รายงานการวิจัย

การปรับปรุงค่าความหนาแน่นของถ่านที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป
Density improvement of compress charcoal

จตุพร ใจดำรงค์ Jatuporn Jaidumrong
ปิยวิทย์ สุวรรณ Piyavit Suwan
บรรเลง คำเกตุ Bunleng Kumket

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณ (เงินรายได้) ประจำปี พ.ศ. 2558

การปรับปรุงค่าความหนาแน่นของถ่านที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป

จตุพร ใจดำรงค์ ปิยวิทย์ สุวรรณ และ บรรเลง คำเกตุ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหนาแน่นของผงถ่านอัดแท่งว่ามีผลต่อค่าความร้อนอย่างไร การดำเนินงานโดยการนำเศษถ่านมาทำการย่อยบดละเอียดและร่อนให้ได้ผงถ่านขนาดตามต้องการ นำแป้งมันสำปะหลัง 1.5 กิโลกรัมผสมน้ำสะอาด 3.5 ลิตรแล้วนำไปผสมกับผงถ่าน 10 กิโลกรัม ต่อจากนั้นนำไปอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแบบเกลียวและชุดแท่งอัด การทดลองหาความสามารถในการให้ความร้อนโดยนำถ่านอัดแท่งให้นำไปจุดติดไฟและทดลองต้มน้ำ บันทึกค่าอุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ผลการทดลองพบว่าถ่านผงอัดแท่งที่มีค่าความหนาแน่นมากจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งที่มีค่าความหนาแน่นน้อย

คำสำคัญ : ถ่านอัดแท่ง ความหนาแน่น ความร้อน

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา

Density improvement of compress charcoal

Jatuporn Jaidumrong Piyavit Suwan and Bunleng Kumket

Abstract

This research aims to study the density of activated charcoal briquettes that can affect the heat, however. The operation was performed by applying charcoal small ground and sifted powdered charcoal to scale as needed 1.5 kg of cassava starch mixed with 3.5 liters of water mixed with 10 kg of charcoal briquettes with the lead screw compressors and compressed bars. Experimental determination of heat by the Charcoal and try to ignite the boiler that save time and temperature changes. The results showed that charcoal briquette powder to a density much higher heating value of coal briquettes with less density.

Keywords : charcoal heat density

Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Mueang Songkhla, Songkhla Province.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ งบรายจ่ายอื่น ๆ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปีงบประมาณ 2558 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ขอขอบคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหการและสาขาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน เจ้าหน้าที่ประจำโครงการยุทธศาสตร์แม่พิมพ์และชิ้นส่วนอุตสาหกรรม เจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

5 สิงหาคม 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	12
3.1 แผนการดำเนินงาน	12
3.2 การจัดเตรียมผงถ่าน	13
3.3 การอัดถ่านแท่ง	14
3.4 การหาค่าความสามารถในการให้ความร้อน	15
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	16
4.1 ถ่านอัดแท่งโดยปรับมุมเอียงกระบอกอัด	16
4.2 ถ่านอัดแท่งโดยปรับน้ำหนักถ่าน	18
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	19
5.1 สรุปผลการทดลอง	19
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	19
5.3 ข้อเสนอแนะ	20
บรรณานุกรม	21

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	แผนการดำเนินงาน	12
4.1	ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งโดยมุมเอียงกระบอกอัด	17
4.2	อุณหภูมิความร้อน (องศาเซลเซียล) ที่เกิดขึ้นของการอัดถ่านโดยปรับมุมเอียง	17
4.3	น้ำหนักผงถ่านที่ชั่งก่อนการอัดแท่ง 40 กรัม	18
4.4	น้ำหนักผงถ่านที่ชั่งก่อนการอัดแท่ง 45 กรัม	19
4.5	น้ำหนักผงถ่านที่ชั่งก่อนการอัดแท่ง 50 กรัม	19
4.6	น้ำหนักผงถ่านที่ชั่งก่อนการอัดแท่ง 55 กรัม	20
4.7	อุณหภูมิความร้อน (องศาเซลเซียล) ที่เกิดขึ้นของการอัดถ่านโดยปรับน้ำหนัก	20

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การเผาไหม้ที่ดีและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์	10
3.1	น้ำตัวประสาน	13
3.2	ผงถ่านละเอียด	13
3.3	เครื่องอัดถ่านแท่งด้วยเกลียวอัด	14
3.4	มุมเอียงของท่ออัดถ่านแท่ง	14
3.5	การชั่งน้ำหนัก	15
3.6	กระบอกอัดถ่าน	15
3.7	การอัดถ่านแท่ง	15
3.8	การตรวจสอบอุณหภูมิของการต้มน้ำ	15

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันมีการตระหนักถึงการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีการนำเอาทรัพยากรที่เหลือใช้กลับมาแปรสภาพเพื่อให้เกิดประโยชน์สูดสุด ประกอบกับประเทศไทยมีการผลิตสินค้าที่มีส่วนประกอบจากวัตถุดิบไม้เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดเศษขี้เลื่อยจากเศษไม้ที่เกิดจากการผลิตเป็นจำนวนมากและเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษขี้เลื่อยไม้ดังกล่าว จึงมีการนำเอาเศษขี้เลื่อยไม้ชนิดต่าง ๆ นั้นมาแปรสภาพโดยเข้ากระบวนการอัดแท่งเพื่อเป็นถ่านอัดแท่งใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งาน เช่น การใช้เป็นเชื้อฟืนตามร้านอาหารต่าง ๆ หรือนำมาใช้ภายในบ้านพักอาศัยและตามโรงงานต่าง ๆ

ถ่านอัดแท่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทดแทนถ่านจากป่าไม้ธรรมชาติที่กำลังจะหมดไปได้อย่างสมบูรณ์ เพื่อเป็นการตอบสนองนโยบายรัฐบาลในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการนำเอาวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้อย่างคุ้มค่า แต่ปัญหาเชื้อเพลิงในปัจจุบันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เศรษฐกิจของประเทศตกต่ำลง จึงมีความจำเป็นที่ต้องการหาวัสดุที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะการใช้เชื้อเพลิงในการหุงต้ม ปิ้ง ย่าง ของครัวเรือนและร้านอาหารต่าง ๆ ในอดีตจะใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงอาจจะอยู่ในรูปของไม้ฟืนหรือถ่านไม้ แต่ในปัจจุบันปริมาณไม้มีปริมาณไม่มากนัก จึงทำให้มีความสนใจในการนำวัตถุดิบหรือวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ เศษผงถ่านกะลามะพร้าว เศษผงถ่านไม้ยางพารา เศษผงถ่านกะลาปาล์ม และเศษผงถ่านไม้ต่าง ๆ เพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเป็นการเผาแล้วนำมาอัดเพื่อให้อยู่ในรูปแบบของถ่านอัดแท่งหรือถ่านอัดเป็นก้อน เนื่องจากใช้สะดวก เผาไหม้ได้นานและราคาไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ เป็นต้น [1]

จากการสำรวจคณะผู้จัดทำพบว่าเศษผงถ่านจากไม้ยางพาราที่นำมาทำการอัดแท่งที่มีการนำมาใช้งานและเพิ่มมูลค่าให้กับเศษผงถ่านในเชิงพาณิชย์ ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นของค่าประสิทธิภาพการให้ค่าความร้อนอันเนื่องมาจากค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งเพื่อเพิ่มมูลค่าในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนและเป็นการตอบสนองนโยบายของรัฐบาลในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาค่าความหนาแน่นของถ่านที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพการให้ค่าความร้อน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้ใช้ผงถ่านที่ได้จากเศษถ่านไม้ยางพารา

1.3.2 ถ่านที่ใช้ผ่านกระบวนผลิตโดยวิธีการอัดแท่งผงถ่าน

1.3.3 ลักษณะหน้าตัดของถ่านที่ใช้เป็นแบบวงกลมความยาว 60 มิลลิเมตร

1.3.4 มุมเอียงของช่องอัดถ่านแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ 50, 60, 70 และ 80 องศา

1.3.5 น้ำหนักของผงถ่านก่อนการอัดแท่งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ 40, 45, 50 และ 55 กรัม

1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ไฟเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเผาไหม้โดยเกิดจากองค์ประกอบสามประการด้วยกัน คือ ความร้อนเชื้อเพลิง และออกซิเจน ดังนั้นการเผาไหม้ถ่านอัดแท่งที่ที่ดีควรจะต้องมีองค์ประกอบในข้างต้นอย่างเหมาะสม ได้แก่ ชนิดของไม้ผงถ่านที่เหมาะสมในการเป็นเชื้อเพลิง และหรือความหนาแน่นที่เหมาะสมของถ่านที่ผ่านกระบวนการอัดแท่งเพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมในการเผาไหม้

ดังข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาถึงค่าความหนาแน่นในระดับที่แตกต่างกันของถ่านอัดแท่งว่ามีผลต่อค่าประสิทธิภาพการให้ค่าความร้อนอย่างไร โดยในกระบวนการอัดถ่านแท่งจะทำการออกแบบมุมเอียงของช่องอัดถ่านแบบออกเป็น 4 ระดับ คือ 50, 60, 70 และ 80 องศา ซึ่งมุมเอียงจะเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของถ่านอัดแท่งดังนั้นจะทำให้ความหนาแน่นของถ่านเปลี่ยนแปลงไปอีกด้วย แน้ำหนักของผงถ่านก่อนการอัดแท่งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ 40, 45, 50 และ 55 กรัม สำหรับการออกแบบการทดลองซึ่งจะประกอบด้วย 4 ปัจจัย คือ ปริมาณเศษถ่านไม้ยาง น้ำ แป้ง และค่าความหนาแน่นของถ่าน ต่อจากนั้นนำไปทำการทดลองและวิเคราะห์ผลเพื่อหาว่าค่าความหนาแน่นของถ่านไม้ยางอัดแท่งว่ามีผลต่อค่าประสิทธิภาพการให้ค่าความร้อนอย่างไร

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ได้สภาวะในการทำงานที่เหมาะสมกับการอัดขึ้นรูปถ่านแท่ง

1.5.2 ลดเวลาในการออกแบบและผลิตเครื่องจักรในการอัดขึ้นรูปถ่านแท่ง

1.5.3 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้ความร้อนของผงถ่านอัดแท่ง

บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากปัจจุบันมีการตระหนักถึงการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีการนำเอาทรัพยากรที่เหลือใช้กลับมาแปรสภาพเพื่อให้เกิดประโยชน์สูดสุด ประกอบกับประเทศไทยมีการผลิตสินค้าที่มีส่วนประกอบจากวัตถุดิบไม้เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดเศษขี้เลื่อยจากเศษไม้ที่เกิดจากการผลิตเป็นจำนวนมากและเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษขี้เลื่อยไม้ดังกล่าว จึงมีการนำเอาเศษขี้เลื่อยไม้ชนิดต่าง ๆ นั้นมาแปรสภาพโดยเข้ากระบวนการอัดแท่งเพื่อเป็นถ่านอัดแท่งใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งาน เช่น การใช้เป็นเชื้อฟืนตามร้านอาหารต่าง ๆ หรือนำมาใช้ภายในบ้านพักอาศัยและตามโรงงานต่าง ๆ

ถ่านอัดแท่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทดแทนถ่านจากป่าไม้ธรรมชาติที่กำลังจะหมดไปได้อย่างสมบูรณ์ เพื่อเป็นการตอบสนองนโยบายรัฐบาลในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการนำเอาวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้อย่างคุ้มค่า แต่ปัญหาเชื้อเพลิงในปัจจุบันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เศรษฐกิจของประเทศตกต่ำลง จึงมีความจำเป็นที่ต้องการหาวัสดุที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะการใช้เชื้อเพลิงในการหุงต้ม ปิ้ง ย่าง ของครัวเรือนและร้านอาหารต่าง ๆ ในอดีตจะใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงอาจจะอยู่ในรูปของไม้ฟืนหรือถ่านไม้ แต่ในปัจจุบันปริมาณไม้มีปริมาณไม่มากนัก จึงทำให้มีความสนใจในการนำวัตถุดิบหรือวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ เศษผงถ่านกะลามะพร้าว เศษผงถ่านไม้ยางพารา เศษผงถ่านกะลาปาล์ม และเศษผงถ่านไม้ต่าง ๆ เพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเป็นการเผาแล้วนำมาอัดเพื่อให้อยู่ในรูปแบบของถ่านอัดแท่งหรือถ่านอัดเป็นก้อน เนื่องจากใช้สะดวก เผาไหม้ได้นานและราคาไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ เป็นต้น [1] จากการสำรวจพบว่าเศษผงถ่านจากไม้ยางพาราที่นำมาทำการอัดแท่งที่มีการนำมาใช้งานและเพิ่มมูลค่าให้กับเศษผงถ่านในเชิงพาณิชย์ ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นของค่าประสิทธิภาพการให้ค่าความร้อนอันเนื่องมาจากค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งเพื่อเพิ่มมูลค่าในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนและเป็นการตอบสนองนโยบายของรัฐบาลในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล [3] การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ โดยศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังโดยทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.238/2547) มลภาวะ ต้นทุนต่อหน่วยและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์จากการผลิตถ่านอัดแท่ง

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองนำวัสดุทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมาผสมกัน 5 อัตราส่วน ลักษณะถ่านอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร มีครีบโดยรอบจำนวน 5 ครีบและมีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร แรงอัด 33 กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร และมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนัก ทำการทดสอบโดยการเผาไหม้เพื่อวัดผลในห้องปฏิบัติการทดสอบ เพื่อส่งให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของสมรรถนะทางความร้อนและมลภาวะ

ผลทางด้านสมรรถนะทางความร้อนสรุปได้ว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังในอัตราส่วน 9 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 6,518.10 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และอัตราส่วน 1 : 9 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนต่ำสุดเท่ากับ 4,514.13 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ผลการทดสอบมลภาวะจากการเผาไหม้ถ่านอัดแท่ง พบว่า ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีปริมาณเท่ากับ 195 ppm ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เท่ากับ 26 ppm คาร์บอนไดออกไซด์ 9.11 ppm และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณมากกว่า 4,000 ppm มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลง สัมพันธ์กับปริมาณคงเหลือของวัสดุหลังการเผาไหม้ ซึ่งในด้านสมรรถนะเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547)

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังในอัตราส่วน 3 : 7 มีค่าสมรรถนะทางความร้อนเท่ากับ 5,003 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.) มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 5.35 บาทต่อกิโลกรัม และเมื่อมีกำลังการผลิตที่ 400 กิโลกรัมต่อวัน จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 1.4 ปี ซึ่งผลการศึกษาวิจัยสามารถนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เหง้ามันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าได้โดยการใช้ถ่านเหง้ามันสำปะหลังเป็นส่วนผสมหลัก และใช้ถ่านกะลามะพร้าวเป็นส่วนผสมลอง สามารถบรรลุผลสอดคล้องกับสมมุติฐานของผู้วิจัย

ชุลีพร ไชยโยชน์ [4] งานวิจัยการศึกษาการผลิตเชื้อเขียวแบบผสมผสานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและหญ้านวลน้อยนี้ จะทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเขียวจากหญ้านวลน้อย และทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเขียวแบบผสมผสานจากหญ้านวลน้อยกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ ยอดและใบอ้อย ซังข้าวโพด ก้านทางปาล์มน้ำมัน ต้นมันสำปะหลั และฟางข้าว โดยใช้การอัดเย็นโดยเครื่องอัดไฮโดรลิกส์และใช้กาวจากแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง และเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตต่อหน่วย

จากผลการทดลอง พบว่า การผลิตเชื้อเพลิงเขียวจากหญ้านวลน้อยโดยใช้กาวจากแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน โดยเชื้อเพลิงเขียวที่ได้มีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 3,941.65 - 3,761.14 kcal/kg ซึ่งอัตราส่วน 5.4 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุด แต่มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่

เหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน คือ อัตราส่วน 2.7 : 1 เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนพบว่า มีราคาอยู่ระหว่าง 15.58 – 18.1 บาทต่อกิโลกรัม โดยต้นทุนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีเพิ่มปริมาณของตัวประสาน และในการนำหญ้านวลน้อยมาใช้เป็นพลังงานสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 0.0402 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปี และเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันที่ให้พลังงานเทียบเท่ากันหญ้านวลน้อย มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าถึง 1.6 กิโลกรัม ส่วนในการผลิตเชื้อเพลิงเขียวแบบผสมจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทั้ง 5 ชนิด ซึ่งได้แก่ ยอดและใบอ้อย ฟางข้าว ก้านทางปาล์มน้ำมัน ต้นมันสำปะหลัง และซังข้าวโพดกับหญ้านวลน้อย พบว่าเชื้อเพลิงเขียวที่ได้มีค่าความร้อนใกล้เคียงกัน คือ อยู่ระหว่าง 3,700 - 3,906 kcal/kg และมีต้นทุนในการผลิตอยู่ระหว่าง 16.63 - 17.25 บาท โดยเชื้อเพลิงเขียวแบบผสมผสานชนิดซังข้าวโพดกับหญ้านวลน้อยมีราคาถูกที่สุด คือ 16.63 บาทต่อกิโลกรัม

ธนภัทร์ ศรีหิรัญ และเผ่าพงษ์ ฉายาสกุลวิวัฒน์ [5] ปริญญานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ถ่านอัดแท่งชีวมวลจากกะลามะพร้าว รวมทั้งทำการศึกษาสมบัติการเผาไหม้ โดยดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องอัดถ่านชีวมวลโดยใช้ระบบไฮดรอลิกส์ เพื่อผลิตถ่านที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอกประมาณ 10 และ 35 มิลลิเมตรตามลำดับ และยาวประมาณ 90 มิลลิเมตร ถ่านอัดแท่งชีวมวลจะทำการผลิตที่ 2 อัตราส่วนคือ อัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวกับตัวประสานที่ 75 : 25 และ 70 : 30 พบว่าที่อัตราส่วน 75 : 25 ค่าความร้องของถ่านอัดแท่งที่ได้จะมีค่าของถ่านที่ได้จะมีค่าสูงกว่าโดยมีค่าประมาณ 7,105 cal/g ถ่านกะลามะพร้าวที่อัดได้เมื่อนำไปเผาสามารถติดไฟได้เป็นเวลานานประมาณ 2.5 ชั่วโมง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งทางการค้าจากกะลามะพร้าว พบว่า ถ่านจากกะลามะพร้าวที่อัดได้จะจุดติดไฟยากกว่าถ่านอัดแท่งทางการค้า แต่อุณหภูมิตลอดการเผาไหม้มีค่าใกล้เคียงกัน

ศราวุฒิ อินทฤทธิ์ และสินีนาถ ศรีสำราญ [6] ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาถ่านอัดแท่งชีวมวลจากเปลือกทุเรียน โดยใช้น้ำแป้งเป็นตัวประสานและปรับปรุงอุปกรณ์อัดถ่านแท่งชีวมวลโดยใช้เทคนิคการอัดสกรูแบบอัดเย็น ได้ถ่านอัดแท่งที่มีทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในและนอกเท่ากับ 12 และ 52 มิลลิเมตรตามลำดับ และมีความยาวแท่งถ่านประมาณ 60 มิลลิเมตร ทดลองทำการอัดถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนโดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านกับตัวประสานที่อัตราส่วน 70 : 30, 72.5 : 27.5 และ 75 : 25 พบว่า ที่อัตราส่วน 75 : 25 ให้ค่าความร้อนสูงสุด คือ ประมาณ 5,832.95 แคลอรีต่อกรัม และลดลงเมื่อมีปริมาณตัวประสานเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.251 ถึง 0.277 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ลักษณะการติดไฟของถ่านอัดแท่งเปลือกทุเรียนติดไฟได้ประมาณ 2 ชั่วโมง และมีความคล้ายคลึงกับถ่านทางการค้าอีกทั้งยังมีปริมาณขี้เถ้าที่น้อยกว่า จึงเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นพลังงานความร้อนทางเลือกสำหรับภาคครัวเรือน

พิมลรัตน์ อินทร์อุดม และภิตินันท์ รัตนไตรสิงห์ [7] โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและพัฒนาถ่านอัดแท่งจากวัสดุเกษตรโดยมีปัจจัยในการศึกษา ผงถ่าน 3 ชนิด คือ ถ่านไม้มะขาม ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านไม้ฉำฉา

อัตราส่วนของผงถ่าน 3 ค่า (10 : 0.5, 10 : 1.0, 10 : 1.5) และนำมาทดสอบค่าชี้ผล ซึ่งผลจากการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1) กำลังและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการผลิตอยู่ในช่วง 1044 - 1441 วัตต์ และ 0.67 - 2.03 วัตต์ต่อชั่วโมงต่อแท่งตามลำดับและมีอัตราการทำงาน 840 - 1740 แท่งต่อชั่วโมง

2) ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มีความยาวอยู่ในช่วง 13.70 - 15.50 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 3.47 เซนติเมตร ความหนาแน่นถ่านอัดแท่งอยู่ในช่วง 0.19 - 0.28 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความชื้นอยู่ระหว่าง 5 5.59 - 8.78 % (มาตรฐานแห้ง) ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงมาตรฐานถ่านอัดแท่ง

3) ความแข็งแรงของถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมัน 10 : 0.5, 10 : 1.0 และ 10 : 1.5 มีค่าอยู่ในช่วง 0.25 - 0.95, 0.77 - 1.76 และ 0.79 - 2.24 MPa ตามลำดับ ค่าความแข็งแรงของถ่านอัดแท่งมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณแป้งมัน 1.5 กิโลกรัม

4) ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมระหว่างถ่านไม้มะขามกับถ่านกะลามะพร้าว 10 : 1.5 ปริมาณแป้ง 1.0 - 1.5 กิโลกรัม ให้ค่าความร้อนสูง คือ 21.26 - 22.13 กิโลจูลต่อกรัม ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่ามากกว่าถ่านสัดส่วนเดิม 84.68 %

ดังนั้นสัดส่วนที่แนะนำในการผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับอุตสาหกรรมในครัวเรือนคือ ผงถ่าน 10 กิโลกรัมต่อผงถ่านกะลามะพร้าว 1.0 - 1.5 กิโลกรัม และแป้งมัน 1.0 - 1.5 กิโลกรัม ทำให้ถ่านที่ได้มีค่าความร้อนและค่าความแข็งแรงสูง

S.R. Richard (1990) [8] นำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ เช่น ขี้เลื่อย แกลบ เปลือกถั่ว กากมะพร้าว กากปาล์ม มาอัดให้เป็นแท่งด้วยเครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston) และแบบหัวดาย (die) จากนั้นนำถ่านที่อัดแท่งมาหาค่า relaxation behavior, mechanical strength และ burning characteristics จากการทดลอง พบว่า ขี้เลื่อยให้คุณสมบัติดีกว่าตัวอื่น ๆ แต่เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้วัสดุที่แตกต่างกันนั้นต้องใช้สภาวะที่แตกต่างกันในการผลิต

Husain. Z., et al. [9] ได้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกะลาปาล์มที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นน้ำมันปาล์ม โดยอัดแท่งที่ความดันระหว่าง 5 - 13.5 MPa ด้วยระบบไฮโดอลิก (hydraulic press) ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40, 50 และ 60 มิลลิเมตรและศึกษาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,100 และ 1,200 kg/m2 มีค่าความร้อน 3,917 cal/g ประมาณเถ้า 6% และค่าความชื้น 12 %

Wayne [10] ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากฝ้ายผสมเปลือก Peanut (ผลไม้เปลือกแข็ง) และเยื่อกระดาษ พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากฝ้ายผสมเปลือก Peanut มีความทนทานกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเยื่อกระดาษ แต่เชื้อเพลิงจากเยื่อกระดาษมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานที่สุดและมีปริมาณเถ้าต่ำกว่า

นฤดม ทาดี และคณะ [11] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปทรงและความโปร่งพรุนของถ่านอัดแท่งที่มีผลต่อค่าการเผาไหม้ โดยใช้วัตถุดิบจากไม้มะขามนำมาเผาและบดให้ละเอียดมีขนาดเม็ดถ่านเบอร์ 30 ถ่านมีหน้าตัดจำนวนสี่รูปแบบ วัสดุประสานโดยทำการผสมแป้งมันสำปะหลัง 1.5 ต่อผงถ่าน 10 ส่วน ภายหลังการอัดขึ้นรูปนำไปผึ่งแดดและนำไปทำการเผาเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการให้ความร้อน พบว่าขนาดและรูปทรงหน้าตัดของถ่านมีผลต่ออุณหภูมิและและระยะเวลาในการเผาไหม้ โดยถ่านรูปทรงกระบอกจะมีเวลาเผาไหม้นานที่สุด สำหรับค่าความหนาแน่นทำโดยการเปลี่ยนขนาดรูกลางของแท่งถ่านขนาด 5 และ 15 มม. พบว่าความโปร่งพรุนของถ่านที่มีรูกลางขนาด 15 มม.มีค่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนมากที่สุด แต่ถ้าต้องการถ่านอัดแท่งที่มีความร้อนสูงและมีระยะเวลาในการเผาไหม้ยาวนานที่สุดควรเลือกใช้แบบรูปทรงหกเหลี่ยม

นักวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประกอบด้วย ผศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ผศ.กุณฑล ทองศรี และ อ.จงกล สุภารัตน์ ได้คิดค้นถ่านอัดแท่งจากมะพร้าวขึ้น ซึ่งถ่านอัดแท่งที่คิดขึ้นได้จะเป็นอย่างไร เจ้าของผลงานเปิดเผยว่า ถ่านอัดแท่งที่คิดขึ้นเป็นการนำเอากากมะพร้าวที่ทำการเผาแล้วกับกะลามะพร้าวที่เผาและทำการบดละเอียดแล้วมาผสมนำเอาเข้าเครื่องอัดแท่งออกมาเป็นถ่านอัดแท่ง [12]

โดยมีวิธีการทำดังนี้ก่อนอื่นต้องเตรียมในส่วนของกากมะพร้าว ซึ่งก่อนจะนำกากมะพร้าวมาใช้ต้องนำไปอบให้แห้งก่อนจะนำไปเผา และต้องคัดกากมะพร้าวไม่ให้มีเศษวัสดุอื่นเจือปนเพราะจะทำให้ถ่านด้อยคุณภาพ จากนั้นนำกากมะพร้าวไปเผาในอุณหภูมิที่สูงพอเหมาะในการเผาจะต้องหมั่นดูเพื่อไม่ให้กากมะพร้าวเผาไหม้ให้ทั่วทุกส่วน โดยดูจากควันว่าควันที่ออกมา ถ้าหากควันหมดแสดงว่ากากมะพร้าวเป็นถ่านสามารถนำมาใช้ได้ เมื่อเผากากมะพร้าวได้แล้วก็นำมาพักทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อที่จะนำไปผสมกับกะละมะพร้าวเพื่อที่จะทำการอัดแท่ง

ส่วนถ่านกะละมามะพร้าว ก่อนที่จะนำไปผสมกับกากมะพร้าวที่เผาและเตรียมไว้ก่อนนั้น มีขั้นตอนการทำดังนี้คือ คัดเลือกกะลามะพร้าวที่แห้งสนิทออกจากเศษวัสดุอื่นๆเช่น กรวด หิน ดิน ทราย ถุงพลาสติก เศษอาหาร เศษโลหะต่างๆออกให้หมด จากนั้นนำไปเผาด้วยการใช้ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร ที่เปิดฝา เพราะจะทำให้เผาง่าย สะดวก ประหยัด รวดเร็วกว่า เมื่อควันเริ่มน้อยลงแสดงว่าการเผาไหม้กะลาทั่วถึงหมดแล้ว โดยสังเกตจะเห็นกะลาติดไฟแดงๆ และควันไฟเริ่มน้อยลงพยายามใช้ไม้หรือเหล็กเขี่ยกะลาให้ติดไฟให้ทั่ว เพื่อให้กะลาติดไฟให้หมด ถ้ากะลาด้านบนติดไฟแดงๆทั้งหมดแล้ว ปล่อยทิ้งไว้ 5-10 นาที จึงใช้กระสอบป่านชุบน้ำให้เปียกๆคุมปากถังปิดทับด้วยฝาถังให้แน่นสนิท

หรือใช้ทรายปิดบนกระสอบป่านอีกครั้งก็ได้ เพื่อไม่ให้อากาศข้างนอกเข้าในถัง ทิ้งไว้ 1 คืน ไฟจะดับ ถ่านกะลามะพร้าวจะค่อยๆเย็นลงรุ่งขึ้นจึงปิดฝาถัง นำถ่านกะลามะพร้าวไปเข้าเครื่องบดให้ละเอียดในเครื่องบด

ส่วนตัวที่ใช้ผสานของการอัดแท่งคือ แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งต้องมีลักษณะเป็นผงขาวเมื่อจับผิวสัมผัสของแป้งจะเนียน ลื่นมือเมื่อทำให้สุกจะเหลวเหนียว หนืด เมื่อพักให้เย็นจะมีมีลักษณะเหนียวเหนอะคงตัว ซึ่งเป็นลักษณะของส่วนผสานที่เหมาะสม

เมื่อเตรียมทั้งสามส่วนพร้อมแล้วก็นำมาผสมกันโดยใช้น้ำเป็นตัวผสมทั้งสามเข้าด้วยกัน ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้พอเหมาะ ระหว่างถ่านกากมะพร้าวและถ่านขี้เลื่อยผสมกัน 10 กิโลกรัม ตามอัตราส่วนผสม แป้งมัน 1 กิโลกรัม น้ำ 0.5-0.8 ลิตร ตามความเหมาะสม กับความชื้นของถ่านกากมะพร้าวและถ่านกะลามะพร้าว เพราะถ้าหากปริมารน้ำมากเกินไปจะทำให้เมื่อทำการอัดแท่งถ่านจะไม่ดี แต่ถ้าปริมาณน้ำมากไปก็จะทำให้ทำการอัดแท่งไม่ได้

ขั้นตอนสุดท้ายคือการอัด นำวัตถุดิบที่ผสมกันจนได้ที่แล้วเข้าเครื่องอัดแท่งกากมะพร้าวซึ่งเป็นเครื่องอัดแบบสกรู ทำงานด้วยมอเตอร์ 5 แรงม้า ไฟฟ้า 220 โวตต์ ควบคุมด้วยเพลา เมื่อทำการอัดแท่งถ่านแล้ว จะได้แท่งถ่านที่มีความยาวเป็นแท่งเดียว ก็จะต้องมีการตัดให้ได้ขนาดความยาว 12 เซนติเมตร หลังจากที่ทำการอัดแท่งถ่านและตัดให้ได้ขนาดแล้วนั้นนำมาตากแดดประมาณ 1 วัน เพื่อเป็นการกำจัดความชื้นที่อาจจะยังคงมีอยู่ในก้อนถ่านอัดแท่ง ทำให้แท่งอัดถ่านจากกากมะพร้าวแห้งสนิท

จากการศึกษาและทดลอง เจ้าของผลงานได้เปิดเผยถึงอัตราส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมและสามารถผลิตถ่านกากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าวที่สามารถนำไปใช้ได้ดี ดังนี้คือ

1. ถ่านกากมะพร้าว 70 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกะลามะพร้าว 30 เปอร์เซ็นต์ แป้งมัน 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 3 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะการยึดเกาะกันเป็นก้อน ยึดเกาะเป็นก้อนดี เมื่อแห้งอาจมีรอยร้าวหรืออาจแตกเล็กน้อย สูตรที่

2. ถ่านกากมะพร้าว 60 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกะลามะพร้า 40 เปอร์เซ็นต์ แป้งมัน 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 3 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะการยึดเกาะกันเป็นก้อน ยึดเกาะกันได้ดี สูตรที่

3. ถ่านกากมะพร้าว 50 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกะลามะพร้าว 50 เปอร์เซ็นต์ แป้งมัน 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 3 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะการยึดเกาะกันเป็นก้อน ยึดเกาะกันได้ดี ผิวเรีย สูตร

4. ถ่านกากมะพร้าว 40 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกะลามะพร้าว 60 เปอร์เซ็นต์ แป้งมัน 5เปอร์เซ็นต์ น้ำ 3 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะการยึดเกาะกันเป็นก้อน สูตรที่5.ถ่านกากมะพร้าว 30 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกะลามะพร้าว 70 เปอร์เซ็นต์ แป้งมัน 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 3 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะการยึดเกาะกันเป็นก้อน ยึดเกาะกันได้ดี เมื่อแห้งอาจมีรอยร้าวหรืออาจแตกเล็กน้อย

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ไฟเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ [2] โดยเกิดจากองค์ประกอบสามประการด้วยกัน คือ ความร้อนเชื้อเพลิง และออกซิเจน ดังนั้นการเผาไหม้ถ่านอัดแท่งที่ที่ดีควรจะต้องมีองค์ประกอบในข้างต้นอย่างเหมาะสม ได้แก่ ชนิดของไม้ผงถ่านที่เหมาะสมในการเป็นเชื้อเพลิง และหรือความหนาแน่นที่เหมาะสมของถ่านที่ผ่านกระบวนการอัดแท่งเพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมในการเผาไหม้

กระบวนการเผาไหม้ หมายถึงการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่นอย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิงอันจะประกอบไปด้วย การเกิดความ ร้อนหรือความร้อนและแสงสว่าง การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อมีปริมาณออกซิเจนเติมให้อย่าง เพียงพอ ออกซิเจน (O2) เป็นหนึ่งในธาตุพื้นฐานของโลกซึ่งมีปริมาณถึง 20.9 % ของอากาศทั้งหมดของเรา การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิงจะทำให้เกิดความร้อนในปริมาณมาก เชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลวจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซเสียก่อนที่จะกิดการเผาไหม้ โดยปกติแล้วจะต้องมีการใช้ความร้อนในการเปลี่ยนของเหลวหรือของแข็งให้เป็นก๊าซและก๊าซเชื้อเพลิงก็จะถูกเผาไหม้ในสถานะปกติ ถ้ามีปริมาณอากาศเพียงพอ อากาศส่วนใหญ่จำนวน 79 เปอร์เซ็นต์ (ซึ่งไม่ใช่ออกซิเจน) คือ ไนโตรเจนและธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย ไนโตรเจนถือว่าเป็นตัวทำละลายเพื่อลดอุณหภูมิ ซึ่งจะต้องมีเพื่อให้ได้ออกซิเจนที่ตอ้งการสำหรับการเผาไหม้ ไนโตรเจนจะลดประสิทธิภาพของการเผาไหม้โดยดูดความร้อนออกจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และทำให้ก๊าซที่ปล่องควันสลายตัว สิ่งนี้จะเป็นการลดความร้อนที่มีไว้สำหรับการถ่ายเทความร้อนโดยผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนที่พื้นผิว

นอกจากนั้น มันยังทำให้ปริมาตรของการเผาไหม้ เพิ่มมากขึ้นเป็นผลพลอยได้ ซึ่งจะต้องเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อน แล้วขึ้นไปสู่กลุ่มปล่องไฟได้เร็วขึ้น เพื่อให้มีการผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงเพิ่มเติม ไนโตรเจนยังสามารถรวมตัวกับออกซิเจน (โดยเฉพาะเวลาที่มีอุณหภูมิเปลวไฟสูง) และทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ซึ่งเป็นมลพิษ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถันในเชื้อเพลิง รวมตัวกับออกซิเจนในอากาศ แล้วก่อตัวเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยจะปล่อยพลังงาน 8,084 กิโลแคลอรี่ 28,922 กิโลแคลอรี่ และ 2,224 กิโลแคลอรี่ ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขที่แน่นอน คาร์บอนอาจจะรวมตัวกับ ออกซิเจนแล้วเกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งก็จะทำให้เกิดการปล่อยพลังงานความร้อนที่น้อยกว่า (2,430 กิโลแคลอรี่ ต่อกิโลกรัมของคาร์บอน) คาร์บอนที่ถูกเผาให้กลายเป็น CO2 จะทำให้เกิดความร้อนต่อหน่วยของเชื้อเพลิงมากกว่า เมื่อเกิด CO หรือควันขึ้นมา

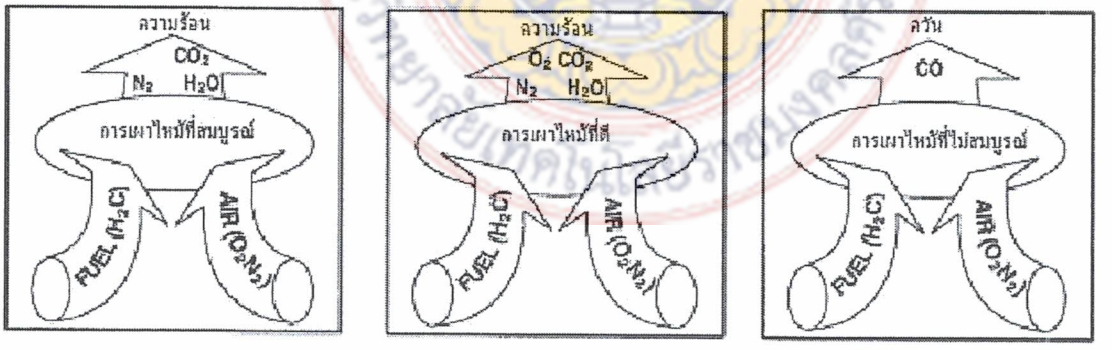
วัตถุประสงค์ของการเผาไหม้ที่คือการปลดปล่อยความร้อนทั้งหมดในเชื้อเพลิงซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการควบคุมปัจจัย 3 ประการของการเผาไหม้ (สาม T) ซึ่งได้แก่ (1) อุณหภูมิ (Temperature) ซึ่งจะต้องมีค่าสูงพอที่จะจุดไฟและทำให้เชื้อเพลิง ติดไปตลอดเวลาได้ (2) ความแปรปรวน

(Turbulence) ซึ่งจะเป็นตัวเริ่มการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจน และ (3) เวลา (Time) ซึ่งจะต้องมีเพียงพอสำหรบัการเผาไหม้ที่สมบรูณ์

โดยทั่วๆไปแล้ว เชื้อเพลิงที่ใช้กันทั่วไป เช่น ก๊าซธรรมชาติและโพรเพน จะประกอบไปด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน ส่วน ไอฐ้านั้นเป็นผลพลอยได้ของการเผาไฮโดรเจน ซึ่งจะกำจัดความร้อนออกจากก๊าซที่ปล่องควัน มิฉะนั้นแล้วกะจะมีการ ถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้น ก๊าซธรรมชาติจะมีไฮโดรเจนมากกว่า แต่มีคาร์บอนต่อกิโลกรัมน้อยกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนดิต่างๆ ดังนั้นจึงทำให้เกิดไอน้ำมากกว่า ผลที่ตามมาก็คือ จะมีการกำจัดความร้อนมากกว่าโดย อากาศเสียในระหว่างการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติจะมีไฮโดรเจนมากกว่าแต่มีคาร์บอนต่อกิโลกรัมน้อยกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังนั้นจึงทำให้เกิดไอน้ำมากกว่าผลที่ตามมาก็คือ จะมีการกำจัดความร้อนมากกว่าโดย อากาศเสียในระหว่างการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ ถ้ามีเชื้อเพลิงหรืออากาศมากหรือน้อยเกินไปในระหว่างการเผาไหม้ ก็จะทำให้เกิดความไม่สมดุลของเชื้อเพลิง และเกิดก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซดขึ้น จะต้องมีปริมาณออกซิเจน O2 ที่แน่นอน เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และต้องการอากาศส่วนเกินบางส่วน เพื่อให้แน่ใจว่าจะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูร์ อย่างไรก็ตามถ้ามีอากาศส่วนเกินมากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนและประสิทธิภาพ

ไม่ใช่เชื้อเพลิงทุกชนิดที่จะสามารถถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นความร้อนแล้วถูกดูดซับโดยอุปกรณ์ผลิตไอฐ้า โดยปกติแล้ว ไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงจะถูกเผา และเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำส่วนใหญ่ (ตามมาตรฐานของมลพิษทางอากาศ) จะมีกำมะถัน เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ดังนั้น ความท้าทายของประสิทธิภาพของการเผาไหม้จึงพุ่งไปที่คาร์บ์อนที่ไม่ถูกเผาไหม้ (ในขี้เถ้า หรือ ก๊าซที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แทนที่จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ CO2



รูปที่ 2.1 การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การเผาไหม้ที่ดีและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

แม้ว่าปัจจุบันนี้ ความนิยมในการใช้ถ่านสำหรับเป็นเชื้อเพลิงจะน้อยลงเนื่องจากมีเชื้อเพลิงอย่างอื่นมาทดแทนในครัวเรือน ทั้งไฟฟ้า แก๊ส และน้ำมัน หากแต่ในบางท้องที่ หรือบางครัวเรือนหรือบางกิจการก็ยังต้องอาศัยถ่านในการหุงต้มกันอยู่เป็นจำนวนมาก แต่เนื่องจากว่า สมัยนี้ถ่านที่ได้จากฟืนไม้ไม่ได้หาได้ง่ายๆดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นวัตถุดิบอื่นๆมาใช้ทำถ่านทดแทนไม้ ซึ่งวัตถุดิบชนิดนั้นต้องเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย มีราคาไม่แพง สามารถให้ถ่านที่มีคุณภาพได้ดีเทียบเท่าถ่านจากไม้ฟืน และวัตถุดิบชนิดนั้นก็ คือ มะพร้าวนั่นเอง

ดังข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาถึงค่าความหนาแน่นในระดับที่แตกต่างกันของถ่านอัดแท่งว่ามีผลต่อค่าประสิทธิภาพการให้ค่าความร้อนอย่างไร โดยในกระบวนการอัดถ่านแท่งจะทำการออกแบบมุมเอียงของช่องอัดถ่านแบบออกเป็น 4 ระดับ คือ 50, 60, 70 และ 80 องศา ซึ่งมุมเอียงจะเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของถ่านอัดแท่งดังนั้นจะทำให้ความหนาแน่นของถ่านเปลี่ยนแปลงไปอีกด้วย แน้ำหนักของผงถ่านก่อนการอัดแท่งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ 40, 45, 50 และ 55 กรัม สำหรับการออกแบบการทดลองซึ่งจะประกอบด้วย 4 ปัจจัย คือ ปริมาณเศษถ่านไม้ยาง น้ำ แป้ง และค่าความหนาแน่นของถ่าน ต่อจากนั้นนำไปทำการทดลองและวิเคราะห์ผลเพื่อหาว่าค่าความหนาแน่นของถ่านไม้ยางอัดแท่งว่ามีผลต่อค่าประสิทธิภาพการให้ค่าความร้อนอย่างไร

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การปรับปรุงความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งเป็นการศึกษาค่าความหนาแน่นของถ่านซึ่งผ่านการอัดแท่งซึ่งทำให้ค่าความหนาแน่นแตกต่างกันว่าส่งผลต่อค่าความร้อนที่เกิดขึ้นแตกต่างกันอย่างไร

3.1 แผนการดำเนินงาน

ใช้เวลา 12 เดือน ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2558 ถึงเดือน กันยายน 2559

ตาราง 3.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนดำเนินงาน		พ.ศ. 2558			พ.ศ. 2559				
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	P	← - - - →							
	A	←——→							
2. ออกแบบการทดลอง	P		← →						
	A		←——→						
3. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์	P		← →						
	A		←——→						
4. ทำการทดลอง	P			← - - - →					
	A			←——→					
5. วิเคราะห์และสรุปผล	P					← - - →			
	A						←——→		
6. จัดทำรายงานของโครงการ	P						← - - - →		
	A						←——→		
7. จัดพิมพ์เอกสารรายงาน	P							← →	
	A							←——→	
8. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์	P								←→
	A								←→

P ← - - - → แสดงแผนการดำเนินงาน

A ←——→ แสดงการดำเนินงานจริง

3.2 การจัดเตรียมผงถ่าน

3.2.1 การบดถ่าน

3.2.1.1 เตรียมวัตถุดิบ (ถ่านไม้)

3.2.1.2 เตรียมเครื่องบดถ่าน

3.2.1.3 เตรียมภาชนะสำหรับใส่วัตถุดิบ

3.2.1.4 เตรียมตะแกรง (ความละเอียด 1 มม.)

3.2.2 การบดถ่าน

3.2.2.1 บดถ่านด้วยเครื่องบดถ่าน

3.2.2.2 ร่อนด้วยตะแกรง (ความละเอียด 1 มม.)

3.2.2.3 แยกผงถ่านละเอียดกับผงถ่านหยาบ

3.2.3 การผสมถ่าน

3.2.3.1 เตรียมผงถ่านละเอียด 10 กิโลกรัม

3.2.3.2 นำแป้งมันสำปะหลัง 1.5 กิโลกรัมและน้ำสะอาด 3.5 ลิตร มาผสมให้เข้ากันในถังน้ำประสานเป็นน้ำตัวประสาน

3.2.3.3 นำผงถ่านละเอียด 10 กิโลกรัมผสมกับน้ำตัวประสาน

รูปที่ 3.1 น้ำตัวประสาน

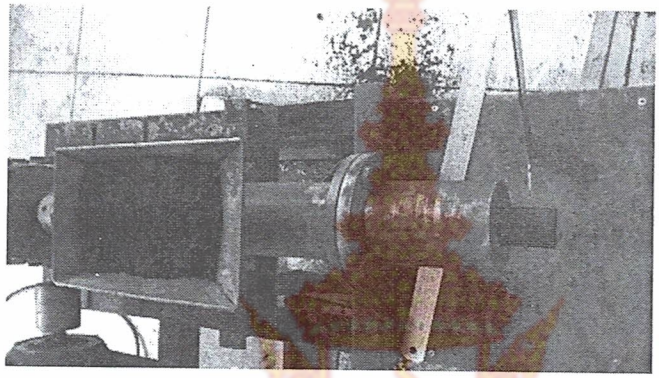
รูปที่ 3.2 ผงถ่านละเอียด

3.3 การอัดถ่านแท่ง

กำหนดให้ถ่านแท่งที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และยาว 60 มิลลิเมตร

3.3.1 การอัดถ่านแท่งโดยปรับมุมเอียงกระบอกอัด

การอัดแท่งถ่านด้วยเครื่องอัดถ่านด้วยเกลียวอัด ดังรูปที่ 3.3 โดยวิธีการออกแบบมุมเอียงของกระบอกอัดถ่านแท่งเป็นมุมเอียงดังรูปที่ 3.4 ขนาดต่างๆ (50° , 60° , 70° , 80°)



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดถ่านแท่งด้วยเกลียวอัด

รูปที่ 3.4 มุมเอียงของท่ออัดถ่านแท่ง

3.3.2 การอัดถ่านแท่งโดยปรับน้ำหนักถ่าน

การอัดแท่งถ่านด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักของผงถ่านขนาด 40, 45, 50 และ 55 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งที่ค่าน้ำหนักแตกต่างกันจะทำให้ค่าความหนาแน่นของถ่านในแต่ละแท่งมีความแตกต่างกันอีกด้วย ต่อจากนั้นให้นำผงถ่านไปใส่ในกระบอกอัดดังรูปที่ 3.6 และทำการอัดถ่านแท่งที่ความยาว 60 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.7 ก่อนกระบวนการอัดถ่านแท่ง

รูปที่ 3.5 การชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 3.6 กระบอกอัดถ่าน

รูปที่ 3.7 การอัดถ่านแท่ง

3.3.3 การคำนวณหาค่าความหนาแน่น

การทดลองอัดถ่านมีน้ำหนักของถ่านเท่ากับ 40, 45, 50 และ 55 กรัม โดยมีสูตรในการคำนวณหาค่าความหนาแน่น คือ ค่าน้ำหนักของถ่านอัดแท่งต่อปริมาตรของถ่าน

3.4 การหาค่าความสามารถในการให้ความร้อน

การทดลองหาค่าความสามารถในการให้ความร้อนทำโดยการทดลองต้มน้ำด้วยถ่านอัดแท่งที่ผลิตขึ้น และทำการบันทึกความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำกับเวลา ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 การตรวจสอบอุณหภูมิของการต้มน้ำ

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

การปรับปรุงความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งเป็นการศึกษาค่าความหนาแน่นของถ่านซึ่งผ่านการอัดแท่งซึ่งทำให้ค่าความหนาแน่นแตกต่างกันว่าส่งผลต่อค่าความร้อนที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน

4.1 ถ่านอัดแท่งโดยปรับมุมเอียงกระบอกอัด

4.1.1 ลักษณะของถ่านอัดแท่งโดยปรับมุมเอียงกระบอกอัด

การอัดถ่านแท่งโดยวิธีปรับมุมเอียงกระบอกอัดพบว่ามีมุมเอียงเพียง 2 รูปแบบเท่านั้น คือ มุมเอียง 50 และ 70 องศา ซึ่งสามารถอัดถ่านออกมาเป็นแท่งได้อย่างสมบูรณ์เท่านั้นดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ลักษณะถ่านอัดแท่งแบบปรับมุมเอียงกระบอกอัด

4.1.2 การคำนวณหาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งโดยมุมเอียงกระบอกอัด

	มุมเรียว 50°		มุมเรียว 70°	
ชิ้นที่	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลบ.มม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลบ.มม.)
1	37	0.00052	35	0.00050
2	41	0.00058	35	0.00050
3	40	0.00057	32	0.00045
4	40	0.00057	34	0.00048
5	39	0.00055	30	0.00042
6	42	0.00059	31	0.00044
7	38	0.00054	31	0.00044
8	40	0.00057	34	0.00048
9	42	0.00059	33	0.00047
10	37	0.00052	33	0.00047

4.1.3 ผลการทดลองค่าความร้อนของถ่าน

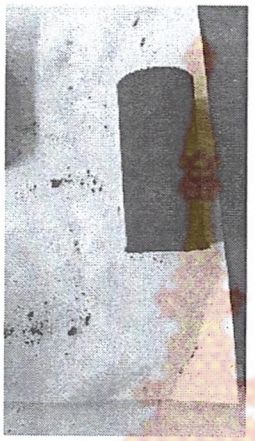
การทดลองในแต่ละครั้งใช้ถ่านจำนวน 2 ก้อน และปริมาตรน้ำเท่ากับ 200 มิลลิลิตร โดยมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิความร้อน (องศาเซลเซียล) ที่เกิดขึ้นของการอัดถ่านโดยปรับมุมเอียง

น้ำหนัก	ครั้งที่	เวลา (นาที)										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
เรียว 50°	1	32°	42°	52°	65°	70°	78°	82°	85°	86°	88°	88°
40 กรัม	2	32°	40°	50°	65°	68°	72°	79°	82°	83°	85°	85°
เรียว 70°	1	32°	49°	57°	62°	65°	68°	71°	72°	74°	75°	75°
36 กรัม	2	32°	51°	59°	62°	67°	70°	72°	73°	76°	75°	74°

4.2 ถ่านอัดแท่งโดยปรับน้ำหนักถ่าน

4.2.1 ลักษณะของถ่านอัดแท่ง ความยาวขนาด 60 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.2 ลักษณะถ่านอัดแท่งแบบปรับปริมาตร

4.2.2 การคำนวณหาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง พบว่าน้ำหนักของถ่านที่ชั่งภายหลังจากการอัดแท่งจะลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.3, 4.4, 4.5 และ 4.6 ซึ่งแสดงผลการคำนวณค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักผงถ่านที่ชั่งก่อนการอัดแท่ง 40 กรัม

ชิ้นที่	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลบ.มม.)
1	36	0.00085
2	35	0.00083
3	36	0.00085
4	33	0.00078
5	33	0.00078
6	35	0.00083
7	36	0.00085
8	34	0.00080
9	35	0.00083
10	35	0.00083

ตารางที่ 4.4 น้ำหนักผงถ่านที่ชั่งก่อนการอัดแท่ง 45 กรัม

ชิ้นที่	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลบ.มม.)
1	36	0.00085
2	38	0.00090
3	40	0.00094
4	40	0.00094
5	39	0.00092
6	37	0.00087
7	38	0.00090
8	40	0.00094
9	39	0.00092
10	39	0.00092

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักผงถ่านที่ชั่งก่อนการอัดแท่ง 50 กรัม

ชิ้นที่	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลบ.มม.)
1	42	0.00099
2	45	0.00106
3	43	0.00101
4	42	0.00099
5	44	0.00104
6	45	0.00106
7	43	0.00101
8	45	0.00106
9	42	0.00099
10	45	0.00106

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักผงถ่านที่ชั่งก่อนการอัดแท่ง 55 กรัม

ชิ้นที่	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลบ.มม.)
1	45	0.00106
2	45	0.00106
3	44	0.00104
4	45	0.00106
5	46	0.00109
6	46	0.00109
7	45	0.00106
8	47	0.00111
9	47	0.00111
10	46	0.00109

4.2.3 ผลการทดลองค่าความร้อนของถ่าน

การทดลองในแต่ละครั้งใช้ถ่านจำนวน 4 ก้อน และปริมาตรน้ำท่ากับ 200 มิลลิลิตร โดยมีผลการทดลองบันทึกค่าอุณหภูมิความร้อนกับเวลาดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิความร้อน (องศาเซลเซียล) ที่เกิดขึ้นของการอัดถ่านโดยปรับน้ำหนัก

น้ำหนัก	ครั้งที่	เวลา (นาที)										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
40 g	1	32°	41°	51°	57°	64°	70°	75°	80°	84°	86°	88°
	2	32°	40°	49°	55°	64°	69°	75°	81°	84°	86°	87°
45 g	1	32°	51°	66°	76°	83°	87°	90°	91°	92°	92°	92°
	2	32°	41°	49°	75°	83°	88°	90°	90°	91°	91°	92°
50 g	1	32°	50°	60°	77°	80°	84°	89°	91°	92°	93°	93°
	2	32°	51°	58°	69°	78°	84°	89°	90°	90°	91°	92°
55 g	1	32°	52°	59°	66°	75°	81°	89°	95°	97°	96°	95°
	2	32°	50°	59°	68°	77°	83°	90°	94°	95°	96°	96°

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพการให้ค่าความร้อน โดยการนำผงถ่านมาทำการผสมน้ำประสานและอัดขึ้นรูปเป็นถ่านแท่ง

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองจำนวนสองรูปแบบด้วยกัน คือ รูปแบบที่หนึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งโดยการปรับเปลี่ยนมุมเอียงของกระบอกอัดจำนวนสี่ระดับด้วยกัน คือ 50 60 70 และ 80 องศา การทดลองโดยการอัดถ่านแท่งด้วยเครื่องอัดถ่านแท่งแบบเกลียวพบว่ามุมเอียงของกระบอกอัดขนาด 50 และ 70 องศาจะให้ถ่านอัดแท่งที่มีรูปทรงสมบูรณ์เหมาะแก่การนำไปใช้งาน ซึ่งมุมเอียงของกระบอกอัดที่แตกต่างกันจะทำให้ความหนาแน่นของถ่านแตกต่างกัน

การทดลองรูปแบบที่สองเป็นการอัดโดยการปรับเปลี่ยนน้ำหนักของผงถ่านและนำมาทำการอัดแท่งให้มีขนาดความยาวเท่ากันทั้งหมด ซึ่งค่าความหนาแน่นของถ่านจะเปลี่ยนแปลงไปตามน้ำหนักของผงถ่านก่อนการอัด

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองอัดถ่านแท่งโดยการปรับมุมเอียงกระบอกอัดพบว่ามุมเอียงขนาด 50 องศาจะให้ค่าความหนาแน่นมากกว่าขนาด 70 องศา

5.1.2 การทดลองต้มน้ำเพื่อศึกษาการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่งโดยการปรับมุมเอียงกระบอกอัดพบว่าถ่านอัดแท่งที่มีค่าความหนาแน่นมากกว่าจะให้ความร้อนในการต้มน้ำเร็วกว่าถ่านที่มีความหนาแน่นน้อย

5.1.3 การทดลองอัดถ่านแท่งโดยการปรับน้ำหนักผงถ่านก่อนการอัดพบว่าน้ำหนักของผงถ่านก่อนการอัดมากจะทำให้ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งมีค่ามากกว่าแบบผงถ่านน้ำหนักน้อย

5.1.4 การทดลองต้มน้ำเพื่อศึกษาการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่งแบบปรับน้ำหนักพบว่าถ่านอัดแท่งที่มีค่าความหนาแน่นมากจะต้มน้ำร้อนเร็วกว่าถ่านที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 การใช้งานเครื่องอัดถ่านแบบกึ่งอัตโนมัติซึ่งชุดย่อยหรือบดถ่านไม่สามารถทำงานได้ดีนักทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องนำถ่านที่ผ่านการบดมาทำการร่อนด้วยตะแกรงอีกครั้ง

5.2.2 การดูแลความสะอาดของพื้นที่ปฏิบัติงานซึ่งเกิดจากฝุ่นผงในการทำงาน

5.2.3 การอัดถ่านแท่งแบบปรับมุมเอียงซึ่งไม่สามารถอัดถ่านออกมาเป็นแท่งแบบสมบูรณ์ได้อาจจะเกิดจากกำลังของมอเตอร์ที่มีขนาดเล็ก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีพื้นที่เฉพาะสำหรับทำการทดลองอัดถ่านแท่ง

5.3.2 ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับค่าความร้อนที่ได้ของถ่านอัดแท่ง

5.3.3 การอัดถ่านควรออกแบบเครื่องมือที่สามารถควบคุมความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งได้

บรรณานุกรม

[1] **ข้อมูลการอัดแท่งเชื้อเพลิง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://siweb.dss.go.th/. (วันที่ค้นข้อมูล 9 กันยายน 2554).

[2] **ข้อมูลฟืนและถ่าน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://guru.sanook.com/ (วันที่ค้นข้อมูล 7 ตุลาคม 2554).

[3] รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล. (2553) **การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง.** ปริญญานิพนธ์ กศ.ม (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ :

[4] ชุลีพร ไชยโยชน์. (2552) **การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเขียวแบบผสมผสานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและหญ้านวลน้อย.** วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาพลังงานทดแทน. : มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[5] ธนภัทร์ ศรีหิรัญ และเผ่าพงษ์ ฉายาสกุลวิวัฒน์. (2553) **การพัฒนาถ่านอัดแท่งชีวมวลจากกะลามะพร้าว: การประดิษฐ์อุปกรณ์และการศึกษาสมบัติการเผาไหม้.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[6] ศราวุฒิ อินทฤทธิ์ และสินีนาถ ศรีสำราญ. (2553) **การพัฒนาถ่านอัดแท่งชีวมวลจากเปลือกทุเรียน : การประดิษฐ์อุปกรณ์และการศึกษาสมบัติการเผาไหม้.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[7] พิมลรัตน์ อินทร์อุดม และภิตินันท์ รัตนไตรสิงห์. (2549) **การศึกษาและพัฒนาถ่านอัดแท่งจากวัสดุเกษตรเพื่ออุตสาหกรรมในครัวเรือน. รายงานโครงการหมายเลข AE06-05.** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร. : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[8] S.R. Richard. (1990). **Physical Testing of Fuel Briquettes.** Fuel Processing Technology (25, p. 89 - 100). Netherlands.

[9] Z. Husain, Z. Zaince & Z. Abdullah. (2002). **Biomass & Bioenergy.** Pergamon (22, 505 - 509).

[10] Wayne. C. (1999). Using cotton plant residue to produce briquettes. **Biomass and Bioenergy.** (18, 201-208).

[11] นฤดม ทาดี และคณะ. (2555) **การศึกษารูปทรงและความพรุนของถ่านไม้ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้ค่าความร้อนของถ่าน.**ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์. : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

[12] **ถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.news.rmutt.ac.th/archives/27208 (วันที่ค้นข้อมูล 9 กันยายน 2558).