ถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรสำหรับกระบวนการแพทย์แผนไทย

HERB FUEL-BRIQUETTES FOR THAI TRADITIONAL MEDICINE

นางสาวกัญญารัตน์ ชื่นด้วง รหัส 58362001

นางสาวชนิฎฐา พัฒนจันทร์ รหัส 58362162

นายณัฐพล หลากสุขถม รหัส 58362278

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2561

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรสำหรับกระบวนการแพทย์แผนไทย		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวกัญญารัตน์	ชื่นด้วง	รหัส 58362001
	นางสาวชนิฎฐา	พัฒนจันทร์	รหัส 58362162
	นายณัฐพล	หลากสุขถม	รหัส 58362278
ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2561		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ

(รศ.ดร. ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ

(ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน ถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรสำหรับกระบวนการแพทย์แผนไทย

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวกัญญารัตน์ ชื่นด้วง รหัสนิสิต 58362001
นางสาวชนิฎฐา พัฒนจันทร์ รหัสนิสิต 58362162
นายณัฐพล หลากสุขถม รหัสนิสิต 58362278

ที่ปรึกษาโครงงาน รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2561

.....

บทคัดย่อ

การผลิตถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรสำหรับกระบวนการแพทย์แผนไทย เป็นงานวิจัยที่นำเศษถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จากโรงงานอุตสาหกรรมอิฐมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเพื่อเพิ่มมูลค่า และเพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร วิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรที่มีอัตราส่วนที่ทำให้ถ่านอัดแท่งมีน้ำหนักเท่ากันทุกก้อนเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน ในวิจัยนี้ได้คำนวณไว้ทั้งหมด 4 อัตราส่วน อัดที่แรงดันต่างกันคือ 10 kN และ 20 kN โดยทำการอัดแท่งเป็นทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในมีขนาด 36 และ 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความยาวประมาณ 45 – 75 มิลลิเมตร และนำถ่านอัดแท่งสมุนไพรมาทำการทดสอบทั้งหมด 4 การทดสอบ เพื่อทดสอบคุณสมบัติของถ่าน โดยจะมีการทดสอบค่าความร้อน ทดสอบการต้มน้ำเดือด ทดสอบด้วยแรงอัด และทดสอบความทนทานของถ่านอัดแท่ง ผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนได้ดีที่สุด คือ อัตราส่วน 32 : 4 : 4 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนอยู่ที่ 5,995 – 6,100 แคลอรี่ต่อกรัม และมีประสิทธิภาพความร้อนดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ และอัตราส่วนที่มีความแข็งแรงและมีความทนทานมากที่สุดคือ 28 : 4 : 8 เมื่อทดสอบความทนทานพบว่าถ่านหายไปเพียง 3.51 – 4.97 % ทดสอบด้วยแรงอัด พบว่า สามารถรับแรงอัดเฉลี่ยได้เยอะที่สุดคือ 4,660.40 และ 7,717.59 N และมีความเค้นเฉลี่ย 45.8 kPa และ 75.8 kPa

คำสำคัญ ถ่านอัดแท่ง, ถ่านอัดแท่งสมุนไพร, การทดสอบความทนทาน

Project title Herb fuel Briquettes for Thai Traditional Medicine
Name Miss Kanyarat Chuenduang ID. 58362001
Miss Chanidtha Pattanachan ID. 58362162
Mr. Nuttapon Larksukthom ID. 58362278
Project advisor Dr. Patomsok Wilaipon
Major Mechanical Engineering
Department Mechanical Engineering
Academic year 2018

.....

Abstract

Herb Fuel – Briquette for Thai Traditional Medicine. This research is bring the waste from the combustion in the brick industry to production herb fuel – briquette or increase the value and studied the production process of briquettes. Analyzed mixture ratio of briquettes for compares all ratio. These researches have 4 ratio calculate at 10 kN and 20 kN pressure. The briquette's outside and inside diameter was 36 and 7 mm. It's length 45 – 75 mm. The shape of briquette was a cylinder. And have to test properties of briquette 4 test for test to qualities of briquette were analyzed heating value, Boil water test, Compression test and durability test. The test result revealed the best ratio for heating value is 32 : 4 : 4 ratio heating at 5,995 – 6,100 cal/g and have Thermal efficiency more than other ratios. The best strength and durability is ratio 28 : 4 : 8. When test of durability result revealed just disappear briquette 3.51 – 4.97 %. When test of compression result revealed it can receive more average compression is 4,660.40 and 7,717.59 N. And have average stress is 45.8 kPa and 75.8 kPa

Keyword Briquette, herb fuel briquette, Durability test

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำงานตลอดระยะเวลาการทำปริญญานิพนธ์ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจาก รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล ทางคณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้สถานที่ค้นคว้าหาความรู้และสนับสนุนการใช้อุปกรณ์เครื่องมือช่างต่างๆ ภายในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ตลอดระยะเวลาในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ และ ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์ อาจารย์ประจำภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้มาเป็นคณะกรรมการในการสอบ ปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ นายวาฤทธิ์ ภมร ครูช่างประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์เครื่องมือช่างภายในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ตลอดระยะเวลาในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ นางวิชญา อิ่มกระจ่าง เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์เครื่องมือช่างภายในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ตลอดระยะเวลาในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ ทุกคนที่ช่วยเหลือสนับสนุนทั้งด้านกำลังใจด้วยดีมาโดยตลอด นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลืออีกหลายท่าน ซึ่งผู้เขียนไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้ได้หมด จึงขอขอบพระคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงงาน

นางสาวกัญญารัตน์ ชื่นด้วง
นางสาวชนิฎฐา พัฒนจันทร์
นายณัฐพล หลากสุขถม

เมษายน 2562

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ก
บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
สารบัญตาราง ช
สารบัญรูปภาพ ซ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน..... 1
1.2 วัตถุประสงค์..... 2
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน..... 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3
1.6 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน..... 4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 5
2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน-ถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) 9
2.3 วรรณกรรมปริทัศน์..... 10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ
3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทดลอง..... 22
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ..... 39
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 58
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 69
5.2 ปัญหาที่พบ..... 70
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 70

สารบัญ(ต่อ)

หน้า
เอกสารอ้างอิง..... 71
ภาคผนวก ก..... 73
ภาคผนวก ข..... 82
ประวัติผู้จัดทำ..... 87

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน.....	4
2.1	เปรียบเทียบสมบัติของชีวมวล	7
1.2	Proximate analysis (dry basis) of bamboo sawdust, eucalyptus sawdust, rubber wood, corn cob and palm fiber.....	12
2.3	Ultimate analysis (dry basis) of bamboo sawdust, eucalyptus sawdust, rubber wood, corn cob and palm fiber.	12
2.4	อัตราส่วนที่ผสมในสารแต่ละชนิด	16
2.5	คุณสมบัติความทนทานของก้อนที่มีความหนาแน่นและรับแรงอัดสูงที่สุด.....	17
3.1	สเปคของเครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด ยี่ห้อ BPS INSTRUMENT รุ่น BA-25.....	29
3.2	สเปคของโซลิดสเตตรีเลย์ 25A SSR-25 DA.....	34
3.3	สเปคของเครื่องตู้อบลมร้อน.....	37
3.4	อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : น้ำ : แป้งมันสำปะหลัง.....	41
3.5	สเปคของเครื่อง BOMB CALORIMETER 6200 รุ่น A1290DDEE.....	47
3.6	อุปกรณ์.....	52
4.1	ตารางแสดงการคำนวณค่าประสิทธิภาพของถ่านและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจำเพา..	63

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่		หน้า
1.1	ข้อมูลการใช้ชีวมวลในประเทศไทยในปี 2547 – 2552	1
2.1	วัฏจักรคาร์บอนไดออกไซด์แบบปิดของเชื้อเพลิงชีวมวล	5
1.2	กรรมวิธีการผลิตของถ่านอัด	6
2.3	เครื่องทดสอบถ่านอัดแท่ง	9
2.4	เครื่องทดสอบถ่านอัดเม็ด	9
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความดันกับความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของกากน้ำตาล 15% โดยน้ำหนัก	13
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกากน้ำตาลกับความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งภายใต้แรงดัน 70 kg/cm^2	13
2.7	ปริมาณกากน้ำตาลที่มีผลต่อค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งภายใต้ความดัน 70 kg/cm^2	14
2.8	ผลการเปลี่ยนแปลงความดันต่ออัตราการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งโดยใช้กากน้ำตาล 20% โดยน้ำหนัก	14
2.9	ผลของปริมาณกากน้ำตาลต่ออัตราการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งภายใต้ความดัน 70 kg/cm^2	14
2.10	ความทนทานของถ่านอัดแท่งกับรำข้าวที่ผสมกับตัวประสานชนิดต่าง ๆ	20
3.1	เศษถ่านจากโรงงานอุตสาหกรรมเตาเผา	23
3.2	แป้งมันสำปะหลัง	23
3.3	น้ำสะอาด	24
3.4	ผงขมิ้น	24
3.5	เทียนดำ	25
3.6	แสมสาร	25
3.7	แสมทะเล	25
3.8	สารส้ม	26
3.9	อบเชย	26
3.10	เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ OHAUS	27
3.11	เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ TSCALE	27
3.12	ชุดถ้วยตวง	28
3.13	เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง ยี่ห้อ WACO (Thailand) รุ่น BLENDER23	28
3.14	เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine, UTM)	30

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปภาพที่		หน้า
3.15	ชุดหัวกดของเครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine, UTM).....	30
3.16	โปรแกรม DOLI Test & Motion เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine, UTM).....	31
3.17	กระบอกที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปของถ่านอัดแท่ง.....	31
3.18	กระบอกสูบ.....	32
3.19	ลูกสูบ.....	32
3.20	ฐานรอง.....	32
3.21	เครื่องวัดอุณหภูมิ (TemperatureController).....	33
3.22	โซลิดสเตตรีเลย์.....	34
3.23	ฮีตเตอร์ (Heater).....	35
3.24	เครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแท่ง มาตรฐาน ASAE S 269.4.....	35
3.25	แบบเครื่องความทนทานของถ่านอัดแท่ง.....	36
3.25	แบบฐานของเครื่องความทนทานของถ่านอัดแท่ง.....	36
3.27	ตัวอย่างถ่านที่ได้จากทดสอบความทนทานจากเครื่องทดสอบความทนทาน (Briquettes DU Test).....	36
3.28	ตู้อบลมร้อน รุ่น UN30 ยี่ห้อ Memmert.....	37
3.29	ตะแกรงร่อน ขนาดรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ISO 3310-1.....	38
3.30	แผนการดำเนินงาน.....	39
3.31	บดสมุนไพรให้เป็นผงละเอียด.....	40
3.32	เตรียมอัตราส่วนวัตถุดิบ.....	41
3.33	ผงถ่านผสมกับสมุนไพร.....	42
3.34	ผสมแป้งกับน้ำเปล่าอุณหภูมิห้อง.....	42
3.35	นำน้ำกับแป้งมันสำปะหลังไปเพิ่มอุณหภูมิ.....	43
3.36	ผสมตัวประสานกับผงถ่านและผงสมุนไพรที่ผสมไว้แล้ว.....	43
3.37	กรอกส่วนผสมใส่ในกระบอกอัด.....	44
3.38	อัดที่แรง 10 กิโลนิวตันและ 20 กิโลนิวตัน.....	44
3.39	อัดถ่านออกจากกระบอก.....	45
3.40	อบถ่านอัดแท่งในเตา.....	45
3.41	เครื่อง BOMB CALORIMETER 6200 รุ่น A1290DDEE.....	47

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปภาพที่		หน้า
3.42	ชั่งถ่านด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA413 พิกัดน้ำหนัก 420 กรัม	47
3.43	จัดด้ายให้ผงถ่านสัมผัสมากที่สุด	48
3.44	ประกอบ Bomb Head เข้ากับลูกบอมบ์	48
3.45	หัวอัดออกซิเจนทองเหลือง	48
3.46	นำลูกบอมบ์ใส่ใน Bucket และเสียบสายไฟที่ใช้ในการจุดระเบิด 2 เส้นเข้ากับ Bomb Head	48
3.47	ปริ้นค่าความร้อนจากเครื่อง BOMB CALORIMETER 6200	49
3.48	เผาจนก้อนถ่านติดไฟ	50
3.49	นำถ่านมาใส่อุปกรณ์ที่เตรียมไว้	50
3.50	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์	50
3.51	ชื่ออุปกรณ์	50
3.52	ทดสอบความแข็งแรงของถ่านอัดแท่ง โดยการวางถ่านบนฐานของเครื่อง UTM	53
3.53	ถ่านที่แตกจากแรงอัด	53
3.54	ถ่านทั้ง 8 อัตราส่วนหลังจากการอัด	54
3.55	นำใส่ในเครื่องทดสอบความทนทาน	55
3.56	ร่อนตะแกรงที่มีขนาดรู 7 มิลลิเมตร	55
3.57	ถ่านที่เหลืออยู่บนตะแกรง	56
3.58	ตัวอย่างของถ่านอัดแท่งที่เหลือบนตะแกรง	56
3.59	ตัวอย่างของเศษของถ่านอัดแท่งที่ผ่านตะแกรง	57
4.1	ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง	58
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักถ่านที่ลดลงกับเวลาของถ่านที่อัดด้วยแรง 10 kN	59
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักถ่านที่ลดลงกับเวลาของถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN	60
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาของถ่านที่อัดด้วยแรง 10 kN	61
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาของถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN	61
4.6	แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของถ่านอัดแท่งเริ่มต้นและสุดท้ายกับอัตราส่วนของถ่านแรงอัด 10 kN	64
4.7	แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของถ่านอัดแท่งเริ่มต้นและสุดท้ายกับอัตราส่วนของถ่านแรงอัด 20 kN	64
4.8	อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 10 และ 20 kN ที่มีผลกับแรงอัด	65

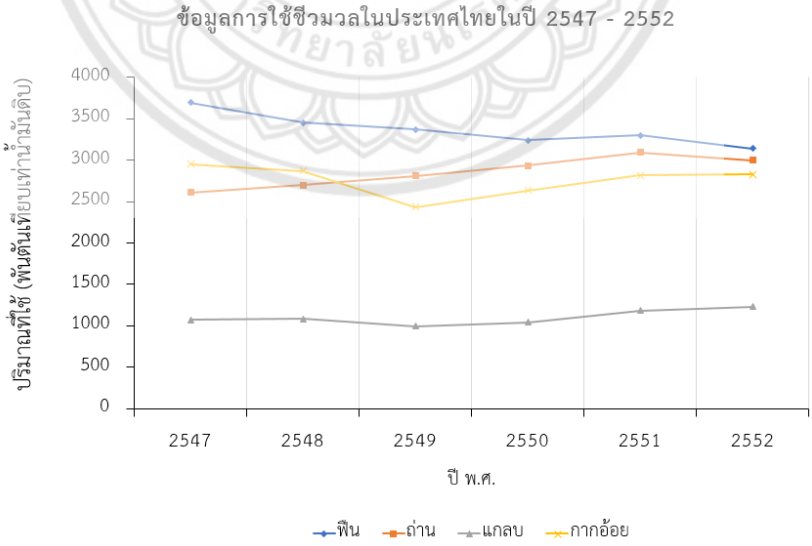
สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปภาพที่ หน้า
4.9 อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 10 และ 20 kN ที่มีผลกับความเค้น..... 66

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมได้นำเอาไม้เนื้อแข็งมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนในกระบวนการเผา ในเตาเผาทำให้ได้เศษถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในปริมาณมาก และเศษถ่านเหล่านั้นจะถูกรวบรวมนำไปกำจัดโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นจึงเลือกนำเศษถ่านที่เหลือมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนการเพื่อลดปริมาณการใช้ไม้ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 พบว่าจำนวนการใช้ถ่านมีเพิ่มมากขึ้นทุกปี ซึ่งถ้านำชีวมวลที่เหลือมาใช้ในการทำถ่านอัดแท่งจะช่วยทำให้ปริมาณถ่านเพิ่มมากขึ้น เพราะการผลิตถ่านขึ้นมาจะต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติในการทำก็คือไม้เป็นหลัก จึงอยากที่จะหาสิ่งที่มาทดแทนในการผลิตถ่านแทนการใช้ไม้ โดยในการผลิตถ่านอัดแท่ง สิ่งที่นำมาใช้ทดแทนการใช้ไม้นั้นจะต้องมีคุณภาพที่ดีและใช้งานได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับถ่านไม้ และต้องมีคุณสมบัติความทนทานไม่แตกหักง่าย การนำชีวมวลหรือกากอุตสาหกรรมมาทำถ่านอัดแท่ง การนำมาอัดขึ้นรูปด้วยการอัดร้อนหรืออัดเย็น โดยใช้ตัวประสาน เช่น กากน้ำตาล, น้ำผสมแป้ง หรืออาจไม่ได้ใช้ตัวเชื่อมประสาน แต่ไม่ได้ใช้ตัวเชื่อมประสานอาจจะทำให้เปราะและแตกง่าย และไม่มีความทนทานเท่ากับถ่านอัดแท่งที่มีตัวเชื่อมประสาน เพื่อทดสอบความทนทานของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถ่านอัดแท่ง เพื่อตอบสนองความต้องการและผลกระทบที่เกิดขึ้น เช่น ความแตกหักของถ่านในระหว่างการขนส่งรวมไปถึงการเก็บรักษา เป็นต้น



รูปที่ 1.1 ข้อมูลการใช้ชีวมวลในประเทศไทยในปี 2547 – 2552
(ข้อมูลจาก: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน)

การอัดแท่งถ่านเชื้อเพลิงโดยผสมสมุนไพร สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น ถ่านผสมสมุนไพรเพื่อการรมควันเนื้อสัตว์ ตลอดจน ถ่านผสมสมุนไพรเพื่อใช้ในทางการแพทย์แผนไทย การใส่สมุนไพรลงไปทำให้มีกลิ่นของของสมุนไพรเพิ่มเข้าไปด้วยและสมุนไพรยังมีประโยชน์มากมาย เช่น อบเชย ทำให้สดชื่น แก้ปวดศีรษะ แก้อาการอ่อนเพลีย [12] เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เศษถ่านจากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ เพื่อผลิตเป็นถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร ทั้งด้านการผลิตและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อผลิตถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรจากเศษถ่านของอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ

1.2.2 เพื่อศึกษาความทนทาน สมบัติทางกล และสมบัติด้านการเผาไหม้ของผลิตภัณฑ์

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

เพื่อให้โครงงานครั้งนี้บรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงกำหนดขอบเขตไว้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง โดยให้มีคุณสมบัติดังนี้

1.3.1 รูปทรง

มีลักษณะคือ เป็นแท่งทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 36 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7 มิลลิเมตร และมีความยาว 100 – 120 มิลลิเมตร

1.3.2 วัตถุดิบที่ใช้

ผงถ่านหรือของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ

1.3.3 อัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่ง

เพื่อให้ได้ปริมาณของแห้งรวม 40 กรัม เนื่องกระบอกอัดถ่านมีความจำกัดทางด้านปริมาตร จึงได้มีการผสมอัตราส่วนของ ผงถ่าน : สมุนไพร : น้ำ : แป้งมันสำปะหลังดังนี้ 32 : 4 : 4, 28 : 4: 8, 24 : 12 : 4 และ 20 :12 : 8 และใช้น้ำเท่ากันในทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม

1.3.4 แรงที่ใช้ในการอัด

ใช้ความดันที่ 10 kN และ 20 kN

1.3.5 อุณหภูมิในการอัดแท่ง

ใช้อุณหภูมิที่ 100 °C เพื่อให้ตัวประสานทำงานได้ดีขึ้น

1.3.6 สมรรถนะที่ต้องการ

1.3.6.1 คุณสมบัติเชิงกล

1.3.6.2 ค่าความร้อน (Heating Value) ตามมาตรฐาน ASTM D 5865

1.3.6.3 อัตราการเผาไหม้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.2. การทำเครื่องทดสอบ

- ศึกษาและรวบรวมทฤษฎีพื้นฐานในการใช้ทำเครื่องทดสอบถ่านแบบอัดเม็ดและถ่านอัดแท่ง
- ออกแบบการทำงานของเครื่องทดสอบ
- ประมาณราคาของเครื่องทดสอบ
- สร้างเครื่องทดสอบ

1.4.3. ผลิตถ่านอัดแท่ง

ผลิตถ่านอัดแท่ง โดยใช้อุณหภูมิคงที่ 100 °C และจะเปลี่ยน แรงในการอัดและปริมาณอัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่ง โดยจะใช้สมุนไพร คือ สารส้ม เทียนดำ อบเชย แ ส ม ส า ร แสมทะเล ผงขมิ้น ในการผลิตถ่านอัดแท่งสมุนไพร

1.4.4. ขั้นตอนการทดสอบ

- ทดสอบความแข็งแรงโดยจะศึกษาการทดสอบสมบัติความทนทานของถ่านผ่านเครื่องทดสอบถ่านอัดแบบแท่ง โดยจะหมุนที่ 20, 40, 60, 80 และ 100 รอบ หลังจากผ่านกระบวนการหมุนนำถ่านมาร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรู 7 มิลลิเมตร จากนั้นนำถ่านที่เหลือบนตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำมา วิเคราะห์ผลต่อไป อ้างอิงจากงานวิจัยของ Michaël Temmerman [2] โดยใช้มาตรฐาน ASAES 269.4
- ทดสอบคุณสมบัติด้านการเผาไหม้ ของถ่านอัดแท่ง

1.4.5. วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้

1.4.6. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การออกแบบอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบเครื่องทดสอบความทนทาน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความทนทานของถ่านอัดได้ และรู้จักวิธีการใช้เครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแท่งและอัดเม็ด

2. ได้รู้ถึงขั้นตอนวิธีการผลิตถ่านอัดแท่ง และแนวทางการนำเศษถ่านมาเพิ่มมูลค่าโดยการนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร

1.6 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ช่วงเวลา								
	2561						2562		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค	เม.ษ
1.ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง									
2.การออกแบบและทำเครื่องทดสอบของถ่านอัดแท่งและถ่านอัดเม็ด									
3.การทดสอบความทนทานและการทดสอบคุณสมบัติด้านการเผาไหม้ของถ่าน									
4.วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้									
5.จัดทำรายงาน									

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการและทฤษฎี

ถ่านอัดแท่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมมาผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งตามรูปแบบที่ต้องการ และเปลี่ยนคุณสมบัติเพื่อนำมาใช้ในรูปของพลังงานความร้อนทดแทน

2.1.1 พลังงานชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) เป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่เป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งและเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถหาและเกิดทดแทนขึ้นในธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นวัฏจักรไปเรื่อยๆ เมื่อการใช้งานเชื้อเพลิงเกิดขึ้นเป็นวัฏจักรทำให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาความร้อนเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลนั้นเป็นระบบปิด (Closed Carbon Cycle or Zero Carbon Emission Cycle) [9]

รูปที่ 2.1 วัฏจักรคาร์บอนไดออกไซด์แบบปิดของเชื้อเพลิงชีวมวล
ที่มา : iEnergyguru.com

พลังงานชีวมวล (Bio – Energy) คือ พลังงานที่ได้จากชีวมวลต่าง ๆ ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพในระยะยาว โดยกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่าง ๆ มีดังนี้

- การเผาไหม้โดยตรง (Combustion) เป็นการนำชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยการเผาเพื่อนำมาใช้ในการผลิตไอน้ำในBoilerเพื่อที่จะนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า
- การผลิตก๊าซ (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นแก๊ส หรือเรียกว่า แก๊สชีวภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกังหันแก๊สได้

- การหมัก (fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัว
- การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช มีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

1. กระบวนการทางชีวภาพ ทำการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลังให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลว

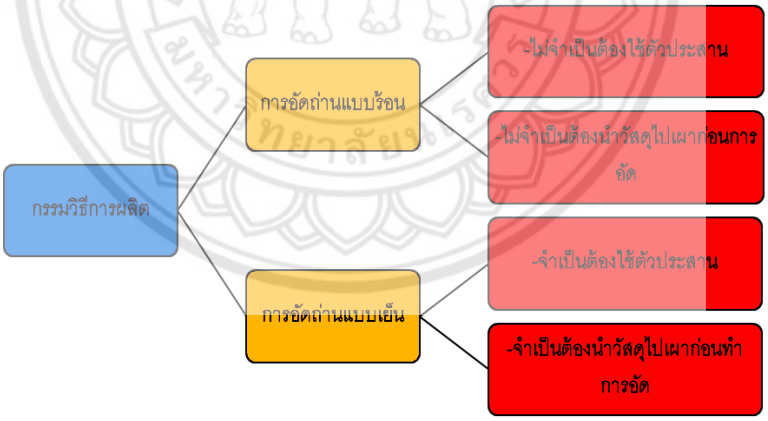
2. กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี โดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการ Transesterification เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

3. กระบวนการใช้ความร้อนสูง เช่น กระบวนการไพโรไลซิส เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้รับความร้อนสูงในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จะเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและแก๊สผสมกัน

2.1.2 ถ่านอัด

ถ่านอัด คือ การนำกากที่เหลือจากการทำการเกษตร (แกลบ ซังข้าวโพด และซังอ้อย เป็นต้น) หรือวัสดุที่มีปริมาณมากในท้องถิ่น (กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย เป็นต้น) มาแปรสภาพโดยผ่านกระบวนการอัด 2 ชนิด คือ การอัดแบบร้อน และการอัดแบบเย็นตามสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ จากนั้นนำไปผ่านกระบวนจากตากแห้งหรือการอบเพื่อให้ถ่านมีปริมาณความความชื้นต่ำลง สมบัติของถ่านอัดที่ดี คือมีความทนทาน ความแข็ง ความแน่นตัว จุดไฟติดง่าย เกิดเถ้าถ่านและควันน้อย

2.1.3 กรรมวิธีการผลิต



รูปที่ 2.2 กรรมวิธีการผลิตของถ่านอัด

กรรมวิธีในการผลิตถ่านมี 2 วิธี คือการอัดถ่านแบบร้อน และการอัดถ่านแบบเย็น

การอัดร้อน คือการนำถ่าน หรือชีวมวลมาอัดขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิสูง โดยใช้ หรือไม่ใช้ตัวเชื่อมประสานในการผลิต เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์

การอัดเย็น เป็นการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้ตัวเชื่อมประสานเพื่อให้วัสดุยึดติดก้น

โดยตัวประสานทั่วไปใช้แป้งเปียกหรือกากน้ำตาล โดยถ่านอัดที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานมีค่าความร้อนสูงกว่า และปริมาณเถ้าต่ำกว่าถ่านอัดที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน แต่ข้อเสียคือปริมาณของกากน้ำตาลที่ใช้จะใช้ในปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับแป้งเปียก ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง ถ่านจะมีความอ่อนตัว

2.1.4 งานความร้อนที่ได้จากชีวมวลแต่ละประเภท

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบสมบัติของชีวมวล

สมบัติชีวมวลต่าง ๆ	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
แกลบ (Rice Husk)	12	12.65	56.46	18.88	14,755	13,517
ฟางข้าว (Rice Straw)	10	10.39	60.7	18.9	13,650	12,330
ชานอ้อย (Biogases)	50.73	1.43	41.98	5.86	9,243	7,368
ใบอ้อย (Cane Trash)	9.2	6.1	67.8	16.9	16,794	15,479
ไม้ยางพารา (Para Wood)	45	1.59	45.7	7.71	10,365	8,600
เส้นใยปาล์ม (Palm Fiber)	38.5	4.42	42.68	14.39	13,127	11,400
กะลาปาล์ม (Palm Shell)	12	3.5	68.2	16.3	18,267	16,900
ทะลายปาล์ม (Empty Fruit Bunch)	58.6	2.03	30.46	8.9	9,196	7,240
ต้นปาล์ม (Palm Trunk)	48.4	1.2	38.7	11.7	9,370	7,556
ซังข้าวโพด (Corncob)	40	0.9	45.42	13.68	11,298	9,615
ลำต้นข้าวโพด (Corn Stalk)	41.7	3.7	46.46	8.14	11,704	9,830
เหง้ามันสำปะหลัง (Tapioca Rhizome)	59.4	1.5	31	8.1	7,451	5,494
เปลือกไม้ยูคาลิปตัสสด (Eucalyptus Bark)	60	2.44	28	9.56	6,811	4,917

ที่มา : ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวลมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม

2.1.5 ปัจจัยที่ทำให้มีผลต่อความทนทานของถ่านอัดแท่ง

ปัจจัยที่ทำให้มีผลต่อความทนทานของถ่านอัดแท่ง อาจมีได้หลายปัจจัยขึ้นอยู่กับกระบวนการต่าง ๆระหว่างการผลิต เช่น

1. ชนิดของเครื่องอัด เครื่องอัดแบบสกรูเกลียวให้ความหนาแน่นถ่านมากกว่าเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก

2. แรงดัน เมื่ออัดด้วยแรงดันที่มากขึ้นจะทำให้ถ่านมีความหนาแน่นมากขึ้นด้วย

3. ปริมาณความชื้นของชีวมวล ปริมาณความชื้นของส่วนประกอบมีผลต่อความอ่อนตัวของถ่านอัดแท่ง ถ้าถ่านอัดแท่งมีความชื้นมากทำให้ถ่านมีความอ่อนตัวมาก

4. ขนาดของชีวมวลก่อนนำมาอัดแท่ง ความละเอียดของส่วนผสมถ่านอัดแท่งแต่ละชนิดมีผลต่อความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง เช่น ถ้าส่วนผสมของส่วนประกอบมีความละเอียดมากเมื่อผ่านกระบวนการอัดจะทำให้อัดง่ายและจะได้ถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นสูง

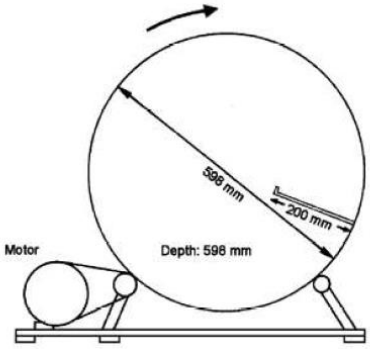
5. อัตราส่วนของตัวประสาน ตัวประสานเป็นตัวที่จะช่วยทำให้อนุภาคเกาะกันมากขึ้น ทำให้มีความเป็นก้อน และจะทำให้ไม่เกิดการแตกของก้อนถ่าน โดยทั่วไปอาจใช้กากน้ำตาลหรือแป้งเปียกเป็นตัวประสาน เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ได้ใช้ตัวเชื่อมจะทำให้มีความทนทานน้อยกว่า เพราะไม่มีตัวที่ช่วยทำให้ยึดติดกัน

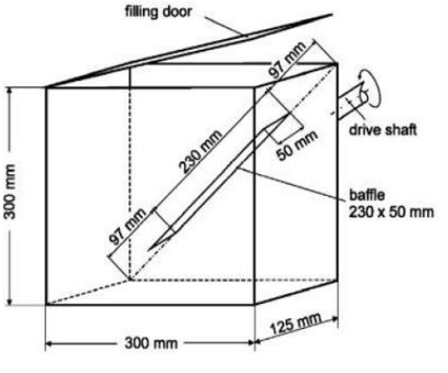
6. ชนิดของชีวมวล ชีวมวลบางชนิดมีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นใยทำให้อัดได้ยากและมี เช่น ซังข้าวโพด เป็นต้น

2.1.6 เครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัด

เครื่องทดสอบความทนทานของถ่านที่ผลิตได้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบดังนี้ คือ เครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแบบแท่ง และเครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแบบเม็ด โดยทั้งสองแบบจะถูกประกอบด้วยแผ่นสแตนเลส 430 เพราะมีสมบัติทนต่อความร้อนได้ดี สามารถนำมาขึ้นรูปได้โดยง่าย และยังมีราคาต่ำ ส่วนชุดฐานของชุดเครื่องทดสอบทำจากเหล็กกล่องเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักของชุดทดสอบได้เป็นอย่างดี และชุดฐานจะถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานได้กับเครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแบบแท่ง และเครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแบบเม็ด เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุน อีกทั้งวัสดุที่เลือกใช้ยังสามารถหาได้ในท้องถิ่นอีกด้วย

การออกแบบเครื่องทดสอบความทนทานอ้างอิงจากงานวิจัยของ Michaël Temmerman หัวข้อวิจัยเรื่อง การศึกษาการทดสอบความทนทานของถ่านอัดแบบเม็ดและแบบแท่ง (Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes) [2] ประกอบด้วยเครื่องทดสอบ 2 แบบ คือ เครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแบบแท่ง และเครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแบบเม็ด โดยเครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแบบแท่ง มีลักษณะเป็นถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 598 mm. สูง 598 mm. ภายในมีแผ่นยาว 200 mm. ถูกเชื่อมตั้งฉากกับผนังของถัง ส่วนเครื่องทดสอบทดสอบความทนทานของถ่านอัดแบบเม็ดมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมกว้าง 300 mm. ยาว 125 mm. สูง 300 mm. ภายในมีแผ่นขนาดกว้าง 50 mm. ยาว 230 mm. ถูกเชื่อมติดกับผนังของกล่อง





รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบถ่านอัดแท่ง **รูปที่ 2.4** เครื่องทดสอบถ่านอัดเม็ด

2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง [10]

2.2.1 ขอบขาย

2.2.1.1. มาตรฐานผลิตภัณฑชุมชน ครอบคลุมเฉพาะถานอัดแทงที่ทำจากถานผงหรือถานเม็ดมาอัดเปนแทง หรือทำจากวัสดุธรรมชาติมาอัดเป็นแท่งแล้วเผาจนเป็นถ่าน

2.2.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

2.2.2.1 ถ่านอัดแท่ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ซังข้าวโพด มาเผาจนเป็นถ่าน อาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ดแล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ หรือนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย มาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการแล้วจึงนำมาเผาเป็นถ่าน

2.2.2.2 ค่าความร้อน หมายถึง พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหนัก 1 กรัม มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม

2.2.3 คุณลักษณะที่ต้องการ

2.2.3.1 ลักษณะทั่วไป ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปทรงเดียวกัน ขนาดใกล้เคียงกัน มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะ ยาจแตกหักได้บ้าง

2.2.4 การใช้งาน เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ตไฟกระเด็น ไม่มีควันและกลิ่น

2.2.5 ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

2.2.6 ค่าความร้อน ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม

2.2.7 การบรรจุ

2.2.7.1 หากมีการบรรจุ ให้บรรจุถนอัดแท่งในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้งและสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับถ่านอัดแท่งได้

2.2.7.2 น้ำหนักสุทธิของถ่านอัดแท่งในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

2.2.7.3 เครื่องหมายและฉลาก ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุถ่านอัดแท่งทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่ายชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์

(2) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำ

(3) น้ำหนักสุทธิ

(4) เดือน ปีที่ทำ

(5) ข้อแนะนำในการใช้

(6) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

2.2.8 การทดสอบ

2.2.8.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมาย

2.2.8.2 การทดสอบการใช้งานให้ทดสอบโดยการจุดตัวอย่างถ่านอัดแท่ง

2.2.8.3 การทดสอบความชื้น ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 3173

2.2.8.4 การทดสอบค่าความร้อน ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 5B65

2.2.8.5 การทดสอบน้ำหนักสุทธิ ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

2.2 วรรณกรรมปริทรรศน์

จากงานวิจัยของ นายปรมินทร์ ไชย์ทองรักษ์. (2551) [8] ได้ทำการทดลองเรื่องถ่านอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมาหาค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และค่าพลังงานความร้อน ต่อมานำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสไปทำเป็นผงถ่าน หาค่าความร้อนของผงถ่าน หลังจากนั้นนำผงถ่านที่ได้ไปอัดโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก ที่ความดัน 15 kg/cm^2 และเครื่องอัดแบบสกรูเกลียว แล้วหาค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดทั้งหมด โดยใช้แป้งมันสำปะหลัง ในอัตรา 10:1 (ถ่าน 10 กิโลกรัม ต่อ แป้งมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัม) และน้ำเปล่า (ประมาณ 7 - 8 ลิตร ต่อผงถ่าน 10 กิโลกรัม) เป็นตัวประสาน ทำให้ถ่านอัดแท่งเกาะตัวกันดี สุดท้ายนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปหาค่ากำลังความร้อนโดยนำถ่านอัดแท่งไปเป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำ ทำการจับเวลา และวัดอุณหภูมิที่เวลานั้น ๆ แล้วจึงทำการคำนวณค่ากำลังความร้อน พบว่าเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 5.09 g/cm^3 ค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 13% ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 15.97 MJ/kg เมื่อนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสไปแปรรูปเป็นผงถ่านได้ค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 16.82 MJ/kg นำผงถ่านมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่ง โดยแบ่งออกเป็นการอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 0.47 g/cm^3 ค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 13.14% ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 16.72 MJ/kg และการอัดด้วยเครื่องอัดสกรูเกลียวมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 0.75 g/cm^3 ค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 19.96% ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 16.47 MJ/kg โดยการ

อัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกและเครื่องอัดสกรูเกลียว พบว่ากำลังความร้อนเฉลี่ยต่อ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 0.342 kW และ 0.331 kW ตามลำดับ

จากงานวิจัยของ รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล. (2553) [13] ได้ทำการวิจัยการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง โดยนำกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง ที่ผ่านการหั่นและตากแดดจนแห้ง หลังจากนั้นทำการเผาแล้วนำไปบดละเอียด และทำอัดแท่งถ่าน โดยผสมกันในอัตราส่วนดังต่อไปนี้

1. ถ่านกะลามะพร้าว: ถ่านเหง้ามันสำปะหลัง เป็น 9 ต่อ 1
2. ถ่านกะลามะพร้าว: ถ่านเหง้ามันสำปะหลัง เป็น 8 ต่อ 2
3. ถ่านกะลามะพร้าว: ถ่านเหง้ามันสำปะหลัง เป็น 5 ต่อ 5
4. ถ่านกะลามะพร้าว: ถ่านเหง้ามันสำปะหลัง เป็น 2 ต่อ 8
5. ถ่านกะลามะพร้าว: ถ่านเหง้ามันสำปะหลัง เป็น 1 ต่อ 9

จากนั้นนำมาผสมกับตัวประสานในอัตราส่วนที่เหมาะสมดังนี้ ใช้แป้งสำปะหลังและน้ำ โดยการเลือกอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังผสมกัน 10 กิโลกรัมต่ออัตราส่วนผสมแป้งมัน 1 กิโลกรัมและน้ำ 0.5 – 0.8 ลิตร ทั้งนี้สัดส่วนอาจเปลี่ยนตามความชื้นถ่านกะลามะพร้าว และถ่านเหง้ามันสำปะหลัง เมื่อได้ถ่านอัดแท่งแล้วนำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 7 วัน หรือขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ และการวัดความชื้นต้องไม่เกินร้อยล่ะ 8 ผลการทดลอง คือ อัตราส่วนผสมที่สมรรถนะทางความร้อนสูงที่สุด ผ่านมาตรฐาน (มผช.) ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 1 ถ่านกะลามะพร้าว 9 ส่วน ต่อถ่านเหง้ามันสำปะหลัง 1 ส่วน มีค่าความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 6,588.09 (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม) ค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.) และมีระยะเวลามอดดับ 212 นาทีสูงที่สุด อัตราส่วนผสมที่สมรรถนะทางความร้อนต่ำที่สุดไม่ผ่านมาตรฐาน (มผช.) ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 9 ถ่านกะลามะพร้าว 1 ส่วนต่อถ่านเหง้ามันสำปะหลัง 9 ส่วน ค่าความร้อน 4,514.13 (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม) ค่าความร้อนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน(มผช.) มีระยะเวลามอดดับ 161 นาที ต่ำที่สุด อัตราส่วนผสมที่สมรรถนะทางความร้อน ผ่านมาตรฐาน (มผช.) ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 1 ถึงอัตราส่วนผสมที่ 7 อัตราส่วนผสมที่ 8 และอัตราส่วนผสมที่ 9 ค่าความร้อนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.)

จากงานวิจัยของ Malika Thabuot.(2558) [1] ได้ทำการทดลอง Effect of Applied Pressure and Binder Proportion on the Fuel Properties โดยใช้ ขี้เลื่อยไม้ไผ่ ขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัส ซังข้าวโพด ไม้ยางพาราเป็นวัตถุดิบในการทดลอง เริ่มจาก นำวัตถุดิบทั้งหมดตากแห้งเป็นระยะเวลาทั้งหมด 3 วัน เพื่อลดความชื้น หลังจากนั้นนำมาลดขนาดโดยการใช้ค้อนบด แล้วนำมาร่อนและเลือกใช้วัสดุที่มีขนาดน้อยกว่า 5 มม. เมื่อได้วัสดุทั้งหมดตามขนาดที่ต้องการแล้วจะนำวัสดุทั้งหมดมาผสมกับตัวประสาน ซึ่งในที่นี้ใช้เป็นเส้นใยปาล์ม ในอัตราส่วน 4 : 1 และกากน้ำตาล 15% – 30% โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปใส่ในแม่พิมพ์ทรงกระบอก และอัดโดยใช้แรงดัน 40, 50, 60 และ 70 kg/cm^2 เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำผลิตภัณฑ์ออกมาจากเครื่องอัด แล้วนำไปพักที่อุณหภูมิห้องเป็น

เวลา 2 สัปดาห์ ก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่าง ๆ คือ เปอร์เซ็นต์การระเหย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงที่ ทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 2.2 Proximate analysis (dry basis) of bamboo sawdust, eucalyptus sawdust, rubber wood, corn cob and palm fiber.

Biomass waste	Volatile matter (%โดยน้ำหนัก)	Ash content (% โดยน้ำหนัก)	Fixed carbon (% โดยน้ำหนัก)	Heating value (MJ/kg)	Bulk density (kg/cm^2)
Bamboo sawdust	93.44	0.13	6.43	18.48	280.95
Eucalyptus sawdust	99.57	0.19	0.24	15.69	288.40
Rubber wood	96.17	0.17	3.60	16.00	305.54
Corn cob	97.82	0.14	1.41	15.84	157.30
Palm fiber	99.11	0.22	0.74	15.66	325.65

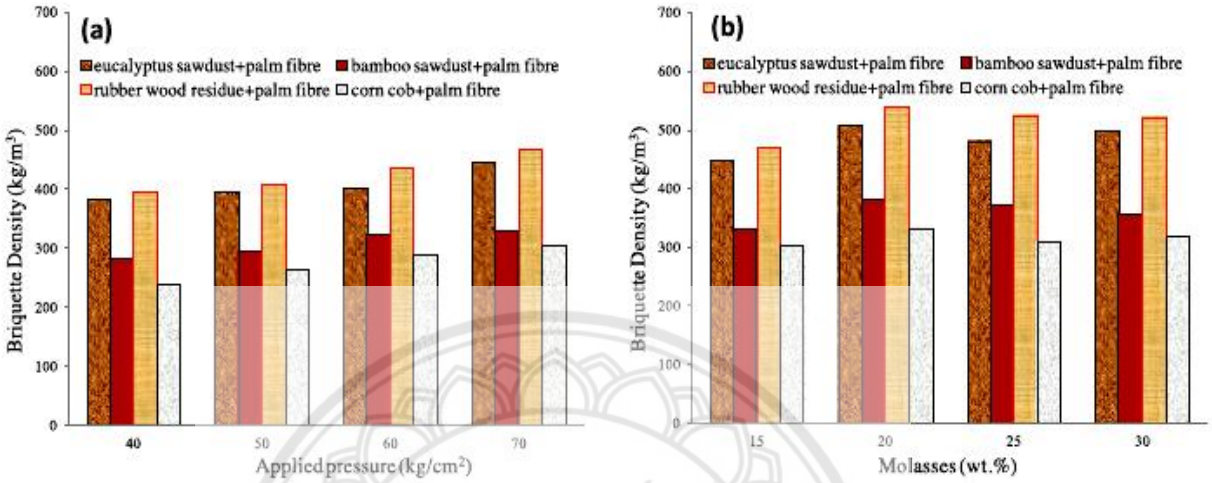
จากตารางที่ 2.2 พบว่าปริมาณการระเหยและปริมาณคาร์บอนคงที่ คือ ปริมาณของสารอินทรีย์และเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่คงอยู่ในวัสดุ โดยปกติชีวมวลที่มีค่าการระเหยสูง จะมีค่าคาร์บอนคงที่ต่ำและทำให้เกิดการเผาไหม้ง่ายขึ้น เนื่องจากการระเหยประกอบด้วย ก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ จะเห็นว่าขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัสมีเปอร์เซ็นต์การระเหยมากที่สุดคือ 99.57% โดยน้ำหนัก รองลงมาคือ เส้นใยปาล์ม, ซังข้าวโพด, กากไม้ยางพารา และขี้เลื่อยไม้ไผ่ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ส่วนปริมาณเถ้าจะเป็นตัวบ่งชี้พฤติกรรมการเกิดตะกรันของชีวมวลในระหว่างการเผาไหม้ ถ้าปริมาณเถ้าสูงทำให้มีตะกรันมาก ดั้งนั้นเมื่อค่าปริมาณเถ้าต่ำจะส่งผลให้ค่าความร้อนของผลผลิตภัณฑ์สูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 2.3 Ultimate analysis (dry basis) of bamboo sawdust, eucalyptus sawdust, rubber wood, corn cob and palm fiber.

Biomass waste	C *	H *	O *	C/H **	C/O **
Bamboo sawdust	46.61	6.13	46.41	0.63	1.34
Eucalyptus sawdust	45.46	6.19	47.47	0.61	1.28
Rubber wood	46.05	6.15	46.86	0.62	1.31
Corn cob	45.41	6.14	46.99	0.62	1.29
Palm fibre	45.57	6.18	47.40	0.61	1.28

*โดยน้ำหนัก **Molar ratio

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนและออกซิเจนไม่ต่างกันและอัตราส่วนโมลของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนและคาร์บอนต่อออกซิเจนประมาณ 0.61 - 0.63 และ 1.28 - 1.34 ตามลำดับ

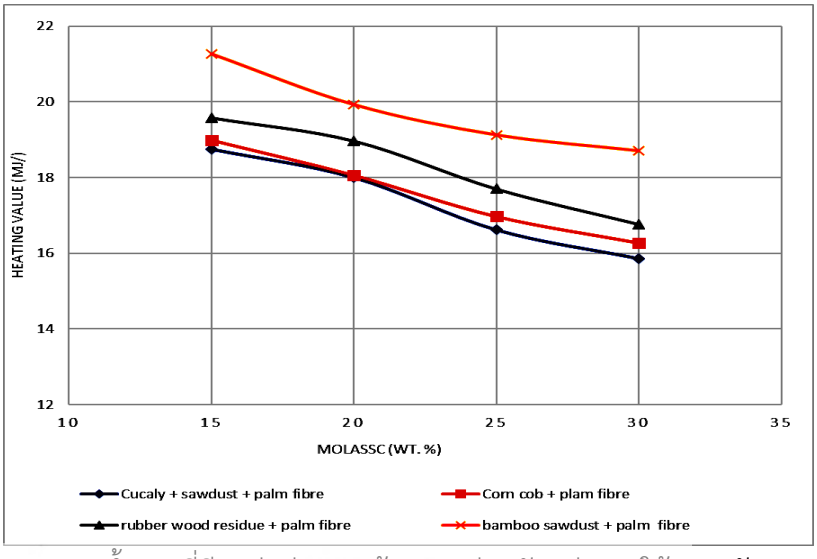


รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความดันกับความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของกากน้ำตาล 15% โดยน้ำหนัก

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกากน้ำตาลกับความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งภายใต้แรงดัน 70 kg/cm^2

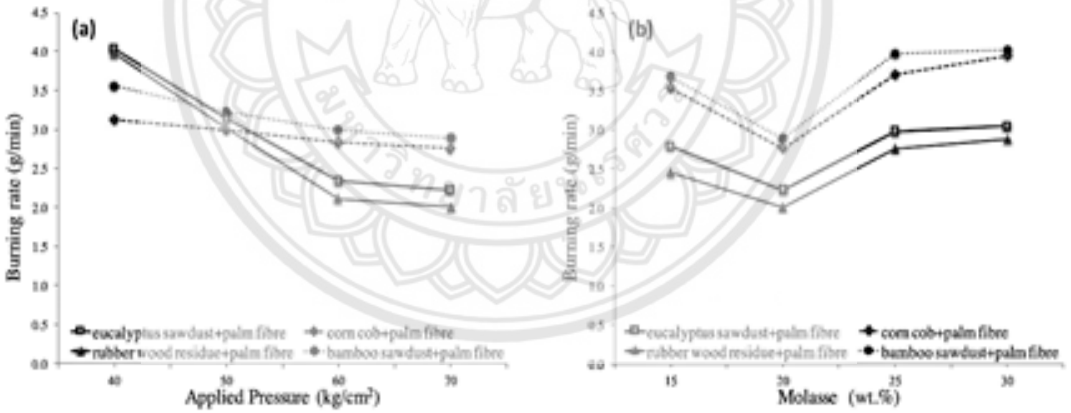
จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มแรงดันทำให้ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้นจะเห็นว่ายางพารามีความหนาแน่นมากที่สุดคือ 468.34 kg/cm^2 เพราะกากยางพาราสามารถกดอัดได้ง่ายและมีความหนาแน่นสูง ซึ่งข้าวโพดมีความหนาแน่นต่ำที่สุดคือ 304.23 kg/cm^2 เนื่องจากมีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเส้นใย

จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าการผสมกากน้ำตาลมีผลต่อความหนาแน่นแต่ต้องผสมในปริมาณที่พอดี ซึ่งจากรูปจะพบว่าปริมาณกากน้ำตาลที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นมากที่สุดคือ 20% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2.7 ปริมาณกากน้ำตาลที่มีผลต่อค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งภายใต้ความดัน 70 kg/cm^2

จากกราฟที่ 2.7 จะเห็นว่าการใส่กากน้ำตาลเพื่อเป็นตัวประสานทำให้ค่าความร้อนลดลง พบว่าเมื่อผสมกากน้ำตาล 15% โดยน้ำหนัก ทำให้ได้ค่าความร้อนสูงสุดและเมื่อเพิ่มปริมาณของกากน้ำตาลขึ้นก็จะทำให้ค่าความร้อนลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 2.8 ผลการเปลี่ยนแปลงความดันต่ออัตราการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งโดยใช้กากน้ำตาล 20% โดยน้ำหนัก

รูปที่ 2.9 ผลของปริมาณกากน้ำตาลต่ออัตราการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งภายใต้ความดัน 70 kg/cm^2

จากรูปที่ 2.8 พบว่าที่แรงดันต่ำจะมีอัตราการเผาไหม้สูง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งสามารถลดอัตราการเผาไหม้ได้ด้วยการเพิ่มแรงดันหรือเพิ่มความหนาแน่นให้สูง เพื่อลดรูพรุนในผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์มีรูพรุนน้อยจะทำให้จำกัดการถ่ายโอนมวลความร้อนระหว่างการเผาไหม้

จากรูปที่ 2.9 พบว่าถ่านอัดแท่งที่ความดัน 70 kg/cm^2 กับปริมาณกากน้ำตาล 20% โดยน้ำหนัก ใช้เวลาในการเผาไหม้ช้าที่สุด โดยเฉพาะกากยางพาราอัดแท่งซึ่งอาจเกิดจากสัดส่วนที่ส่งผลกับสารระเหยและปริมาณคาร์บอนคงที่

จากงานวิจัยของ Rukayya I. Muazuw. (2558) [3] ได้ทำการวิจัยเรื่อง Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks corn cobs วัสดุที่นำมาศึกษาคือ แกลบและซังข้าวโพด โดยการนำแกลบมาผ่านการโม่ให้มีขนาดเล็กกว่า 2 mm. และขนาดอนุภาคของแกลบโดยเฉลี่ยที่ได้คือ 0.7 mm. เพื่อให้กระบวนการอัดง่ายขึ้น ส่วนซังข้าวโพดที่มีขนาดน้อยกว่า 1.6 mm. โดยใช้เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer mill) ทำหน้าที่บดเพื่อลดขนาดให้กับวัตถุดิบที่ต้องการ โดยผ่านตะแกรงขนาด 1 mm. สำหรับแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก และขนาดอนุภาคของซังข้าวโพดโดยเฉลี่ยที่ได้คือ 0.8 mm. ตัวประสานที่นำมาใช้คือ แป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำ อัตราส่วนโดยมวลคือ 2 : 3 ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที ก่อนที่จะนำไปใช้เป็นตัวประสาน

ขั้นตอนการอัดถ่าน การอัดถ่านจะใช้ส่วนผสมระหว่างแกลบและข้าวโพด โดยอัตราส่วนของแกลบต่อข้าวโพดเป็น 30% และ 50% โดยมวล ตามลำดับ และปริมาณของตัวประสานจะเปลี่ยนแปลงไปตามการทดลอง แม่พิมพ์ที่ใช้จะมีลักษณะคล้ายทรงกระบอกที่มีขนาดดังต่อไปนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 32 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 51 mm. และความยาว 100 mm. แรงที่ใช้การอัดแท่งมีค่าเท่ากับ 19 และ 30 MPa เป็นเวลา 60 วินาที โดยทำการอัดผ่านเครื่องอัดระบบไฮดรอลิค (Hydraulic Machine) หลังจากนั้นนำถ่านที่ได้จะผ่านกระบวนการบ่ม โดยจะถูกนำมารักษาที่อุณหภูมิ 23 ± 2 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำถ่านมาทำการทดสอบ สำหรับถ่านที่ผ่านกระบวนบ่มเป็นระยะเวลา ดังต่อไปนี้

-การบ่มที่ระยะเวลา 24 ชั่งโมง เป็นเวลา 6 วัน ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 °C

-การบ่มที่ระยะเวลา 24 ชั่งโมง ที่อุณหภูมิ 35 °C และที่อุณหภูมิ 23 ± 2 °C เป็นเวลา 6 วัน

นำมาทดสอบความหนาแน่นของถ่านโดยการใช้แรงอัดสูงสุด และก่อนที่จะนำไปทดสอบ จะมีการเก็บข้อมูลการบ่ม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างตัวประสานกับอัตราส่วนของแกลบและซังข้าวโพดเพื่อดูความหนาแน่นหลังถ่านอัดออกจากแม่พิมพ์, ความหนาแน่นหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง และการทดสอบแรงอัด (Compressive strength) จะผ่านการทำซ้ำจำนวน 3 ตัวอย่างแล้วทำการเก็บข้อมูลแล้ว นำผลการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ถ่านที่ผ่านการบ่มแล้วมาทำการทดสอบตาม กระบวนการตามมาตรฐาน เพื่อทดสอบสมบัติและลักษณะเฉพาะของถ่านดังนี้ Unit density, Moisture content, Water absorption, Compressive strength, Shattering resistance, Abrasion resistance แล้วเก็บข้อมูลเพื่อดูค่าความทนทาน

ผลการทดลองที่ได้ คือ Briquettes density and compressive ค่าแรงอัด และค่า Relaxed densities ที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 25 - 237 kPa และ 490 - 712 kg/m^3 พิจารณาจากค่าเฉลี่ยจากการทดลองจะได้ค่าแรงอัด (Compressive strength) ที่ 176 kPa ถือว่ายอมรับได้ และที่การอัดด้วย

แรงดัน 31 MPa สำหรับอัตราส่วนของแกลบกับซังข้าวโพดเป็น 3 : 7 อัตราส่วนของตัวประสาน 10% พบว่าถ่านอัดแท่งมีมวลหายไปเพียง 4% ในระหว่างการทดสอบการเสียดสี และมีมวลที่หายไปจากการทดสอบแบบกัดกร่อน รวมถึงค่าการดูดซับน้ำได้น้อยกว่าซังข้าวโพด 36%

Effect of briquetting variables on response variable

ตารางที่ 2.4 อัตราส่วนที่ผสมในสารแต่ละชนิด

Run	Sample batch (ร)	Material ratio (M) (% mass of rice husks in rice husk/com cob blend)	Binder (B)		Pressure (p) (MPa)	Unit green density (kg/m^3)		Unit relaxed density		Compressive strength (kPa)	
			(% mass of starch in rice husk/com cob blend)	(% mass of added water in rice husk/com cob blend)		mean	SD	mean	SD	mean	SD
1	A	50	4	6	19	815	15	616	18	70	4
2	A	30	4	6	19	867	14	671	41	152	7
3	A	50	4	6	31	896	17	673	19	158	1
3 +	A	50	4	6	31	830	19	664	8	148	1
4	A	30	4	6	31	874	17	631	11	183	7
4 +	A	30	4	6	31	870	11	660	10	179	3
5	A	50	6	11	19	767	40	556	13	151	19
6	A	30	6	11	19	808	26	592	9	155	4
7	A	50	6	11	31	815	36	583	16	171	9
8	A	30	6	11	31	846	25	596	22	175	14
9	B	50	4	6	19	698	23	593	22	25	7
10	B	30	4	6	19	766	10	612	33	64	9
11	B	50	4	6	31	761	21	586	39	59	8
12	B	30	4	6	31	795	9	629	15	189	14
ใ3	B	50	6	11	19	767	4	490	24	168	11
14	B	30	6	11	19	715	20	556	29	191	6
15	B	50	6	11	31	707	27	572	10	237	21
16	B	30	6	11	31	703	15	512	5	177	16
17[b]	B	50	0	0	19	316	0	316	0	0	0
18[b]	B	30	0	0	19	607	28	301	0	0	0
19[b]	B	50	0	0	31	659	46	316	0	0	0
20[b]	B	30	0	0	31	615	37	549	13	0	0
21[b]	B	50	0	6	19	752	10	623	26	59	4
22[b]	B	30	0	6	19	791	36	695	14	98	4
23[b]	B	50	0	6	31	777	16	642	11	48	4
24[b]	B	30	0	6	31	812	27	712	11	70	4

a Average of three responses; SD is standard deviation.

b Experimental runs for effect of water only on briquette responses.

การเปลี่ยนอัตราส่วนวัสดุของแกลบ การเปลี่ยนอัตราส่วนของตัวประสาน และการใช้ความดันที่ต่างกัน ทำให้ได้ความหนาแน่นที่ต่างกันออกไปตามตารางที่ 2.4 จะได้ผลของค่า Green density (หลังจากนำถ่านอัดก่อนออกจากแม่พิมพ์) ในคอลัมน์ที่ 7, ค่า Relaxed density (หลังผ่านไป 24 ชั่วโมง) ในคอลัมน์ที่ 9 และค่า Compressive strength ในคอลัมน์ที่ 11

ในการทดสอบครั้งที่ 17 ถึง 20 เป็นการทดสอบแบบไม่ใช้ตัวประสาน พบว่ามีรอยร้าว และมีกำลังอัดน้อยมาก จึงพบว่าการใช้วัสดุตัวประสานมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรับแรงอัดที่มีประโยชน์

ตามที่คาดไว้ ผลกระทบของสารยึดเกาะต่อการตอบสนองของถ่านอัดแท่งสามารถเกิดจากการมีสายยึดเกาะตามธรรมชาติของชีวมวล ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะถูกกระตุ้นด้วยความชื้น

แม้ว่าจะมีการเติมตัวประสานที่เป็นน้ำเข้าไปผสมกับแกลบและซังข้าวโพด การอัดก้อนมีความชื้นในตารางที่ 4 ถ่านอัดจะมีคุณภาพดีคือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 12% ตามที่แนะนำในมาตรฐานยุโรปสำหรับเชื้อเพลิงแข็ง ปริมาณการอัดแท่งของการศึกษานี้สามารถเทียบกับช่วงความเข้มข้น 9 ถึง 14% โดยการอัดแท่งของซังข้าวโพด ที่อัดแบบไม่ใช้ตัวประสาน พบว่าการบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสทำให้ช่วยลดค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งได้เป็นอย่างดี และทำให้ค่าความชื้นสูญเสียเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงการขยายตัวของก้อนโดยเฉลี่ยมีการขยายตัวตามแนวแกนยาว 15% เมื่อเทียบกับการขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 4% การลดลงของความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างก้อน A และ B อยู่ที่ 22% การดูดซับน้ำจากก้อนที่ผลิตด้วยแกลบและซังข้าวโพด ในอัตราส่วน 3 : 7 เป็นอัตราส่วนที่มีรูพรุนของซังข้าวโพดสูง การอิ่มตัวมากเกินไป พบว่าลักษณะการรบวมของก้อนที่มีสารตกค้างอยู่ ความต้านทานการกัดกร่อนและการเสียดสีของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากแกลบและซังข้าวโพดอัตราส่วน 3 : 7 มีความสอดคล้องกับการสูญเสียของมวล น้อยกว่า 10% ตามที่กำหนดโดยมาตรฐานสำหรับการประกันคุณภาพของเชื้อเพลิงแข็ง เมื่อเปรียบเทียบกับมวลที่สูญเสียไป 8 - 12% ของซังข้าวโพดอัดแท่งที่ถูกผลิตที่ความดัน 150 MPa และอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส พบว่ามีความแตกต่างของรูพรุนในก้อน และวัสดุจากแหล่งกำเนิดแต่ละชิ้น ขณะที่ความดันอัดต่ำ ในงานวิจัยนี้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและอุปกรณ์ ผลการทดลองเบื้องต้นสำหรับการผสมแกลบและซังข้าวโพดในตัวอย่าง B โดยไม่ใช้ตัวประสาน พบว่าสร้างความหนาแน่นได้ 774 kg/m^3 โดยการเพิ่มแรงอัดเป็น 80 MPa อัตราส่วนการผสมอาจมีผลต่อการใช้พลังงาน การใช้พลังงานลดลงเมื่อสัดส่วนการผสมอยู่ช่วง 30/70 ถึง 50/50

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติความทนทานของก้อนที่มีความหนาแน่นและรับแรงอัดสูงที่สุดจากตารางที่ 2.4

Briquette properties	Run from Table 4	Curing temperature	Curing time (d)	Response (sample A)	Response (sample B)
Unit relaxed density (kg/m^3)	3 +	23	1	664	ND
	15	23	1	ND	572
	3 (repeat)	23	7	645	ND
	15 (repeat)	23	7	ND	616
	15 (repeat)	35	1	ND	586
	3 (repeat)	35	1	586	ND
	3 (repeat)	35	7	531	ND
	4+, 12	23	1	660	629
	4,12 (repeat)	23	7	644	669
	4 (repeat)	35	1	660	ND
	4 (repeat)	35	7	600	ND
Reduction in unit density (after storage	3 +	23	1	20	ND

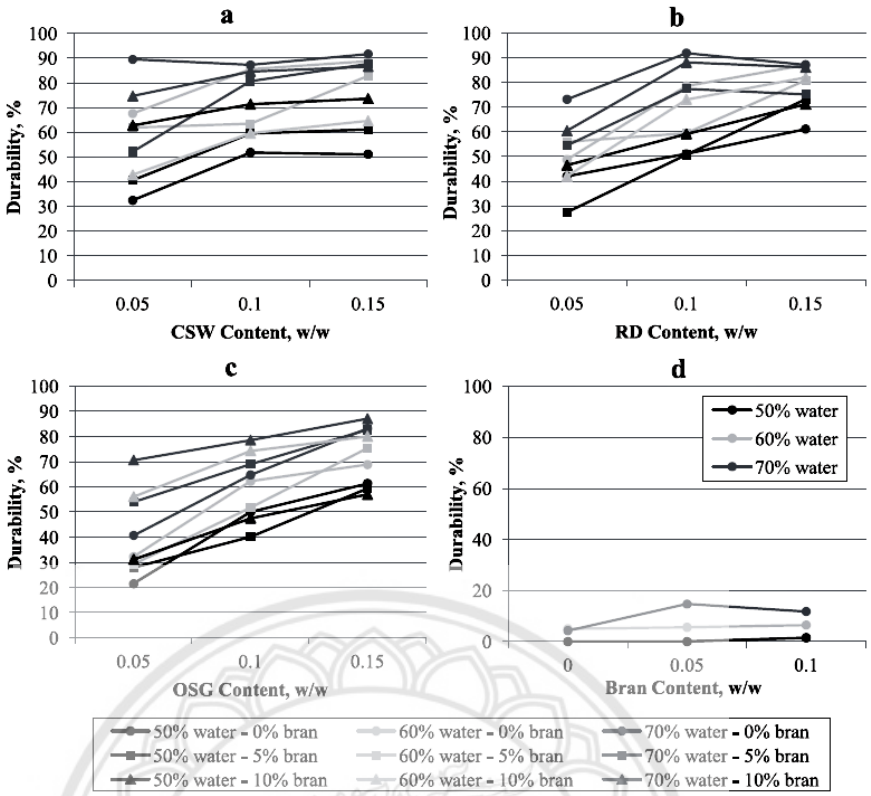
ตารางที่ 2.5 (ต่อ) คุณสมบัติความทนทานของก้อนที่มีความหนาแน่นและรับแรงอัดสูงที่สุด จากตารางที่ 2.4

Briquette properties	Run from Table 4	Curing temperature	Curing time (d)	Response (sample A)	Response (sample B)
(% of green density)	1	23	1	ND	19
	5				
	3 (repeat)	23	7	28	ND
	15 (repeat)	23	7	ND	13
	15 (repeat)	35	1	ND	17
	3 (repeat)	35	1	35	ND
	3 (repeat)	35	7	40	ND
	4+, 12	23	1	24	21
	4,12 (repeat)	23	7	26	16
	4 (repeat)	35	1	24	ND
	4 (repeat)	35	7	30	ND
Densification (proportion of	3 +	23	1	1.9	ND
biomass density of348 kg/m^3)	15	23	1	ND	1.6
	3 (repeat)	23	7	1.9	ND
	15 (repeat)	23	7	ND	1.8
	15 (repeat)	35	1	ND	1.7
	3 (repeat)	35	1	1.7	ND
	3 (repeat)	35	7	1.5	ND
	4+, 12	23	1	T9	1.8
	4,12 (repeat)	23	7	1.9	1.9
	4 (repeat)	35	1	1.9	ND
	4 (repeat)	35	7	1.7	ND
Moisture content (% undried	3 +	23	1	9	ND
	15	23	1	ND	12
	15	35	1	ND	6
	4+, 12	23	1	10	10
Porosity (% volume)	3 +	23	1	59	ND
	15	23	1	ND	65
	4+.12	23	1	60	60
Water absorption (% dried	3 +	23	1	70	ND
	15	23	1	ND	66
	4+.12	23	1	142	151
(% saturation of porosity)	3 +	23	1	118	ND
	15	23	1	ND	100
	4+,12	23	1	237	245

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) คุณสมบัติความทนทานของก้อนที่มีความหนาแน่นและรับแรงอัดสูงที่สุดจากตารางที่ 2.4

Briquette properties	Run from Table 4	Curing temperature	Curing time (d)	Response (sample A)	Response (sample B)
Compressive strength (kPa)	3 +	23	1	148	ND
	15	23	1	ND	237
	3 (repeat)	23	7	98	ND
	15 (repeat)	23	7	ND	180
	3 (repeat)	35	1	73	ND
	3 (repeat)	35	7	60	ND
	4+, 12	23	1	179	189
	4,12 (repeat)	23	7	167	167
	4 (repeat)	35	1	135	ND
	4 (repeat)	35	7	130	ND
Shattering resistance (%	3 +	23	1	14	ND
	15	23	1	ND	4
	4+,12	23	1	9	11
Abrasion resistance (% undried	3 +	23	1	20	ND
	15	23	1	ND	3
	4+,12	23	1	3	4

จากงานวิจัยของ A Yank, M. Ngadi, R. Kok. (2559) [8] ได้ทำการทดลองเรื่อง Physical properties of rice husk and bran briquettes under low pressure densification for rural applications โดยใช้แกลบแห้งมาบดผ่านเครื่องบดและนำมาผ่านเครื่องเขย่าตะแกรง เพื่อให้แกลบมีขนาดเล็กลง ภายในระยะเวลา 10 นาที ด้วยความเร็วคงที่เฉลี่ย 3.6 เมตรต่อวินาที นำแกลบที่ได้ปริมาณ 360 กรัม มาผสมกับรำข้าว (แสดงเป็นสัดส่วนร้อยละโดยมวล, %w/w) แล้วผสมกับตัวประสานแต่ละตัว ดังต่อไปนี้ น้ำแป้งมันสำปะหลัง, ผงข้าวและกระเจี๊ยบ พบว่าผงข้าวนั้นให้กำลังแรงอัดและให้ความทนทานสูง ถึงแม้ว่าน้ำแป้งมันสำปะหลังจะให้ความหนาแน่นสูงและให้ความทนทานคล้ายกันกับผงข้าว การใช้ผงข้าวมาเป็นสารยึดเกาะนั้นเป็นที่นิยม แต่น้ำแป้งมันสำปะหลังอาจชี้ให้เห็นว่ามันสามารถใช้ได้ในบางพื้นที่แทนผงข้าว ซึ่งมีปริมาณสารยึดเกาะเพียง 10% อาจจะไม่เพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับความทนทานของอิฐ อย่างไรก็ตาม 15% ของสารยึดเกาะอาจให้ค่าที่เหมาะสม ถ้าหากกำลังอัดมากกว่าที่ต้องการ และถ้าสารยึดเกาะเพียงพอที่จะสามารถใช้ได้โดยไม่ต้องเพิ่มต้นทุนของถ่านหิน นอกจากนี้น้ำยังเพิ่มขึ้นถึง 60% เป็นประโยชน์สำหรับแรงดันต่ำ เพื่อปรับปรุงการโฮโมจีไนเซชั่นหรือการทำให้ของเหลวรวมเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุประสานผ่านชีวมวลและพันธะระหว่างอนุภาค



รูปที่ 2.10 ความทนทานของถ่านอัดแท่งกับรำข้าวที่ผสมกับตัวประสานชนิดต่าง ๆ

จากกราฟที่ 2.10 พบว่าค่าความทนทานของจากกราฟสรุปได้ว่า แป้งมันสำประหลัง 5 % ค่าความทนทานสูงสุดอยู่ที่ 90 % แป้งมันสำประหลัง 10 % ค่าความทนทานสูงสุดอยู่ที่ 88 % แป้งมันสำประหลัง 15 ค่าความทนทานสูงสุดอยู่ที่ 97 % (รำข้าว 5% น้ำ 70 %)

แกลบคือชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับการอัดที่แรงดันต่ำในกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งที่เป็นพลังงานทางเลือกในการทำไปเป็นเชื้อเพลิงในการปรุงอาหาร โดยลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งที่ดีคือ มีความทนทานและความแข็งแรง รวมทั้งค่าความชื้นต่ำ (ต่ำกว่า 7.5%) และให้ค่าความร้อนสูง (16.08 MJ/ kg-db.) การใช้ผงข้าวพบว่าให้แรงอัดและความทนทานสูงที่สุด ถ้าใช้น้ำแป้งมันสำปะหลัง พบว่าให้แรงอัดและความทนทานใกล้เคียงกับการใช้ผงข้าว ผงข้าวเป็นตัวประสานแรกที่ถูกยอมรับแต่น้ำแป้งมันสำปะหลังจะถูกนำมาใช้เป็นตัวประสานได้ถ้าใช้ง่ายกว่าและน้อยกว่าผงข้าว ซึ่งพบว่าน้ำแป้งมันสำปะหลังเพียง 10% ก็สามารถให้ความทนทานกับถ่านอัดแท่ง อย่างไรก็ตาม ตัวประสานที่ 15% อาจเป็นที่ยอมรับถ้าสามารถทำให้ถ่านอัดแท่งมีความแข็งแรงเป็นไปตามต้องการ และถ้าตัวประสานในปริมาณเพียงพอจะทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตถ่านอัดแท่งได้ นอกจากนี้ถ้าเพิ่มปริมาณน้ำที่ 60% ทำให้เป็นประโยชน์สำหรับการอัดที่แรงดันต่ำซึ่งจะทำให้ตัวประสานกับชีวมวลเป็นเนื้อเดียวกันและทำให้เกิดพันธะยึดเกาะระหว่างอนุภาค นอกจากนี้รำข้าวไม่นิยมนำมาทำเป็นตัวประสานถ้าถ่านอัดแท่งที่ทำจากส่วนที่เหลือจากการสีข้าว เพราะจะทำให้ไม่เกาะกลุ่มกันระหว่างอนุภาคของรำข้าวและผงข้าว

จากการศึกษาเพิ่มเติมจะต้องมีการประเมินความต้องการของพลังงานหมุนเวียนจากการอัดที่แรงดันต่ำ ถ้ามีเวลามากพอหรือถ่านอัดแท่งมีความต้องการมาก จะต้องทำผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อเปรียบเทียบกับพลังงานจากถ่านไม้ เทคโนโลยีการผลิตอาจไม่ตอบสนองต่อความต้องการที่จะลดพลังงานจากถ่านไม้ในทันที โดยทั่วไปแล้วถ่านอัดแท่งจากชีวมวลทั้งผงข้าวหรือวัตถุดิบอื่น ๆที่สามารถนำมาใช้ได้ยังคงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับทางชนบทของประเทศแอฟริกา

จากงานวิจัยของ นางสาวชมภู่ เหนือศรี. (2559) [5] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพถ่านอัดแท่ง และการใช้ประโยชน์จากต้นไมยราบยักษ์เพื่อการจัดการชนิดพันธุ์ต่างถิ่น โดยใช้ต้นไมยราบยักษ์ ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ใบอ้อยมาหั่นและตากแดดจนแห้งเป็นระยะเวลา 3 - 5 วัน ก่อนนำไปเผา จากนั้นนำมาผ่านการอัด โดยผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ดังต่อไปนี้ ต้นไมยราบยักษ์ : ฟางข้าว, ต้นไมยราบยักษ์ : ต้นข้าวโพด และต้นไมยราบยักษ์ : ใบอ้อย จากนั้นนำมาผสมกับน้ำแป้งเปียกผสมจนผงถ่านจับตัวกัน แล้วอัดด้วยเครื่องอัดแบบเย็น (อัดด้วยแรงคน) ทีละก้อน แล้วนำมาตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนมากที่สุดคือ ถ่านอัดแท่งจากไมยราบยักษ์ผสมฟางข้าว รองลงมาคือ ถ่านอัดแท่งจากไมยราบยักษ์ผสมซังข้าวโพด และถ่านอัดแท่งจากไมยราบยักษ์ผสมใบอ้อย โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 0.4599 0.4264 และ 0.3232 MJ/kg ตามลาดับ และมีค่าความชื้นเท่ากับ 6.16% 6.39% 7.13% ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

การผลิตถ่านอัดแท่งจากกระบวนการเผาในเตาเผา ซึ่งเป็นเศษถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่สมบรูณ์ของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ ดังนั้นจึงเลือกนำเศษถ่านที่เหลือมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อลดปริมาณการใช้ไม้เพราะการผลิตถ่านขึ้นมาจะต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติในการทำถ่านก็คือไม้เป็นหลัก ดังนั้นการนำเศษถ่านที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งแทนการใช้ไม้ จะต้องมีคุณภาพที่ดีและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับถ่านไม้ และต้องมีคุณสมบัติความทนทานไม่แตกหักง่าย ซึ่งในวิธีการผลิตจะนำถ่านจากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐและสมุนไพร (เทียนดำ ขมิ้น อบเชย แสมสาร แสมทะเล สารส้ม) มาผ่านกระบวนการบดให้ละเอียดก่อนนำมาผสมกัน จากนั้นนำไปผสมกับตัวประสานซึ่งเป็นตัวช่วยให้วัตถุดิบเกาะตัวกันเป็นแท่งในกระบวนการอัดแท่ง ขั้นตอนจากนี้คือการนำถ่านอัดแท่งไปอบเพื่อลดความชื้น ถ่านอัดแท่งที่ได้จะสามารถนำไปใช้งานและทดสอบคุณสมบัติต่อไป

3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทดลอง

จากข้อมูลและปัญหาของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ อ้างอิงจากงานวิจัยของ นายจิรานุวัฒน์ เม่นเกิด, นายปรากรณ์ ประกอบกสิกรณ์และนายปิยะวัต คำบุญ หัวข้องานวิจัยเรื่อง การผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ (Fuel Briquette Produced From Brick Manufactory Waste) [6] พบว่ามีเศษถ่านจำนวนมากที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่สมบรูณ์ในปริมาณมาก และเศษถ่านเหล่านั้นจะถูกรวบรวมและนำไปกำจัดโดยเปล่าประโยชน์ เพื่อให้ได้คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งที่ดีที่วัสดุ จึงใช้เศษถ่านที่เหลือมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งในรูปแบบและอัตราส่วนผสมที่แตกต่างจากเดิม และใช้เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองการผลิตถ่านอัดแท่งและทดสอบคุณสมบัติ

3.1.1 วัสดุ

3.1.1.1 เศษถ่านจากโรงงานอุตสาหกรรมเตาเผา

ถ่าน คือ วัตถุดิบหลักของการผลิตถ่านอัดแท่ง โดยการนำถ่านที่ผ่านกระบวนการบดให้เป็นผงละเอียด [6] ก่อนผสมกับวัตถุดิบอื่น ขั้นตอนต่อไปคือการนำไปอัดขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่ง ซึ่งถ่านอัดแท่งที่ได้มาจะสามารถนำไปใช้ในกระบวนการแพทย์แผนไทยเพราะวัตถุดิบส่วนหนึ่งคือสมุนไพร และสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการประกอบอาหารในชีวิตประจำวัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 เศษถ่านจากโรงงานอุตสาหกรรมเตาเผา

3.1.1.2 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลัง น้ำหนัก 500 กรัม ตราแมวแดงดาวเทียมลูกโลก บริษัท เกรียงไกร (เกียงไต๋) ค้าแป้ง จำกัด ทำมาจากหัวมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงสีขาว ผิวสัมผัสเนียนลื่นมือ เมื่อผสมน้ำจะมีสีขาว หากให้ความร้อนกับน้ำที่ผสมกับแป้งมันสำปะหลังจะมีความหนืดขึ้น ด้วยลักษณะของนำแป้งเปียกจึงนำมาเป็นตัวประสานระหว่างวัตถุดิบที่ใช้การทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 แป้งมันสำปะหลัง

3.1.1.3 น้ำสะอาด

ใช้ในการผสมวัตถุดิบที่ใช้ทดลอง เพื่อให้วัตถุดิบผสมเป็นเนื้อเดียวกันและอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ดียิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 น้ำสะอาด

3.1.1.4 สมุนไพร

- ขมิ้น

สรรพคุณ : ช่วยเสริมสร้างภูมิต้านทานให้กับร่างกาย ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกายได้ และรวมถึงสามารถรักษาระบบทางเดินหายใจที่ผิดปกติ น้ำมันหอมระเหยในขมิ้นช่วยบรรเทาอาการปวดท้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ผงขมิ้น

- เทียนดำ

การแพทย์สมัยก่อนนั้นจะใช้เมล็ดเทียนดำเป็นส่วนประกอบในการบำบัดรักษาโรคทุกชนิด เมล็ดมีสรรพคุณบำรุงโลหิต ช่วยรักษาโรคหอบหืด โดยใช้น้ำมันเทียนดำนำมาสูดดมพร้อมกับทาบริเวณหน้าอกก่อนนอนทุกวัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 เทียนดำ

- แสมสาร

สรรพคุณ : แก่นเป็นยาระบาย ละลายเสมหะ ทำให้เส้นหย่อน ขับโลหิตสตรี โดยส่วนมากจะใช้คู่กับแสมทะเล ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 แสมสาร

- แสมทะเล

สรรพคุณ : แก่นแสมทะเล โดยส่วนมากแล้วจะมีรสเค็มและเฝื่อน แก้ลมในกระดูกและขับโลหิต ทั่วไปนิยมนำไปใช้คู่กันกับแก่นแสมสาร ดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 แสมทะเล

- สารส้ม

สรรพคุณ : มีรสฝาดเปรี้ยว สมานทั้งภายนอกและภายใน, แก้ระดูขาว, แก้หนองในหนองเรื้อรัง, ขับปัสสาวะ, ขับนิ่วและแก้ปอดอักเสบ ดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 สารส้ม

ที่มา : https://sites.google.com/site/sellsansomm/

- อบเชย

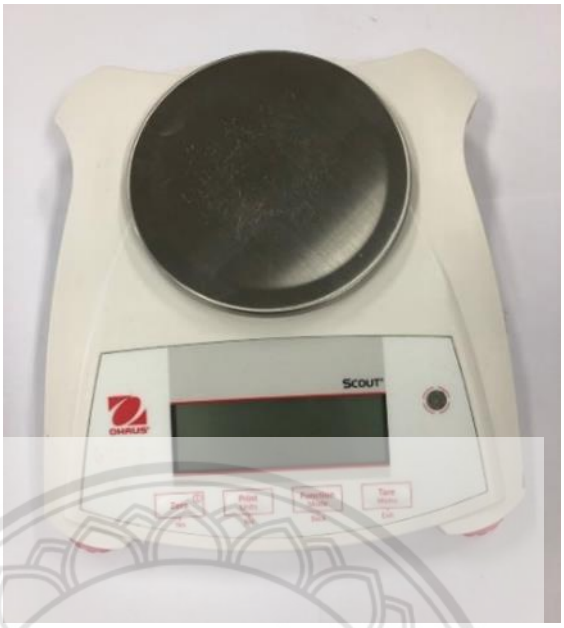
เปลือกใช้ปรุงผสมเป็นยาหอมและยานัตถุ์ ทำให้สดชื่น แก้**ปวดศีรษะ แก้อาการอ่อน**เพลีย ยานัตถุ์รับประทานแก้เบื่ออาหาร ถ้านำมาต้มกับน้ำดื่มเป็น**ยาบำรุงธาตุ และช่วยทำให้**เจริญอาหาร ดังแสดงในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 อบเชย

3.1.2 อุปกรณ์ในการทดลองที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งประกอบด้วย

3.1.2.1 อุปกรณ์ชั่งตวงวัด

ก. เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ OHAUS รุ่น SPX622 พิกัดกำลัง 620 กรัม ความละเอียด 10 มิลลิกรัม (0.01 กรัม) สำหรับชั่งน้ำหนักของสมุนไพร ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ OHAUS

ข. เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ TSCALE รุ่น T29-15 พิกัดกำลัง 15 กิโลกรัม ความละเอียด 1,000 มิลลิกรัม (1 กรัม) สำหรับชั่งน้ำหนักผงถ่าน ดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ TSCALE

ค. ชุดถ้วยตวงสำหรับใส่ชั่งน้ำหนักของน้ำและสมุนไพร ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 ชุดถ้วยตวง

3.1.2.2 เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer Mill)

เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง ยี่ห้อ WACO (Thailand) รุ่น BLENDER23 บดละเอียด 1 มิลลิเมตร ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ยี่ห้อ Mitsabishi ขนาด 2 แรงม้า ชนิดคอนเดนเซอร์สตาร์ติง ไฟฟ้า 220 โวลต์ 4 โพล แบบขาตั้ง ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ทำหน้าที่เป็นเครื่องบดที่ใช้ลดขนาด (Size Reduction) โดยอาศัยหลักการแบบค้อนเหวี่ยง เครื่องแฮมเมอร์มิลล์ มีลักษณะหัวบดเป็นค้อน (Hammer) หรือก้านที่ติดอยู่บนเพลาอาศัยกลไกเหวี่ยงกระแทกเพื่อลดขนาดของวัสดุ โดยวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 1 มิลลิเมตร จะผ่านตะแกรงและตกมาทางช่องด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.13

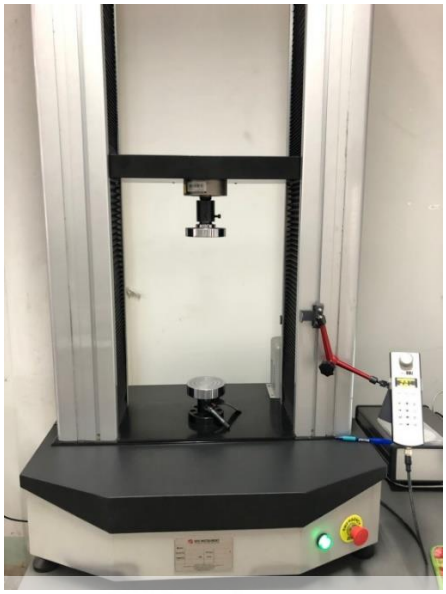
รูปที่ 3.13 เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง ยี่ห้อ WACO (Thailand) รุ่น BLENDER23

3.1.2.3 เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine, UTM)

เครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด ยี่ห้อ BPS INSTRUMENT รุ่น BA-25 สามารถสร้างแรงกดได้สูงสุด 25,000 นิวตัน เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาคุณสมบัติแรงดึง แรงกด ในที่นี้จะใช้คุณสมบัติด้านการทดสอบแรงกดเป็นหลักในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.14, 3.15 และรูปที่ 3.16 สเปคของเครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด ยี่ห้อ BPS INSTRUMENT รุ่น BA-25 ดังแสดงในตารางที่ 3.1

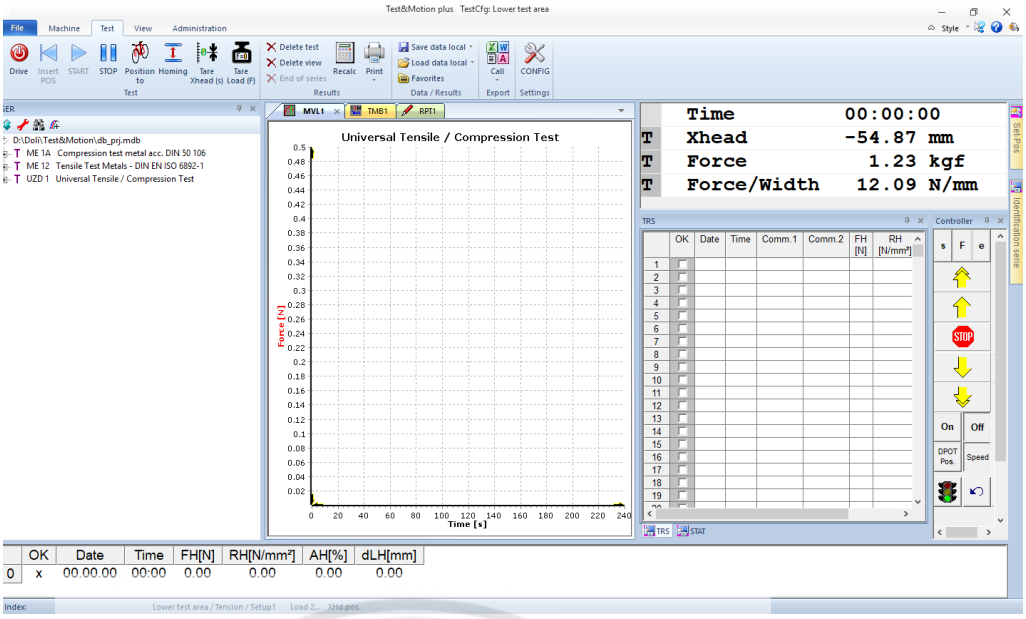
ตารางที่ 3.1 สเปคของเครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด ยี่ห้อ BPS INSTRUMENT รุ่น BA-25

Maximum Testing Force (kN)	25
Maximum Testing Force (kN)	450
Speed Range (mm/min)	0.001 - 1000
Machine Configuration	Table or cabinet
Compression Plate (mm)	100
Load Cell (N)	25000 Pancake type
Tensile Grip	Wedge Grip (With system for support pneumatic grip)
Jaws (mm)	Round specimen 3-5, 5-10, - 8-15 Flat specimen 0-15
Bending Flexure Distance (mm)	35 ~ 300
Test Space (mm)	1000
Displacement Resolution (mm)	0.001
Load range	1%-100%FS (0.4%-100%FS optional)
Operating conditions	Ambient Temperature -40℃, Humidity 20%-80%
Clamping Type	Wedge grip Ø8-15 mm.
Load Accuracy	±0.2%
Power	220 ±10V, 50Hz, 1 Phase
Compression Plate (mm)	Φ100



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine, UTM)

รูปที่ 3.15 ชุดหัวกดของเครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine, UTM)

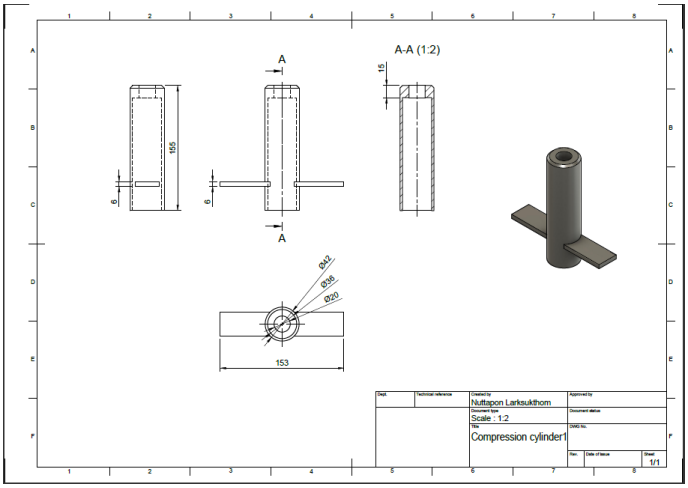


รูปที่ 3.16 โปรแกรม DOLI Test & Motion เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine, UTM)

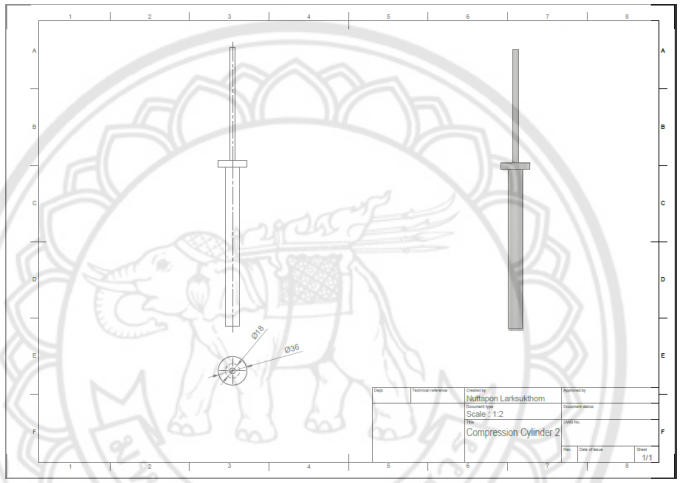
3.1.2.4 กระบอกที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปของถ่านอัดแท่ง

กระบอกอัดถ่านอัดแท่ง เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นชุดทดลองการผลิตถ่านอัดแท่ง จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ กระบอกสูบ, ลูกสูบพร้อมแกนและฐานรอง ดังแสดงในรูปที่ 3.17 แบบกระบอกอัดถ่าน ดังแสดงในรูปที่ 3.18, 19 และรูปที่ 20

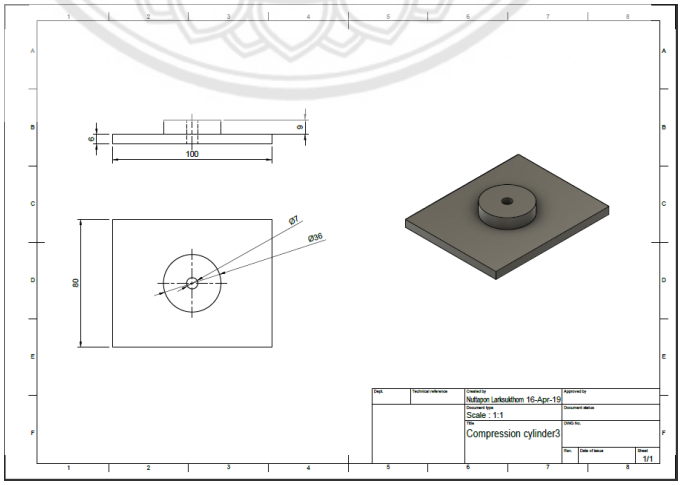
รูปที่ 3.17 กระบอกที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปของถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 3.18 กระบอกสูบ



รูปที่ 3.19 ลูกสูบ



รูปที่ 3.20 ฐานรอง

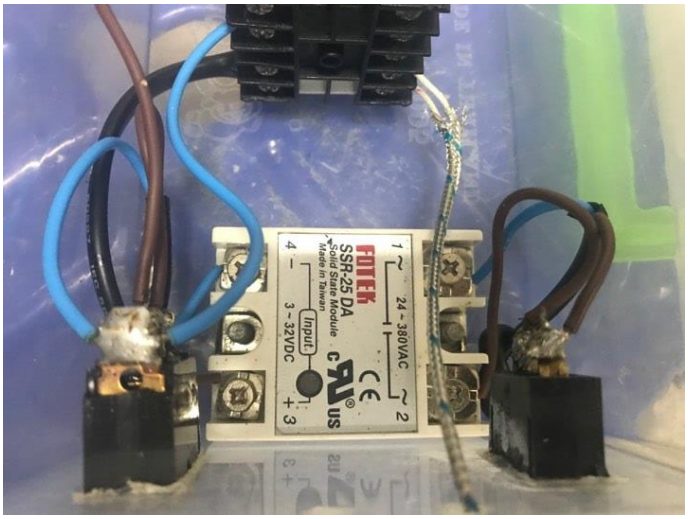
3.1.2.5 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Controller)

เครื่องควบคุมอุณหภูมิระบบ PID รุ่น REX-C100 ใช้วัดค่าอุณหภูมิ แล้วสั่งเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าในการทดลองใช้กับฮีตเตอร์ ให้ได้ค่าอุณหภูมิที่เรากำหนด ในช่วงอุณหภูมิ 90 ถึง 100 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัววัด Thermocouple ซึ่งเครื่องควบคุมอุณหภูมินี้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ AC (ไฟบ้าน) ใช้ Relay ในการเปิดปิดระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 250 โวลต์/3 แอมป์แปร (AC) หรือใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง 30 โวลต์/3 แอมป์แปร (DC) เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการจำลองอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเครื่องอัดแบบสกรู ซึ่งจะมีความร้อนเกิดขึ้นเมื่อสกรูเกิดการหมุน ดังนั้นเพื่อให้คุณภาพของถ่านอัดแท่งที่ทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง UTM ไม่ต่างไปจากการอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดแบบสกรู จึงต้องทำการจำลองอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.21

รูปที่ 3.21 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Controller)

3.1.2.6 โซลิดสเตตรีเลย์

ใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมอุณหภูมิระบบ PID ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์เปิดและปิดวงจรการทำงานของฮีตเตอร์ที่ต่อเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ [11] ดังแสดงในรูปที่ 3.22 สเปคแสดงดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.22 โซลิดสเตตรีเลย์

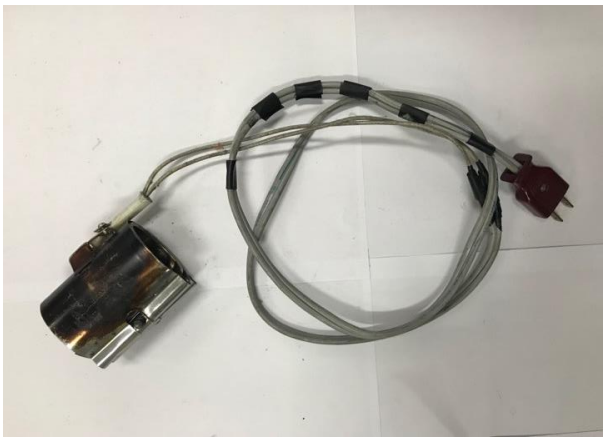
ตารางที่ 3.2 สเปคของโซลิดสเตตรีเลย์ 25A SSR-25 DA

สเปคของโซลิดสเตตรีเลย์ 25A SSR-25 DA	
Type	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ AC
Rated current (Output current,)	25 A
Input voltage	3-32 VDC
Load voltage (Output voltage)	24-380 VAC
Response time (ms)	≤10
Leakage current (mA)	≤2
โซลิดสเตตรีเลย์ขนาด (mm)	62.0 x 45.0 x 22.5

ที่มา : http://www.mltelectronic.com/โซลิดสเตตรีเลย์-25A-Solid-State-Relay-SSR-25-DA

3.1.2.7 ฮีตเตอร์ (Heater)

ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนโดยผ่านการควบคุมอุณหภูมิจากชุดควบคุม เพื่อจำลองอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในเครื่องอัดแบบสกรู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42 มิลลิเมตร ความยาว 70 มิลลิเมตร ขนาด 220 โวลต์ กำลังไฟของฮีตเตอร์ 450 วัตต์ โดยทำงานร่วมกับเครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Controller) ดังแสดงในรูปที่ 3.23

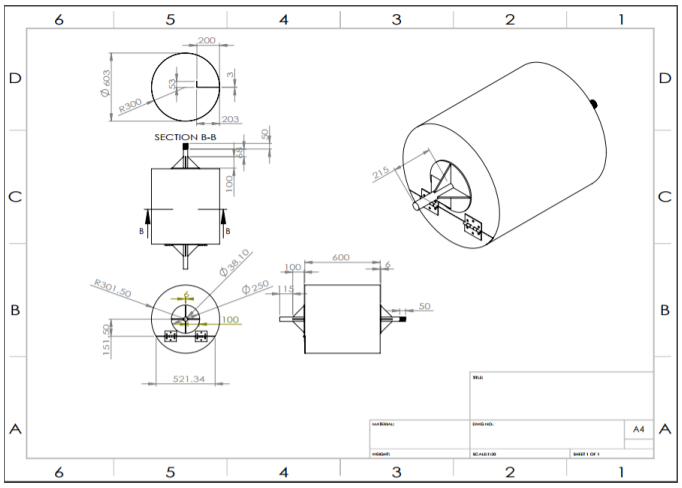


รูปที่ 3.23 ฮีตเตอร์ (Heater)

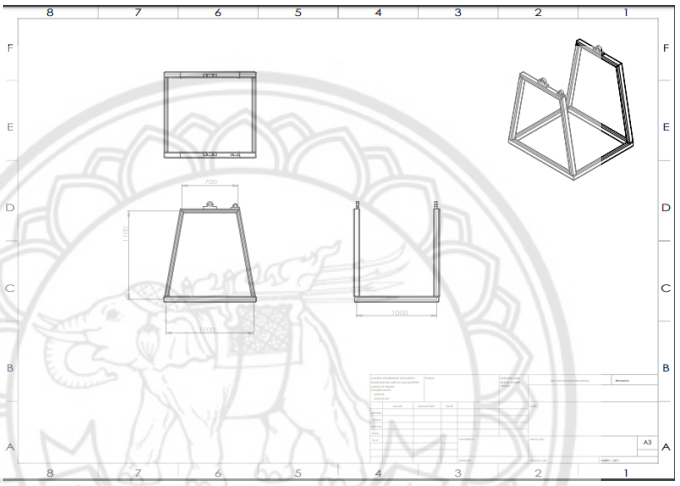
3.1.2.8 เครื่องทดสอบความทนทาน (Briquettes DU Test)

เครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแท่ง ตามมาตรฐาน ASAE S 269.4 วัสดุทำจากแผ่นสแตนเลส 304 เครื่องมีลักษณะทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.24, 3.25 และรูปที่ 3.26 ถ่านที่ได้จากทดสอบความทนทาน ดังแสดงในรูปที่ 3.27

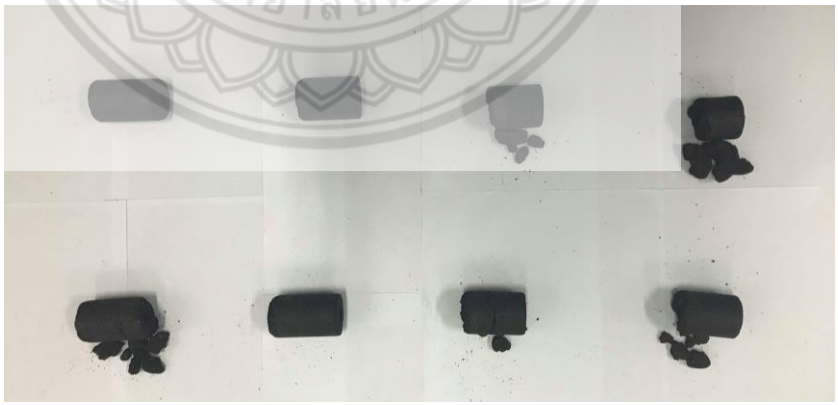
รูปที่ 3.24 เครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแท่ง มาตรฐาน ASAE S 269.4



รูปที่ 3.25 แบบเครื่องความทนทานของถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 3.26 แบบฐานของเครื่องความทนทานของถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 3.27 ตัวอย่างถ่านที่ได้จากทดสอบความทนทานจากเครื่องทดสอบความทนทาน (Briquettes DU Test)

3.1.2.9 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)

ตู้อบลมร้อน รุ่น UN30 ยี่ห้อ Memmert ทำหน้าที่ลดความชื้นของถ่านอัดแท่งหลังจากการอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.28 สเปคแสดงดังตารางที่ 3.3

รูปที่ 3.28 ตู้อบลมร้อน รุ่น UN30 ยี่ห้อ Memmert

ที่มา : https://www.pentacal.com/product-hot-air -oven-ยี่ห้อ-memmert

ตารางที่ 3.3 สเปคของเครื่องตู้อบลมร้อน

ความจุ (ลิตร)	32
อุณหภูมิสูงสุด องศาเซลเซียส	300
ทำอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 5 องศาเซลเซียสเหนืออุณหภูมิห้อง ถึง 300 องศาเซลเซียส	
หน้าจอ	แสดงค่าอุณหภูมิเป็นแบบ TFT สี เรืองแสง (TFT Colour Display) ควบคุมคำสั่งการทำงานด้วยระบบสัมผัส (Touchscreen)
หน่วยอุณหภูมิ	องศาเซลเซียส (°C) และ องศาฟาเรนไฮต์ (°F)
มีขนาดภายในตู้ กว้าง x สูง x ลึก (มิลลิเมตร)	400 x 320 x 250
มีขนาดภายนอกตู้ กว้าง x สูง x ลึก (มิลลิเมตร)	585 x 704 x 434
ภายใน และ ภายนอกตู้	ทำจากสแตนเลส

ที่มา : http://www.pnpscale.com/ตู้อบลมร้อน แบบไม่มีพัดลม-รุ่น UN30-ยี่ห้อ MEMMERT

3.1.2.9 ตะแกรงร่อน

ตะแกรงร่อน ขนาดรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ISO 3310-1 ทำหน้าที่ร่อนถ่านอัดแท่งที่การทดสอบความทนทานกับเครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแท่ง โดยนำถ่านที่เหลือบนตะแกรงร่อนและเศษถ่านที่ผ่านตะแกรงมาชั่งน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 3.29

รูปที่ 3.29 ตะแกรงร่อน ขนาดรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ISO 3310-1

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

รูปที่ 3.30 แผนการดำเนินงาน

3.2.1 ขั้นตอนการผลิต

3.2.1.1 บดถ่านให้เป็นผงละเอียด

นำเศษถ่านจากโรงงานอุตสาหกรรมมาบดให้เป็นผงละเอียดเพื่อเตรียมการผสมโดยใช้เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer Mill) พร้อมตะแกรงร่อนความละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร [10]

3.2.1.2 บดสมุนไพรให้เป็นผงละเอียด

นำเศษถ่านจากโรงงานอุตสาหกรรมมาบดให้เป็นผงละเอียดเพื่อเตรียมการผสมโดยใช้เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer Mill) พร้อมตะแกรงร่อนความละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.31

รูปที่ 3.31 บดสมุนไพรให้เป็นผงละเอียด

3.2.1.3 ผสมส่วนผสมทั้งหมด

นำผงถ่านมาผสมกับสมุนไพร จากนั้นนำมาผสมกับแป้งเปียก (น้ำผสมกับแป้งมันสำปะหลัง) โดยแป้งเปียกทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้ผงถ่านกับสมุนไพรสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่ง ตามอัตราส่วนที่กำหนดดังตาราง 3.4

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง

ลำดับที่	อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง*	ครั้งที่								
แรงอัด 10 kN		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	32 : 4 : 4									
2	28 : 4 : 8									
3	24 : 12 : 4									
4	20 : 12 : 8									
แรงอัด 20 kN		1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	32 : 4 : 4									
6	28 : 4 : 8									
7	24 : 12 : 4									
8	20 : 12 : 8									

*ใช้น้ำเท่ากันทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม

ก.เตรียมอัตราส่วนวัตถุดิบตามอัตราส่วนดังตาราง 3.4 ดังแสดงในรูปที่ 3.32

รูปที่ 3.32 เตรียมอัตราส่วนวัตถุดิบ

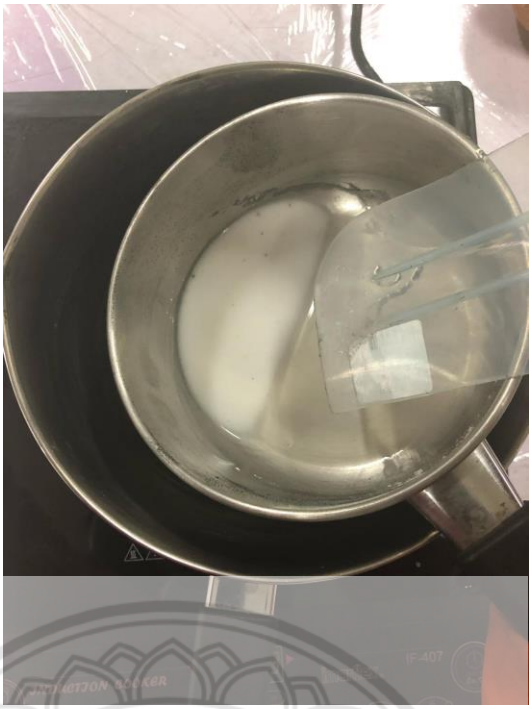
ข.นำผงถ่านผสมกับสมุนไพรในอัตราส่วนดังตาราง 3.4 ผสมให้เข้ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.33

รูปที่ 3.33 ผงถ่านผสมกับสมุนไพร

ค. เริ่มจากนำแป้งมันผสมกับน้ำเปล่าอุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.34

รูปที่ 3.34 ผสมแป้งกับน้ำเปล่าอุณหภูมิห้อง

ง. จากนั้นนำหม้อไปวางบนน้ำอุ่นเพื่อให้น้ำที่ผสมกับแป้งมันสำปะหลังมีความหนืดขึ้น เพื่อให้น้ำกับแป้งมันทำหน้าที่เป็นตัวประสานที่ดีขึ้น โดยตัวประสานจะทำหน้าที่ทำให้ผงถ่านกับสมุนไพรสามารถอัดขึ้นรูปและเป็นแท่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 นำน้ำกับแป้งมันสำปะหลังไปเพิ่มอุณหภูมิ

จ. นำผงถ่านที่ผสมกับสมุนไพรมาผสมกับแป้งเปียก จากนั้นใช้มือผสมให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.36

รูปที่ 3.36 ผสมตัวประสานกับผงถ่านและผงสมุนไพรที่ผสมไว้แล้ว

ฉ. กรอกส่วนผสมใส่ในกระบอกอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.37

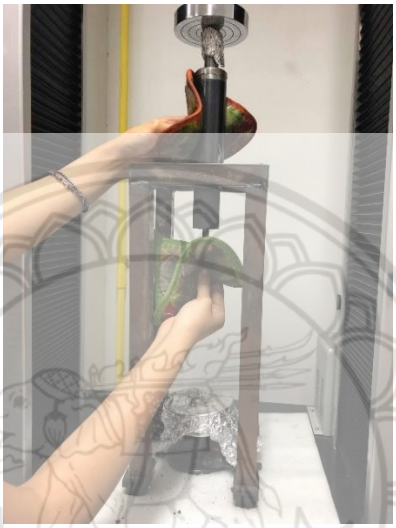
รูปที่ 3.37 กรอกส่วนผสมใส่ในกระบอกอัด

ช. จากนั้นอัดที่ 10 กิโลนิวตันและ 20 กิโลนิวตัน [3] ในอัตราส่วนตามตารางที่ 3.4 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด (Universal Testing Machine, UTM) ดังแสดงในรูปที่ 3.38 โดยการใช้เครื่อง UTM จะต้องป้อนค่าแรงอัด

รูปที่ 3.38 อัดที่แรง 10 กิโลนิวตัน และ 20 กิโลนิวตัน

ส่วนอุณหภูมิที่จะทำการจำลอง อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะทำการอัดจะอยู่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 10 นาที อ้างอิงจากงานวิจัยของจาก นายทองทิพย์ พูลเกษม. (2542), มหาวิทยาลัยมหิดล หัวข้องานวิจัยเรื่อง การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน (A Study Of Fuel Briquette From Durian Peel Substitute For Firewood And Charcoal in Household Uses) [7] มาประยุกต์ใช้กับการทดลองผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านจากอุตสาหกรรมเตาเผา

ซ. จากนั้นอัดถ่านออกจากกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 อัดถ่านออกจากกระบอก

ฌ. ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศา เป็นเวลา 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.40

รูปที่ 3.40 อบถ่านอัดแท่งในเตาอบ

3.2.2 การพิจารณาลักษณะของถ่านอัดแท่ง

หลักการในการพิจารณาลักษณะของถ่านอัดแท่งที่สมบรูณ์ที่สุดคือ จะพิจารณาจากถ่านก้อนที่สามารถยึดเกาะกันได้ดีที่สุด มีรอยร้าวบริเวณรอบก้อนถ่านน้อยที่สุด มีรูปทรงที่สมบูรณ์สวยงามครบถ้วนไม่แตกหักขณะนำออกจากกระบอก และเมื่อนำไปอบให้แห้งจะต้องไม่เกิดการร้าวหรือแตกหักจนไม่สามารถใช้งานได้

3.2.3 ขั้นตอนการหาคุณสมบัติ

3.2.3.1 การหาค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนสามารถหาได้โดยใช้เครื่อง BOMB CALORIMETER 6200 รุ่น A1290DDEE ดังแสดงในรูปที่ 3.41 สเปคของเครื่อง BOMB CALORIMETER 6200 รุ่น A1290DDEE ดังแสดงในตาราง 3.4 ดังต่อไปนี้ ทำการชั่งผงถ่านที่ได้จากการบดละเอียดปริมาณ 0.5 กรัม ลงไปในถ้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.42 นำตัวอย่างผงถ่านที่จะบรรจุในลูกบอมบ์มาวางในที่วางของ Bomb Head นำด้ายยาวประมาณ 10 เซนติเมตร นำไปสอดใน Eyelet จัดด้ายให้สัมผัสกับตัวอย่างผงถ่านโดยใช้แท่งแก้วขนาดเล็กเขี่ยผงถ่านมากลบด้ายเพื่อให้ด้ายกับผงถ่านสัมผัสกันมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.43 ในขั้นตอนนี้ต้องให้ด้ายแตะบนตัวอย่าง ประกอบ Bomb Head เข้ากับลูกบอมบ์ปิดให้สนิท ดังแสดงในรูปที่ 3.44 นำไปอัดออกซิเจนตั้ง Pressure gauge ไว้ที่ 450 psi ด้วยหัวอัดออกซิเจนทองเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 3.45 ที่เครื่อง BOMB CALORIMETER 6200 เป็นเวลา 1 นาที นำไปวางในถังบรรจุบอมบ์ (Bucket) ใส่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณ 2 ลิตรลงในถัง (Bucker) หรือปริมาณน้ำท่วมลูกบอมบ์ สังเกตว่ามีฟองอากาศรั่วหรือไม่ ถ้ามีให้ทำการซ่อมแซมให้เรียบร้อย ก่อนทำการทดลองเสียบสายไฟที่ใช้ในการจุดระเบิด 2 เส้นเข้ากับ Bomb Head ดังแสดงในรูปที่ 3.46 แล้วปิดฝาเครื่อง เลือก OPERATION MODE โดยที่ Standardization เพื่อทำการหาค่า EE ของ Bomb และใช้ Determination จะใช้กับตัวอย่างที่จะนำมาหาค่าความร้อน เมื่อเลือก OPERATION MODE เสร็จแล้วกดปุ่ม START แล้วกรอกข้อมูล Sample ID, Bomb ID และน้ำหนักตัวอย่าง โดยต้องป้อนข้อมูลให้ครบถ้วน เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จเครื่องจะเริ่มทำการหาค่าความร้อน โดยแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกคือ PREPERIOD จะเป็นช่วงที่เครื่องทำการปรับอุณหภูมิ ของน้ำให้คงที่ ขั้นตอนที่ต่อไปคือ FIRE เมื่อปรับอุณหภูมิที่คงที่ เครื่องจะทำการจุดไฟ โดยจะมีเสียงสัญญาณดังขึ้นเมื่อถึงขั้นตอนนี้ ขั้นตอนที่สุดท้ายคือ POSTPERIOD หลังจากจุดไฟแล้วเครื่องจะเข้าสู่ขั้นตอนวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเพื่อหาค่าความร้อน จากนั้นนำ Bomb และ Bucket ออกจากตัวเครื่อง จากนั้นปล่อยความดันของลูกบอมบ์ที่วาล์วบนหัว โดยค่อย ๆ ปล่อยออกอย่างช้า ๆ ทำความสะอาด Bomb Head, ลูกบอมบ์และถ้วยที่บรรจุถ่าน จากนั้นปริ้นค่าความร้อนจากเครื่อง BOMB CALORIMETER 6200 ดังแสดงในรูปที่ 3.47

ตารางที่ 3.5 สเปคของเครื่อง BOMB CALORIMETER 6200 รุ่น A1290DDEE

Removable 1108P Oxygen Vessel and Bucket	
Volts	240
Hz	50/60
Amps	3.0
precision class instrument	0.05 – 0.1%
Temperature Resolution	0.0001 °C
Linearity across operating range	0.05%
memory	SD
network communications	TCP/IP
printer connections	USB Port
Updates via	Internet
Dimensions (in) w * d * h	23 x 16 x 17
Dimensions (cm) w * d * h	57 x 40 x 43

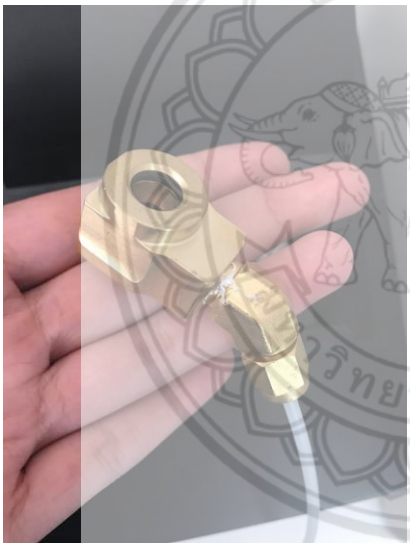
ที่มา : https://www.parrinst.com/products/oxygen-bomb-calorimeters/6200-isoperibol-calorimeter/specifications

รูปที่ 3.41 เครื่อง BOMB CALORIMETER 6200 รุ่น A1290DDEE

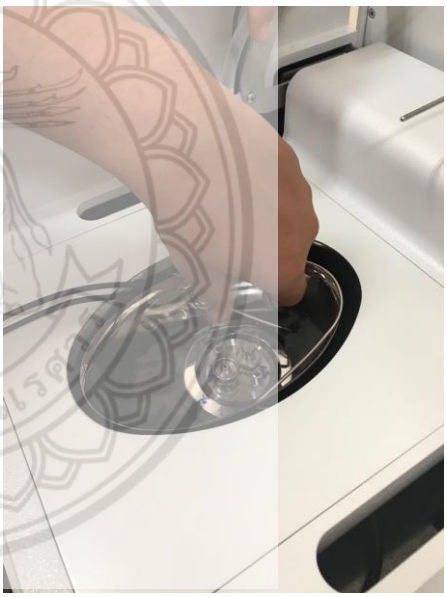
รูปที่ 3.42 ชั่งถ่านด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA413 พิกัดน้ำหนัก 420 กรัม

รูปที่ 3.43 จัดด้ายให้ผงถ่านสัมผัสมากที่สุด

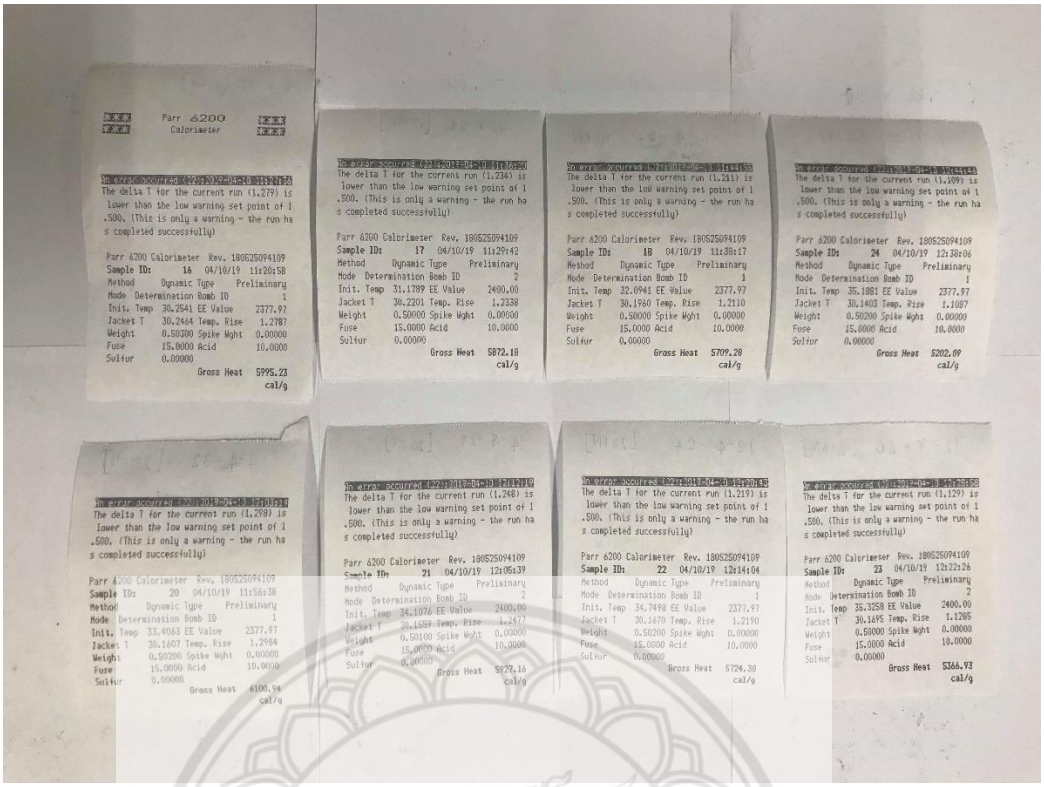
รูปที่ 3.44 ประกอบ Bomb Head เข้ากับลูกบอมบ์



รูปที่ 3.45 หัวอัดออกซิเจนทองเหลือง



รูปที่ 3.46 นำลูกบอมบ์ใส่ใน Bucket และเสียบสายไฟที่ใช้ในการจุดระเบิด 2 เส้นเข้ากับ Bomb Head



รูปที่ 3.47 ปริ้นค่าความร้อนจากเครื่อง BOMB CALORIMETER 6200

3.2.4 การทดสอบผลิตภัณฑ์

3.2.4.1 ศึกษาการต้มน้ำ

นำถ่านอัดแท่งทั้ง 8 อัตราส่วนคืออัตราส่วนของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง 32 : 4 : 4, 28 : 4 : 4, 24 : 4 : 4, 20 : 4 : 4 และ 20 : 4 : 4 ใช้น้ำเท่ากันทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม มีขั้นตอนการทดสอบคือใช้ถ่าน 1 ก้อนในการต้มน้ำน้ำหนัก 60 กรัม โดยการนำถ่านไปเผาไฟก่อนจนกว่าจะติด ดังแสดงในรูปที่ 3.48 ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องไม่มีลมพัด เมื่อถ่านติดไฟนำถ่านมาใส่อุปกรณ์ที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 3.49 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.50 และ 3.51 ชื่ออุปกรณ์ ดังแสดงในตารางที่ 3.6 วัดอุณหภูมิของน้ำ, พัดนาน 1 นาทีและน้ำหนักของถ่าน บันทึกค่าทุก 5 นาทีจนถ่านมอด การคำนวณค่า Specific fuel consumption (C_s) ดังสมการที่ 3.1 และการคำนวณค่า Thermal Efficiency ดังสมการที่ 3.2

การคำนวณค่า Specific fuel consumption (Cs)

$$Cs = \frac{[(M_{ci} - M_{cf}) \times (1 - \%H_2O)]}{(M_{mei} - M_m)} \quad (3.1)$$

เมื่อ

M_{ci} คือ มวลของถ่านอัดแท่งเริ่มต้น

M_{cf} คือ มวลของถ่านอัดแท่งสุดท้าย

% H_2O คือ % ความชื้นฐานเปียก

M_{mei} คือ มวลของหม้อต้มและน้ำที่เวลาเริ่มต้น

M_m คือ มวลของหม้อต้ม

การคำนวณหา Thermal Efficiency

$$\eta = \frac{m_e \times C_e (T_f - T_i) + m_{ev} \times L_v}{m_b \times LCV} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ

m_e คือ ปริมาณน้ำ

c_e คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ

m_{ev} คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยไป

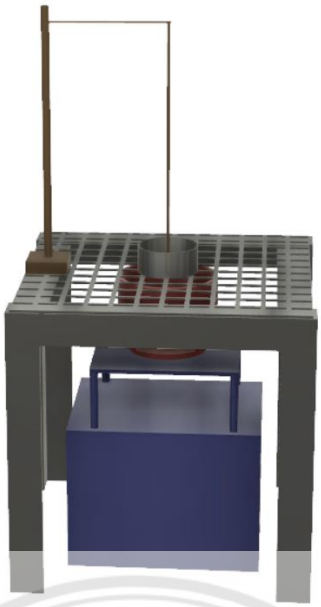
T_f คือ อุณหภูมิของน้ำสุดท้าย

T_i คือ อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น

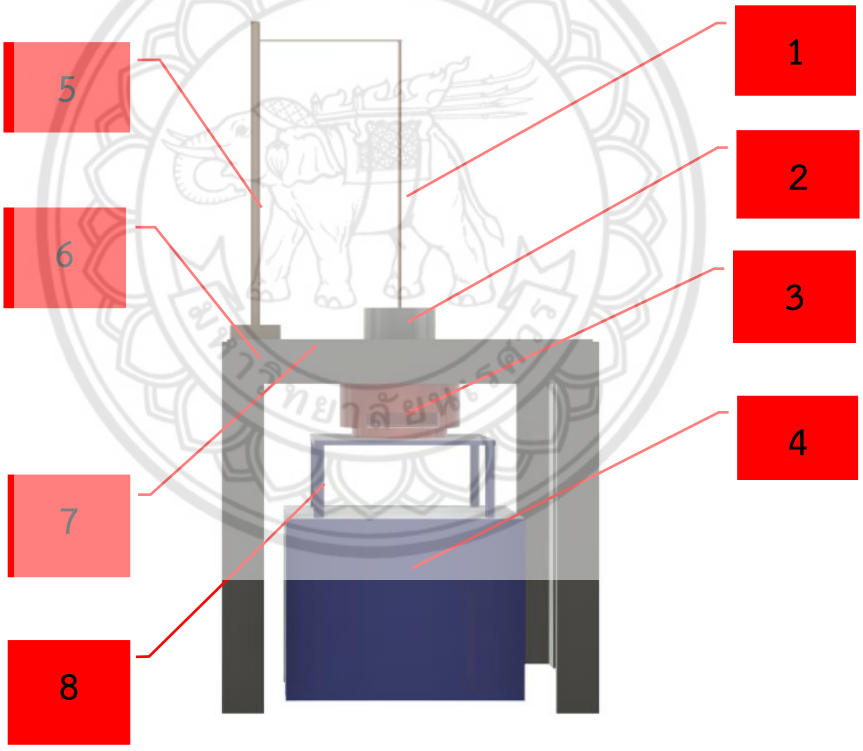
L_v คือ ค่าความร้อนแฝงที่ 1 atm

รูปที่ 3.48 เผาจนก้อนถ่านติดไฟ

รูปที่ 3.49 นำถ่านมาใส่อุปกรณ์ที่เตรียมไว้



รูปที่ 3.50 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์



รูปที่ 3.51 ชื่ออุปกรณ์

ตารางที่ 3.6 อุปกรณ์

หมายเลข	ชื่ออุปกรณ์
1	เทอร์โมมิเตอร์
2	ถ้วยตวงสแตนเลสขนาด 80 มิลลิลิตร
3	เตาเล็กอลูมิเนียม ยี่ห้อ Super Aluminum
4	เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ TSCALE รุ่น T29-15 ดังแสดงในรูปที่ 3.11
5	ชุดขาจับเทอร์โมมิเตอร์
7	ตะแกรง
8	ขาตั้งรองกันความร้อน

อ้างอิงจากงานวิจัยของสังเวย เสวกวิหาร. (2555), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร หัวข้อวิจัยเรื่องศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด (Potential Energy of The Fuel Briquettes From Mangosteen Shell) เรื่องศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด [14].

3.2.4.2 การหาคุณสมบัติเชิงกล

ก. การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

หาได้จากสมการที่ (3.4)

$$\rho \qquad \frac{m}{v} \qquad (3.4)$$

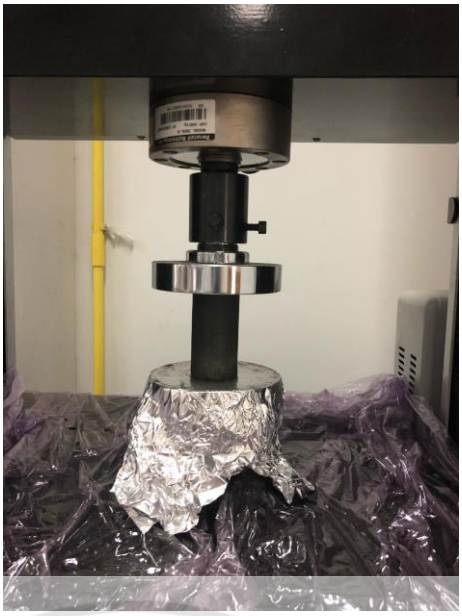
ρ คือ ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m คือ มวลของถ่านอัดแท่ง (กรัม)

v คือ ปริมาตรของถ่านอัดแท่ง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

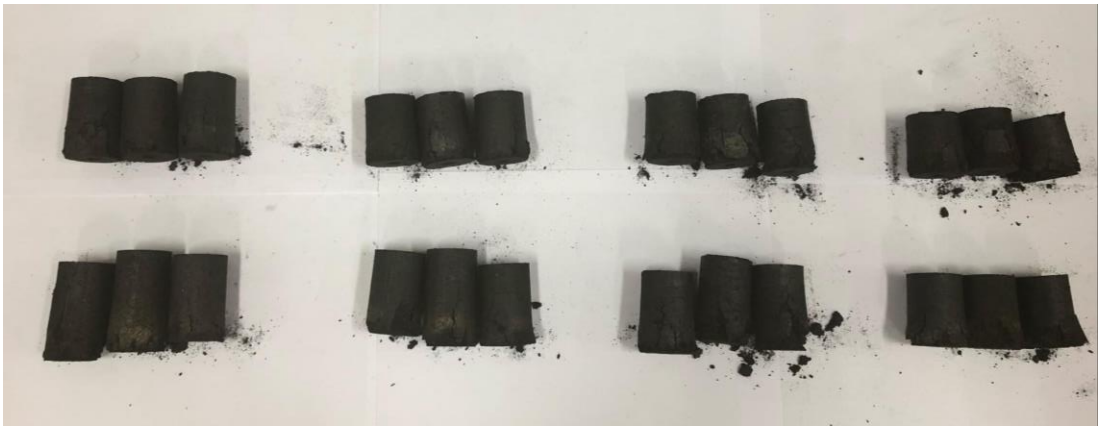
ข. ทดสอบค่าความแข็งแรง

นำถ่านอัดแท่งทั้ง 8 อัตราส่วนคืออัตราส่วนของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง 32 : 4 : 4, 28 : 4 : 4, 24 : 4 : 4, 20 : 4 : 4 และ 20 : 4 : 4 อัตราส่วนละ 3 แท่ง มาวางบนแท่นวางของเครื่อง UTM ครั้งละ 1 แท่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.52 โดยกำหนดความเร็วในการอัดเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการทดสอบโดยการใช้แรงอัด (Compression Test) ในแนวแกนจนกว่าแท่งของถ่านจะแตกออกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.53 และ 3.54 แล้วบันทึกค่าแรงอัดสูงสุดจากทั้ง 3 ก้อน และกราฟแสดงผลระหว่างความเค้น (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) กับเวลา (วินาที)



รูปที่ 3.52 ทดสอบความแข็งแรงของถ่านอัดแท่ง โดยการวางถ่านบนฐานของเครื่อง UTM

รูปที่ 3.53 ถ่านที่แตกจากแรงอัด



รูปที่ 3.54 ถ่านทั้ง 8 อัตราส่วนหลังจากการอัด

ค. การทดสอบค่าความทนทาน

นำถ่านอัดแท่งทั้ง 8 อัตราส่วนคืออัตราส่วนของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง 32 : 4 : 4, 28 : 4 : 4, 24 : 4 : 4, 20 : 4 : 4 และ 20 : 4 : 4 อัตราส่วนละ 3 แท่ง มาใส่ในเครื่องทดสอบความทนทาน (Briquettes DU Test) ครั้งละ 1 แท่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.55 จากนั้นหมุนจำนวน 20 รอบ จากนั้นนำถ่านออกมาทำการร่อนในตะแกรงที่มีขนาดรู 7 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ISO 3310-1 เป็นเวลา 30 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.56 ขั้นตอนต่อไปคือนำถ่านที่เหลืออยู่บนตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 3.57 นำถ่านก้อนเดิมมาทดสอบซ้ำโดยหมุนที่จำนวน 40, 60, 80 และ 100 รอบ ตามลำดับ ตัวอย่างของถ่านอัดแท่งและเศษถ่านที่ผ่านตะแกรงจากทดสอบความทนทานจากเครื่องทดสอบความทนทาน (Briquettes DU Test) ดังแสดงในรูปที่ 3.58 และรูปที่ 3.59

รูปที่ 3.55 นำใส่ในเครื่องทดสอบความทนทาน

รูปที่ 3.56 ร่อนตะแกรงที่มีขนาดรู 7 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.57 ถ่านที่เหลืออยู่บนตะแกรง

รูปที่ 3.58 ตัวอย่างของถ่านอัดแท่งที่เหลือบนตะแกรง

รูปที่ 3.59 ตัวอย่างของเศษของถ่านอัดแท่งที่ผ่านตะแกรง

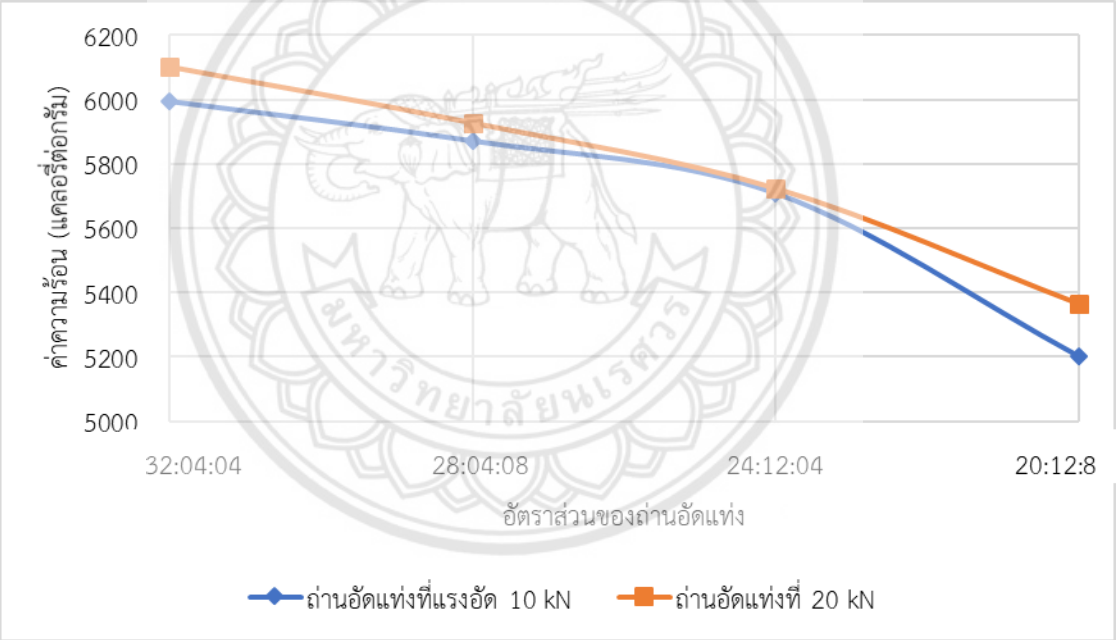
บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรที่อัดด้วยแรง 10 kN และ 20 kN ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองค่าความร้อน, ผลการทดสอบการต้มน้ำ, ผลการทดลองค่าความทนทานและผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของถ่านอัดแท่ง

4.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองค่าความร้อน

ถ่านที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพร จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปบดให้เป็นผงถ่านละเอียด เพื่อทดสอบค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D 5865 โดยจะมีที่อัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

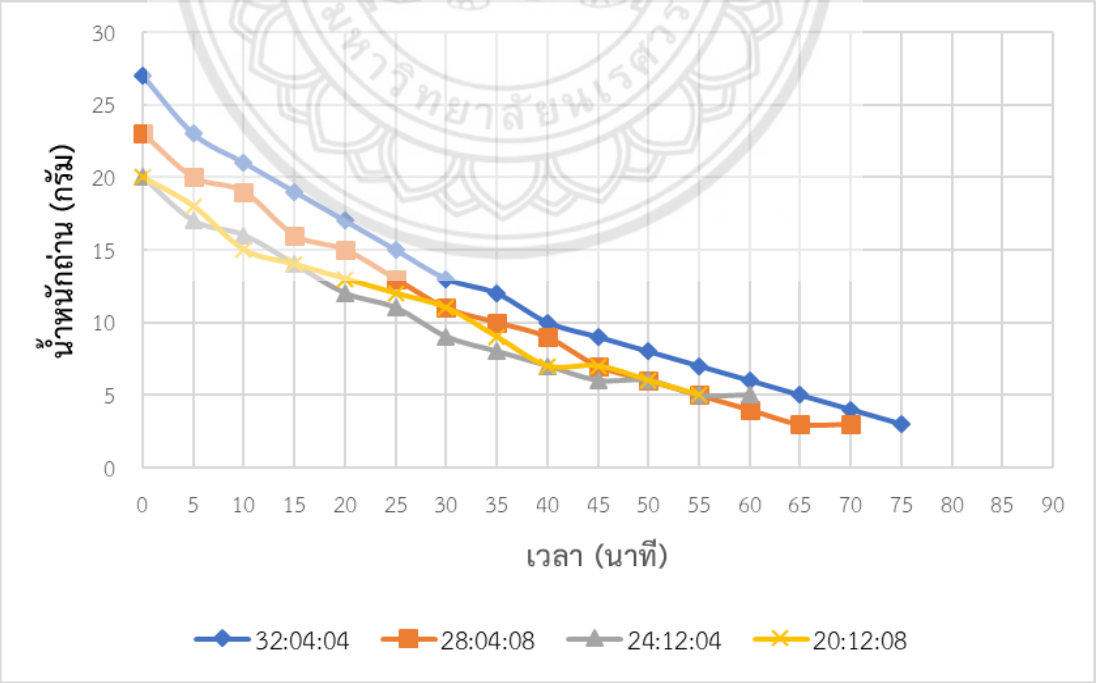
จากรูปที่ 4.1 อัตราส่วนผสมของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง ดังนี้ 32 : 4 : 4, 28 : 4 : 8, 24 : 12 : 4 และ 20 : 12 : 8 จากการทดลองหาค่าปริมาณความร้อน (Heating Value) ของถ่านอัดแท่งสมุนไพร โดยจะนำถ่านอัดแท่งที่มีอัตราส่วนผสมต่างกันมาทำการทดลองได้ผลทดลองดังนี้ อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งก้อนที่ 1 แรงอัด 10 kN ได้ค่าความร้อนอยู่เท่ากับ 5,995.23 แคลอรี่ต่อกรัม และที่แรงอัด 20 kN มีค่าความร้อนอยู่เท่ากับ 6,100.94 แคลอรี่ต่อกรัม อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งก้อนที่ 2 แรงอัด 10 kN มีค่าความร้อนอยู่เท่ากับ 5,872.18 แคลอรี่ต่อกรัม และที่แรงอัด 20 kN ค่าความร้อนอยู่เท่ากับ 5,927.16 แคลอรี่ต่อกรัม อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งก้อนที่ 3 แรงอัด 10

kN มีค่าความร้อนอยู่เท่ากับ 5,709.28 แคลอรี่ต่อกรัม และที่แรงอัด 20 kN ค่าความร้อนอยู่เท่ากับ 5,724.38 แคลอรี่ต่อกรัม อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งก้อนที่ 4 แรงอัด 10 kN มีค่าความร้อนอยู่เท่ากับ 5,202.09 แคลอรี่ต่อกรัม และที่แรงอัด 20 kN ค่าความร้อนอยู่เท่ากับ 5,366.93 แคลอรี่ต่อกรัม

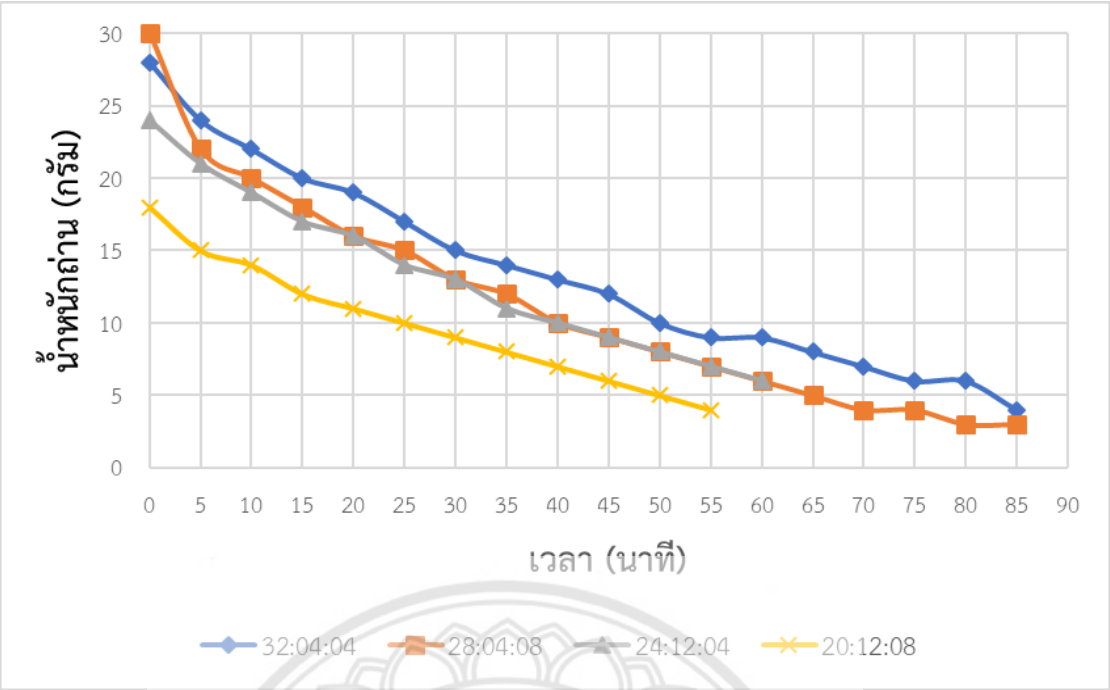
จากผลการทดลอง พบว่าถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 20 kN ที่ให้ค่าความร้อนสูงที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (32 : 4 : 4) มีค่าความร้อนเท่ากับ 6,100.94 แคลอรี่ต่อกรัม ถ่านอัดแท่งที่ให้ค่าความร้อนต่ำที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (20 : 12 : 8) ค่าความร้อนเท่ากับ 5,366.93 แคลอรี่ต่อกรัม ถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 10 kN ที่ให้ค่าความร้อนสูงสูงที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (32 : 4 : 4) มีค่าความร้อนเท่ากับ 5,995.23 แคลอรี่ต่อกรัม ถ่านอัดแท่งที่ให้ค่าความร้อนต่ำที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (20 : 12 : 8) ค่าความร้อนเท่ากับ 5,202.09 แคลอรี่ต่อกรัม ถ้าเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านทุกก้อนที่ได้จากผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) [14] พบว่ามีค่าความร้อนมากกว่าค่ามาตรฐาน (5,000 แคลอรี่ต่อกรัม)

4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการต้มน้ำ

การทดสอบโดยการต้มน้ำ ค่าที่นำมาวิเคราะห์คือ เวลา, อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น, อุณหภูมิของน้ำระหว่างการต้ม, อุณหภูมิของน้ำที่สูงที่สุด, น้ำหนักของถ่านเริ่มต้นและน้ำหนักของถ่านระหว่างการต้มน้ำ เพื่อการคำนวณค่า Specific fuel consumption (C_s) และคำนวณค่า Thermal Efficiency



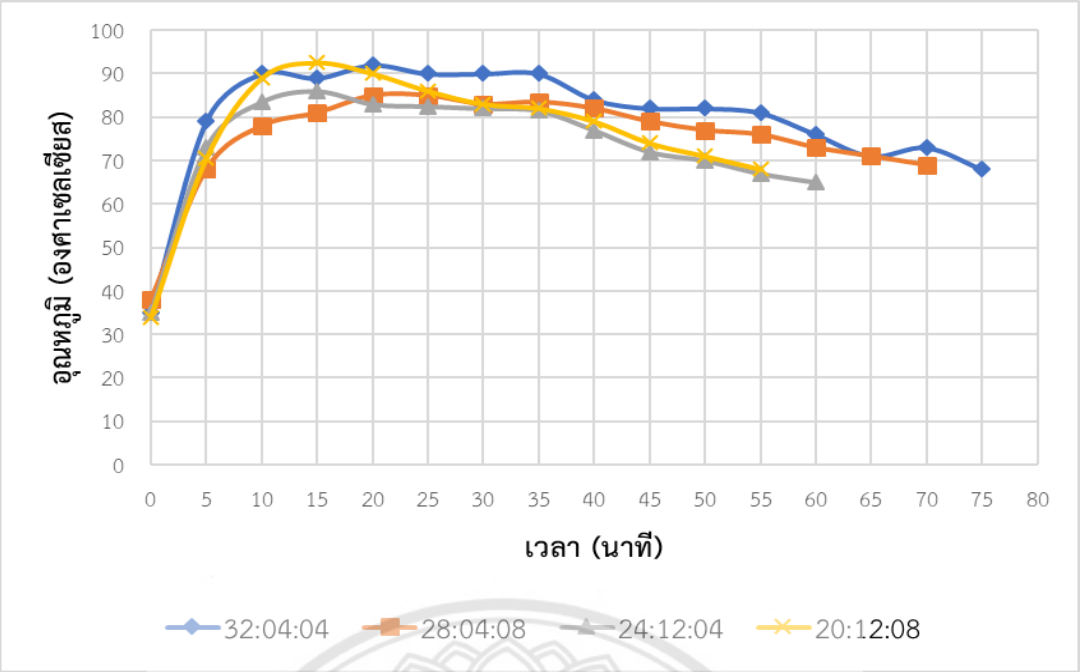
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักถ่านที่ลดลงกับเวลาของถ่านที่อัดด้วยแรง 10 kN



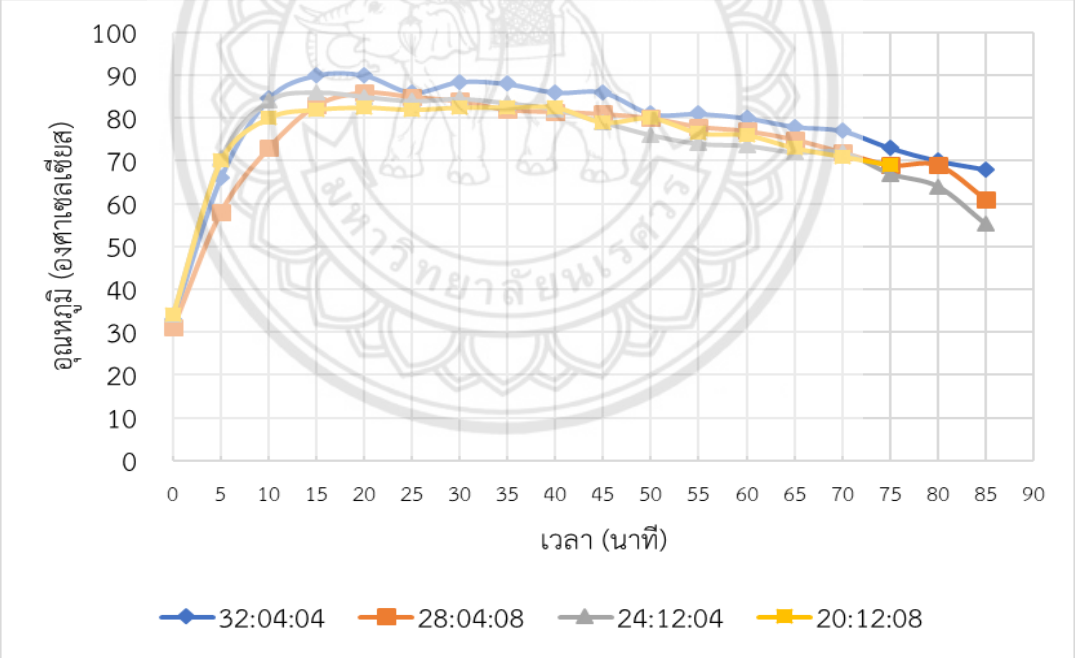
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักถ่านที่ลดลงกับเวลาของถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN

จากผลการทดลองรูปที่ 4.2 พบว่าอัตราส่วนของถ่านที่อัดด้วยแรง 10 kN มีน้ำหนักของถ่านลดลงช้าที่สุดและใช้เวลาในการมอดของไฟช้าที่สุดเท่ากับ 75 นาที คือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (32 : 4 : 4) และอัตราส่วนของถ่านที่อัดด้วยแรง 10 kN มีน้ำหนักของถ่านลดลงเร็วที่สุดและใช้เวลาในการมอดของไฟเร็วที่สุดเท่ากับ 55 นาที คือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (20 : 12 :8) ทั้งนี้อาจเกิดจากอัตราส่วนผสมของผงถ่านเพราะถ่านที่ใช้เวลาในการต้มน้ำช้าที่สุดมีปริมาณผงถ่าน 32 กรัม และเวลาในการต้มน้ำเร็วที่สุดคืออัตราส่วนผสมของผงถ่าน 20 กรัม

จากผลการทดลองรูปที่ 4.3 พบว่าอัตราส่วนของถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN มีน้ำหนักของถ่านลดลงช้าที่สุดและใช้เวลาในการมอดของไฟช้าที่สุดเท่ากับ 85 นาที คือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (32 : 4 : 4) และอัตราส่วนของถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN มีน้ำหนักของถ่านลดลงเร็วที่สุดและใช้เวลาในการมอดของไฟเร็วที่สุดเท่ากับ 75 นาที คือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (20 : 12 :8) ทั้งนี้อาจเกิดจากอัตราส่วนผสมของผงถ่าน เพราะถ่านที่ใช้เวลาในการต้มน้ำช้าที่สุดมีปริมาณผงถ่าน 32 กรัม และเวลาในการต้มน้ำเร็วที่สุดคืออัตราส่วนผสมของผงถ่าน 20 กรัม



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาของถ่านที่อัดด้วยแรง 10 kN



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาของถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN

จากผลการทดลองรูปที่ 4.4 พบว่าถ่านที่อัดด้วยแรง 10 kN อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (32 : 4 : 4) มีเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงสูดเท่ากับ 20 นาที อุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 92 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (28 : 4 : 8) มีเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงสูดเท่ากับ 20 นาที อุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (24 : 12 : 4) มีเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงสูดเท่ากับ 15 นาที อุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 86 องศาเซลเซียส และ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (20 : 12 : 8) มีเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงสูดเท่ากับ 15 นาที อุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 92.5 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองรูปที่ 4.5 พบว่าถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (32 : 4 : 4) มีเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงสูดเท่ากับ 15 นาที อุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (28 : 4 : 8) มีเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงสูดเท่ากับ 20 นาที อุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 86 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (24 : 12 : 4) มีเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงสูดเท่ากับ 15 นาที อุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 86 องศาเซลเซียส และ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (20 : 12 : 8) มีเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงสูดเท่ากับ 20 นาที อุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 82.5 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจากการนำถ่านแต่ละอัตราส่วนมาให้ความร้อนครั้งละ 1 ก้อน พบว่าถ่านอัดแท่งทุกก้อนมีเวลาเฉลี่ย 6 นาที โดยถ่านอัดแท่งที่ใช้เวลานานที่สุดในการติดไฟคือ ถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 10 kN อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (20 : 4 : 8) ใช้เวลาในการติดไฟเท่ากับ 6.54 นาที และถ่านอัดแท่งที่ใช้เวลาสั้นที่สุดในการติดไฟคือ ถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 20 kN อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (24 : 12 : 4) ใช้เวลาในการติดไฟเท่ากับ 6.01 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมขณะทำการทดลอง

จากผลการทดลองการต้มน้ำ พบว่าถ่านที่ทำให้ปริมาณน้ำระเหยมากที่สุดคือ ถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 10 kN อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (32 : 4 : 4) เหลือปริมาณน้ำสุดท้ายเท่ากับ 32.05 กรัม ถ่านที่ทำให้ปริมาณน้ำระเหยน้อยที่สุดคือ ถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 20 kN อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (20 : 4 : 8) เหลือปริมาณน้ำสุดท้ายเท่ากับ 21.38 กรัม ทั้งนี้อาจเกิดจากความหนาแน่นของถ่านที่มีผลต่อการให้ความร้อน โดยขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมขณะทำการทดลองเนื่องจากมีอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมแตกต่างกัน จึงทำให้อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นมีค่าไม่เท่ากัน

อีกทั้งการคำนวณค่าประสิทธิภาพความร้อนของถ่านและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณได้จากผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 การคำนวณค่าประสิทธิภาพความร้อนของถ่านและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ

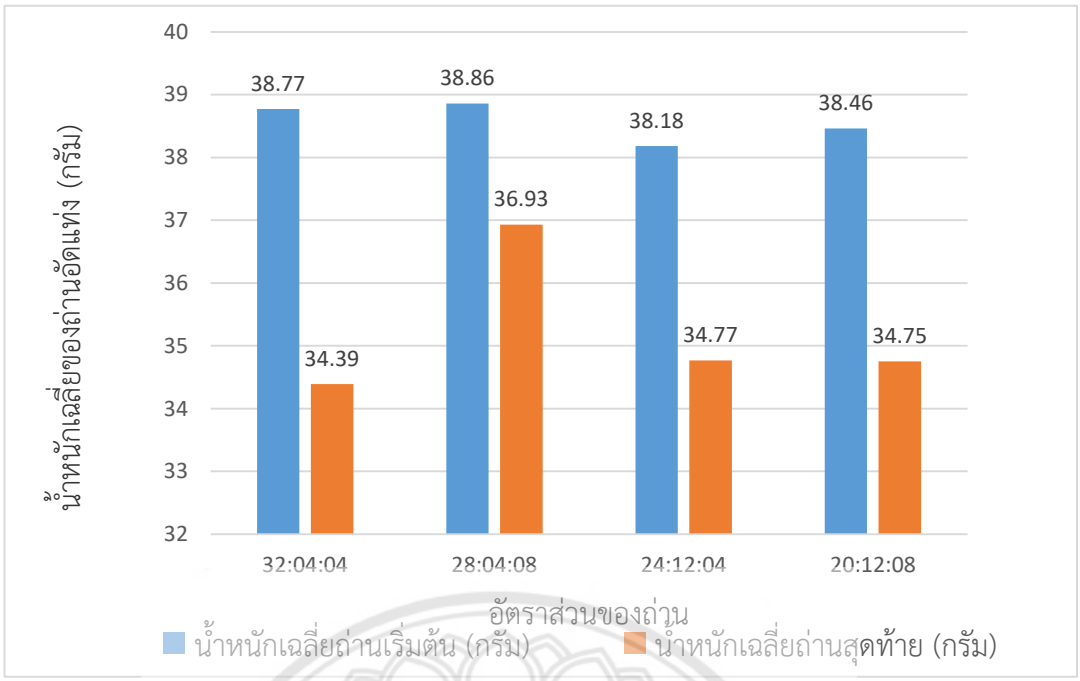
ลำดับที่	อัตราส่วนของถ่าน*	แรงอัด (kN)	ประสิทธิภาพความร้อนของถ่าน (%)	Specific fuel consumption (Cs)
1	32 : 4 : 4	10	8.419	0.353
2	28 : 4 : 8		7.205	0.433
3	24 : 12 : 4		6.621	0.400
4	20 : 12 : 8		5.89	0.413
5	32 : 4 : 4	20	8.18	0.328
6	28 : 4 : 8		7.132	0.388
7	24 : 12 : 4		8.932	0.372
8	20 : 12 : 8		6.478	0.537

*อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง ใช้น้ำเท่ากันทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม

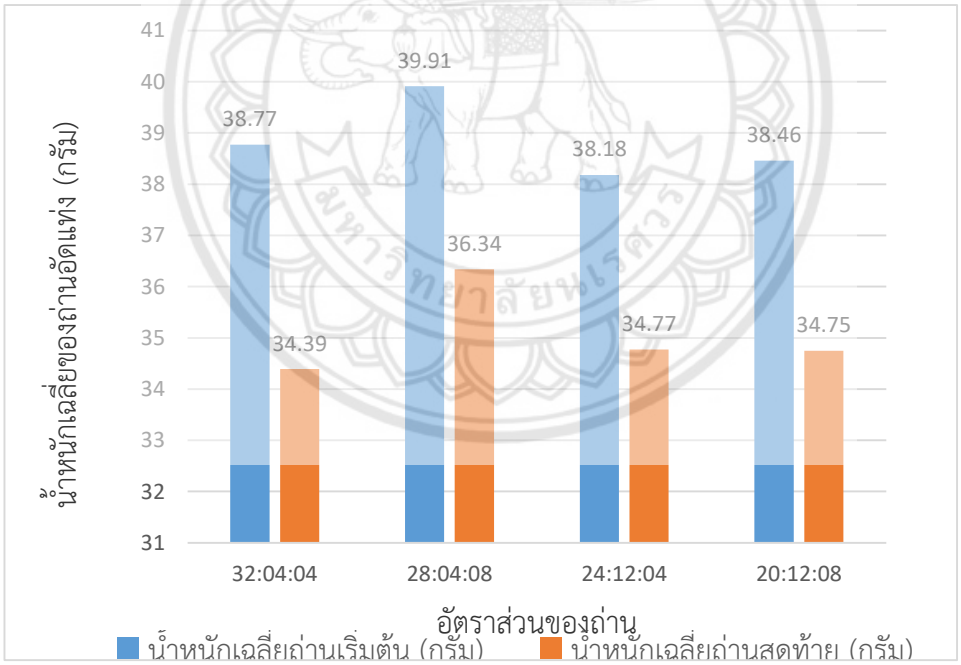
จากตารางที่ 4.1 พบว่าอัตราส่วน 32 : 4 : 4 มีค่าประสิทธิภาพความร้อนสูงที่สุดและมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะน้อยที่สุด ทำให้ถ่านมีระยะเวลาในการเผาไหม้และให้ความร้อนได้นานกว่าถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนอื่น เนื่องจากถ่านอัดแท่งที่มีอัตราส่วนของผงถ่าน 32 กรัม สมุนไพร 4กรัม และแป้งมันสำปะหลัง 4 กรัม ทำให้มีประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าถ่านอัตราส่วนอื่น

4.1.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองค่าความทนทานของถ่านอัดแท่ง

การทดสอบค่าความทนทานของถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วน โดยการนำผงถ่านมาผสมกับสมุนไพรและใช้น้ำผสมกับแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานตามอัตราส่วนในตาราง 3.1 จากนั้นนำถ่านอัดแท่งมาทดสอบกับเครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแท่ง (Briquettes DU Test) และร่อนตะแกรง ตามมาตรฐาน ASAE S 269.4 ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของถ่านอัดแท่งเริ่มต้นและสุดท้ายกับอัตราส่วนของถ่านแรงอัด 10 kN

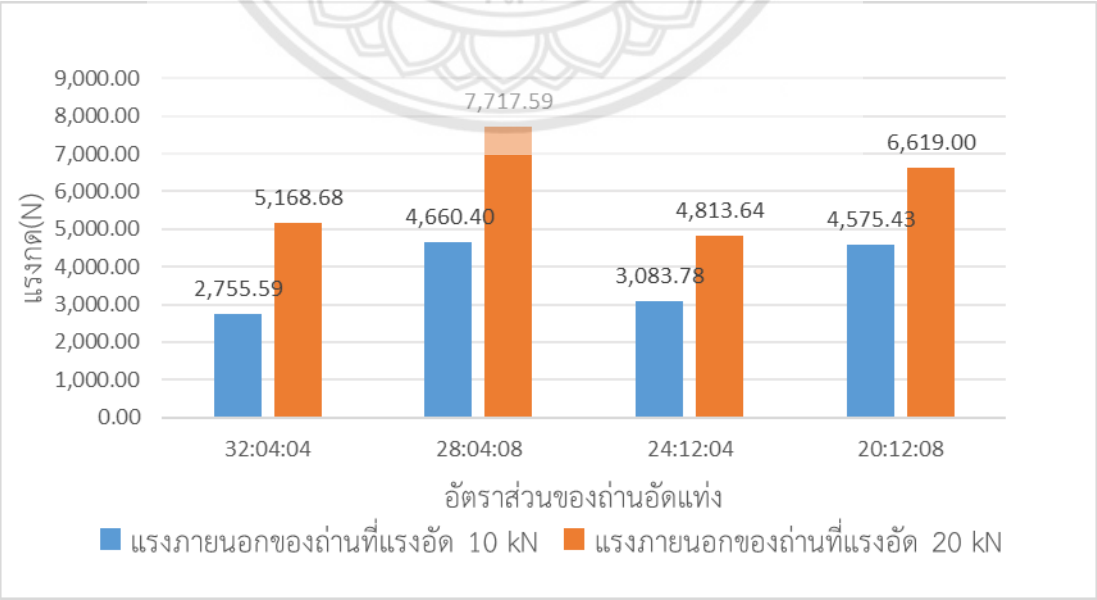


รูปที่ 4.7 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของถ่านอัดแท่งเริ่มต้นและสุดท้ายกับอัตราส่วนของถ่านแรงอัด 20 kN

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองค่าความทนทานของถ่านอัดแท่งกับเครื่องทดสอบความทนทานของถ่านอัดแท่ง ตามมาตรฐาน ASAE S 269.4 และร่อนตะแกรงตามมาตรฐาน ISO 3310-1 อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลังใช้น้ำ 15.2 กรัม เท่ากันทุกอัตราส่วน พบว่าอัตราส่วนของถ่านที่อัดด้วยแรง 10 kN มีค่าความทนทานต่ำกว่าถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN เพราะผลต่างน้ำหนักเฉลี่ยของถ่านเริ่มต้นกับสุดท้ายของถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN มีค่าน้อยกว่าถ่านที่อัดด้วยแรง 10 kN โดยอัตราส่วนที่มีค่าความทนทานมากที่สุด คืออัตราส่วน 20 : 12 : 8 อัด ที่แรงอัด 20 กิโลนิวตัน มีน้ำหนักถ่านเฉลี่ยเริ่มต้น 37.91 กรัม น้ำหนักถ่านเฉลี่ยสุดท้าย 36.58 กรัม ซึ่งผลต่างของน้ำหนักถ่านเริ่มต้นกับสุดท้ายน้อยที่สุดเท่ากับ 1.33 กรัม อาจเป็นเพราะมีอัตราส่วนของตัวประสานหรือแป้งมันสำปะหลังมากคือ 8 กรัม ผงถ่านมีความละเอียดกว่าผงถ่านของอัตราส่วนอื่น และอัตราส่วนของสมุนไพร 12 กรัม จึงทำให้เนื้อถ่านมีความเกาะตัวกันมาก และอัตราส่วนที่มีค่าความทนทานน้อยที่สุด คืออัตราส่วน 32 : 4 : 4 อัดที่แรงอัด 10 กิโลนิวตัน มีความทนทานน้อยที่สุด ซึ่งมีน้ำหนักของถ่านเริ่มต้น 38.77 กรัมและมีน้ำหนักถ่านเฉลี่ยสุดท้าย 34.39 กรัม ซึ่งผลต่างของน้ำหนักถ่านเริ่มต้นกับสุดท้ายมากที่สุดเท่ากับ 4.38 กรัม อาจเป็นเพราะมีอัตราส่วนของตัวประสานหรือแป้งมันสำปะหลังน้อยคือ 4 กรัม ผงถ่านมีความละเอียดน้อย และอัตราส่วนของสมุนไพร 4 กรัม จึงทำให้เนื้อถ่านมีความเกาะตัวกันได้น้อย

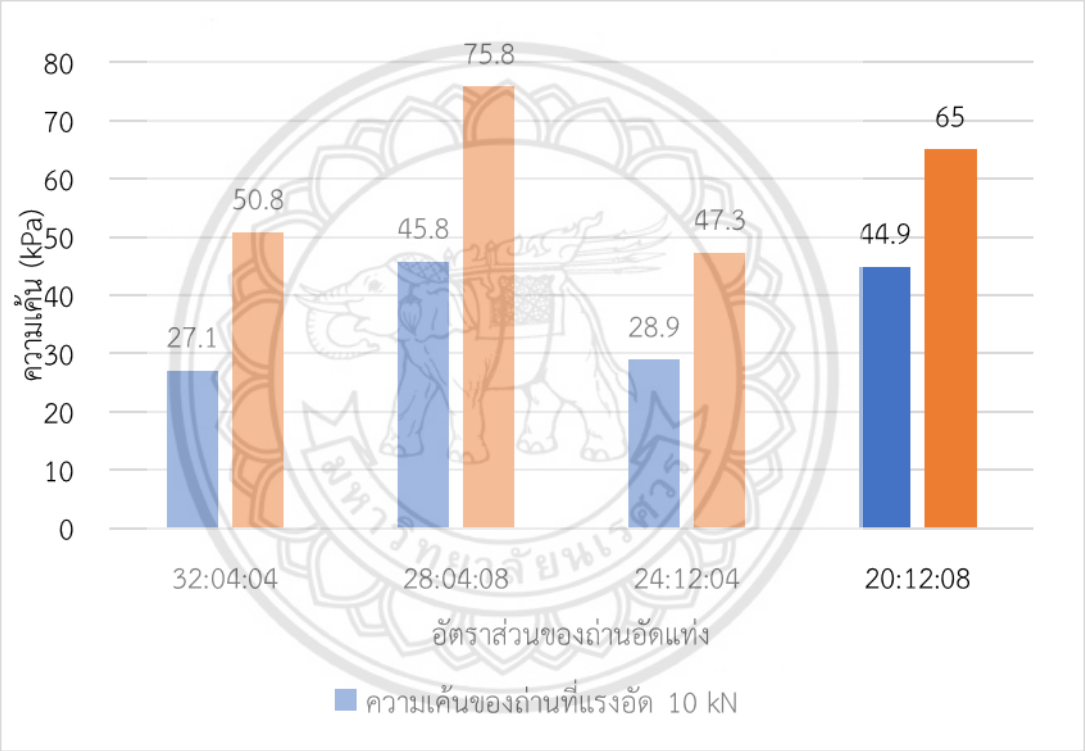
4.1.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

การทดสอบความแข็งแรงของถ่าน โดยการใช้เครื่อง (Universal Testing Machine, UTM) ในการทดสอบถ่านอัดแท่งทั้งหมด 8 อัตราส่วน อัตราส่วนละ 3 ก้อน โดยใช้แรงกดจนกระทั่งถ่านอัดแท่งแตก ซึ่งจากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของถ่านอัดแท่ง ดังแสดงในกราฟที่ 4.7และรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 10 และ 20 kN ที่มีผลกับแรงอัด

จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของถ่านอัดแท่งระหว่างถ่านอัดแท่งที่อัดด้วยแรง 10 kN และ 20 kN พบว่าถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 20 kN ที่ใช้แรงกดสูงที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (28 : 4 : 8) มีค่าแรงกดเท่ากับ 7,717.59 N ถ่านอัดแท่งที่ใช้แรงกดต่ำที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (24 : 12 : 4) มีค่าแรงกดเท่ากับ 4,813.64 N และถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 10 kN ที่ใช้แรงกดสูงที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (28 : 4 : 8) มีค่าแรงกดเท่ากับ 4,660.40 N ถ่านอัดแท่งที่ใช้แรงกดต่ำที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (32 : 4 : 4) มีค่าแรงกดเท่ากับ 2,755.59 N จากการที่ถ่านอัดแต่ละแท่งสามารถรับแรงกดได้แตกต่างกันออกไป อาจเกิดจากอัตราส่วนของแป้งมันหรือตัวประสานที่มีผลต่อการยึดเกาะ



รูปที่ 4.9 อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 10 และ 20 kN ที่มีผลกับความเค้น

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของถ่านอัดแท่งระหว่างถ่านอัดแท่งที่อัดด้วยแรง 10 kN และ 20 kN พบว่าถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 20 kN ที่ใช้แรงกดสูงที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (28 : 4 : 8) มีค่าความเค้นเท่ากับ 75.8 kPa ถ่านอัดแท่งที่ใช้ค่าความเค้นต่ำที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (24 : 12 : 4) มีค่าความเค้นเท่ากับ 4.73 kPa และถ่านอัดแท่งที่แรงอัด 10 kN ที่ใช้ค่าความเค้นสูงที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (28 : 4 : 8) มีค่าความเค้นเท่ากับ 45.8 kPa ถ่านอัดแท่งที่ใช้ค่าความเค้นต่ำที่สุดคือ อัตราส่วนของผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง (32 : 4 : 4) มีค่า

ความเค้นเท่ากับ 27.1 kPa จากการที่ถ่านอัดแต่ละแท่งมีสามารถรับแรงกดที่แตกต่างกัน อาจเกิดจากอัตราส่วนของแป้งมันหรือตัวประสานที่มีผลต่อการยึดเกาะระหว่างเนื้อของถ่านอัดแท่ง และบริเวณรอยแตกที่เกิดจากการกดด้วยเครื่อง UTM พบว่าถ่านอัดแท่งแตกบริเวณที่มีปริมาณสมุนไพรอยู่ปริมาณมาก

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาถ่านอัดแท่งผสมสมุนไพรโดยใช้ถ่านอัดแท่งที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 36 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7 มิลลิเมตร ความยาว 45 - 75 มิลลิเมตร ซึ่งมีอัตราส่วนผงถ่านต่อสมุนไพรต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง คือ 32 : 4 : 4, 28 : 4 : 8, 24 : 12 : 4, 20 : 12 : 8 โดยใช้แรงในการอัดคือ 10 kN และ 20 kN เพื่อศึกษาสมบัติทางกล สมบัติความร้อน และหาความทนทานของถ่านอัดแท่งและได้คุณสมบัติต่างๆดังนี้

5.1.1 การหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

พบว่าถ่านที่มีอัตราส่วน 32 : 4 : 4 ที่ให้ค่าความร้อนได้สูงที่สุดคือ 5,995.23 และ 6,100.94 แคลอรี่ต่อกรัม เนื่องจากมีปริมาณของผงถ่านซึ่งมีความเป็นเชื้อเพลิงมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ และตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) กำหนดว่าค่าความร้อนต้องมากกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม

5.1.2 การต้มน้ำของถ่านทุกอัตราส่วน

พบว่าถ่านที่ให้ความร้อนสูง มีระยะเวลาในการเผาไหม้นาน และ ทำให้น้ำได้อุณหภูมิสูงที่สุดคือ ถ่านที่มีอัตราส่วน 32 : 4 : 4 และเมื่อนำค่าที่ทดสอบมาทำการหาประสิทธิภาพ พบว่าถ่านที่อัตราส่วนนี้ยังประสิทธิภาพความร้อนสูงที่สุดและมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ

5.1.3 การทดสอบความทนทานของถ่านอัดแท่ง

ผลการทดสอบพบว่าแรงที่ใช้ในการอัดมีผลต่อความทนทานของถ่าน เนื่องจากถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN มีเปอร์เซนต์ของถ่านที่หายไปน้อยกว่าถ่านที่อัดด้วยแรง 10 kN ในทุกอัตราส่วน

5.1.4 การทดสอบเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบ UTM

เมื่อทดสอบซ้ำ 3 ครั้งแล้วพบว่าถ่านที่มีอัตราส่วน 28 : 4 : 8 ที่ใช้แรงอัด 10 kN และแรงอัด 20 kN สามารถรับแรงอัดเฉลี่ยได้มากที่สุดคือ 4,660.40 และ 7,717.59 N มีความเค้นเฉลี่ย 45.8 kPa และ 75.8 kPa และแรงในการอัดถ่านมีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดเฉลี่ย เนื่องจากการอัดที่ 10 kN มีสามารถรับแรงอัดได้น้อยกว่าถ่านที่อัดด้วยแรง 20 kN

จากการทดลองพบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีอัตราส่วน 32 : 4 : 4 อัดด้วยแรง 20 kN เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพความร้อนสูง มีค่าความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ความทนทานของถ่านสูง การแตกของก้อนถ่านน้อย และสามารถรับแรงอัดได้มาก

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 กระบอกอัดถ่านมีความยาวครีบด้านข้างสั้นเกินไปจึงต้องทำการแก้ไขเพื่อทำให้ใช้งานกับการทดลองได้ดีขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 สามารถศึกษาการทดสอบความทนทานระหว่างเครื่องทดสอบถ่านอัดเม็ดและถ่านอัดแท่งเพื่อดูความแตกต่างเครื่องทั้งสองได้

5.3.2 ในการทดสอบสามารถปรับเปลี่ยนตัวประสาน และอัตราส่วนในการผสมถ่านอัดแท่งได้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นกว่าเดิมได้

5.3.3 การใช้ฮีตเตอร์ควรระมัดระวัง เนื่องจากมีการให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส อาจทำให้เกิดอันตรายได้

เอกสารอ้างอิง

Mallika Thabuota., Thanchanok Pagketanang., Kasidet Panyacharoen, Pisit Mongkut, & Prasong Wongwicha. (2015). **Effect of Applied Pressure and Binder Proportion on the Fuel Properties of Holey Bio-Briquettes.** Energy Procedia 79, 890 – 895

Michael Temmerman, Fabienne Rabier, Peter Daugbjerg Jensenb, Hans Hartmannc &Thorsten Bohmc. (2006). **Comparative durability test method for pellet briquette**. Biomass and Bioenergy 30, 964-972

Rukayya I. Muazu, & Julia A. Stegemann. (2015). **Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs.** Fuel Processing Technology 133, 1-145

Yank, A., Ngadi, M., & Kok R. (2016). **Physical properties of rice husk and bran briquettes under low pressure densification for rural applications**. Biomass and Bioenergy 84, 1-30

ชมภู่ เหนือศรี. (2559). **การศึกษาประสิทธิภาพถ่านอัดแท่ง และการใช้ประโยชน์จากต้นไมยราบยักษ์ เพื่อการจัดการชนิดพันธุ์ต่างถิ่น**. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏ.

นายจิรานุวัฒน์ เม่นเกิดและคณะ. (2560) **การผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ (Fuel Briquette Produced From Brick Manufactory Waste)**. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

นายทองทิพย์ พูลเกษม. (2542). **การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน (A Study Of Fuel Briquette From Durian Peel Substitute For Firewood And Charcoal in Household Uses)**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.

นายปรมินทร์ ไชย์ทองรักษ์และคณะ. (2551.) **ถ่านอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส**. มหาวิทยาลัยนเรศวร

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

นายสุรเชษฐ ย่านวารี. (2015). **ชีวมวล(BIOMASS)**. สืบค้นเมื่อ 26 ตุลาคม, 2561, จาก https://ienergyguru.com/2015/08/ชีวมวล-biomass/

บริษัท ไทยซูมิ จำกัด. **สาระความรู้กฎระเบียบมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง**. สืบค้นเมื่อ 16 เมษายน 2562, จาก: https://www.charcoal.snmcenter.com/Charcoalthai/standard.php

บริษัท สุพรีมไลนส์ จำกัด. **โซลิดสเตตรีเลย์ คืออะไร และมีกี่ชนิด**. สืบค้นเมื่อ 16 เมษายน 2562, จาก https://www.supremelines.co.th/สาระน่ารู้/2067-โซลิดสเตตรีเลย์-คืออะไร.html

เมดไทย MedThai. (2 สิงหาคม 2017). **อบเชย สรรพคุณและประโยชน์ของอบเชย 48 ข้อ**. สืบค้นเมื่อ 9 พฤศจิกายน 2561, จาก https://medthai.com/อบเชย/

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล. (2553). **การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง**. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สังเวย เสวกวิหาร. (2555). **ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด (Potential Energy of The Fuel Briquettes From Mangosteen Shell) เรื่องศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด**. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ภาคผนวก ก.

ตารางข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก1 ข้อมูลปริมาณถ่านที่ลดลงต่อเวลา 5 นาที

ก้อนที่	อัตราส่วนของถ่านอัดแท่ง* (กรัม)	แรงที่ใช้อัดถ่าน (kN)	ค่าความร้อน (Cal/g)	ค่าความร้อน (kJ/kg)
1	32 : 4 : 4	10	5,995.23	25,084.042
2	28 : 4 : 8		5,872.18	24,569.201
3	24 : 12 : 4		5,709.28	23,887.627
4	20 : 12 : 8		5,202.09	21,765.544
5	32 : 4 : 4	20	6,100.94	25,526.332
6	28 : 4 : 8		5,927.16	24,799.237
7	24 : 12 : 4		5,724.38	23,950.805
8	20 : 12 : 8		5,366.93	22,455.235

*อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง ใช้น้ำเท่ากันทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม

ตารางที่ ก2 ข้อมูลปริมาณถ่านที่ลดลงต่อเวลา 5 นาที

อัตราส่วนผสม*	น้ำหนักถ่าน (กรัม)		น้ำหนักเถ้า (กรัม)	เวลาติดไฟ**	ปริมาณถ่านที่ลดลง(กรัม)ต่อเวลา(นาที)																		
	เริ่มต้น	สุดท้าย			0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
แรงอัด 10 kN																						
32 : 4 : 15.2 : 4	38.19	3.93	3.93	6.10	27	23	21	19	17	15	13	12	10	9	8	7	6	5	4	3		
28 : 4 : 15.2 : 8	39.03	3.40	3.40	6.45	23	20	19	16	15	13	11	10	9	7	6	5	4	3	3			
24 : 12 : 15.2 : 4	38.02	5.02	5.02	6.31	20	17	16	14	12	11	9	8	7	6	6	5	5					
20 : 12 : 15.2 : 8	38.8	5.09	5.09	6.54	20	18	15	14	13	12	11	9	7	7	6	5						
แรงอัด 20 kN																						
32 : 4 : 15.2 : 4	38.67	4.25	4.25	6.40	28	24	22	20	19	17	15	14	13	12	10	9	9	8	7	6	6	4
28 : 4 : 15.2 : 8	39.26	3.12	3.12	6.30	30	22	20	18	16	15	13	12	10	9	8	7	6	5	4	4	3	3
24 : 12 : 15.2 : 4	39.36	3.85	3.85	6.01	24	21	19	17	16	14	13	11	10	9	8	7	6	6	5	4	4	3
20 : 12 : 15.2 : 8	39.23	2.97	2.97	6.20	18	15	14	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	3	2	2		

*อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง ใช้น้ำเท่ากันทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม

**เวลาติดไฟคือ เวลาที่ถ่านติดไฟทั้งก้อน

ตารางที่ ก3 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำต่อเวลา 5 นาที

อัตราส่วนผสม*	น้ำหนักน้ำ (กรัม)		เวลา(นาที)ต่ออุณหภูมิน้ำ(องศาเซลเซียส)																	
	เริ่มต้น	สุดท้าย	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
แรงอัด 10 kN																				
32 : 4 : 15.2 : 4	60.06	28.01	35	79	90	89	92	90	90	90	84	82	82	81	76	71	73	68		
28 : 4 : 15.2 : 8	60.10	37.23	38	68	78	81	85	85	83	83.5	82	79	77	76	73	71	69			
24 : 12 : 15.2 : 4	60.00	36.66	35	73	83.5	86	83	82.5	82	81.5	77	72	70	67	65					
20 : 12 : 15.2 : 8	60.11	38.46	34	70.5	89	92.5	90	86	83	82	79	74	71	68						
แรงอัด 20 kN																				
32 : 4 : 15.2 : 4	60.0	28.16	33	66	84.5	90	90	86	88.5	88	86	86	81	81	80	78	77	73	70	68
28 : 4 : 15.2 : 8	60.02	32.6	31	58	73	83	86	85	84	82	81.5	81	80	78	77	75	72	69	69	61
24 : 12 : 15.2 : 4	60.04	25.1	34	70.5	84	86	85	84	84.5	83.5	82	79	76	74	73.5	72	72	67	64	55.2
20 : 12 : 15.2 : 8	60.03	38.65	34	70	80	82	82.5	82	82.5	82.5	82.5	79	80	76.5	76	73	71	69		

*อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง ใช้น้ำเท่ากันทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม

ตารางที่ ก4 ข้อมูลการทดลองค่าความทนทานของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน*	แรงอัด (kN)	ก้อนที่	น้ำหนักถ่าน			จำนวนรอบหมุนต่อน้ำหนักถ่าน				
			เริ่มต้น (กรัม)	เริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	สุดท้ายเฉลี่ย (กรัม)	20	40	60	80	100
32 : 4 : 15.2 : 4	10	1	38.75	38.77	34.39	35.74	34.45	32.93	31.60	30.88
		2	39.21			38.59	37.90	37.02	36.22	35.84
		3	38.35			38.35	38.18	38.05	37.21	36.46
28 : 4 : 15.2 : 8	10	1	38.13	38.86	36.93	37.76	36.25	35.40	34.94	34.24
		2	39.34			39.08	38.92	38.75	38.60	38.47
		3	39.10			38.89	38.65	38.44	38.26	38.08
24 : 12 : 15.2 : 4	10	1	38.32	38.18	34.77	37.84	37.55	37.22	36.89	36.64
		2	38.04			37.29	35.75	35.06	34.77	34.29
		3	38.19			36.35	35.37	34.47	33.75	33.37
20 : 12 : 15.2 : 8	10	1	38.64	38.46	34.75	37.81	36.59	36.15	35.55	35.53
		2	38.91			37.11	35.70	34.75	33.83	33.04
		3	37.84			37.65	37.11	36.32	36.08	35.67

*อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง ใช้น้ำเท่ากันทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม

ตารางที่ ก4 ข้อมูลการทดลองค่าความทนทานของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน*	แรงอัด (kN)	ก้อนที่	น้ำหนักถ่าน			จำนวนรอบหมุนต่อน้ำหนักถ่าน				
			เริ่มต้น (กรัม)	เริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	สุดท้ายเฉลี่ย (กรัม)	20	40	60	80	100
32 : 4 : 15.2 : 4	20	1	38.65	38.99	37.14	38.40	37.84	36.28	35.38	34.64
		2	39.00			38.76	38.53	38.35	38.13	37.96
		3	39.33			39.21	39.06	38.97	38.88	38.81
28 : 4 : 15.2 : 8	20	1	38.09	38.77	36.16	37.13	34.77	32.74	32.11	31.61
		2	38.82			38.75	38.62	38.54	38.45	38.33
		3	39.39			39.24	38.97	38.78	38.66	38.54
24 : 12 : 15.2 : 4	20	1	38.80	38.33	36.33	38.66	38.66	38.45	38.31	38.19
		2	37.64			37.55	37.47	37.36	36.76	36.47
		3	38.55			37.89	36.85	35.95	35.04	34.33
20 : 12 : 15.2 : 8	20	1	38.56	37.91	36.58	38.38	38.21	38.03	37.66	37.17
		2	37.62			37.45	37.05	36.75	36.44	36.22
		3	37.56			37.44	37.29	36.76	36.52	36.35

*อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง ใช้น้ำเท่ากันทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม

ตารางที่ ก6 ข้อมูลเปอร์เซนถ่านที่หายไปของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วนของถ่านอัดแท่ง*	แรงอัด (kN)	ร้อยละถ่านที่หายไป
32 : 4 : 4	10	11.30
28 : 4 : 8		4.97
24 : 12 : 4		8.93
20 : 12 : 8		9.65
อัตราส่วนของถ่านอัดแท่ง*	แรงอัด (kN)	ร้อยละถ่านที่หายไป
32 : 4 : 4	20	4.74
28 : 4 : 8		6.73
24 : 12 :4		5.22
20 : 12: 8		3.51

*อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง ใช้น้ำเท่ากันทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม

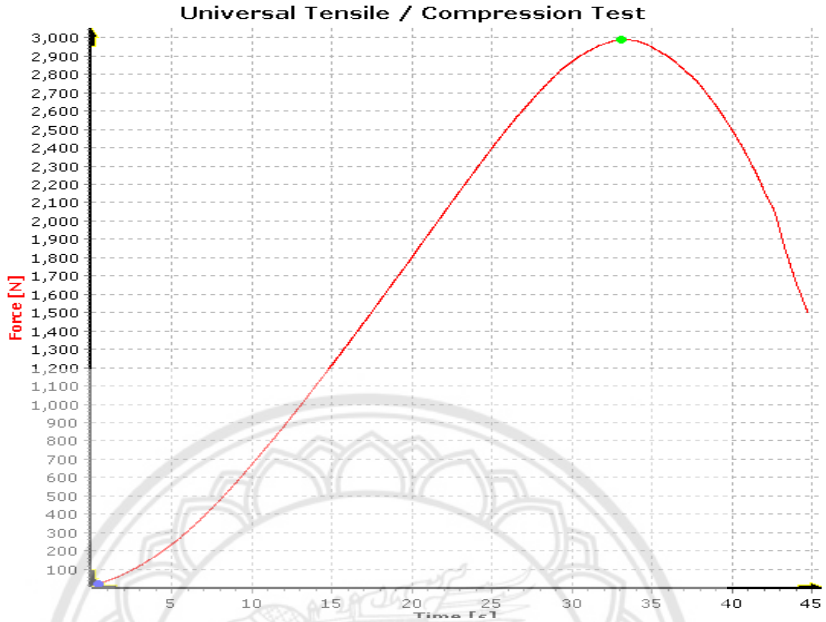
ตารางที่ ก7 ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

อัตราส่วนของถ่านอัดแท่ง*	แรงอัด (kN)	แรง, P (N)			แรงเฉลี่ย (N)	ความเค้น (kPa)			ความเค้นเฉลี่ย(kPa)
		ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3		ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	
32 : 4 : 4	10	2,990.86	2,714.34	2,561.58	2,755.59	2.94	2.67	2.52	2.71
28 : 4 : 8	10	4,989.20	4,544.32	4,447.95	4,660.40	4.90	4.46	4.37	4.58
24 : 12 : 4	10	2,989.00	3,807.92	2,454.41	3,083.78	2.94	3.31	2.41	2.89
20 : 12 : 8	10	4,689.10	4826.91	4210.27	4,575.43	4.61	4.74	4.14	4.49
32 : 4 : 4	20	5,848.20	4,859.61	4,798.18	5,168.68	5.75	4.77	4.71	5.08
28 : 4 : 8	20	9,114.05	8,368.50	5,670.21	7,717.59	8.95	8.22	5.57	7.58
24 : 12 : 4	20	4,585.57	5,113.42	4,741.92	4,813.64	4.51	5.02	4.66	4.73
20 : 12 : 8	20	7,772.12	5,152.06	6,932.90	6,619.00	7.64	5.06	6.81	6.50

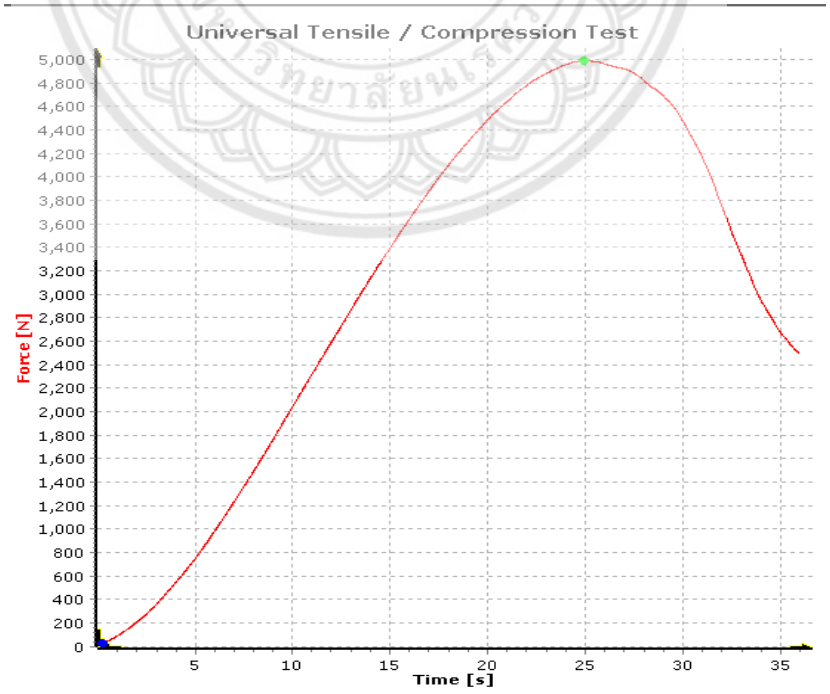
*อัตราส่วนผสมของ ผงถ่าน : สมุนไพร : แป้งมันสำปะหลัง ใช้น้ำเท่ากันทุกอัตราส่วน คือ 15.2 กรัม

ภาคผนวก ข.

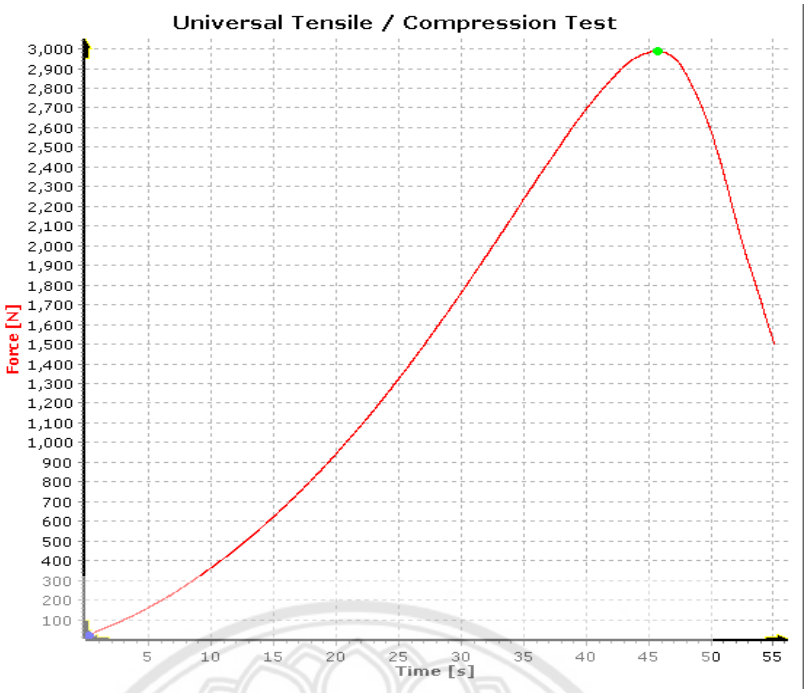
แสดงกราฟ Compression Test



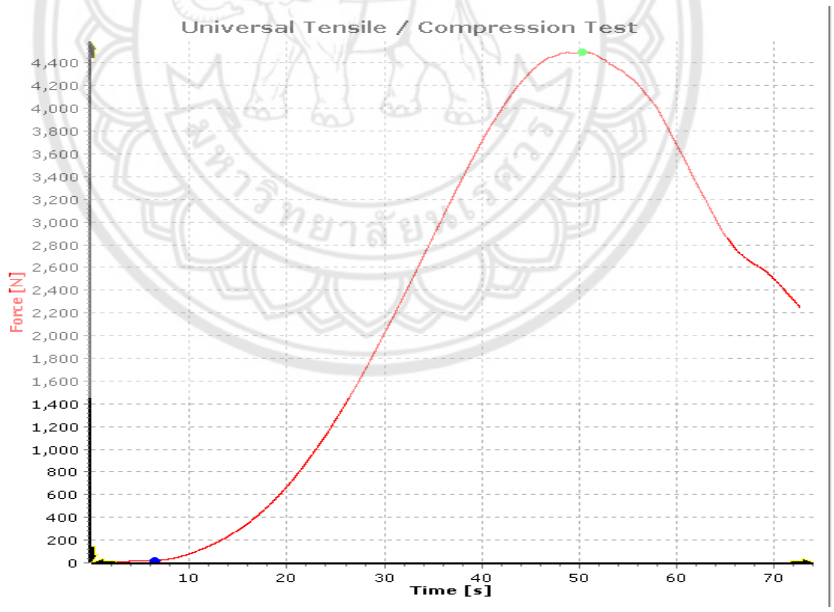
กราฟภาคผนวก ข - 1 แรงกดสูงสุดของถ่าน 32 : 4 : 4 ที่อัดด้วยแรง 10 kN



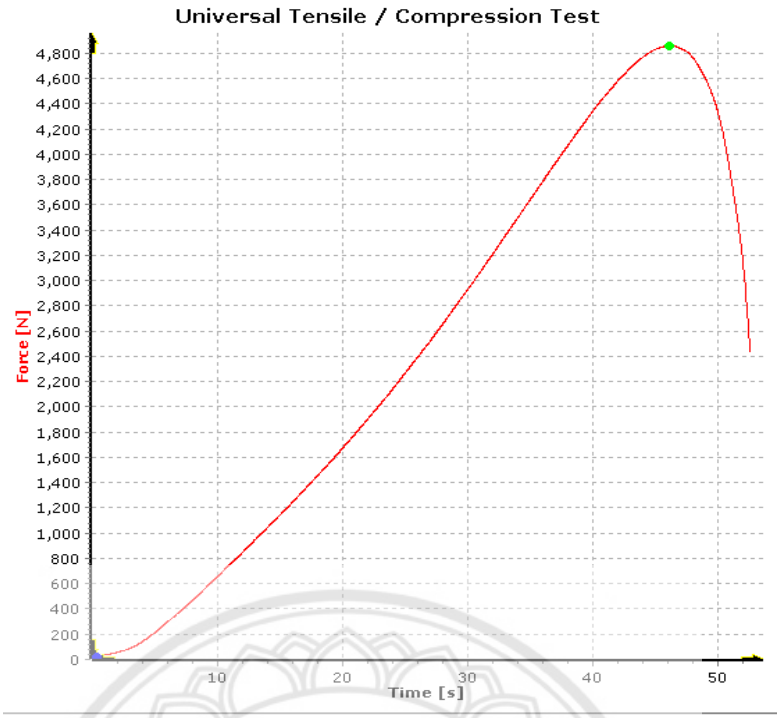
กราฟภาคผนวก ข - 2 แรงกดสูงสุดของถ่าน 28 : 4 : 8 ที่อัดด้วยแรง 10 kN



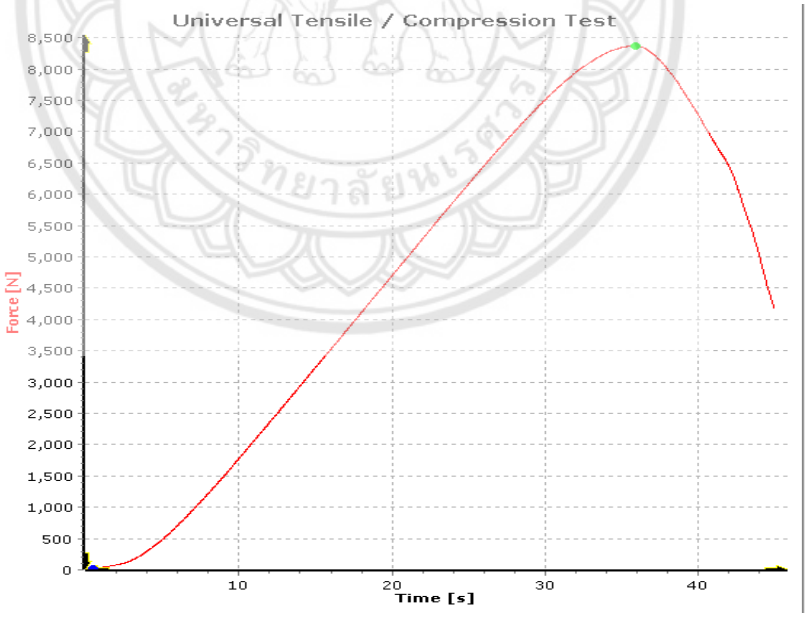
กราฟภาคผนวก ข - 3 แรงกดสูงสุดของถ่าน 24 : 12 : 4 ที่อัดด้วยแรง 10 kN



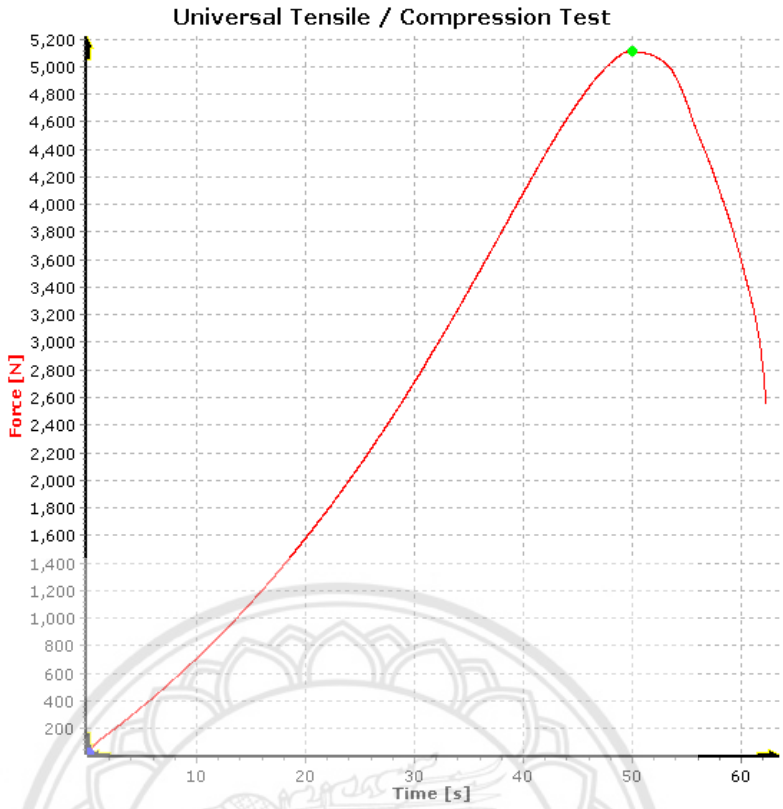
กราฟภาคผนวก ข - 4 แรงกดสูงสุดของถ่าน 20 :12 : 8 ที่อัดด้วยแรง 10 kN



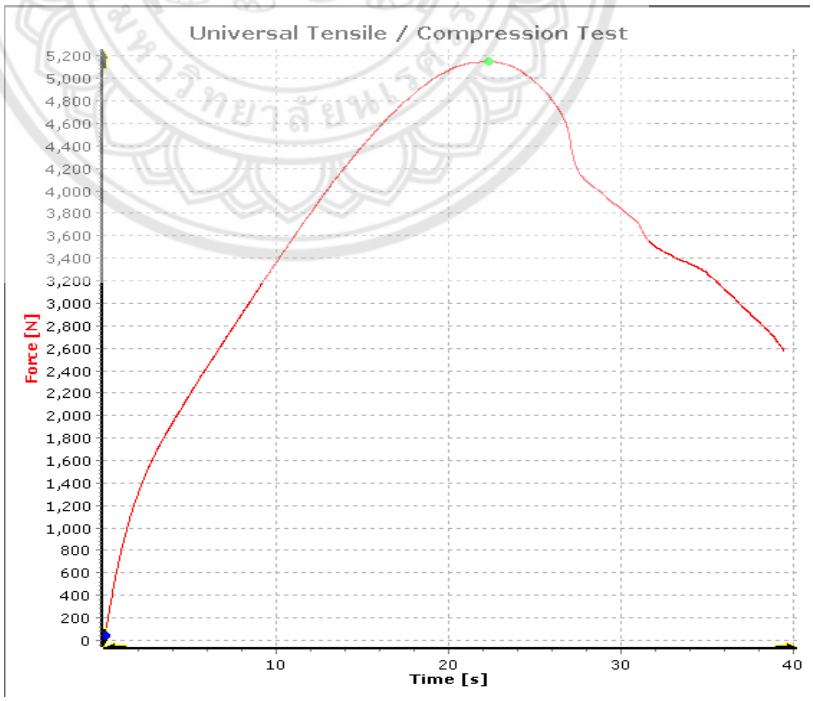
กราฟภาคผนวก ข - 5 แรงกดสูงสุดของถ่าน 32 : 4 : 4 ที่อัดด้วยแรง 20 kN



กราฟภาคผนวก ข - 6 แรงกดสูงสุดของถ่าน 28 : 4 : 8 ที่อัดด้วยแรง 20 kN



กราฟภาคผนวก ข - 7 แรงกดสูงสุดของถ่าน 24 : 12 : 4 ที่อัดด้วยแรง 20 kN



กราฟภาคผนวก ข - 8 แรงกดสูงสุดของถ่าน 20 :12 : 8 ที่อัดด้วยแรง 20 kN