# รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย

## เรื่อง

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสผสมกากมันสำปะหลัง

Briquette fuel production from eucalyptus bark and cassava bagasse

ดร. เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์

เสนอ

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์. 2559. **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสผสมกากมันสำปะหลัง.** สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี.

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังเพื่อลดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและได้แหล่งพลังงานใหม่ โดยมีการแปรอัตราส่วนของเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังเป็น 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ทำการอัดแท่งเชื้อเพลิงและศึกษาคุณลักษณะของแท่งเชื้อเพลิง อัตราส่วนที่ดีของแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังจะต้องมีค่าพลังงานความร้อนมากกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม ผลจากงานวิจัยนี้พบว่าอัตราส่วนของเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง 100:0 และ 75:25 มีค่าพลังงานความร้อนถึง 5,328 และ 5,143 แคลอรี่ต่อกรัม ในงานวิจัยนี้เลือกอัตราส่วน 75:25 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง เนื่องจากมีการใช้วัตถุดิบทั้งสองอย่างให้เกิดประโยชน์ ส่วนคุณลักษณะอื่นๆ ของแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วน 75:25 คือ ความหนาแน่นเท่ากับ 2.089 กรัมต่อ ลบ.ซม. ความชื้นเท่ากับ 5.884% ปริมาณเถ้าเท่ากับ 15.751% สารระเหยเท่ากับ 20.132% และปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 58.141%

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Khamanitjaree Saripan. Briquette fuel production from eucalyptus bark and cassava bagasse. Environmental Science Program, Research and Development, Thepsatri Rajabhat University.

## Abstract

The objective of this research was to study the briquette fuel made from a mixture of eucalyptus bark and cassava bagasse in order to reduce agricultural waste and exploring new energy resource. The difference ratios of mixture as 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100 were prepared and determinate for their properties of briquette fuel. The best ratio for producing briquette from eucalyptus bark and cassava bagasse was investigated from the heat capacity that over 5,000 cal/g. The result indicated that the ratio of mixture as 100:0 and 75:25 gave the heat capacity of 5,328 and 5,143 cal/g, respectively. Due to requirement of using couple of eucalyptus and cassava bagasse, the optimum ratio of briquette fuel was 75:25. The other properties of briquette fuel (75:25) had the density 2.089 g/cm$^3$, moisture 5.884%, ash 15.751%, volatile matter 20.132% and fixed carbon 58.141%.

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

# สารบัญ


| หัวข้อ | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 1 บทนำ** | |
| ชื่อโครงการ | 1 |
| ประเภทงานวิจัย | 1 |
| สาขาวิชาที่ทำการวิจัย | 1 |
| คำสำคัญ (keywords) ของการวิจัย | 1 |
| คณะผู้วิจัย | 1 |
| ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย | 1 |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 2 |
| ขอบเขตของการวิจัย | 2 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| **บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | |
| เชื้อเพลิงอัดแท่ง | 4 |
| ชีวมวล | 4 |
| ประเภทของแท่งเชื้อเพลิง | 4 |
| วัสดุสำหรับทำแท่งเชื้อเพลิง | 6 |
| วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง | 6 |
| ยูคาลิปตัส | 7 |
| กากมันสำปะหลัง | 8 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 9 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

# สารบัญ (ต่อ)


| หัวข้อ | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 3 วิธีการทดลอง** | |
| วัสดุ อุปกรณ์ | 11 |
| วิธีการดำเนินการวิจัย | 12 |
| **บทที่ 4 ผลการทดลอง** | |
| คุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัส และกากมันสำปะหลัง | 13 |
| คุณสมบัติทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัส และกากมันสำปะหลัง | 14 |
| ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง | 16 |
| **บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง** | 18 |
| **บรรณานุกรม** | 19 |
| **ภาคผนวก** | 21 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

# บทที่ 1

# บทนำ

**1. ชื่อโครงการ**

(ภาษาไทย) การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสผสมกากมันสำปะหลัง

(ภาษาอังกฤษ) Briquette fuel production from eucalyptus bark and cassava bagasse

**2. ประเภทงานวิจัย**

(ระบุประเภทของการวิจัย เพียง 1 ประเภท รายละเอียดในผนวก 1)

○ การวิจัยพื้นฐาน (basic research)

⊘ การวิจัยประยุกต์ (applied research)

○ การพัฒนาทดลอง (experimental development)

**3. สาขาวิชาที่ทำการวิจัย**

สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา

**4. คำสำคัญ (keywords) ของการวิจัย**

เชื้อเพลิงอัดแท่ง เปลือกยูคาลิปตัส กากมันสำปะหลัง

**5. คณะผู้วิจัย**

**หัวหน้าโครงการ**

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

**6. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย**

จากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการพัฒนาทางด้านวิทยาการและเทคโนโลยีตลอดจนการขยายตัวทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมต่างๆ ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน ทำให้ความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ความสามารถในการผลิตกลับมีน้อยลง เนื่องจากปริมาณสำรอง (Reserve) ที่ลดน้อยลง หลายประเทศทั่วโลกจึงหาแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานจากฟอสซิล เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานชีวมวล

ประเทศไทยมีการส่งเสริมให้ใช้พลังงานทดแทนที่ได้จากชีวมวลในรูปแบบต่างๆ ยูคาลิปตัสเป็นชีวมวลอย่างหนึ่งที่มีในประเทศไทย เนื่องจากนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ เฟอร์นิเจอร์เป็นจำนวนมาก เปลือกยูคาลิปตัสที่เหลือจากอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นสารอินทรีย์ที่ยากต่อการเน่าสลายแต่มีค่าความร้อนที่สูงพอที่จะมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงาน โดยการนำผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ทดแทนการใช้ฟืนหรือถ่าน นอกจากนี้กากมันสำปะหลังที่ได้จากการผลิตแป้งมันก็เป็นชีวมวลที่มีจำนวนมาก เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตแป้งมันส่งออกเป็นอันดับที่ 1 ของโลก (สำนักวิจัยเศรษฐกิจ, 2555) ทำให้มีกากมันสำปะหลังเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การนำเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง นอกจากจะเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสกับกากมันสำปะหลังเพื่อเป็นพลังงานทดแทนการใช้ฟืนและถ่าน

**7. วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

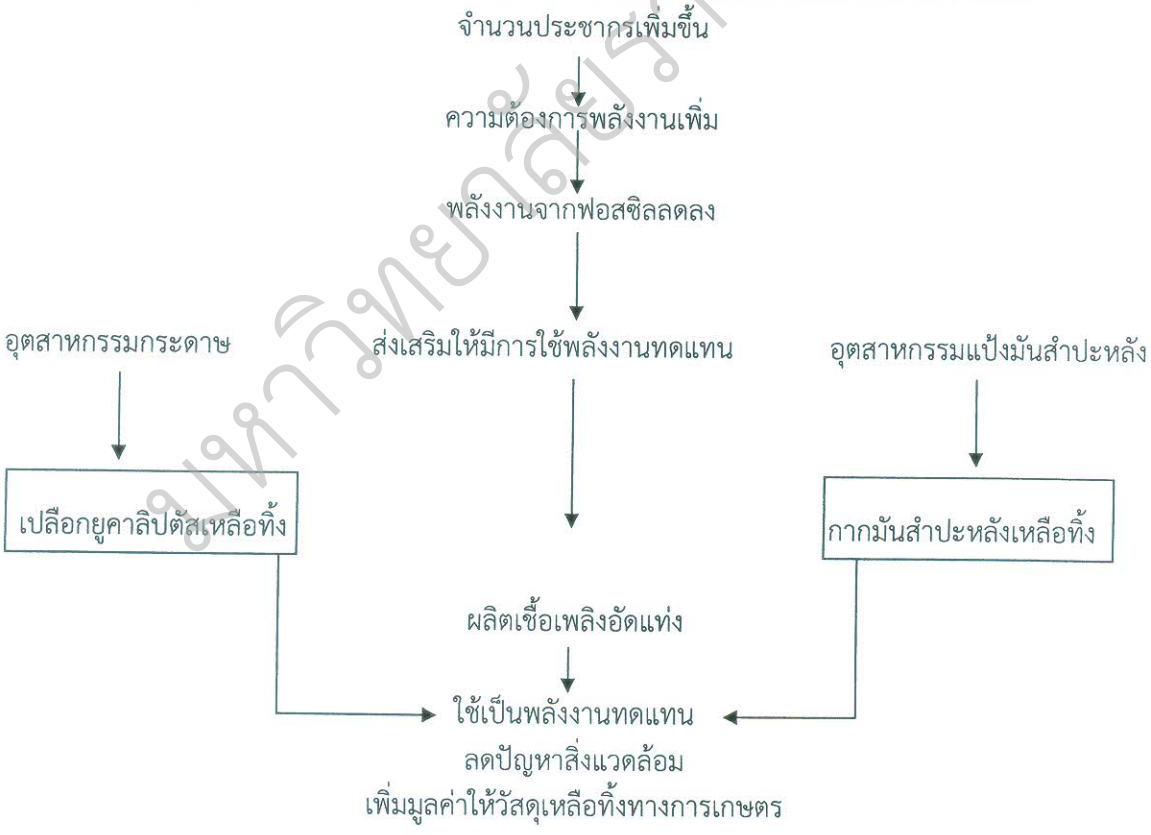
7.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเปลือกยูคาลิปตัสกับกากมันสำปะหลังในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง
7.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง
7.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

**8. ขอบเขตของการวิจัย**

งานวิจัยนี้จะทำการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง โดยเริ่มต้นจะมีการตากวัสดุเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังให้แห้ง เผาเปลือกยูคาลิปตัสแล้วนำมาบดให้ละเอียด คลุกเคล้าให้เข้ากันกับตัวประสาน ตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วอัดให้เป็นแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งด้วยมือ ตากเชื้อเพลิงอัดแท่งให้แห้งแล้วศึกษาค่าพลังงานความร้อนที่ได้

**9. ทฤษฎี สมมติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย**

อัตราส่วนเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ 50:50




มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

**10. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

10.1 เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

10.2 ได้พลังงานทดแทน

10.3 ลดปัญหาขยะอินทรีย์

10.4 ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยในรูปแบบต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดของมหาวิทยาลัยได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

# บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 เชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquettes Fuel)

เชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquettes Fuel) หมายถึง วัสดุเหลือใช้จำพวกชีวมวลจากพืชหรือของเหลือทิ้งจากการเกษตร ที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ด้วยกระบวนจากการอัดแท่งที่มีความหนาแน่นสูง เมื่อผ่านการอัดแท่งก็ต้องนำไปไล่ความชื้นโดยการตากแดดให้เชื้อเพลิงแห้ง 3-5 วัน แล้วจึงนำมาใช้ประโยชน์ในการหุงต้มที่แทนฟืนหรือถ่านได้ (ประลอง, 2542)

## 2.2 ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานได้เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงก็จะได้พลังงาน เมื่อนำชีวมวลเผาไหม้เกิดพลังงานความร้อนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

## 2.3 ประเภทของแท่งเชื้อเพลิง

แท่งเชื้อเพลิงที่มีการผลิตขึ้นในปัจจุบันมี 2 ประเภท คือ

**1) ถ่านอัดแท่ง**

เป็นการนำชีวมวลหรือของเสียที่ ผ่านเป็นถ่านแล้วมาอัดเป็นแท่ง หรืออาจนำแท่งเชื้อเพลิงที่อัดเป็นแท่ง แล้วมาเผาให้เป็นแท่งถ่านก็ได้ (ประลอง, 2542)

กระบวนการผลิต

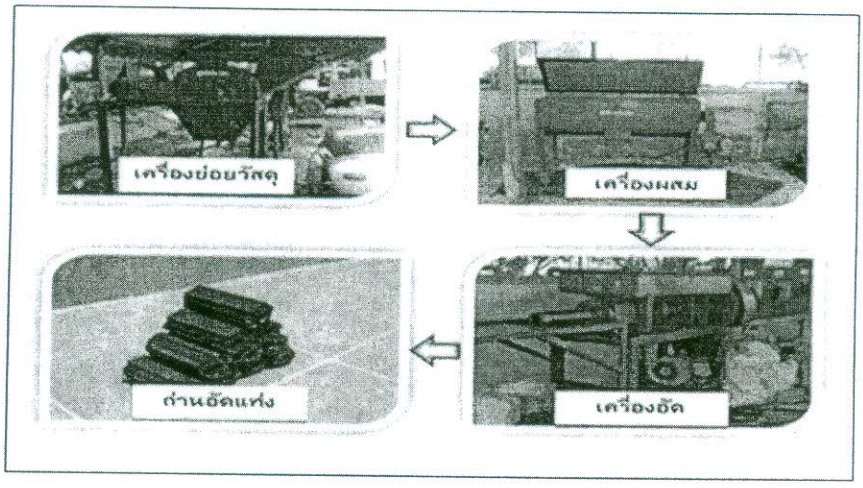
1. นำเศษถ่านหรือถ่านที่ต้องการอัดมาเข้าเครื่องบดถ้าไม่มีเครื่องบดให้ใช้วิธีตำให้ละเอียดจากนั้นนำถ่านที่บดละเอียดแล้วมาผสมกับแป้งมันกวนตามสัดส่วนจากนั้นใช้มือคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน

2. ผสมถ่านกับแป้งมันกวนจนเข้ากันดีแล้วจึงค่อยๆ เติมน้ำโดยการใช้มือพรมน้ำพร้อมกับคลุกเคล้าส่วนผสมต่างๆให้เข้ากันทำแบบนี้ไปเรื่อยๆจนส่วนผสมเข้ากันและสังเกตว่าถ่านเริ่มจับก้อนให้ทดสอบโดยการใช้มือกำถ้ากำส่วนผสมแล้วไม่แตกจากกันก็ใช้ได้

3. นำถ่านที่ผสมจนได้ความชื้นตามต้องการแล้วเข้าเครื่องอัดถ่านถ้าไม่มีเครื่องอัดถ่านให้ใช้ท่อพีวีซีแทนก็ได้

4. นำถ่านที่อัดเสร็จเรียบร้อยแล้วไปตากแดดประมาณ 3 วัน (สามารถทดสอบความแห้งของถ่านโดยชั่งน้ำหนัก น้ำหนักจะเหลือ ½ ขีด

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี




รูปที่ 1 กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง
ที่มา : (บุญมา, 2552)

**2) แท่งเชื้อเพลิงเขียว**

เป็นการนำชีวมวลหรือของเสียมาอัดแท่งแล้วนำไปใช้งานโดยตรง ไม่ต้องมีขั้นตอนการเผา เหมือนเช่นถ่านอัดแท่ง ตัวอย่างของแท่งเชื้อเพลิงเขียวแบบต่างๆ

กระบวนการผลิต

1) เตรียมวัตถุดิบโดยนำชีวมวลทั้งหมดไปตากจนมีค่าความชื้นต่ำกว่า 15 % มาตรฐานแห้ง แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดจนมีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตรต่อจากนั้นนำชีวมวลที่บดแล้วไปเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด

2) อัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งให้ทดสอบเดินเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเพื่อดูสภาพความพร้อมในใช้งาน

3) ทำการชั่งน้ำหนักของชีวมวลที่บดแล้วและตัวประสานให้ได้ตามสัดส่วนที่ต้องการ

4) นำส่วนผสมทั้งหมดไปผสมกันโดยใช้เครื่องผสมวัสดุจนกระทั่งวัตถุดิบทั้งหมดผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวประสาน

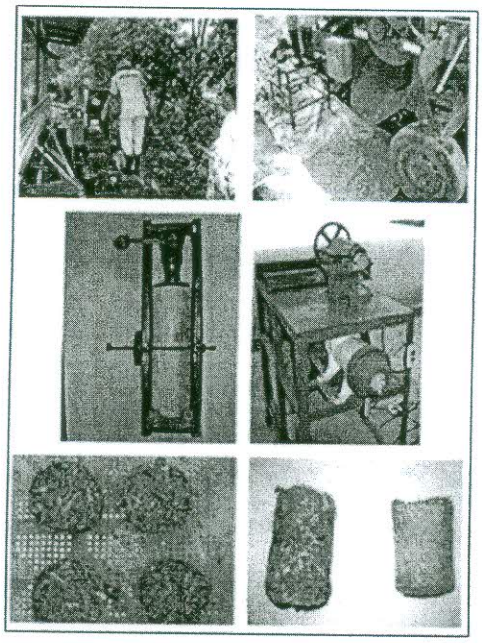
5) หลังจากผสมวัตถุดิบกับตัวประสานได้ตามสัดส่วนที่ต้องการแล้ว นำวัตถุดิบทั้งหมดป้อนเข้าสู่เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งโดยจะใส่ลงในถังพักป้อน (Hopper)

6) นำภาชนะมารองชีวมวลที่ยังไม่เป็นแท่งในขณะเริ่มอัดเนื่องจากในระยะแรกๆ มวลของวัตถุดิบทั้งหมดยังไม่เต็มกระบอกอัดจึงยังไม่ติดเป็นก้อน รอจนกระทั่งเชื้อเพลิงติดกันเป็นแท่งยาว

7) ตัดแท่งเชื้อเพลิงออกเป็นท่อนโดยให้มีความยาวท่อนละ 15 เซนติเมตร

8) นำแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปตากแดด หรืออบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ 10% มาตรฐาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี



รูปที่ 2 กระบวนการแท่งเชื้อเพลิงเขียว
ที่มา : (พิสิษฐ์, 2552)

**2.4 วัสดุสำหรับทำแท่งเชื้อเพลิง**

2.4.1 ชีวมวล

1) เปลือกยูคาลิปตัส (กระพี้) หรือเนื้อไม้ด้านนอกซึ่งอยู่ติดกับเปลือกไม้และเป็นที่อยู่ของท่อลำเลียงน้ำเป็นเศษวัสดุที่เหลือใช้จากการทำเฟอร์นิเจอร์และกระดาษ

2) กากมันสำปะหลัง เป็นเศษวัสดุที่เหลือใช้จากการนำผลมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง

2.4.2 ตัวประสาน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (ธงชัย, 2547) คือ

1) ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Binder) ได้แก่ ทาร์, แป้ง, มูลสัตว์, กากน้ำตาล, เรซินธรรมชาติ และเรซินสังเคราะห์

2) ตัวประสานที่ เผาไหม้ไม่ได้ (Incombustible Binder) ได้แก่ ดินเหนียว, โคลน, และซีเมนต์

**2.5 วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง**

การอัดแท่งเชื้อเพลิง เป็นกระบวนการในการเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เป็นแท่งๆ โดยใช้เครื่องอัดแท่ง โดยวิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้ (ทองทิพย์, 2542)

1. การอัดแบบใช้ความร้อน (อัดร้อน) เป็นวิธีการอัดแท่งที่ใช้ความร้อนและแรงอัดสูงในการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง โดยความร้อนจะไปทำให้สารพวกลิกโนเซลลูโลสในวัสดุชีวมวลถูกสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกลายเป็นตัวประสานให้วัสดุสามารถจับตัวกันเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ วิธีนี้สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย เศษไม้ วัสดุนี้จะนำมาทำการลดความชื้นให้เหลือไม่เกินร้อยละ 5 หากวัสดุมีขนาดใหญ่ต้องทำให้มีขนาดเล็กเสียก่อน จากนั้นนำไปเข้าเครื่องอัดต่อไป การอัดแบบใช้ความร้อนเรียกอีกอย่างว่า การผลิตเชื้อเพลิง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

แข็ง เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่มีความแข็งและแน่นมากซึ่งต้องใช้ความร้อนและแรงอัดที่สูงมาก จึงจะสามารถหลอมวัสดุได้ การอัดแท่งยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวเป็นแท่ง เช่น ปริมาณความชื้น แรงดัน อุณหภูมิและขนาดวัตถุดิบ เป็นต้น

2. การอัดแบบอัดเย็น วิธีการอัดแท่งแบบนี้จะใช้แรงอัดและอุณหภูมิระหว่างอัดต่ำ โดยอาศัยความสามารถของวัสดุชีวมวล ในการจับตัวกันเป็นแท่งหรือประสาน วัสดุที่ใช้อัดจะมีเส้นใยและความเหนียวที่สามารถทำให้วัสดุเกาะติดกันได้ เช่น เพกติน เยลลานินและกัม ซึ่งรูปแบบการอัดแบบนี้มีกระบวนการอัดแท่งแบ่งได้ 2 แบบคือ

2.1 แบบไม่ใช้ตัวประสาน จะใช้วัสดุชนิดเดียวอัดตัวมันเองให้เป็นแท่ง โดยวัสดุนี้จะสามารถจับติดกันหรือประสานตัวมันเองได้ เช่น การอัดผักตบชวาเป็นต้น

2.2 แบบใช้ตัวประสาน เป็นการอัดที่ใช้วัสดุชนิดอื่นเป็นตัวประสาน เรียกว่า ตัวเชื่อมประสาน (Binder) เพราะตัวมันเองไม่มีเส้นใยหรือยางเหนียวเพียงพอที่จะจับตัวได้ เช่น การอัดฟางข้าวผสมกับตะกอนน้ำเสีย การอัดเปลือกทุเรียนผสมกับผักตบชวา ซึ่งตัวประสารที่ผสมมีทั้งที่สามารถให้ความร้อนและที่ผสมเพื่อให้การจับตัวดีขึ้น เช่น ซีเมนต์ ดินเหนียว แป้งเปียก

## 2.6 ยูคาลิปตัส

**ลักษณะของยูคาลิปตัส**

ต้นยูคาลิปตัส จัดเป็นไม้ยืนต้น ลำต้นตั้งตรงมีความสูงได้ประมาณ 10-25 เมตร เรือนยอดเป็นพุ่มหนาทึบค่อนข้างกลม แตกกิ่งก้านมาก เปลือกต้นบางเรียบเป็นมันและลอกออกง่าย เปลือกต้นเป็นสีน้ำตาลอ่อนปนขาว หรือมีสีเทาสลับสีขาวและสีน้ำตาลแดงเป็นบางแห่ง เปลือกนอกจะแตกร่อนเป็นแผ่นๆ และหลุดออกจากผิวของลำต้น เมื่อแห้งจะลอกได้ง่าย กิ่งก้านเล็กเป็นเหลี่ยม มีจุดตากลม

ใบยูคาลิปตัส ใบเป็นใบเดี่ยว ออกเรียงสลับเป็นคู่ ใบห้อยลง ลักษณะของใบเป็นรูปหอก ปลายใบแหลม ใบมีขนาดกว้างประมาณ 2-7 เซนติเมตร และยาวประมาณ 12-30 เซนติเมตร แผ่นใบหนาเป็นสีเขียวอมสีน้ำเงิน มีผงคล้ายแป้งปกคลุม เส้นใบมองเห็นได้ชัดเจน ก้านใบสั้น ก้านใบยาวประมาณ 2 เซนติเมตร

เปลือกยูคาลิปตัส

รูปที่ 3 เปลือกยูคาลิปตัส

ที่มา: (เปลือกยูคาลิปตัส, 2558)

โครงสร้างของต้นยูคาลิปตัสซึ่งประกอบด้วย เปลือกไม้ซึ่งอยู่ด้านนอกสุดและเนื้อไม้ที่ซ่อนอยู่ด้านใน โดยในส่วนของเนื้อไม้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนแรก คือ “กระพี้” หรือเนื้อไม้ด้านนอกซึ่งอยู่ติดกับเปลือกไม้และเป็นที่อยู่ของท่อลำเลียงน้ำ (xylem) จำนวนมาก

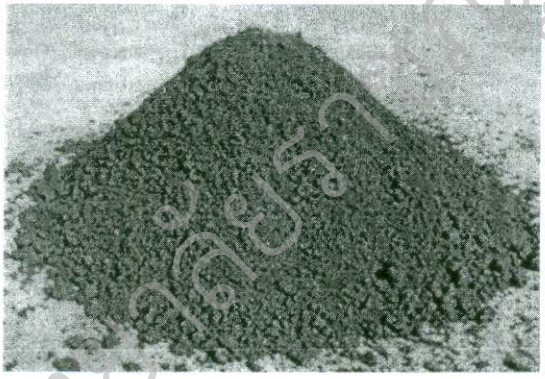
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ส่วนที่สอง คือ “แก่น” หรือเนื้อไม้ด้านในสุดซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยกระพี้
เมื่อต้นยูคาลิปตัสเติบโตเต็มที่พื้นที่ของกระพี้ก็จะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการสร้างท่อลำเลียงน้ำใหม่ ซึ่งท่อลำเลียงน้ำอันเก่าหลังจากใช้งานมานานก็จะมีการสะสมของสารต่างๆ ภายในเซลล์ จนเกิดการอุดตันจนกลายเป็นแก่นที่ไม่สามารถลำเลียงน้ำได้อีก ซึ่งยูคาลิปตัสนั้นจะมีแก่นก็ต่อเมื่ออายุเกิน 15 ปีขึ้นไป

เปลือกยูคาลิปตัส มีลักษณะเรียบเป็นมัน มีสีเทาสลับสีขาวและน้ำตาลแดงเป็นบางแห่ง เปลือกนอกจะแตกร่อนเป็นแผ่นหลุดออกจากผิวของลำต้น เมื่อแห้งจะลอกออกง่าย เปลือกหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร การนำไปใช้งาน เปลือกยูคาลิปตัส มีประโยชน์หลายอย่าง นำไปเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิง จุดเด่นเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าความร้อนสูง ส่วนจุดด้อยเปลือกยูคาลิปตัสเป็นต้นไม้ที่ต้องการน้ำในปริมาณมาก

**2.7 กากมันสำปะหลัง**

กากมันสำปะหลัง เป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลังและจัดได้ว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นของแข็งที่มีปริมาณมากที่สุดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยลักษณะทั่วไปของกากมันสำปะหลังมีลักษณะที่ละเอียด สีน้ำตาล และมีความชื้นสูงประมาณร้อยละ 75 กากมันสำปะหลังที่ได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตอยู่ร้อยละ 55 - 56 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งแป้งในส่วนนี้จะอยู่ในลิกโนเซลลูโลสและเพคตินของเซลล์พืชเซลลูโลสและเส้นใยอยู่ร้อยละ 10 - 15 โปรตีนร้อยละ 1.5 - 5 และไขมันร้อยละ 0.1 - 4 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุในปริมาณที่ต่ำ เช่น $Cu^{2+}$ $Zn^{2+}$ $Mn^{2+}$ $Fe^{2+}$ และ $Mg^{2+}$ อยู่ในปริมาณ 4 21 40 155 และ 1100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมกากมันสำปะหลังแห้งตามลำดับ



รูปที่ 4 กากมันสำปะหลัง
ที่มา : มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (2552)

ประโยชน์ของกากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จากการศึกษาวิจัยของคณะสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พบว่ากากมันชนิดนี้มีโปรตีน 2.8 เปอร์เซ็นต์ ให้พลังงานประมาณ 3,400 แคลอรี่ต่อกิโลกรัม และมีเยื่อใยสูงถึง 17.9 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้ ทั้งโคเนื้อ-โคนม และแพะ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนของกากมันให้สูงขึ้นได้ด้วยกระบวนการหมักสารละลายยีสต์ ที่ประกอบไปด้วยยีสต์สำหรับทำขนมปัง, น้ำตาลทรายแดง, กากน้ำตาล และปุ๋ยยูเรีย ทำให้โปรตีนในกากมันสำปะหลังสดสูงขึ้นเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ หากหมักทิ้งไว้ 20 วันจะสูงขึ้นเป็น 27 เปอร์เซ็นต์ หลังผ่านขั้นตอนหมัก 30 วันจึงเหมาะสำหรับใช้เสริมเป็นอาหารสัตว์ หรือจะนำเอากากมันสำปะหลังมาอัดเม็ดใช้ในภาคอุตสาหกรรมใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ (Boiler) ส่วนในบ้านเรือนจะใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับ

เตาพิง (pellet stove) ในเมืองหนาวเม็ดพลังงานเชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถให้ค่าความพลังงานความร้อนถึง 3000 - 4000 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล (2553) การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ โดยศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง โดยทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยทำการนำวัสดุทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมาผสมกัน 5 อัตราส่วน ลักษณะถ่านอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร มีครีบโดยรอบจำนวน 5 ครีบ และมีรู กลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร แรงอัด 33 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนักถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 9 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 6,580.10 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และอัตราส่วน 1 : 9 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนต่ำสุดเท่ากับ 4,514.13 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

เกรียงไกร วงศาโรจน์ (2554) ศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็น รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในรูปของ ค่าความร้อน และความต้านทานแรงกด วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทดลองคือ ลำต้นและกิ่งของสบู่ดำนำไปผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ อันได้แก่ แกลบ ชานอ้อย กากมันสาปะหลัง และซังข้าวโพด สารเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน ทำมาจากแป้งเปียกและโมลาส ก่อนทำการผสมตัวประสานลงไป วัตถุดิบจะถูกบดด้วยเครื่องบดจนมีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพ วัตถุดิบจะถูกนำมาผสมกับตัวประสานในสัดส่วนต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของสบู่ดำ และที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานเล็กน้อย ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะมีค่าต่ำกว่า แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสาน แต่อย่างไรก็ตามค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตโดยใช้ตัวประสานทั้งสองชนิดก็ยังคงมีค่าสูงพอที่จะใช้ผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าอยู่ประมาณ 11.54 - 15.36 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และมีค่าความต้านทานแรงกดอยู่ที่ 0.46 -2.46 เมกกะปาสคาล

ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์ (2558) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์ สายพันธุ์ปากช่อง โดยนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังซึ่งใช้เป็นตัวประสานให้ได้สัดส่วนหญ้าเปียร์ต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 100 : 0, 95 : 5, 90 : 10, 85 : 15 และ 80 : 20 แล้วจึงนำไปอัดแท่ง จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความหนาแน่น (Density) และค่าต้านทานแรงกด (Compressive strength) วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง คือ ดัชนีการแตกร่วน (Shatter index) และค่าความร้อน (Heating Value) ผลการวิจัยพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 100 : 0 เมื่ออัดแท่งออกมาแล้วไม่สามารถคงรูปได้ เนื่องจากไม่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์คือ สัดส่วนหญ้าเนเปียร์ : แป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 90 : 10 เนื่องจากมีค่าความร้อนที่สูงเท่ากับ 3,887.1 แคลอรีต่อกรัม มีค่าต้านทานแรงกดที่สูง 24.727 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีความแข็งแรง ง่ายต่อการขนส่งและการเก็บรักษาที่สะดวก มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.723 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 0.942 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถนำหญ้าเนเปียร์มา

ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ เป็นการนำแหล่งชีวมวลแหล่งใหม่ที่มีศักยภาพในการผลิตสูงมาใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงได้

เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร (2556) ศึกษากากตะกอนเปียกจากน้ำเสียของกระบวนการผลิตเอทานอลในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่งและเพิ่มคุณภาพโดยการนำไปผสมกับเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยงานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนเปียกผสมร่วมกับชีวมวลในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกที่มีคุณภาพมากที่สุด ที่มีกากตะกอนเปียกเป็นส่วนผสมหลัก จากการวิเคราะห์สมบัติทางด้านพลังงานของเชื้อเพลิงจากตะกอนเปียกบริสุทธิ์ มีค่าความร้อน 3,851.3 cal/g ปริมาณเถ้า 34.3% คาร์บอนคงตัว 30.2% สารที่ระเหยได้ 33.2% และมีความชื้น 5.3% ซึ่งถือว่ายังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่จัดว่าเป็นสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่ดีจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาและเพิ่มคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกให้มากขึ้นเพื่อนำไปใช้ทดแทนถ่านและฟืน โดยในงานวิจัยนี้ได้นำ เปลือกมังคุด และ เปลือกทุเรียน เข้ามาผสมร่วมเพื่อเพิ่มคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ใน 5 อัตราส่วน ดังนี้ 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ทั้งเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียนรวม 10 ตัวอย่าง พบว่า อัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดโดยที่มีกากตะกอนเปียกเป็นตัวผสมหลักคือ 5:5 ทั้งเปลือกมังคุดหรือเปลือกทุเรียน ทั้ง 2 ตัวอย่าง มีค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มมากขึ้นแปรผันตรงตามอัตราส่วนผสมของชีวมวลที่เพิ่มขึ้น และยังทำให้ปริมาณเถ้าและสารระเหยน้อยลงตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกผสมร่วมกับเปลือกมังคุดในอัตราส่วน 5 :5 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนมากที่สุด คือ 4,665 cal/g และมีสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงดีที่สุดและสามารถคืนทุนในระยะเวลาอันสั้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

# บทที่ 3
# วิธีการทดลอง

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสผสมกากมันสำปะหลัง ทำการอัดแท่งโดยเครื่องอัดแบบลูกสูบ มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

## 3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

1. เปลือกยูคาลิปตัส ที่เหลือจากการตัดไม้ยูคาลิปตัสเพื่อจำหน่าย โดยได้จากร้านรับซื้อไม้ยูคาลิปตัส อำเภอสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี
2. กากมันสำปะหลัง ที่เหลือจากการผลิตเอทานอลจากบริษัททรัพย์ทิพย์ จำกัด อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

## 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
2. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ตู้ดูดความชื้น
4. จานระเหย
5. เครื่องอัดแท่ง
6. ครกหิน
7. เตาเผา
8. ตู้อบ
9. ปากคีบ
10. ถาดอะลูมิเนียม
11. ช้อนตักสาร

## 3.3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. ก๊าซออกซิเจน

## 3.4 ตัวแปรที่ศึกษา

3.3.1 ตัวแปรอิสระ

-สัดส่วนเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

3.3.2 ตัวแปรตาม

-ปริมาณความร้อน

-ความชื้น ปริมาณเถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว

3.3.3 ตัวแปรควบคุม

-ขนาดของแท่งเชื้อเพลิง

## 3.5 การเตรียมเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

1) นำเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง มาตากแดดให้แห้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

2) เผาเปลือกยูคาลิปตัสให้เป็นถ่านและบดกากมันสำปะหลัง ให้ละเอียดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 16

3) อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อลดความชื้น

4) เก็บในถุงพลาสติกสุญญากาศเพื่อใช้การขั้นตอนต่อไป

**3.6 ศึกษาอัตราส่วนแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง**

1) ชั่งถ่านยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังจาก 3.5 ที่บดและอบแล้ว

2) ผสมและคลุกเคล้าให้เข้ากันตามอัตราเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง ดังนี้ 100:0 75:25 50:50 25:75 0:100 (ปริมานทั้งหมดของแต่ละอัตราส่วน 200 กรัม)

3) ผสมกากน้ำตาล 150 กรัม น้ำ 100 มิลลิลิตร

4) นำไปอัดให้เป็นแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ

5) นำไปตากแดดที่โล่งแจ้งประมาณ 4-6 วัน เพื่อไล่ความชื้น

6) วิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ความหนาแน่นและปริมาณคาร์บอนคงตัว

7) ทำการอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนละ 5 ซ้ำ ทั้งหมด 25 แท่ง

**ตารางที่ 3.1** แสดงวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

| พารามิเตอร์ | วิธีการวิเคราะห์ |
|---|---|
| ค่าพลังงานความร้อน | ASTM D 5865 |
| ความชื้น | ASTM D 3173 |
| ปริมาณเถ้า | ASTM D 3174 |
| ปริมาณสารระเหย | ASTM D 3175 |
| ปริมาณคาร์บอนคงตัว | ASTM D 3172 |

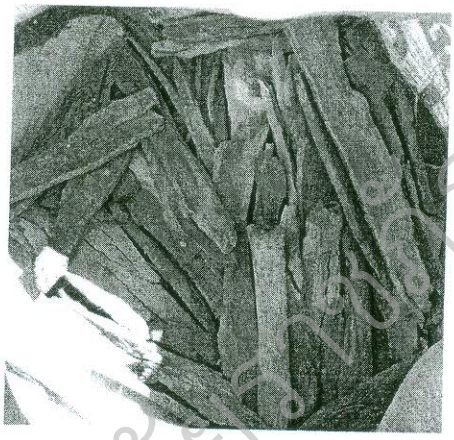
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

# บทที่ 4
# ผลและอภิปรายผลการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสผสมกากมันสำปะหลัง โดยทำการแปรผันอัตราส่วนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสกับกากมันสำปะหลัง ผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

## 4.1 คุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

เมื่อนำเปลือกยูคาลิปตัส (รูปที่ 4.1) มาทำการเผาให้เป็นถ่าน (รูปที่ 4.2) แล้วบดให้ละเอียดจะได้ถ่านจากเปลือกยูคาลิปตัสจึงนำไปผสมกับกากมันสำปะหลัง ในอัตราส่วนที่กำหนด คือ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0: 100 ตามลำดับ โดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานเพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงเกิดการคงรูป ทำการอัดด้วยเครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ



**รูปที่ 4.1** เปลือกยูคาลิปตัสที่ใช้ในการเผาให้เป็นถ่านก่อนการอัดแท่ง

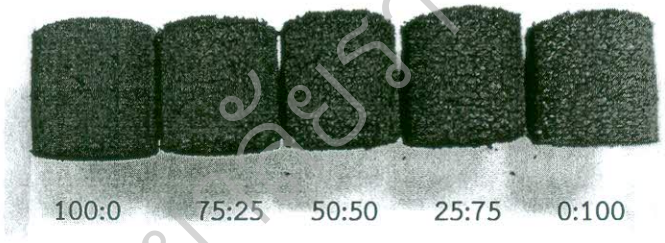
**รูปที่ 4.2** ถ่านจากเปลือกยูคาลิปตัส

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ผลของลักษณะทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าทุกอัตราส่วนสามารถขึ้นรูปได้ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของถ่านเปลือกยูคาลิปตัสที่เพิ่มขึ้นโดยความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ในช่วง1.584-2.399 กรัมต่อลบ.ซม. (ตารางที่ 4.1) จากการสังเกตแท่งของเชื้อเพลิงจะเห็นว่าอัตราส่วนที่มีถ่านเปลือกยูคาลิปตัสเป็นหลักแท่งเชื้อเพลิงสามารถขึ้นรูปได้ดีไม่มีการแตกร้าว (รูปที่ 4.3) เนื่องจากมีความหนาแน่นมาก ส่วนอัตราส่วนที่มีกากมันสำปะหลังเป็นหลักเมื่อทำการขึ้นรูปพบว่าแท่งเชื้อเพลิงมีการแตกร้าวเล็กน้อย เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นลดลง

**ตารางที่ 4.1** ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

| อัตราส่วนเปลือกยูคาลิปตัส ต่อกากมันสำปะหลัง | ความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.) |
|---|---|
| 100:0 | 2.399±0.118 |
| 75:25 | 2.089±0.166 |
| 50:50 | 1.930±0.126 |
| 25:75 | 1.836±0.124 |
| 0:100 | 1.584±0.100 |




**รูปที่ 4.3** ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

## 4.2 คุณสมบัติทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

ผลของคุณสมบัติทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังพบว่าหลังจากทำการอัดแท่งแล้วนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นแล้ว ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.636-6.596% (ตารางที่ 4.2) ซึ่งอยู่เกณฑ์ตามที่ผลิตภัณฑ์มาตรฐานชุมชนกำหนด (ความชื้นน้อยกว่า 10%) หากความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงสูงเกินไปจะส่งให้แท่งเชื้อเพลิงแตกง่าย ติดไฟได้ยาก ส่วนปริมาณเถ้าของแท่งเชื้อเพลิงจะแปรผันตามสัดส่วนของถ่านเปลือกยูคาลิปตัส กล่าวคือเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของถ่านเปลือกยูคาลิปตัสทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 4.3) ปริมาณของเถ้าที่ได้จากแท่งเชื้อเพลิงมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ตามที่ผลิตภัณฑ์มาตรฐานชุมชนกำหนด (ปริมาณเถ้าน้อยกว่า 8%) ทั้งนี้เนื่องมาจากองค์ประกอบของเปลือกยู

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

คาลิปตัสและกากมันสำปะหลังมีส่วนของสารอนินทรีย์หรือแร่ธาตุมาก ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ เมฆ ขวัญแก้ว และคณะ (2553) ที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารหยาบหมักพบว่าในกากมันสำปะหลังมีปริมาณเถ้า 17.66% และงานวิจัยของ Vikrant and Pant (2006) ที่วิเคราะห์ปริมาณเถ้าในเปลือกยูคาลิปตัสพบว่า ปริมาณเถ้าของเปลือกยูคาลิปตัสเท่ากับ 19% เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณเถ้ามากจะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงลดลง

**ตารางที่ 4.2** ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

| อัตราส่วนเปลือกยูคาลิปตัส ต่อกากมันสำปะหลัง | ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|
| 100:0 | 6.553±0.878 |
| 75:25 | 5.884±0.290 |
| 50:50 | 4.636±0.215 |
| 25:75 | 6.033±0.091 |
| 0:100 | 6.596±0.194 |

**ตารางที่ 4.3** ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

| อัตราส่วนเปลือกยูคาลิปตัส ต่อกากมันสำปะหลัง | ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|
| 100:0 | 16.078 ±0.269 |
| 75:25 | 15.751±0.371 |
| 50:50 | 14.829±0.273 |
| 25:75 | 12.151 ±0.220 |
| 0:100 | 10.295±0.030 |

ผลจากการศึกษาปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังแสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเปลือกยูคาลิปตัสจะทำให้ปริมาณสารระเหยที่ได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากในยูคาลิปตัสมีส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหย อย่างไรก็ตามปริมาณสารระเหยของแท่งเชื้อเพลิงในทุกอัตราส่วนมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนคือปริมาณสารระเหยไม่เกิน 25%

จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง พบว่าอัตราส่วนที่มีเปลือกยูคาลิปตัสต่อกากมันสำปะหลังเป็น 0:100 เป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุดเท่ากับ 72.285% เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเปลือกยูคาลิปตัสจะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวลดลง เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่มีเปลือกยูคาลิปตัสเป็นหลักมีปริมาณสารระเหยและปริมาณเถ้าสูง หากแท่งเชื้อเพลิงมีปริมาณคาร์บอนคงตัวหรือส่วนที่เผาไหม้ได้สูงจะทำให้แท่งเชื้อเพลิงมีระยะเวลาในการมอดดับหรือระยะเวลาในการใช้งานนานขึ้น (เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร, 2556)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

**ตารางที่ 4.4** ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

| อัตราส่วนเปลือกยูคาลิปตัส ต่อกากมันสำปะหลัง | ปริมาณสารระเหย (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|
| 100:0 | 23.580±0.240 |
| 75:25 | 20.132±0.250 |
| 50:50 | 19.041±1.655 |
| 25:75 | 12.751±0.540 |
| 0:100 | 10.690±0.062 |

**ตารางที่ 4.5** ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

| อัตราส่วนเปลือกยูคาลิปตัส ต่อกากมันสำปะหลัง | ปริมาณคาร์บอนคงตัว (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|
| 100:0 | 54.073±0.891 |
| 75:25 | 58.141±0.604 |
| 50:50 | 61.478±1.621 |
| 25:75 | 69.191±0.163 |
| 0:100 | 72.285±0.136 |

**4.3 ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง**

ผลของค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังแสดงในตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานความร้อนมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนของเปลือกยูคาลิปตัสที่เพิ่มขึ้นโดยอัตราส่วนที่มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดคืออัตราส่วน 100:0 และมีค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดที่อัตราส่วน 0:100 โดยอัตราส่วน 100:0 ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ 5,328 แคลอรี่ต่อกรัม อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของเปลือกยูคาลิปตัสต่อกากมันสำปะหลัง 75:25 ก็สามารถให้ค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ 5143 แคลอรี่ต่อกรัม และยังได้ใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทั้งสองประเภท ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ คือ อัตราส่วนที่มีเปลือกยูคาลิปตัสร้อยละ 75 และ มีกากมันสำปะหลังร้อยละ 25 เมื่อเปรียบค่าพลังงานความร้อนที่ได้กับวัตถุดิบอื่นๆ (ตารางที่ 4.7) จะเห็นได้ว่าแท่งเชื้อเพลิงจากเปลือกยูคาลิปตัสผสมกากมันสำปะหลังให้ค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงจากหญ้าเนเปียร์และแท่งเชื้อเพลิงจากกากตะกอนเปียกผสมกับเปลือกมังคุด แต่ยังให้ค่าพลังงานความร้อนที่ต่ำกว่าแท่งเชื้อเพลิงจากฟางข้าวและซังข้าวโพด

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

**ตารางที่ 4.6** ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

| อัตราส่วนเปลือกยูคาลิปตัส ต่อกากมันสำปะหลัง | พลังงานความร้อน (แคลอรี่ต่อกรัม) |
|---|---|
| 100:0 | 5328.572±102.340 |
| 75:25 | 5143.069±225.349 |
| 50:50 | 4839.416±62.743 |
| 25:75 | 4697.143±67.891 |
| 0:100 | 4328.365±272.398 |

**ตารางที่ 4.7** เปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัตถุดิบต่างๆ

| **วัตถุดิบ** | **อัตราส่วน** | **พลังงานความร้อน** (แคลอรีต่อกรัม) | **อ้างอิง** |
|---|---|---|---|
| กากตะกอนเปียกผสมกับเปลือกมังคุด | 5:5 | 4,665 | เอกลักษณ์, 2556 |
| หญ้าเนเปียร์ | - | 3,887.1 | ศุภชัย และภูมิพัฒน์, 2558 |
| ฟางข้าวผสมกับซังข้าวโพด | 5:5 | 5,802 | ศิรินุช และคณะ, |
| เปลือกยูคาลิปตัสผสมกับกากมันสำปะหลัง | 75:25 | 5,143 | งานวิจัยนี้ |

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสผสมกากมันสำปะหลังโดยมีการแปรผันอัตราส่วนของเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังเป็น 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0: 100 ผลลักษณะทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงพบว่า แท่งเชื้อเพลิงมีลักษณะทางกายภาพที่ดีกล่าวคือ สามารถทำการอัดแท่งและขึ้นรูปได้ เมื่อนำไปทดสอบคุณลักษณะทางเคมีของแท่งเชื้อเพลิงพบว่า ความชื้น สารระเหย และพลังงานความร้อน เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนด อัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสผสมกากมันสำปะหลังที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานคือ อัตราส่วน 25:75 เนื่องให้ค่าพลังงานความร้อนได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน (5143 แคลอรี่ต่อกรัม) และสามารถนำวัตถุดิบทั้งสองอย่างมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงานทดแทนได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

## บรรณานุกรม


ทองทิพย์ พูลเกษม. (2542). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาสาสตร์มหาบัณฑิต.

ธงชัย ประจักษ์สูตร์. (2547). การเพิ่มศักยภาพของชานอ้อยเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรรมครัวเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาสาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

บุญมา ป้านประดิษฐ์. (2558). โครงการบำบัดและใช้ประโยชน์จากขยะตามแนวพระราชดำริ. สืบค้น, สิงหาคม 9, http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch54/GroupRoyal/07-Boonma_Pan/template.html.

ประลอง ดำรงไทย. (2542). โครงการวิจัยเพื่อปรับปรุงและส่งเสริมการใช้แท่งเชื้อเพลิงเขียว. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้สำนักวิชาการป่าไม้กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

เปลือกคาลิปตัส. (2558). Eucalyptus Bark: เปลือกไม้ยูคาลิปตัส. สืบค้น, สิงหาคม 9, http://www.i-siamtrading.com.html.

พิสิษฐ์ มณีโชติ. (2552). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเขียวแบบผสมผสานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัชพืช. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. (2557). ภาวการณ์ผลิตและการค้ามันสำปะหลัง. สืบค้น, สิงหาคม 21, http://www.tapiocathai.org/Mainpage.html.

เมฆ ขวัญแก้ว พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และวิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2553). การใช้เปลือกมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง เป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารหยาบหมัก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 12 ฉบับที่ 3. หน้า 92-103.

ศิรินุช จินดารักษ์ พร หมอนแพร ลอย ใจจูน และ ไพฑูรย์ ถาวรวงศ์. (2548). แท่งเชื้อเพลิงเขียวจากฟางข้าวและซังข้าวโพด. วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ ฉบับที่ 2. หน้า 78-90.

ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์ ภูมิพัฒน์ ภาชนะ. (2556). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 6. หน้า 502-512.

ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์ และภูมิพัฒน์ ภาชนะ. (2558). รายงานการประชุมวิชาการและนำเสนอผลการวิจัยระดับชาติและนานาชาติ กลุ่มระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์. ครั้งที่ 1 ฉบับที่ 6. หน้า 502-512.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2557). เนื้อที่ปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่. สืบค้น, กรกฎาคม 9, http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=4197.


มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร. (2556). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลและชีวมวล. วารสารเทคโนโลยีภาคใต้ ปีที่ 6 ฉบับที่ 2. หน้า 9-17.

เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร. (2556). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอธานอลและชีวมวล. วารสารเทคโนโลยีภาคใต้ ฉบับที่ 22. หน้า 9-17.

Vikrant S and K.K. Pant. (2006). Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark. Bioresource Technology 97. 15–20.

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

# ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

**ภาคผนวก ก**

**การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง American Society for Testing and Materials (ASTM)** (วานิช, 2550)

**1.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture) ASTM D 3173**

**ก) เครื่องมือ**

1) เตาอบ (Moisture oven)

2) ถ้วย (Crucible)

3) โถดูดความชื้น (Desiccators)

**ข) วิธีการทดลอง**

1) นำถ้วย (Crucible) ที่สะอาดไปอบ 30 นาทีที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสแล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccators) 15 นาทีจึงนำไปชั่งน้ำหนัก

2) ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก ($W_1$)

3) นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccators) 20 นาทีจึงนำไปชั่งน้ำหนัก ($W_2$)

**ค) สูตรการคำนวณ**

$$M = (W_1 - W_2) / W * 100 \qquad (1.1)$$

M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

$W_1$ = น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$W_2$ = น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

**1.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash) ASTM D 3174**

**ก) เครื่องมือ**

1) เตาอบ (Moisture Oven)

2) ถ้วย (Crucible)

3) โถดูดความชื้น (Desiccators)

**ข) วิธีการทดลอง**

1) นำถ้วย (Crucible) ที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccators) 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก ($W_3$)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

2) นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccators) 20 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก ($W_4$)

**ค) สูตรการคำนวณ**

$$M = (W_3 - W_4) / W * 100 \quad (1.2)$$

M = ร้อยละของปริมาณเถ้า

$W_3$ = น้ำหนักถ้วยและเถ้าของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

$W_4$ = น้ำหนักถ้วย (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

**1.3 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ASTM D 3174**

1) เผา Crucible พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปทำให้เย็นโดยนำไปใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccators) เป็นเวลา 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ($W_5$)

2) ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3) นำไปใส่ในเตาเผา ประมาณ 7 -10 นาที แล้วปล่อยไว้ในเตา 7 นาที

4) นำออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ($W_6$)

จากนั้นทำการคำนวณตามสมการต่อไปนี้

$$V = (W_5 - W_6)/W \times 100 \quad (1.3)$$

V = ร้อยละของปริมาณสารระเหย

M = ร้อยละปริมาณความชื้น

$W_5$ = น้ำหนักถ้วย พร้อมฝาและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

$W_6$ = น้ำหนักถ้วย พร้อมฝา (กรัม)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

**1.4 หาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ASTM D3172**

ทำการคำนวณตามสมการต่อไปนี้

คาร์บอนคงตัว = 100 – (%ปริมาณความชื้น+% ปริมาณสารระเหย + % ปริมาณเถ้า) (1.4)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

1.5 การหาค่าความร้อน (Heating value) ASTM D 5865

ก) เครื่องมือ

1) Oxygen bomb calorimeter

2) ถ้วยกระเบื้อง

3) เครื่องอัดเม็ด

ข) สารเคมี

1) Methyl orange indicator

ค) วิธีการทดลอง

1. การใส่ตัวอย่าง

1) นำตัวอย่างใส่ Crucible ไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า

2) เปิดฝา Bomb นำ Firing Cotton ไปผูกกับ Ignition Wire

3) แขวน Crucible เข้ากับ Crucible Holder

4) หย่อนปลาย Firing Cotton ลงไปใน Crucible เอาแท่งตัวอย่างที่อัดขึ้นรูปว่างทับ Firing Cotton

5) ปิดหัว Bomb ให้สนิท

-เครื่องชั่งควรมีความละเอียด 0.001 กรัม

-ตัวอย่างที่นำมาหาค่าจะต้องทำให้แห้ง บดละเอียดแล้วนำไปอัดเม็ด 0.25 กรัม

-ในการใช้งานแต่ละครั้งควรตัวอย่างประมาณ 1 กรัม

2. การหาค่าพลังงานความร้อน

1) เปิดสวิทซ์เครื่องทั้ง Bomb และ cooling รอเครื่อง Self-test แล้วกด OK

2) เปิด Valve ที่หัวถัง $O_2$ ให้สุดปรับ pressure ที่นำไปใช้ไว้ 30 bar

3) กดปุ่ม Sample ใส่ค่าตัวอย่างน้ำหนักที่ชั่งแล้วกด Tab

4) ป้อนค่า QExtram 1 120 (ค่านี้ขึ้นอยู่กับค่าพลังงานความร้อนของ Ignition Firing Cotton และ Gelatin Capsule)

5) กดปุ่ม OK หน้าจอจะเปลี่ยนเป็น Measuring mode

6) นำหัว Bomb ใส่เข้าไปแถบเมนูด้านล่างตัวที่ 3 จะเปลี่ยนจาก Bomb เป็น Start (ถ้าอุณหภูมิยังไม่คงที่จะมีข้อความ Remove bomb Unstable)

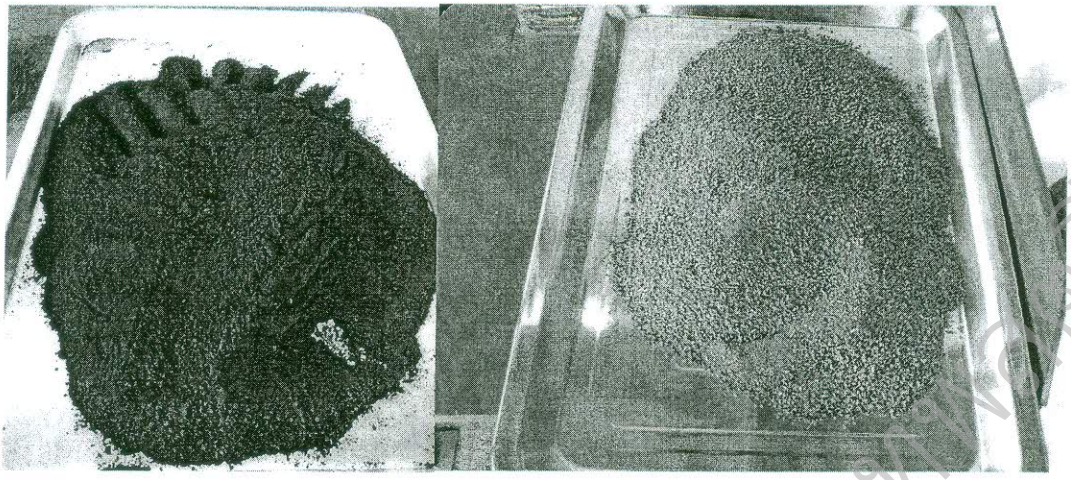
7) กดปุ่ม Start รอประมาณ 30 นาที เครื่อง Bomb จะยกฝาขึ้น

8) อ่านค่าได้จากจอ Monitor H = xxxxxx J:g

9) นำหัว Bomb ออกมาทำความสะอาดก่อนใช้งานในครั้งต่อไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

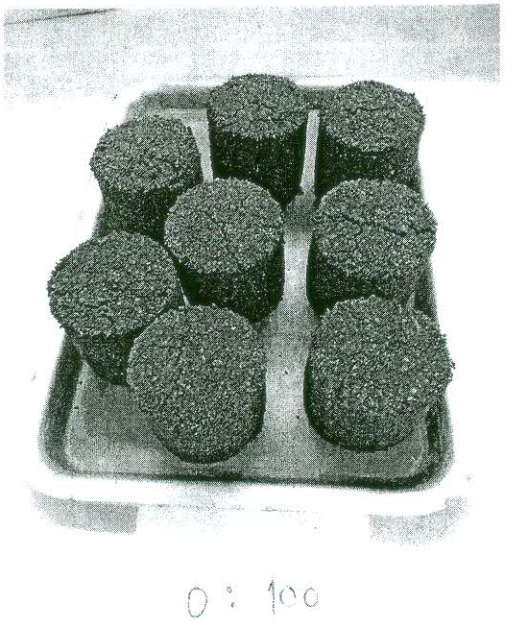
## ภาคผนวก ข รูปในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง



**รูปภาคผนวก ข ที่ 1** ถ่านจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

**รูปภาคผนวก ข ที่ 2** ถ่านอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลัง

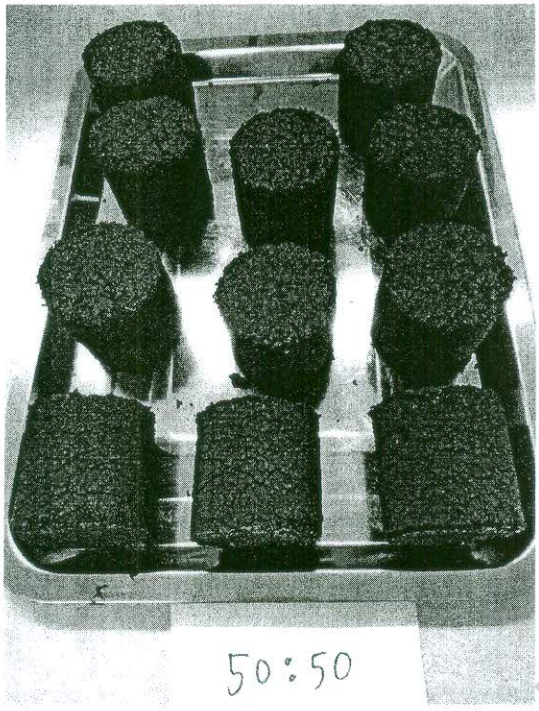
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม




**รูปภาคผนวก ข ที่ 3** ถ่านอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังอัตราส่วน 0:100

**รูปภาคผนวก ข ที่ 4** ถ่านอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังอัตราส่วน 25:75

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

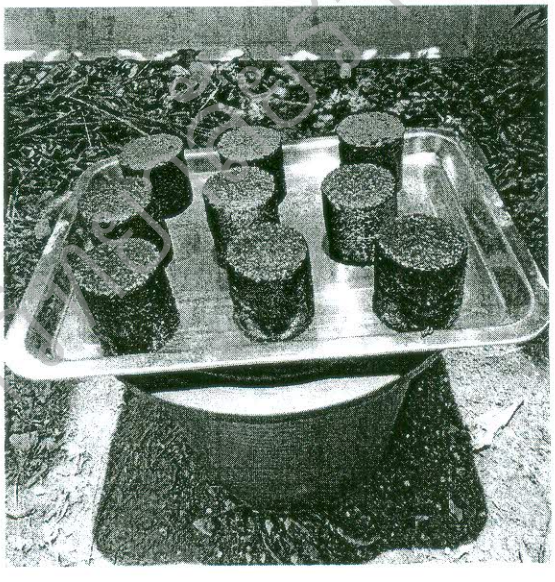



**รูปภาคผนวก ข ที่ 5** ถ่านอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังอัตราส่วน 50:50

**รูปภาคผนวก ข ที่ 6** ถ่านอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังอัตราส่วน 75:25

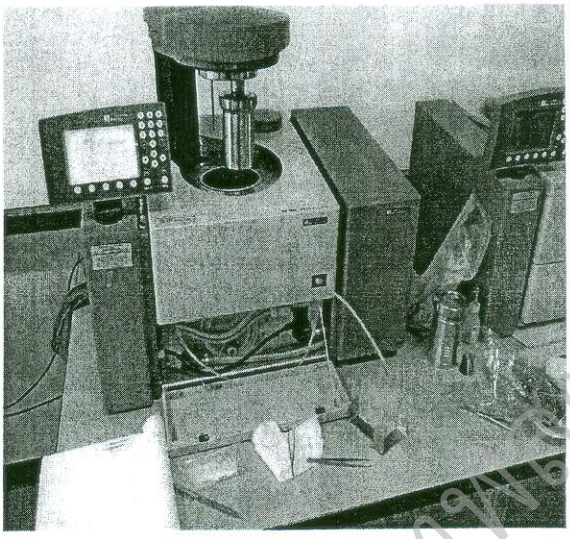
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

**รูปภาคผนวก ข ที่ 7** ถ่านอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและกากมันสำปะหลังอัตราส่วน 100:0



**รูปภาคผนวก ข ที่ 8** นำถ่านอัดแท่งไปตากแดด 4-6 วัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี



**รูปภาคผนวก ข ที่ 9** วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี