณคาร์บอนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ชุมชนกำหนด เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของชมธิดา (2554) ที่ศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพดโดยทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพดที่มีแป้งมันสำปะหลัง 20% มีค่าคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 16.43% เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพดมีปริมาณสารระเหยสูง แต่ค่าพลังงานความร้อนอยู่เกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากมี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

เศษซังข้าวโพดเป็นองค์ประกอบ แต่งานวิจัยนี้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มากกว่าและมีปริมาณสารระเหยน้อย ซึ่งเชื้อเพลิงที่ดีจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ปริมาณสารระเหยต่ำ และปริมาณเถ้าน้อย (ทองทิพย์, 2542) ดังนั้นถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังถือเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพที่ดี สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนฟืนและถ่านได้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

อัตราส่วน (ซังข้าวโพด : ผักตบชวา)	คาร์บอนคงตัว (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่ง)	คาร์บอนคงตัว (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่ง)
100:0	$86.18^{b} \pm 0.57$	$88.68^{c} \pm 0.02$
90:10	$84.98^{ab} \pm 0.94$	$88.61^{c} \pm 0.20$
80:20	$83.09^{a} \pm 2.04$	$83.14^{b} \pm 0.67$
70:30	$83.70^{a} \pm 0.26$	$80.89^{a} \pm 0.26$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

4.1.5 ค่าดัชนีการแตกร่วน

ค่าดัชนีการแตกร่วนเป็นค่าที่ใช้เพื่อหาความสามารถของวัสดุที่ได้จากการอัดแท่งที่มีความทนทานระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน (นิพนธ์และธนพร, 2559) จากตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน จะเห็นได้ว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่งในอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 90:10 และ 80:20 ค่าเฉลี่ยของดัชนีการแตกร่วนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่งในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 ค่าเฉลี่ยของดัชนีการแตกร่วนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.5) โดยมีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ในช่วง 0.9-1.00 ค่าดัชนีการแตกร่วนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.0 โดยถ้ามีค่าการแตกร่วนน้อยจะส่งผลให้ถ่านอัดแท่งไม่แข็งแรง แตกง่าย ร่วนซุยและถ้ามีค่าดัชนีการแตกร่วนมาก ถ่านอัดแท่งที่ได้มีความแข็งแรงและง่ายต่อการขนส่งหรือนำไปใช้งาน (นิพนธ์ และธนพร, 2559) จากงานวิจัยของสุธิรา (2544) รายงานว่าถ่านอัดแท่งจากอัตราส่วนผสมของผงถ่านจากเปลือกใบยูคาลิปตัสและใบยางพาราให้ค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.668 - 0.827 สามารถคงรูปได้ดีและมีความแข็งแรง ผิวของเชื้อเพลิงเรียบเนียน ไม่แตกหักง่าย ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด จึงเหมาะแก่การนำไปใช้งาน เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ที่มีค่าดัชนีการแตกร่วนสูงทำให้ได้ถ่านอัดแท่งที่ไม่แตกหักง่าย ง่ายต่อเก็บรักษา การขนส่งและเหมาะแก่การนำไปใช้งาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ตารางที่ 4.5 ดัชนีการแตกร่วนของถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

อัตราส่วน (ซังข้าวโพด : ผักตบชวา)	ดัชนีการแตกร่วน (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่ง)	ดัชนีการแตกร่วน (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่ง)
100:0	$0.9991^{b} \pm 0.001$	$0.90^{a} \pm 0.07$
90:10	$0.9979^{ab} \pm 0.001$	$0.93^{a} \pm 0.06$
80:20	$0.9991^{b} \pm 0.001$	$0.99^{a} \pm 0.01$
70:30	$0.9966^{a} \pm 0.001$	$0.95^{a} \pm 0.03$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

4.1.6 ค่าความหนาแน่น

จากการศึกษาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวา ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งมีค่าความหนาแน่น (0.50-0.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) มากกว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่ง (0.16-0.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) (ตารางที่ 4.6) จากงานวิจัยของอัจฉรา (2554) ได้กล่าวไว้ว่า ถ่านอัดแท่งจะมีประสิทธิภาพดีนั้น ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งควรอยู่ระหว่าง 0.42-0.74 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยถ้ามีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า 0.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถ่านอัดแท่งจะมีการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน (นารา, 2541) จากงานวิจัยนี้ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่ง มีความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นสูงจะมีปัญหาการจุดติดไฟได้ยาก แต่การที่มีความหนาแน่นสูงก็สามารถยืดเวลาในการติดไฟได้นานกว่าเพราะมีการเผาไหม้ที่ช้า
(สุพจน์, 2546)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ตารางที่ 4.6 ค่าความหนาแน่น ของถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

อัตราส่วน (ซังข้าวโพด : ผักตบชวา)	ความหนาแน่น (g/cm³) ± SD (การคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่ง)	ความหนาแน่น (g/cm³) ± SD (การคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่ง)
100:0	$0.50^{a} \pm 0.02$	$0.17^{a} \pm 0.04$
90:10	$0.52^{ab} \pm 0.00$	$0.16^{a} \pm 0.01$
80:20	$0.53^{b} \pm 0.01$	$0.20^{a} \pm 0.01$
70:30	$0.51^{ab} \pm 0.02$	$0.26^{b} \pm 0.01$

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

4.1.7 ค่าพลังงานความร้อน

จากการศึกษาค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์ไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงแตกต่างจากอัตราส่วนซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 90:10 80:20 และ 70:30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวาค่าพลังงานความร้อนมีแนวโน้มลดลง ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งในอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 ให้ค่าพลังงานความร้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.7) จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้จะพบว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่งมีค่าพลังงานความร้อนเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนด (มากกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม) ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งมีค่าพลังงานความร้อนมากกว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่ง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำซังข้าวโพดมาผ่านการคาร์บอไนเซชันจะทำให้ซังข้าวโพดมีค่าพลังงานเพิ่มขึ้นจาก 3907.3 แคลอรี่ต่อกรัม เป็น 5529.6 แคลอรี่ต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนที่ได้กับงานวิจัยอื่น (ตารางที่ 4.8) พบว่า ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งในงานวิจัยนี้มีค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่างานวิจัยอื่น เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งอาจมีปริมาณค่าคาร์บอนคงตัว สารระเหย และเถ้าที่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ตารางที่ 4.7 ค่าพลังงานความร้อน ของถ่านชังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

อัตราส่วน (ชังข้าวโพด : ผักตบชวา)	ค่าความร้อน (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่ง)	ค่าความร้อน (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่ง)
100:0	5525.9^{b} ± 75.67	6072.6^{a} ± 872.12
90:10	5170.2^{a} ± 54.88	6701.6^{a} ± 84.33
80:20	5062.6^{a} ± 172.19	5999.8^{a} ± 99.80
70:30	4959.2^{a} ± 175.83	6347.8^{a} ± 689.57

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4.8 ค่าพลังงานความร้อนของวัตถุดิบที่นำมาเปรียบเทียบ

วัตถุดิบที่นำมาทำถ่านอัดแท่ง	ตัวประสาน	ค่าพลังงานความร้อน(cal/g)	อ้างอิง
ผงถ่านต้นข้าวโพด	แป้งมัน	5,201	พรธิดา, 2558
เศษชังข้าวโพด	แป้งมัน	4,054	ชมธิดา, 2554
ผักตบชวา	แป้งมัน	3,831	นิพนธ์ และธนพร, 2559
ชังข้าวโพด (การคาร์บอไนเซชันก่อน)	แป้งมัน	5,526	งานวิจัยนี้
ชังข้าวโพด (การคาร์บอไนเซชันหลัง)	แป้งมัน	6,073	งานวิจัยนี้

4.1.8 ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนและหลังทำการอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งอัตราส่วนชังข้าวโพดต่อผักตบชวา 100:0 และ 90:10 (8.79 และ 8.62%) มีประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนแตกต่างจากอัตราส่วนชังข้าวโพดต่อผักตบชวา 80:20 และ 70:30 (7.54 และ 7.50%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดผสมผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่งในทุกอัตราส่วนมีประสิทธิภาพการใช้งาน (8.71-10.12%) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.9) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของวานิช (2550) ที่ทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกถั่วลิสงเปลือกเมล็ดทานตะวัน และเปลือกถั่วลิสงผสมเปลือกเมล็ดทานตะวันอัดแท่ง ให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน 42.17% 39.38% และ 40.97% ซึ่งถ่านอัดแท่งจากเปลือกถั่วลิสงเปลือกเมล็ด

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ทานตะวันและเปลือกถั่วลิสงผสมเปลือกเมล็ดทานตะวันอัดแท่งให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวา อาจเนื่องจากเปลือกถั่วลิสงและเปลือกเมล็ดทานตะวันมีส่วนผสมของน้ำมัน (ไทยเกษตรศาสตร์, 2561) ซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงติดไฟได้ดี และส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานสูง นอกจากนี้งานวิจัยของนิพนธ์และธนพร (2559) ที่ทำการศึกษาลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา ได้แก่ ผักตบชวาผสมกากมัน ผักตบชวาผสมแป้งมันสำปะหลัง และผักตบชวาผสมกากน้ำตาล ให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานเท่ากับ 10.35% 13.65% และ 17.79% ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของตัวประสานที่นำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของถ่านซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

อัตราส่วน (ซังข้าวโพด : ผักตบชวา)	ประสิทธิภาพการใช้งาน (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันก่อนอัดแท่ง)	ประสิทธิภาพการใช้งาน (%) ± SD (การคาร์บอไนเซชันหลังอัดแท่ง)
100:0	8.79^{b} ± 0.31	9.45^{a} ± 1.22
90:10	8.62^{b} ± 0.14	10.12^{a} ± 0.65
80:20	7.54^{a} ± 0.13	9.56^{a} ± 0.30
70:30	7.50^{a} ± 0.19	8.71^{a} ± 0.38

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

4.2 การศึกษาต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแท่งเชื้อเพลิงอัตราส่วนที่ดีที่สุด

4.2.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของแท่งเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของแท่งเชื้อเพลิงที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งที่นำมาวิเคราะห์คือถ่านอัดแท่งที่มีซังข้าวโพดต่อผักตบชวาในอัตราส่วน 70:30 โดยกำหนดระยะเวลาในการใช้เครื่องจักร เท่ากับ 5 ปีหรือ 1300 วัน ต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่งต่อหน่วยประกอบด้วยต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันดังแสดงในตารางที่ 4.10

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ตารางที่ 4.10 รายการต้นทุนคงที่ของการผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวา ก่อน-หลังทำการอัดแท่ง

รายการเครื่องจักรและอุปกรณ์	ราคา (บาท)
1. เครื่องบด จำนวน 1 เครื่อง	12,000
2. เครื่องอัดแท่งแบบเกลียว จำนวน 1 เครื่อง	30,000
3. เครื่องผสม	30,000
4. ถัง 200 ลิตร มีฝาปิด 10 ใบต่อ 5ปี	5,000
รวมราคาต้นทุน	77,000

ตารางที่ 4.11 รายการราคาต้นทุนผันแปร ของการผลิตถ่านอัดแท่ง

รายการวัสดุและแรงงาน	ราคา (บาท)
1. ซังข้าวโพด กิโลกรัมละ(รวมค่าขนส่ง)	2
2. ผักตบชวา กิโลกรัมละ(รวมค่าขนส่ง)	0.5
3. แป้งมัน กิโลกรัมละ	10
4. ค่าน้ำ ลิตรละ	0.02
5. ค่าไฟฟ้า หน่วยละ	3.5
6. ค่าแรงงานวันละ	300

จากตาราง 4.10 และ 4.11 นำมาคำนวณหาต้นทุนต่อหน่วย โดยกำหนดกำลังการผลิต วันละ 400 กิโลกรัม/วัน ระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง 1 ปี ทำงาน 260 วัน คำนวณต้นทุนรวมได้ดังนี้

ต้นทุนคงที่เท่ากับ 77,000 บาท
ต้นทุนแปรผันเท่ากับ 840,066 บาทต่อปี
ต้นทุนทั้งหมดภายใน 5 ปี เท่ากับ 4,277,333 บาท
อัตราผลตอบแทนภายใน 5 ปี เมื่อขายเชื้อเพลิงอัดแท่งกิโลกรัมละ 8.20 บาท เท่ากับ 4,264,000 บาท
ระยะเวลาคืนทุนของการผลิตแท่งเชื้อเพลิงซึ่งคำนวณได้จาก มูลค่าลงทุนรวม/ผลตอบแทนรายปี ได้ระยะเวลืนทุนเท่ากับ 1.00 ปี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งเหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่าถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่ง เนื่องจากถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งนั้นค่าความหนาแน่นมากส่งผลให้ถ่านมีลักษณะแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน มีค่าพลังงานความร้อนเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนด โดยถ่านอัดแท่งที่มีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่งที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งานคืออัตราส่วน 70:30 ซึ่งมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 2.11% ปริมาณเถ้าเท่ากับ 11.60% ปริมาณสารระเหยเท่ากับ 2.59% ปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 83.70% ค่าดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 1% ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.51 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 4959.2 แคลอรี่ต่อกรัม และประสิทธิภาพการใช้งาน เท่ากับ 7.50% ในการนำอัตราส่วนชังข้าวโพดต่อผักตบชวา 70:30 มาใช้เป็นเชื้อเพลิงจัดว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถเพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุเหลือใช้ ลดปัญหามลภาวะทางน้ำและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งคุณสมบัติส่วนใหญ่ของถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนดังกล่าวผ่านเกณฑ์มาตรฐานชุมชนที่กำหนด และผลการศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นไปตามสมมติฐานที่ว่าอัตราส่วนผสมระหว่างชังข้าวโพดและผักตบชวา และกระบวนการคาร์บอไนเซชันที่ต่างกันจะทำให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้แตกต่างกันแต่ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ว่าอัตราส่วนผสมระหว่างชังข้าวโพดและผักตบชวา และกระบวนการคาร์บอไนเซชันที่ต่างกันจะทำให้ค่าดัชนีการแตกร่วนที่ได้แตกต่างกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตและผลตอบแทนภายใน 5 ปี ทำให้ทราบระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). **ระบบรายงานศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก http://biomass.dede.go.th/Symfony/web/map/district?year=2556

กรมพัฒนาและการส่งเสริมพลังงาน. (2535). **พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

กรมวิทยาศาสตร์และบริการ. (2553). **เทคโนโลยีเพื่อชุมชนและอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: องค์การค้าของสกสค. ลาดพร้าว.

กัญญา เม้ามีทรัพย์. (2544). **การผลิตถ่านเชื้อเพลิงจากชีวมวลและกระบวนการ Pyrolysis.** วารสารประสิทธิภาพพลังงาน. 11(52): 42-48.

เกรียงไกร วงศาโรจน์, ธนิต สวัสดิ์เสวี และประธาน วงศ์ศิริเวช. (2554). **การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากสบู่ดำ.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เกษตรพอเพียง. (2560). **เถ้า.** สืบค้น มิถุนายน 15, 2561 จาก http://www.kasetporpeang.com/forums/index.php?topic=53351.0

ไกรพัฒน์ จีนขจร. (2551). **พลังงานหมุนเวียน.** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. (2542). **พืชเศรษฐกิจ.** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: บริษัทเท็กซ์แอนเจอร์นัลพับลิเคชั่น จำกัด.

ฉัตรชัย วัลลิภากร. (2560). **ซังข้าวโพด.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก http://webkc.dede.go.th/webmax/sites/default/files/Final%20Report.pdf

ชมธิดา ชื่นนิยม. (2554). **การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

เดลินิวส์. (2560). **ดอกข้าวโพด.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก http://www.icpfertilizer.com/news

ทองทิพย์ พูลเกษม. (2542). **การศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านไม้ในการหุงต้มครัวเรือน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล.

ไทยเกษตรศาสตร์. (2561). **น้ำมันจากถั่ว.** สืบค้น มิถุนายน 24, 2561 จาก http://www.thaikasetsart.com/%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%B5%E0%B

ไทยพิค. (2558). **ผลข้าวโพด.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก http://plants.thaika.com/%E0%B8

ไทยรัฐ. (2560). **เครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพด.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก https://www.thairath.co.th/content/892616

ธงชัย ประจักษ์สูตร. (2547) **การเพิ่มศักยภาพของชานอ้อยเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมครัวเรือน.**วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธารินี มหายศนันท์. (2548). **การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการผลิตในระดับครัวเรือน.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเกษตร). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

นพพร สุดใจธรรม. (2546). **เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ.** หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม).

นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล. (2557). **การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและครัวเรือน.** สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล, ธรพร บุษย์น้ำเพชร. (2559). **ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา.** สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์. (2555). **การปรับปรุงคุณภาพถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

บริษัทไทยซูมิจำกัด. (2551). **การส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลของประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 21, 2560 จาก https://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/comparepara.php.

ปิยณัฐ โตอ่อน. (2559). **การวิเคราะห์อัตราส่วนที่ผสมระหว่างผักตบชวากับถ่านแกลบให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด.** วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอิสเทิร์นเอเชีย, 10(2), 104-107.

พงสถิต ยืนยง. (2552). **ผักตบชวา.** พิมพ์ครั้งที่1. พระนครศรีอยุธยา: ไทยซูมิ.

พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. (2546). **ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้.** กรุงเทพฯ: ชมรมสวนป่าผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้.

พรธิดา เทพประสิทธิ์. (2558). **การศึกษาแหล่งเรียนรู้พลังงานทดแทน กรณีศึกษา การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชุมชนชาวกระเหรี่ยง หมู่บ้านตะเพิงคี่ จังหวัดสุพรรณบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

มนตรี นันตา. (2555). **การผลิตและหาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากถ่านแกลบและถ่านเปลือกข้าวโพด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ แขนงวิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2550). **ข้าวโพด.** สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 22, 2560 จาก http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=8997.

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล. (2553). **การผลิตถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและเหง้ามันสำปะหลัง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาอุตสาหกรรมศึกษา. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ลักษมี สุทธิวิไลรัตน์. (2555). **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวล.** กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้. สวนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการกรมป่าไม้

ลูกแก้ว. (2557). **ผักตบชวา.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก https://sites.google.com/site/phrarachdarikeiywkabna/kar-babad-na-seiy

วานิช โสพาสพ. (2550). **การผลิตถ่านอัดแท่งด้วยเศษวัสดุเหลือใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม. (2551). **ผักตบชวา.** พจนานุกรมสมุนไพรไทย. (พิมพ์ครั้งที่5). กรุงเทพฯ: รวมสาส์น.

วีรวัฒน์ นิทรัตนคุณ. (2560). **สถาบันวิจัยพืชไร่.** สืบค้น กรกฎาคม 30, 2560 จาก http://210.246.186

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

.28/fieldcrops/index.html

แว่นธรรมดา. (2554). **ถ่านอัดแท่ง.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก https://www.bloggang.com/

ศุภฤกษ์ ดวงขวัญ. (2554). **การจัดการผักตบชวา.** (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: ดีไซร์.

ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์. (2560). **ใบข้าวโพด.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก http://nsfcrc-news.blogspot.com/2016/11/blog-post.html

สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์. (2556). **ถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

สุพจน์ เดชผล. (2546). **การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมชานอ้อย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สังเวย เสวกวิหารี. (2555). **ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์. (2540). **ข้าวโพด.** สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ(เล่มที่3, หน้า 113-124). กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้ง.

สุธิรา สุนทรารักษ์. (2554). **การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบยูคาลิปตัสและใบยางพารา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

สุริยา ชัยเดชาทยากูล. (2544). **การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียและเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร. มหาวิทยาลัยมหิดล.

อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย. (2554). **การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมุงคุดมาใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่ง.** ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

Medthai. (2557). **ต้นข้าวโพด.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก https://medthai.com/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B9%82%E0%B8%9E%E0%B8%9

sanook. (2556). **การตากฝักข้าวโพด.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก http://guru.sanook.com/337/

ThaiTheme. (2560). **เครื่องเกี่ยวข้าวโพด.** สืบค้น กรกฎาคม 29, 2560 จาก http://www.medeekrab.com

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวา

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมผักตบชวา

1. **การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)** (วานิช, 2550)

ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐานของ ASTM D3173 โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Dying Oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถนำมาคำนวณได้จากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

เครื่องมือ เตาอบ (Moisture Oven) โถดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วย (Crucible)

วิธีการเตรียมการ

1) เตรียมตัวอย่างทดลอง
2) อบถ้วย(Crucible)ที่อุณหภูมิในช่วง 105 องศาเซลเซียส ประมาณ30นาทีนำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
3) ชั่งตัวอย่างทดลอง (ข้อ1) 1กรัมใส่ลงในถ้วย แล้วนำเข้าไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4) นำถ้วยออกจากตู้อบ แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นต่อจากนั้นจึงนำออกมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) = (A-B) / C * 100

เมื่อ A คือ น้ำหนักถ้วยพร้อมตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
B คือ น้ำหนักถ้วยพร้อมตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
C คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

2. **การหาปริมาณเถ้า (Ash Content)** (วานิช, 2550)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174

เครื่องมือ เตาอบ (Moisture Oven) โถดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วย (Crucible)

วิธีการเตรียมการ

1) นำถ้วยที่สะอาดอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น 15 นาที แล้วชั่งน้ำหนักถ้วย
2) ชั่งตัวอย่างทดลอง 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนักจากข้อ 1
3) นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ประมาณ 4 ชั่วโมงนำถ้วยออกจากเตาอบทิ้งไว้ให้เย็นลงในโถดูดความชื้น 20 นาทีจึงนำมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์) = (A-B) / C * 100

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เมื่อ A คือ น้ำหนักถ้วยพร้อมเถ้าหลังเผา (กรัม)
B คือ น้ำหนักถ้วยก่อนเผา (กรัม)
C คือ น้ำหนักตัวอย่างทดลองที่ใช้ก่อนเผา (กรัม)

3. **การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)** (รุ่งโรจน์, 2553)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175

เครื่องมือ เตาเผา (Electric Muffle Furnace) โถดูดความชื้น (Desiccator) ถ้วย (Crucible) เตาอบ (Moisture Oven)

วิธีการเตรียมการ

1) ชั่งตัวอย่างทดลอง 1 กรัม ลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนัก

2) นำถ้วยพร้อมตัวอย่างเข้าเตาเผาโดยปิดฝาและนำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น 15 นาที

3) ชั่งน้ำหนักของถ้วย และตัวอย่างที่เหลือพร้อมฝา

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = (A-B) / A * 100$$

เมื่อ V คือ ปริมาณร้อยละของสารระเหย
A คือ น้ำหนักถ้วย พร้อมฝาและตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
B คือ น้ำหนักถ้วย พร้อมฝาและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

4. **การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)** (สิริชัย, 2556)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (เปอร์เซ็นต์) = 100- (เปอร์เซ็นต์ความชื้น + เปอร์เซ็นต์ปริมาณสารระเหย + เปอร์เซ็นต์เถ้า)

5. **การหาค่าความร้อน (Heating Value)** (วานิช, 2550)

ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D5865

เครื่องมือ เครื่อง bomb calorimeter ลวดเส้นเล็ก ถ้วยโลหะ ถังออกซิเจน

วิธีการเตรียมการ

1) นำด้ายยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ผูกที่ปลายทั้งสองของแท่งเหล็กด้านล่างของฝาบอมบ์

2) ใส่ถ่านอัดแท่งที่ได้ประมาณ 1 กรัมลงไปในถ้วย

3) วางถ้วยบนช่วงปลายเหล็กด้านฝาบอมบ์ จัดด้ายให้สัมผัสตัวอย่างเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ลงไปในตัวบอมบ์

4) ประกอบฝาบอมบ์กับตัวบอมบ์ นำไปอัดออกซิเจนให้ได้ความดันประมาณ 30 บรรยากาศ นำไปวางในถังบรรจุบอมบ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

5) ใส่น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ 24 องศาเซลเซียส ปริมาณ 2 ลิตร ลงในถัง(Bucker) เสียบสายไฟที่ใช้ในการจุดระเบิด 2 เส้น เข้ากับตัวบอมบ์แล้วปิดฝาเครื่อง

6) เปิดสวิตช์ อ่านอุณหภูมิของน้ำในถังบรรจุบอมบ์ (Bucker) กับน้ำที่อยู่ในตัวหุ้ม (Jacker) เมื่ออุณหภูมิทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน กดปุ่มจุดระเบิด บันทึกค่าอุณหภูมิที่เริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้าย

7) นำตัวบอมบ์ออกปล่อยก๊าซออกจากตัวบอมบ์อย่างช้าๆ

8) ล้างฝาตัวบอมบ์และถ้วยที่บรรจุถ่านอัดแท่ง

9)วัดความยาวลวดที่เหลือแล้วป้อนค่าเข้าสู่เครื่อง เครื่องจะคำนวณแล้วพิมพ์ค่าความร้อนของตัวอย่างออกมาทางเครื่องพิมพ์

6. วิเคราะห์ค่าดัชนีการแตกร่วน (Drop Shatter Test) (อัจฉรา, 2554)

เครื่องมือ ถุงพลาสติก ตะแกรง เครื่องชั่ง

วิธีการ

1)นำถ่านอัดแท่งใส่ถุงพลาสติกประมาณ 100 กรัม
2)ปล่อยจากที่สูง 180 เซนติเมตร ลงสู่พื้นซีเมนต์ซ้ำๆกัน 3 ครั้ง
3) นำถ่านอัดแท่งไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร
4) นำส่วนของถ่านอัดแท่งที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก นำค่ามาหาดัชนีการแตกร่วน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$R = W_a / W_b$$

เมื่อ R = ดัชนีการแตกร่วน
W_a= น้ำหนักของถ่านอัดแท่งหลังทดสอบ (กรัม)
W_b = น้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่ก่อนทดสอบ (กรัม)

7. การหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน (Heat Utilization efficiency) (อัจฉรา, 2554)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) ถ่านอัดแท่งจากชังข้าวโพดผสมผักตบชวา
2) หม้ออลูมิเนียม เบอร์24
3) เตาประสิทธิภาพ (เตาถ่าน)
4) เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการ

1) ชั่งเชื้อเพลิงตัวอย่าง อย่างละ 50 กรัม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

2) ตวงน้ำ 100 กรัม ใส่ในหม้ออลูมิเนียม สำหรับต้มน้ำ และวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนต้ม

3) เสียบเทอร์โมมิเตอร์ ไว้ในหม้อต้มน้ำโดยระวังไม่ให้เทอร์โมมิเตอร์สัมผัสกับก้นหม้อ

4) ใช้เชื้อเพลิงชุบน้ำมันก๊าดประมาณ 5 มิลลิลิตร วางไว้ในเตาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงติดเตา

5) วางแท่งเชื้อเพลิงที่เหลือลงในเตาอย่างโปร่งๆเพื่อให้อากาศถ่ายเทได้สะดวกประมาณ3 ใน4 ของเตาแล้วจุดไฟรอไฟติด

6) นำหม้อน้ำที่เตรียมไว้วางบนเตาบันทึกอุณหภูมิของน้ำเดือด

7) เมื่อน้ำเดือดถึง 100 องศาเซลเซียส ให้เปลี่ยนหม้อน้ำใหม่ และเมื่ออุณหภูมิของน้ำหม้อสุดท้ายไม่เพิ่มขึ้น ชั่งน้ำหนักน้ำที่เหลือ

8) คำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเชื้อเพลิงโดยใช้สูตร

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ (อัจฉรา, 2554)

ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน (Hu) $= \frac{\{MC_p(T_2-T_1)+(M-M_1)L\}\times 100}{(M_fH_1-M_kH_2)}$

เมื่อ Hu คือ ประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเชื้อเพลิง (เปอร์เซ็นต์)

M คือ น้ำหนักน้ำเริ่มต้น (กรัม)

M_1 คือ น้ำหนักน้ำที่เหลืออยู่ (กรัม)

M_f คือ น้ำหนักเชื้อเพลิง (กรัม)

M_k คือ น้ำหนักเชื้อไฟ (กรัม)

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ เท่ากับ 1 แคลอรี่ต่อกรัม

T_1 คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มแรก (องศาเซลเซียส)

T_2 คือ อุณหภูมิของน้ำเดือด (องศาเซลเซียส)

L คือ ความร้อนแฝงของน้ำ เท่ากับ 540 แคลอรี่ต่อกรัม

H_1 คือ ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง (แคลอรี่ต่อกรัม)

H_2 คือ ค่าความร้อนของเชื้อไฟ (แคลอรี่ต่อกรัม)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

8. การทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Density) (วานิช, 2550)

วิธีการ

การทดสอบโดยการนำซังข้าวโพดผสมผักตบชวาอัดแท่งทุกอัตราส่วนชั่งน้ำหนักพร้อมวัดปริมาตร

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$D = \frac{m}{V}$$

เมื่อ

D คือความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
m คือมวลรวมของวัตถุ (กรัม)
V คือปริมาตรรวมของวัตถุ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

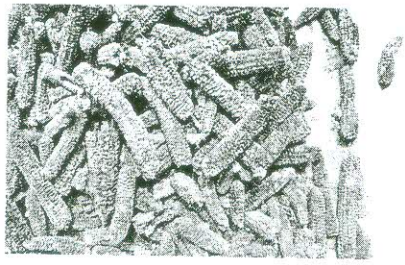
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ภาคผนวก ข
ขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิง

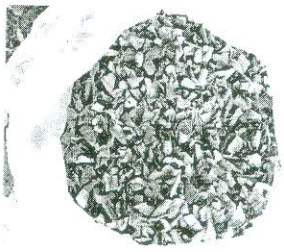
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิง

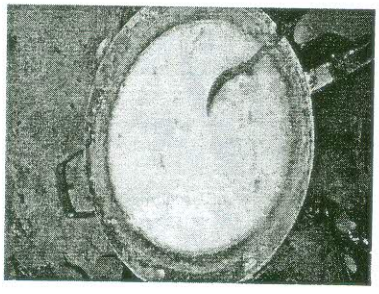
ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันก่อนทำการอัดแท่ง



รูปผนวกที่ ข1 ถ่านซังข้าวโพด



รูปผนวกที่ ข2 ผักตบชวา

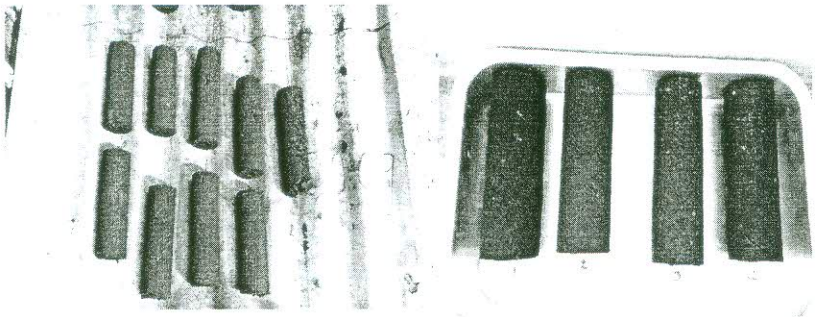


รูปผนวกที่ ข3 การกวนแป้งมันสำปะหลัง

รูปผนวกที่ ข4 การผสมซังข้าวโพดและผักตบชวา

รูปผนวกที่ ข5 การนวดให้เข้ากันแล้วทำการอัดแท่ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

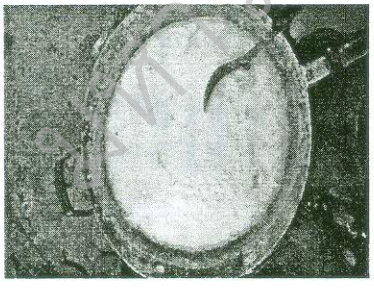


รูปผนวกที่ ข6 ถ่านอัดแท่งมาตากแดด 4-6 วัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและผักตบชวาโดยมีการคาร์บอไนเซชันหลังทำการอัดแท่ง

รูปผนวกที่ ข7 ซังข้าวโพดบดละเอียด

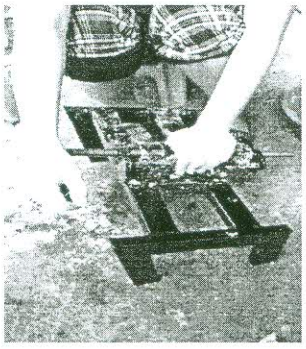
รูปผนวกที่ ข8 ผักตบชวาบดละเอียด



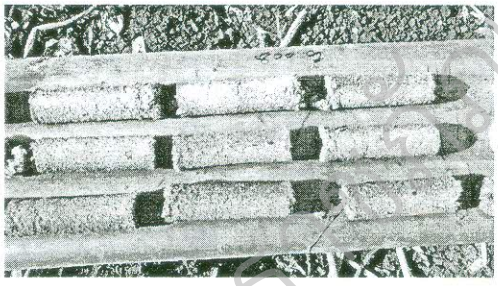
รูปผนวกที่ ข9 การกวนแป้งมันสำปะหลัง

รูปผนวกที่ ข10 การผสมซังข้าวโพดและผักตบชวา

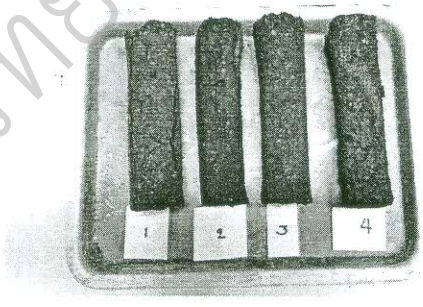
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี



รูปผนวกที่ ข11 การอัดแท่ง



รูปผนวกที่ ข12 นำเชื้อเพลิงที่ได้มาแตกแตด แล้วนำมาเผาให้เป็นถ่าน



รูปผนวกที่ ข13 ถ่านอัดแท่งที่ได้นำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ภาคผนวก ค
ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ภาค ค ภาพขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

1. การหาปริมาณความชื้น

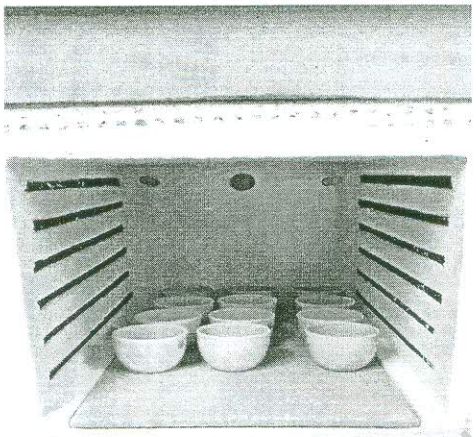
รูปผนวกที่ ค1 การบดถ่านอัดแท่ง

รูปผนวกที่ ค2 การชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

รูปผนวกที่ ค3 การอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

2. การหาปริมาณเถ้า



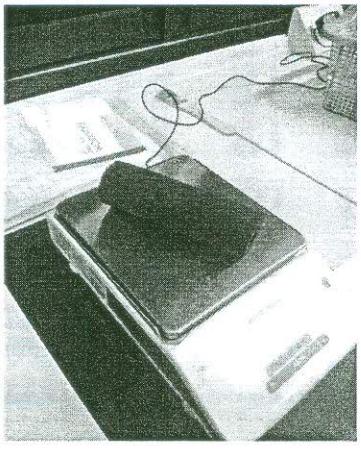
รูปผนวกที่ ค4 การเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3. หาปริมาณสารระเหย

รูปผนวกที่ ค5 การเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

4. ดัชนีการแตกร่วน



รูปผนวกที่ ค6 ชั่งน้ำหนักถ่านอัดแท่งก่อนทดสอบ

รูปผนวกที่ ค7 ปล่อยจากที่สูง 180 เซนติเมตร

รูปผนวกที่ ค8 นำถ่านอัดแท่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร แล้วนำส่วนของถ่านอัดแท่งที่เหลือชั่งน้ำหนัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

5. หาความหนาแน่น

รูปผนวกที่ ค9 วัดความยาว เส้นผ่าศูนย์กลางด้วยไม้บรรทัด

6. หาค่าพลังงานความร้อน

รูปผนวกที่ ค10 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม นำเข้าเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

7. ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน

รูปผนวกที่ ค11 ชั่งน้ำหนักถ่าน ตวงน้ำ 100 กรัม วัดอุณหภูมิของน้ำก่อนต้ม และอุณหภูมิน้ำเดือด และชั่งน้ำหนักน้ำที่เหลือ หลังจากอุณหภูมิน้ำคงที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี