การผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ

Fuel Briquette Produced Form Brick Manufactory Waste

นายจิรานุวัฒน์ เม่นเกิด รหัส 57361913

นายปรากรณ์ ประกอบกสิกรณ์ รหัส 57362248

นายปิยะวัต คำบุญ รหัส 57362279

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2560

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายจิรานุวัฒน์ เม่นเกิด	รหัส 57361913
	นายปรากรณ์ ประกอบกสิกรณ์	รหัส 57362248
	นายปิยะวัต คำบุญ	รหัส 57362279
ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ปีการศึกษา	2560	

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(รศ.ดร.ปฐมศก วิไลผล)

.....กรรมการ

(รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ

(ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน การผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ

ผู้ดำเนินโครงงาน นายจิรานุวัฒน์ เม่นเกิด รหัส 57361913

นายปรากรณ์ ประกอบกสิกรณ์ รหัส 57362248

นายปิยะวัต คำบุญ รหัส 57362279

ที่ปรึกษาโครงงาน รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2560

.....

บทคัดย่อ

การผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ เป็นงานวิจัยที่นำถ่านเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมผลิตอิฐจากโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรีที่มีมาเพื่อเพิ่มมูลค่า งานวิจัยนี้จึงศึกษากระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง และศึกษากระบวนการวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบของถ่านอัดแท่ง ในอัตราส่วนผสมทั้ง 12 อัตราส่วนด้วยกัน โดยทำการอัดแท่งเป็นทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายใน 36 และ 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความยาว 100-120 มิลลิเมตร และมีการทดสอบคุณสมบัติค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ทดสอบปริมาณความชื้น ระยะเวลาในการมอดดับ อัตราการเผาไหม้ และความแข็งแรงของถ่านอัดแท่ง ซึ่งผลการทดลองพบว่ามีเพียง 3 อัตราส่วนที่ถ่านอัดแท่งมีความสมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกหรือรอยร้าว คือ อัตราส่วน 10:9:0.5 ,10:10:0.5 และ 10:10:1 ซึ่งผลการทดสอบพบว่าถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมีค่าความร้อนใกล้เคียงกันทั้ง 3 อัตราส่วน ซึ่งมีค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.) ที่กำหนดไว้ว่าถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม และพบว่ามีค่าความชื้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.) ที่กำหนดไว้ว่าถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก โดยอัตราส่วนที่มีอัตราการเผาไหม้ดีที่สุดคือ 10:9:0.5, 10:10:0.5 และ10:10:1 ตามลำดับ และอัตราส่วนที่สามารถรับแรงกระทำในแนวดิ่งได้มากที่สุดคือ 10:10:1, 10:10:0.5 และ10:9:0.5 ตามลำดับ

คำสำคัญ ถ่านอัดแท่ง, ถ่านเหลือจากอุตสาหกรรมผลิตอิฐ, อุตสาหกรรมผลิตอิฐ

Project title Fuel Briquette Produced From Brick Manufactory Waste

Name Mr. Chiranuwat menkoed ID. 57361913

Mr. Prakorn Prakobkasikorn ID. 57362248

Mr. Piyawat kumboon ID. 57362279

Project advisor Dr. Patomsok Wilaipon

Major Mechanical Engineering

Department Mechanical Engineering

Academic year 2017

.....

Abstract

Fuel briquette produced from leftover charcoal was investigated. This research was aimed to increase the value of the waste, the leftover charcoal after brick-baking process at Krungsri Brick Factory in Phitsanulok. The constituent of the briquette including the proximate analysis of the leftover charcoal were studied. The hollow-cylinder shape briquette's outside and inside diameters as well as the length were 36, 7 and 100-200 mm, respectively. The properties of briquette, humidity, extinguish duration, burning rate and mechanical strength were analyzed according to ASTM and Thai Community Product Standard. It was found that the briquettes produced from 10:9:0.5, 10:10:0.5 and 10:10:1 ratio, from 12 studied-ratio, were fracture free. The calorific values of the briquettes were approximately the same, higher than 5000 kcal/kg according to Thai Community Product Standard. It was also found that the highest burning rates was accounted for 10:9:0.5 ratio briquette. The maximum ultimate strength briquette was accounted for 10:10:1 one.

Keyword Briquette ,Brick Manufactory Waste **,** Brick Manufactory

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 นาย มินกร ภักคีโต เจ้าของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี ที่ได้ให้ความรู้ในกระบวนการผลิตอิฐ และ ให้สถานที่ค้นคว้าหาความรู้และสนันบสนุนวัสดุในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ นาย วาฤทธิ์ ภมร ครูช่างประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์เครื่องมือช่างภายในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ตลอดระยะเวลาในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ นาง วิชญา อิ่มกระจ่าง เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์เครื่องมือช่างภายในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ตลอดระยะเวลาในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ ทุกคนที่ช่วยเหลือสนับสนุนทั้งด้านกำลังใจด้วยดีมาโดยตลอด นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลืออีกหลายท่าน ซึ่งผู้เขียนไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้ได้หมด จึงขอขอบพระคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายจิรานุวัฒน เม่นเกิด

นายปรากรณ์ ประกอบกสิกรณ์

นายปิยะวัต คำบุญ

20 มิถุนายน 2561

สารบัญ

หน้า

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

บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน..... 2
1.3 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน..... 2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน..... 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี..... 6
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 6
2.2 ถ่าน..... 14
2.3 ของเสียที่เหมาะสมในการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง
และเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่ต้องพิจารณา..... 19
2.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน-ถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547)..... 23
2.5 วัตถุดิบที่ใช้ทำการทดลอง..... 26
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน..... 32
3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทดลอง..... 32
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 39

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์..... 55
4.1 ผลการทดลอง..... 55
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองของถ่านอัดแท่ง..... 67

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 75
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 75
5.2 ข้อเสนอแนะในการทดลอง..... 77

เอกสารอ้างอิง..... 78

ภาคผนวก ก 80

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน..... 4

3.1 กำหนดอัตราส่วนผสม ผงถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง..... 41

4.1 ค่าความร้อนของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมผลิตอิฐ..... 55

4.2 ค่าความชื้นของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมผลิตอิฐ..... 56

4.3 ค่าสารระเหยของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ..... 56

4.4 ค่าปริมาณเถ้าของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ..... 57

4.5 ค่าคาร์บอนคงตัวของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ..... 58

4.6 ลักษณะของถ่านหลังอัดออกมาตามส่วนผสมระหว่าง ผงถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง..... 58

4.7 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง..... 60

4.8 ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่ง..... 61

4.9 ค่าสารระเหยของถ่านอัดแท่ง..... 62

4.10 ค่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่ง..... 63

4.11 ค่าคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่ง..... 64

4.12 ค่าการทดสอบการต้มน้ำเดือด..... 65

4.13 ค่าการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล..... 66

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 เตาเผาแบบปิดของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี 8

2.2 การเตรียมดินของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี 9

2.3 ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบและขึ้นรูปอิฐมอญของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี 9

2.4 ขั้นตอนนำอิฐไปตากของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี 10

2.5 ขั้นตอนการลำเรียงอิฐเข้าเตาเผาของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี 10

2.6 ขั้นตอนการเผาอิฐและปล่อยให้อิฐคลายความร้อน 11

2.7 เตรียมการจำหน่ายของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี 11

2.8 ป่าไม้เบญจพรรณ 12

2.9 ฟืนไม้เบญจพรรณของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี 13

2.10 ถ่านเศษฟืนที่เหลือจากการเผาไหม้ของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี 13

2.11 ถ่านอัดแท่งตามท้องตลาด 15

2.12 การอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่กำหนด 18

2.13 การทำให้แห้งโดยการนำแท่งถ่านไปผึ่งแดด 19

2.14 แป้งมันสำปะหลัง 29

3.1 ถ่าน หรือของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมผลิตอิฐของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี 33

3.2 แป้งมันสำปะหลัง 33

3.3 น้ำสะอาดทั่วไป 34

3.4 เครื่องชั่งดิจิตอล 34

3.5 บิ๊กเกอร์และไซริงค์ 35

3.6 เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (hammer mill) 35

3.7 เครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด เอนกประสงค์ (UTM) 36

3.8 กระบอกอัดถ่าน 36

3.9 แบบกระบอกอัดถ่านอัดแท่ง 37

3.10 Temperature Controller 38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.11 Heater 38

3.12 แผนภาพการดำเนินงาน 39

3.13 บดถ่านให้ละเอียดก่อนเพื่อเตรียมผสม โดยใช้เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง 40

3.14 ถ่านที่ผ่านการบดละเอียดแล้ว 40

3.15 นำน้ำและแป้งมันสำปะหลังมาผสมเข้าด้วยกันก่อน 42

3.16 ผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังเข้าด้วยกันกับผงถ่านที่เตรียมไว้ 43

3.17 ทำการอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่งโดยใช้เครื่อง UTM 44

3.18 เครื่อง Isoperibol bomb calorimeter model 1261 45

3.19 ชั่งผงถ่านด้วย เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS
รุ่น PA413 พิกัดน้ำหนัก 410 กรัม 45

3.20 จัดลวดให้สัมผัสผงถ่าน 45

3.21 ประกอบ bomb head เข้ากับลูกบอมบ์ 45

3.22 อัดออกซิเจนทำการบอมบ์ 46

3.23 ใส่ลูกบอมบ์ลงใน Bucket 46

3.24 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UF450 47

3.25 อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 47

3.26 เตาเผา ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น Iso temp 48

3.27 อบถ้วยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 48

3.28 นำถ้วยใส่ในโถดูดความชื้น 48

3.29 ชั่งน้ำหนักผงถ่านปริมาณ 1 กรัม 48

3.30 เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส 49

3.31 ผงถ่านหลังการเผา 49

3.32 อบถ้วยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 50

3.33 นำถ้วยใส่ในโถดูดความชื้น 50

3.34 ชั่งน้ำหนักผงถ่านปริมาณ 1 กรัม 50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.35 กระจายผงถ่านออกให้ทั่ว..... 50

3.36 เผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส..... 50

3.37 ผงถ่านหลังการเผา..... 50

3.38 จุดถ่านและจับเวลาจนถ่านติด..... 52

3.39 จับเวลาจนน้ำเดือดและเวลาที่ถ่านนั้นดับลง..... 52

3.40 ทดสอบความแข็งแรงของถ่านอัดแท่ง..... 54

3.41 เพิ่มแรงกดจนถ่านอัดแท่งเกิดการแตกร้าว..... 54

4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าความร้อน (Heating value)..... 67

4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบปริมาณความชื้น (Moisture content)..... 68

4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบปริมาณสาระเหย (Volatile content)..... 69

4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบปริมาณเถ้า (Ash content)..... 70

4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบปริมาณคาร์บอนคงตัว (Carbon stable)..... 71

4.6 กราฟแสดงเวลาต่างๆ ของผลการทดสอบต้มน้ำเดือด..... 72

4.7 กราฟแสดงผลการทดสอบต้มน้ำเดือด..... 73

4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของถ่านอัดแท่ง..... 74

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันนี้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีใช้นับวันมีแต่จะลดน้อยลงทุกวัน โดยเฉพาะทรัพยากรประเภทใช้แล้วหมดไปและกว่าจะสร้างขึ้นมาใหม่ก็ต้องใช้เวลานาน ดังนั้นจึงต้องมีการคิดค้นสิ่งที่จะนำมาทดแทนทรัพยากรเหล่านั้น โดยการนำวัตถุดิบที่เหลือใช้กลับมาพัฒนาปรับปรุงให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นสามารถใช้แทนทรัพยากรธรรมชาติที่หมดสิ้นไป และประหยัดทรัพยากรธรรมชาติได้ ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ให้กลับนามาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีก ก่อให้เกิดความคุ้มค่าของวัสดุเหล่านั้นอย่างแท้จริง ดังนั้นของเหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐเป็นตัวอย่างหนึ่งที่เป็นวัสดุเหลือใช้และหากมองให้เห็นประโยชน์ของการใช้ให้คุ้มค่าจึงมีได้มีการนำกลับมาพัฒนาและใช้ประโยชน์ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ สามารถนำของเหลือจากอุตสาหกรรมการเผาอิฐไปใช้ประโยชน์ได้อีกหากมีการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของของเหลือจากอุตสาหกรรมการเผาอิฐให้เป็นสิ่งที่เกิดประโยชน์ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนต่อไปได้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในสภาวะปัจจุบันประเทศไทยมีอุสาหกรรมการผลิตอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างอยู่มากมายในหลายพื้นที่และการทำอิฐก่อสร้างได้มีการทำกันมาอย่างยาวนานแล้ว โดยจะตั้งแต่เริ่มทำกันเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัวในแถบชนบท ขนาดเล็กบ้างใหญ่บ้างตามความนิยมของทั้งถิ่น ต่อมาได้มีการพัฒนาตั้งโรงงานใช้เครื่องจักรในการผลิตทำให้การผลิตอิฐทำได้ในปริมาณที่มากขึ้นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐได้แก่ ดินเหนียว ทราย แกลบ น้ำ การเลือกใช้วัตถุดิบก็ขึ้นอยู่กับพื้นที่แต่ละพื้นที่ว่าในบริเวณนั้นๆ มีวัตถุดิบเป็นอย่างไรบ้าง ชนิดไหนบ้าง เหมาะสมหรือไม่กับการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐ วัตถุดิบแต่ล่ะชนิดที่นำมาผลิตอิฐก็จะให้คุณสมบัติของอิฐที่ไม่เหมือนกันและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาอิฐนั้น จะเป็นไม้ฟืนชนิดต่างๆ หรือ แกลบ ซึ่งการเลือกใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของเตาเผาอิฐว่าออกแบบมาเพื่อใช้เชื้อเพลิงแบบไหน กรรมวิธีการผลิตโดยทั่วไป คือ การนำเดินเหนียวซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักมาหมักและนวดในโม่ตีดินจนได้ที่กรณีที่มีวัตถุดิบอื่นๆ มาผสมจะต้องทำการผสมกันจนส่วนผสมนั้นเข้ากันดีก่อน แล้วเอามาปั้นหรือพิมพ์ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ซึ่งทั่วไปจะมีแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปก้อนอิฐโดยที่จะสามารถเปลี่ยนหัวพิมพ์ได้หลายแบบตามลักษณะของอิฐที่ต้องการผลิต เสร็จแล้วจึงเอาไปผึ่งลมหรือแดด เมื่อแห้งจึงนำไปเผาในเตาเผาอิฐจนสุกเพื่อเพิ่มความ

แข็งแรงคงทนให้กับก้อนอิฐ ซึ่งก้อนอิฐจะมีสีส้มสวยงามเมื่อเผาจนได้ที่ก็รอเพื่อให้อุณหภูมิในเตาเย็นลงแล้วจึงขนอิฐออกมา เพื่อนำไปใช้งานหรือส่งขายต่อไป และในการผลิตอิฐในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นอิฐมอญ อิฐแดง แต่ละพื้นที่ก็จะมีรูปแบบของอิฐที่แตกต่างกันออกไป แต่จะมีกระบวนการผลิตที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสุดท้ายแล้วในกระบวนการผลิตอิฐก่อสร้างนั้นก็จะมีการเผาอิฐเพื่อเพิ่มความแข็งแรงคงทนให้กับอิฐและเนื่องด้วยในกระบวนการผลิตอิฐนั้นมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเผาอิฐนั้น และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะทำให้เกิดเป็นของเหลือในรูปลักษณะของถ่าน ซึ่งหลายคนอาจมองว่าถ่านที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงนั้นมีประสิทธิภาพหรือมูลค่าที่ต่ำ แต่ที่จริงแล้วในส่วนผสมของถ่านนั้นคือคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่า ถ่านที่เป็นของเหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงนั้นยังสามารถนำไปต่อยอดเพื่อเพิ่มมูลค่าและประสิทธิภาพในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงต่อไปได้อีก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะนำเอาถ่านที่เป็นของเหลือจากการเผาไหม้นั้นมาสร้างมูลค่าเพิ่มด้วยการนำมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนอีกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อนำของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมาสร้างมูลค่าเพิ่มให้ได้สูงที่สุดโดยการนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ให้ความร้อนมาไว้ใช้ในชีวิตประจำวัน

1.2.2 เพื่อศึกษาส่วนผสมระหว่างถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐกับน้ำและแป้งมันสำปะหลัง เพื่อนำมาใช้ในการผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง

1.2.3 เพื่อศึกษากระบวนการวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบของถ่านอัดแท่ง (Proximate analysis)

1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

เพื่อให้โครงงานครั้งนี้บรรลุตามความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงกำหนดขอบเขตไว้ในการผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการการผลิตอิฐ โดยทำการบดอัดวัตถุดิบให้เป็นถ่านอัดแท่งจากนั้นนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยการตากแดด มีคุณสมบัติดังนี้

1.3.1 รูปทรง

มีลักษณะ คือ เป็นแท่งทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 36 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7 มิลลิเมตร ความยาว 100-120 มิลลิเมตร

1.3.2 วัตถุดิบที่ใช้

ผงถ่านหรือของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ น้ำและแป้งมันสำปะหลัง

1.3.3 อัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่ง

จากของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมผลิตอิฐ ประกอบไปด้วยอัตราส่วนของผงถ่านต่อน้ำและแป้งมันสำปะหลังโดยมีอัตราส่วนผสมดังนี้ 10:9:0.5, 10:9:1, 10:9:2, 10:9:3, 10:10:0.5, 10:10:1, 10:10:2, 10:10:3, 10:11:0.5, 10:11:1, 10:11:2 และ10:11:3

1.3.4 สมรรถนะที่ต้องการทราบ

1.3.4.1 ค่าความร้อน (Heating value) ตามมาตรฐาน ASTM D 5865

1.3.4.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามมาตรฐาน ASTM D 3173

1.3.4.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile matters) ตามมาตรฐาน ASTM D 3175

1.3.4.4 ปริมาณเถ้า (Ash content) ตามมาตรฐาน ASTM D 3174

1.3.4.5 ปริมาณคาร์บอน (Fixed carbon) ตามมาตรฐานASTM D 3172

1.3.4.6 การต้มน้ำเดือด

1.3.4.7 คุณสมบัติเชิงกล

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา								
		ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.4.1	เสนอหัวข้อโครงงาน ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการทำงานเพื่อนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนา									
1.4.2	ศึกษากระบวนการผลิตอิฐและกระบวนการผลถ่านอัดแท่งจากแหล่งข้อมูลต่างๆ									
1.4.3	ศึกษากระบวนการ Proximate analysis จากแหล่งข้อมูลต่างๆ									
1.4.4	ศึกษาค้นคว้าโครงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง									
1.4.5	เก็บตัวอย่างข้อมูลจากโรงเผาอิฐ									
1.4.6	นำคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง									
1.4.7	ขั้นตอนการหาคุณสมบัติ การหาค่าความร้อนและการวิเคราะห์ตามกระบวนการ Proximate analysis									
1.4.8	ทดสอบประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่ง									
1.4.9	จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งได้

1.5.2 สามารถเพิ่มมูลค่าของของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐได้

1.5.3 สามารถนำเอาของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ สูงสุด

1.5.4 พัฒนางานวิจัยด้านพลังงานเชื้อเพลิง เพื่อเป็นพลังงานทดแทนต่อไปในอนาคต

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรีตั้งอยู่ ซอยดีสมบูรณ์ หมู่ที่ 6 ถนนหมายเลข1086 ตำบลปากโทก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 เจ้าของกิจการคือ นายมินกร ภักคีโต โทรศัพท์ 055-214071 เป็นโรงงานผลิตอิฐมอญที่มีกำลังการผลิตอิฐมอญมากที่สุดแห่งหนึ่งใน อ.เมือง จ.พิษณุโลก ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยหินกรุงศรี เป็นที่รู้จักของชุมชนและคนต่างอำเภอเป็นอย่างดี ซึ่งอิฐมอญที่ผลิตเป็นที่รู้จักและแพร่หลายเนื่องจากเป็นวัสดุที่เป็นที่จำเป็นต่อการก่อสร้างต่างๆ

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในกรณีศึกษากระบวนการผลิตอิฐมอญและศึกษาของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมาเพิ่มมูลค่าให้ได้สูงที่สุดโดยการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงใช้ในการเผาไหม้ให้ความร้อนมาไว้ใช้ในชีวิตประจำวัน คณะผู้จัดทำได้ใช้ทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องและได้เรียบเรียง เนื้อหาและสรุปความสัมพันธ์เหล่านั้นออกมาเป็นหัวข้อได้ดังนี้

2.1.1 flow chart ขั้นตอนการผลิตอิฐ

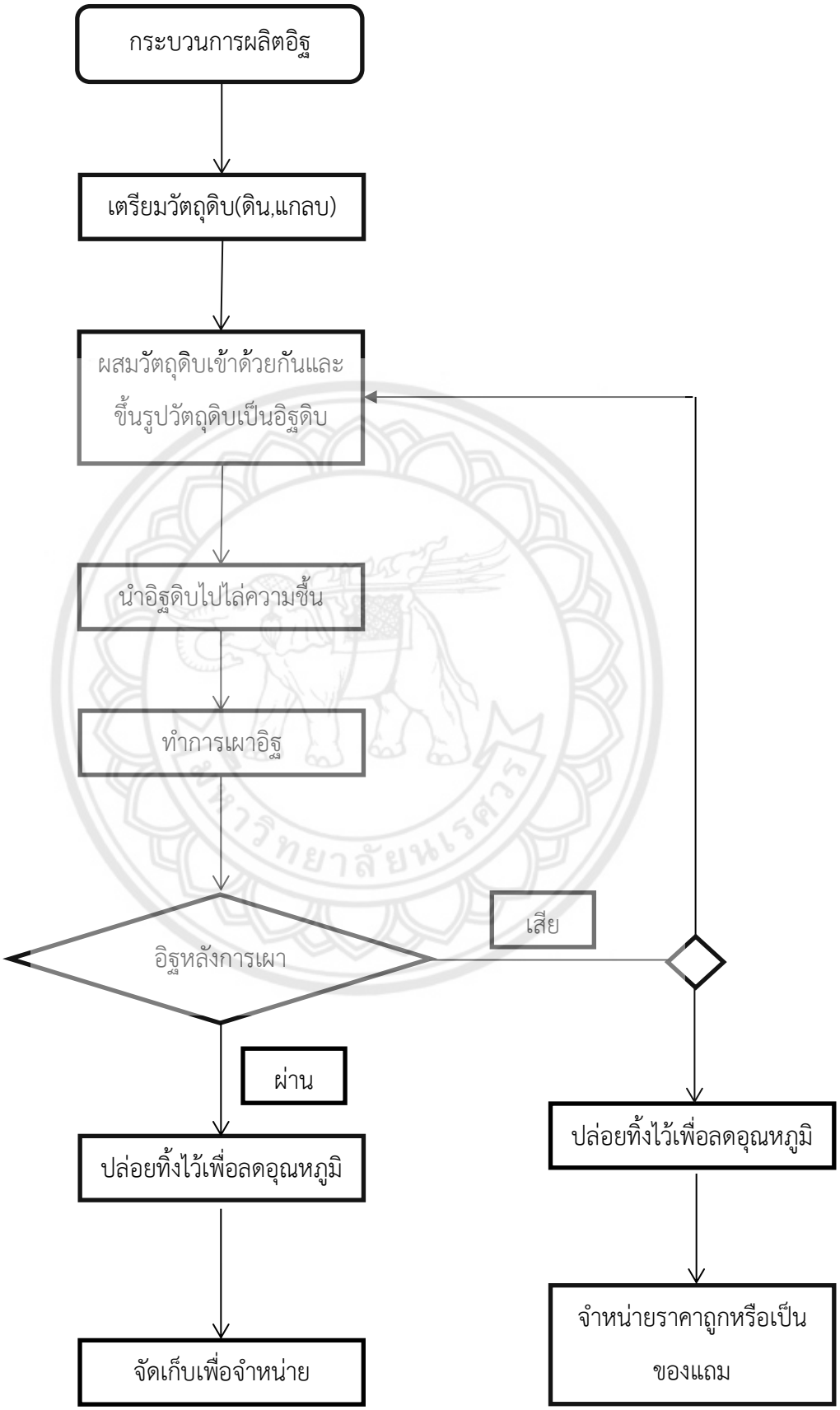
2.1.2 ข้อมูลเตาเผาแบบปิด

2.1.3 กระบวนการเผาอิฐมอญ

2.1.4 ฟืนไม้เบญจพรรณ

2.1.5 ถ่านเศษฟืนที่เหลือจากการเผาไหม้

2.1.1 flow chart ขั้นตอนการผลิตอิฐ



2.1.2 ข้อมูลเตาเผาแบบปิดและกระบวนการเผาอิฐมอญ

เตาเผาแบบปิดมีขนาดความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เมตร สูง 7 เมตร ทรงกรวยคว่ำ สามารถบรรจุอิฐมอญซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบคืออิฐมอญใหญ่บรรจุได้ 50,000 ก้อนต่อหนึ่งเตาและอิฐมอญเล็กบรรจุได้ 80,000 ก้อนต่อหนึ่งเตา แต่โรงงานอุตสาหกรรมอิฐมอญท่อใยหินกรุงศรีมีเตาเผาอิฐมอญ 3 เตาจึงทำการผลิตอิฐมอญได้ประมาณ 150,000 ก้อนต่อเดือน

รูปที่ 2.1 เตาเผาแบบปิดของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี

2.1.3 ขั้นตอนในการผลิตอิฐมอญ

2.1.3.1 ขั้นการเตรียมดิน

ดินที่จะใช้ควรนำมาตากลมไว้ก่อนใช้ 1 – 2 เดือน จะทำให้ดินอ่อนนุ่มและเหนียวดียิ่งขึ้น ถ้าเป็นดินแข็งต้องนำเครื่องบดดินก่อนนำมาย่ำให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นใช้แกลบหรือขี้เถ้า อย่างใดอย่างหนึ่งผสมในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 25 เพราะถ้ามากกว่านี้จะได้อิฐเปราะไม่แข็งแรง

รูปที่ 2.2 การเตรียมดินของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี

2.1.3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปอิฐมอญ

การขึ้นรูปอิฐมอญจะใช้เครื่องกวนดินเหนียวผสมกับแกลบดำในอัตราส่วนที่เหมาะสม เมื่อเครื่องกวนวัตถุดิบผสมจนเข้ากันแล้ว กดปุ่มให้เครื่องขึ้นรูปอัตโนมัติ เมื่อดินเหนียวที่ผสมกับแกลบดำจะไหลผ่านเครื่องขึ้นรูปเป็นรูปทรงตามที่ต้องการ (หัวขึ้นรูปสามารถถอดเปลี่ยนได้) จะทำการตัดอิฐเมื่อได้ขนาดที่กำหนดไว้

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบและขึ้นรูปอิฐมอญของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี

2.1.3.3 ขั้นตอนนำอิฐไปไล่ความชื้น

หลังจากการขึ้นรูปอิฐเสร็จจะนำอิฐไปวางตากแดด ถ้าแดดแรงจะใช้เวลาตากเพียงแค่ 1 วัน หรือนำไปตากในโรงเรือนที่มีพัดลมระบายอากาศ ในวันที่มีโอกาสจะฝนตกเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดความเสียแก่อิฐดิบ

รูปที่ 2.4 ขั้นตอนนำอิฐไปตากของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี

2.1.3.4 ขั้นตอนการลำเรียงอิฐเข้าเตาเผา

การเรียงอิฐในเตาเผาจะใช้คนงานเพียง 2-3 คนเท่านั้น และใช้สายพานลำเรียงเป็นเครื่องทุ่นแรงช่วย โดย 1 คนจะทำการวางอิฐจากด้านล่างสายพาน ส่วนอีก 2 คนจะคอยทำการเรียงอิฐภายในเตา ซึ่งจะใช้เวลาในการเรียงอิฐ 3-4 วัน

รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการลำเรียงอิฐเข้าเตาเผาของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี

2.1.3.5 ขั้นตอนการเผาอิฐและปล่อยให้อิฐคลายความร้อน

การเผาอิฐต้องใช้อุณหภูมิ 1000 องศาตลอดจนอิฐสุกซึ่งใช้เวลาในการเผา 3 วัน ซึ่งหลังจากเผาเสร็จแล้วจะปล่อยให้อิฐคลายความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติ

รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเผาอิฐและปล่อยให้อิฐคลายความร้อน [13]

2.1.3.6 เตรียมการจำหน่าย

รูปที่ 2.7 เตรียมการจำหน่ายของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี

2.1.4 ฟืนไม้เบญจพรรณ

ป่าเบญจพรรณ หรือป่าผสมผลัดใบ เป็นป่าที่มีพรรณไม้เด่น 5 ชนิด ตามความหมายของคำว่า “เบญจะ” คือ ห้า ได้แก่ ไม้สัก มะค่า แดง ประดู่ และชิงชัน พบป่าชนิดนี้ในบริเวณที่มีฤดูกาลแบ่งแยกชัดเจน มีช่วงแห้งแล้งยาวนานเกินกว่า 3 เดือน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,200-1,400 มิลลิเมตรต่อปี ที่ระดับความสูงตั้งแต่ 50 - 800 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ต้นไม้เกือบทั้งหมดในป่าเบญจพรรณจะผลัดใบในฤดูแล้ง โดยเฉพาะตั้งแต่ปลายเดือนมกราคมถึงเมษายน ป่าเบญจพรรณในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักเป็นไม้เด่น ขึ้นคละกับไม้ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจหลายชนิด อาทิ ประดู่ ชิงชัน มะค่าโมง แดง ไผ่ไร่ ไผ่ซางดอย และไผ่หก ส่วนอีกลักษณะหนึ่ง คือ ป่าเบญจพรรณที่ไม่มีไม้สัก มีพรรณไม้เด่นขนิดอื่นขึ้นแทน

สังคมป่าเบญจพรรณมีไม้ยืนต้นกระจายอยู่ห่าง ๆ กัน แสงตกถึงพื้นได้มาก มีพืชตระกูลหญ้าอยู่หลายชนิด ฤดูแล้งมักเกิดไฟป่าขึ้นช่วยเผาเศษซากใบไม้แห้งที่สะสมบนพื้นป่า อีกทั้งไฟยังช่วยกระตุ้นให้เมล็ดไม้หลายชนิดงอกงามดี โดยเฉพาะเมล็ดไม้สัก มะค่า และแดง ป่าชนิดนี้มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ป่า เพราะไม่รกทึบเกินไปและมีพืชอาหารมาก จึงดึงดูดนก แมลง และสัตว์กินพืชต่าง ๆ เข้ามาอาศัย เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้งมีป่าเบญจพรรณที่สมบูรณ์ที่สุดผืนหนึ่งอยู่กว่า 7 แสนไร่ พบว่าเป็นแหล่งอาศัยสุดท้ายของ นกยูง พญาแร้ง และควายป่าในประเทศไทย [10]

โรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรีนั้นใช้ไม้หลักๆในการเผาอิฐคือ ไม้ประดู่และไม้เบญจพรรณชนิดอื่นๆ แต่ต้องเป็นไม้ที่มีเนื้อแข็ง ซึ่งในการเผาอิฐมอญจะต้องใช้ไม้ประมาณ 20 ตันต่อหนึ่งเตา(คิดน้ำหนักตอนที่ไม้ยังสด)

รูปที่ 2.8 ป่าไม้เบญจพรรณ [10]

รูปที่ 2.9 ฟืนไม้เบญจพรรณของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี

2.1.5 ถ่านเศษฟืนที่เหลือจากการเผาไหม้

หลังจากการเผาอิฐครบกำหนด 7 วัน จากการใช้ไม้ฟืน 20 ตันต่อเตาหนึ่งเตานั้น จะได้ถ่านที่เหลือจากการเผาอิฐประมาณ 90 กระสอบ

รูปที่ 2.10 ถ่านเศษฟืนที่เหลือจากการเผาไหม้ของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี

2.2 ถ่าน

ถ่านคือไม้ที่ได้จากการเผาไหม้ภายในบริเวณที่มีอากาศอยู่เบาบางหรืออาจกล่าวในทางเทคนิคก็คือกระบวนการแยกสารอินทรีย์ภายในไม้ในสภาวะที่มีอากาศอยู่น้อยมาก เมื่อมีการให้ความร้อนระหว่างกระบวนการจะช่วยกำจัดน้ำมันดินและสารประกอบอื่นๆ ออกจากไม้ ซึ่งผลผลิตที่ได้จากกระบวนการคือสารต่างๆ ประกอบด้วย สารประกอบหลักคือคาร์บอน (ร้อยละ 80) นอกจากนั้นจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (ร้อยละ 10-20) เถ้า (ร้อยละ 0.5-10) และแร่ธาตุต่างๆ เช่น กำมะถันและฟอสฟอรัส ถ่านที่ได้หลังจากกระบวนการผลิตจะมีปริมาณของคาร์บอนสูงและไม่มีความชื้นทำให้ปริมาณพลังงานในถ่านสูงโดยมีค่าเป็นสองเท่าของปริมาณพลังงานในไม้แห้งสำหรับกระบวนการที่ทำให้สารอินทรีย์ในเนื้อไม้เปลี่ยนรูปเป็นถ่านเรียกว่า “คาร์บอนไนเซชั่น” เราสามารถแยกกระบวนการดังกล่าวเป็น 4 ขั้นตอนได้แก่การเผาไหม้ การลดความชื้น การคายความร้อนและการทำให้เย็น [14]

2.2.1 ถ่านอัดแท่ง

พลังงานทางเลือกในยุคน้ำมันแพงพูดถึงเรื่องพลังงานทางด้านเชื้อเพลิง “ถ่าน” ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในครัวเรือนในการประกอบอาหารประเภทปิ้งย่างฯลฯ โดยเฉพาะอาชีพค้าขายประเภทดังกล่าว เช่น ไก่ย่าง เป็นต้น ที่ต้องใช้ถ่านเป็นประจำเมื่อหลายปีก่อนคนเราจะคุ้นเคยและเคยชินกับถ่านไม้เท่านั้น ซึ่งได้จากการนำแท่งฟื้นไม้มาเผาเป็นถ่านแต่ด้วยพระอัจฉริยะภาพอันยาวไกลของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว พระองค์ทรงเล็งเห็นเกี่ยวกับการขาดแคลนไม้ในอนาคตรวมทั้งพลังงานด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านน้ำมันพระองค์ทรงมีพระราชดำริให้วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนน้ำมันตั้งแต่ราคาน้ำมันยังถูกๆ แต่ด้วยสายพระเนตรอันยาวไกลของพระองค์ท่านจึงเกิดโครงการในพระราชดำริต่างๆ มากมายในปัจจุบันในด้านการผลิตถ่านพระองค์ทรงมีพระราชดำริในการนำวัสดุเหลือใช้เช่นผักตบชวามาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงซึ่งเรียกว่า “เชื้อเพลิงเขียว” และถ่านจากแกลบซึ่งปัจจุบันโครงการส่วนพระองค์ในสวนจิตรดาก็มีโครงการเกี่ยวกับการผลิตถ่านอัดแท่ง ซึ่งเปิดให้ประชาชนทั่วไปเข้าเยี่ยมชมเพื่อจะได้นำความรู้ไปพัฒนาสำหรับการประกอบอาชีพให้เหมาะสมกับตนเองเพื่อความเป็นอยู่ที่พอเพียงต่อไป [14]

รูปที่ 2.11 ถ่านอัดแท่งตามท้องตลาด

2.2.2 กรรมวิธีการผลิต

จำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 ลักษณะคือกระบวนการอัดร้อนและกระบวนการอัดเย็น

2.2.2.1 กระบวนการอัดร้อน (Hot Press Process)

เป็นการอัดวัสดุโดยให้ความร้อนตลอดเวลาที่ทำการอัดโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับวัสดุที่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดเนื้อวัสดุเข้าหากัน จึงทำให้สามารถยึดเกาะขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยที่ไม่ต้องใช้ตัวประสานตัวอย่างวัสดุที่สามารถนำมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดร้อนคือ วัสดุเศษเหลือทางการเกษตร (แกลบ ขี้เลื่อย ยอดอ้อย ฟาง ข้าวเปลือก ผลไม้ ซังข้าวโพด ชานอ้อย ฯลฯ) วัชพืชบก-น้ำ และผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชที่มีแป้งและน้ำตาล (ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวฟ่าง ฯลฯ)

2.2.2.2 กระบวนการอัดเย็น (Cold Press Process)

เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวได้ด้วยความร้อนมี 2 วิธีคือ

ก. การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสานเป็นการอัดเย็นที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปเนื่องจากเครื่องมือและวิธีการที่ง่าย และใช้พลังงานต่ำใช้วัสดุมาผสมกับตัวประสาน โดยทั่วไปจะเป็นแป้งมันสำปะหลังหากวัสดุใดมีขนาดใหญ่ เช่น กะลามะพร้าวต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อน แล้วจึงนำมาผสมกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการ

ข. การอัดเย็นด้วยแรงอัดสูงเป็นการอัดเย็นระบบใหม่ที่ไม่ต้องใช้ตัวประสานแต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้ซึ่งการอัดเย็นประเภทนี้จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูงและยังใช้พลังงานไฟฟ้ามากแต่จะมี

ขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะไม่ต้องผสมตัวประสานและไม่มีความจำเป็นที่จะต้องบดวัสดุก่อนเข้าอัดหากวัสดุไม่ได้มีขนาดใหญ่จนเกินไปนัก [1]

2.2.2.3 กระบวนการเกิดถ่าน

กระบวนการเกิดถ่านเกิดจากกระบวนการที่ทำให้สารอินทรีย์ในเนื้อไม้เปลี่ยนรูปเป็นถ่านเรียกว่า “คาร์บอนไนเซชั่น” (Carbonization) เราสามารถแยกกระบวนการดังกล่าวเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ก. การเผาไหม้ (Carbonization) คือกระบวนการที่ต้องการปริมาณออกซิเจนจำนวนมากระหว่างการเกิดกระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น โดยกระบวนการดังกล่าวจะเป็นการให้ความร้อนกับไม้ภายในเตาเผาถ่านซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในเตาเผาถ่านสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศมากกว่า 500 องศาเซลเซียส หลังจากการสิ้นสุดการเผาไหม้ปริมาณของออกซิเจนภายในห้องเผาไหม้จะลดลงอย่างลวดเร็วและอุณหภูมิของห้องเผาไหม้จะลดต่ำลงจนถึงอุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส

ข. การลดความชื้น (Dehydration) เป็นกระบวนการให้ความร้อนโดยการเผาไหม้เพื่อไล่ความชื้นภายในเนื้อไม้ให้ออกไปอยู่ในรูปของไอน้ำ โดยระหว่างกระบวนการอุณหภูมิของเตาเผาถ่านจะสูงขึ้นทีละน้อยจนกระทั่งถึงอุณหภูมิประมาณ 270 องศาเซลเซียสความชื้นก็จะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งหมดไปซึ่งสังเกตได้จากปริมาณไอน้ำสีขาวที่เกิดขึ้นจนหนาทึบ

ค. การคายความร้อน (Exothermic) หลังจากกระบวนการไล่ความชื้นเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อสิ้นสุดการเผาไหม้จะเข้าสู่ขั้นตอนของการทำให้เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนของไม้โดยทำการกำจัดอากาศไม่ให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเตาเผาถ่านอีกในระหว่างปฏิกิริยาคายความร้อนจะเกิดก๊าซต่างๆ เนื่องจากการแยกสลายทางความร้อน (Paralysis) ของไม้เช่นกรดอะซิติคเมทิลแอลกอฮอล์และน้ำมันดิบซึ่งวัสดุแข็งที่ได้หลังกระบวนการนี้จะเรียกว่า “ ถ่าน” ระหว่างกระบวนการคายความร้อนจะมีควันสีเหลืองและการระเหยของไอน้ำเกิดขึ้นโดยอุณหภูมิภายในเตาเผาจะสูงประมาณ 700 องศาเซลเซียส

ง. การทำให้เย็นตัว (Cooling) เป็นกระบวนการลดความร้อนของเตาเพื่อนำถ่านที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนไนเซชั่นออกจากเตาไพโรไลซิสของไม้และคุณภาพของถ่าน (Wood Pyrolysis and charcoal Qualities) [14]

2.2.2.4 การบดย่อย

ลักษณะผงถ่านที่นำมาใช้ในการอัดแท่งจะต้องละเอียดพอที่จะนำไปขึ้นรูปได้ดี โดยขนาดของผงถ่านที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านและวิธีการทำผงถ่านให้เป็นแท่งวิธีการบดย่อยสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการใช้เครื่องบดเครื่องสับและเครื่องป่นวัสดุหรือวิธีที่ง่ายที่สุดก็คือการบดด้วยมือโดยอาจใช้ครกและสากเป็นอุปกรณ์ซึ่งวิธีนี้ต้องการแรงงานมากและใช้เวลานานซึ่งจากการอัดขึ้นรูปผงถ่านหินขนาดต่างๆ พบว่าในปริมาณตัวประสานที่เท่ากันผงถ่านหินขนาดเล็กมีแนวโน้มในการขึ้นรูปได้ดีกว่าและสามารถรับน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดแท่งแตกหักได้ดีกว่าผงถ่านหินขนาดใหญ่ [14]

2.2.2.5 การผสม

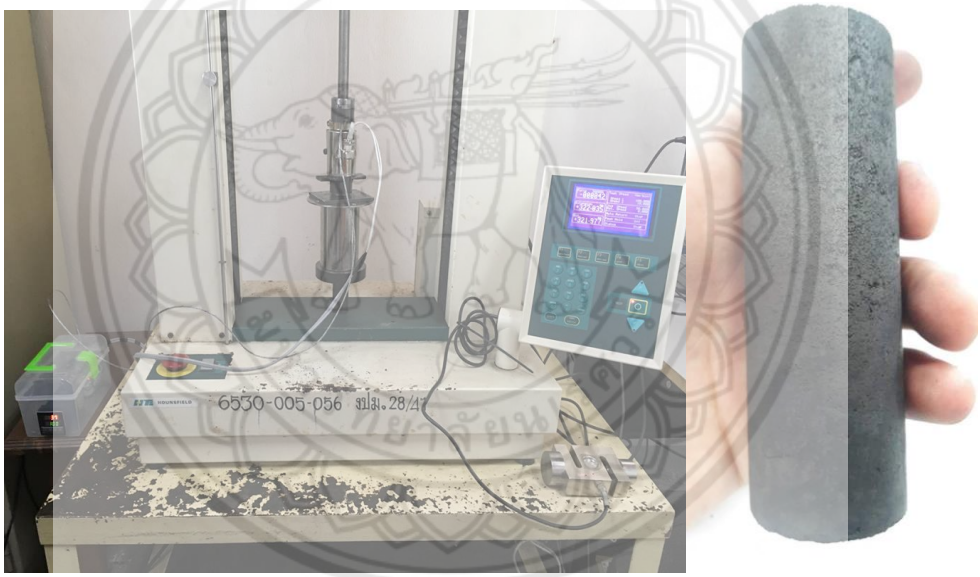
การผสมอัตราส่วนผสมของถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือจากอุตสาหกรรมผลิตอิฐกับแป้งมันสำปะหลังและน้ำจากในกระบวนการผลิต (Regrind) จำนวน 12 อัตราส่วน ประกอบไปด้วยอัตราส่วนของถ่าน แป้งมันสำปะหลังและน้ำ โดยมีอัตราส่วนผสมดังนี้ 10:9:0.5, 10:9:1, 10:9:2, 10:9:3, 10:10:0.5, 10:10:1, 10:10:2, 10:10:3, 10:11:0.5, 10:11:1, 10:11:2 และ10:11:3 เป็นการผสมวัสดุที่ถูกป่นย่อยแล้วกับสารที่จะช่วยประสานวัสดุให้ติดกันง่ายขึ้นลักษณะของตัวประสานที่ดีนั้นนอกจากจะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคสูงแล้วที่อุณหภูมิใช้งานยังต้องเปียกและสามารถปกคลุมพื้นที่ผิวของถ่านได้ทั่วถึง ในการทำถ่านอัดแท่งจากลิกไนท์อบ พบว่าลิกไนท์เมื่อผ่านกรรมวิธีอบแล้วจะขาดคุณสมบัติในการจับตัวเมื่อได้รับแรงกด ดังนั้นจึงต้องมีตัวประสานช่วยซึ่งในต่างประเทศใช้น้ำมันถ่านหิน (Coal tars) มาผสม สำหรับประเทศไทยได้ทดลองใช้ผลิตผลทางการเกษตรเป็นตัวประสานพบว่ากากน้ำตาลและแป้งเปียกเป็นตัวประสานที่ดีถ่านอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวเชื่อมประสานนั้นมีค่าความร้อนสูงกว่า และมีปริมาณเถ้าต่ำกว่าถ่านอัดแท่งที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวเชื่อมประสานแต่ข้อเสียของการใช้กากน้ำตาลคือต้องใช้ปริมาณมากกว่าและเมื่อทิ้งไว้ในอากาศชื้นๆจะดูดความชื้นจากในอากาศเข้าไปทำให้อ่อนตัวลง [14]

2.2.2.6 การอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่กำหนด

ขั้นตอนในการอัดส่วนผสมเป็นแท่งนี้เป็นขั้นตอนในการกำหนดรูปร่างและความแน่นของเนื้อถ่านอัดแท่ง โดยกำหนดรูปทรงถ่านอัดแท่งที่มีทั้งด้านกว้าง ด้านยาวและด้านลึกเป็นภาพที่มีด้าน 3 ด้านหรือเรียกว่า 3 มิติ เป็นส่วนที่แสดงความลึกและมีรายละเอียดต่างๆ รูปทรงของถ่านอัดแท่งที่กำหนดไว้โดยถ่านอัดแท่งรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.6 เซนติเมตร รูปทรงมีลักษณะรูกลวงระบายอากาศตลอดแท่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูกลวงขนาด 0.7 เซนติเมตร ความยาว

ขนาด 10-12 เซนติเมตร ทั้งนี้ขนาดและรูปร่างนั้นจะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการใช้งานและความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งสามารถออกแบบได้ตามลักษณะของเตาแต่ละประเภทก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12

จากวิจัยที่กลุ่มเราทำการศึกษา ทำการศึกษาถึงความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง พบว่าอัตราส่วนที่ความหนาแน่นมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร อัตราส่วนที่ความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:0.5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.40 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีติดไฟได้ง่ายและไฟไม่มอดดับเมื่อเติมเชื้อเพลิงทั้ง 2 อัตราส่วนดังนั้นจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นเหมาะสมจะช่วยให้เกิดการลุกไหม้ให้ความร้อนได้นาน ส่วนเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการลุกไหม้และมอดเร็วไม่สะดวกต่อการใช้งานเพราะต้องเติมเชื้อเพลิงบ่อยๆ แต่ข้อด้อยของเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นมากเกินไปจะทำให้การลุกไหม้เกิดไม่สะดวกและบางครั้งอาจทำให้เชื้อเพลิงดับอีกด้วย



รูปที่ 2.12 การอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่กำหนด

2.2.2.7 การทำให้แห้ง

เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ยังมีปริมาณความชื้นอยู่สูงจึงต้องนำไปตากให้แห้งเพื่อเป็นการลดความชื้นตามมาตรฐานให้ไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนักและเพื่อทำให้เชื้อเพลิงแข็งตัวเกาะกันแน่นซึ่งวิธีที่ง่ายและถูกที่สุดสาหรับการทำให้แห้งก็คือการนำไปผึ่งแดดจนกว่าถ่านจะแห้งสนิทดังแสดงในรูปที่ 2.13

รูปที่ 2.13 การทำให้แห้งโดยการนำแท่งถ่านไปผึ่งแดด

2.3 ของเสียที่เหมาะสมในการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่ต้องพิจารณา

หนึ่งในกระบวนการแปรรูปชีวมวลหรือของเสียเป็นเชื้อเพลิงนั้นกระบวนการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงเป็นวิธีที่มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายในการจัดการกับของเสียที่เป็นชีวมวลหรือวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรและอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เนื่องจากเทคโนโลยีไม่ซับซ้อนวิธีใช้งานไม่ยุ่งยากและเงินลงทุนอุปกรณ์เครื่องจักรไม่สูง

2.3.1 ของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

ของเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทเป็นอินทรีย์สารซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกเผาไหม้จึงจะปลดปล่อยความร้อนออกมา ดังนั้นของเสียประเภทอินทรีย์สารแทบทุกชนิดจึงมีความเป็นไปได้หากจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะของเสียที่ให้ค่าความร้อนสูง เมื่อถูกเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ดีนั้นนอกจากจะให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้สูงแล้วเมื่อถูกเผาไหม้จะต้องก่อให้เกิดมลสารในอากาศจากการเผาไหม้ต่ำที่สุดด้วย ขณะเดียวกันไอระเหยจากการเผาไหม้จะต้องไม่สร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์ที่นำไปใช้งานดังนั้นหากมีการนำของเสียอุตสาหกรรมมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงจะต้องตรวจสอบปริมาณสารอันตรายที่ปนเปื้อนในของเสียด้วยเนื่องจากของเสียอุตสาหกรรมมีโอกาสปนเปื้อนสารอันตรายมากกว่าชีวมวล [1]

2.3.2 คุณสมบัติที่ต้องพิจารณาก่อนนำของเสียอุตสาหกรรมมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

ของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงจะต้องได้รับการตรวจสอบความเหมาะสมทั้งในแง่การปนเปื้อนสารอันตรายและคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงดังนี้

2.3.2.1 การปนเปื้อนสารอันตราย

สารอันตรายที่ไม่ควรมีอยู่ในของเสียที่จะนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงเนื่องจากมีโอกาสสูงที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและความเสียหายต่ออุปกรณ์ที่นำไปใช้งานได้แก่

ก. สารออกซิไดเซอร์ (Oxidizer) เช่นอะลูมิเนียม ไนเตรท แอมโมเนียมไนเตรท แบเรียมคลอเรตโบรมีนเพนตะฟลูออไรด์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อะเซทิลอะซีโตนเปอร์ออกไซด์อะซิทิลเบนโซ-อิลเปอร์ออกไซด์อะเซทิลไซโคลเฮกเซนซัลโฟนิลเปอร์ออกไซด์

ข. สารที่ก่อให้เกิดการระเบิดเมื่อถูกทำให้ร้อนเช่นสารประกอบแอมโมเนียสารประกอบไดโครเมต

ค. สารกัดกร่อนที่เป็น Strong Oxidizing Agent เมื่อได้รับความร้อนหรือทำปฏิกิริยากับโลหะซึ่งมีทั้งกรดอนินทรีย์ได้แก่กรดไนตริกกรดไฮโดรฟลูออริกกรดเปอร์คลอริกและสารประกอบฮาโลเจนได้แก่คลอรีนและฟลูออรีน

นอกจากสารอันตราย 3 กลุ่มนี้แล้วยังต้องตรวจสอบการปนเปื้อนสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายรวมถึงโลหะหนักชนิดต่างๆ ในของเสียเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่เป็นอันตรายตามภาคผนวกที่ 2 ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมพ.ศ.2548 ด้วยโดยชนิดสารอันตรายปนเปื้อนในของเสียที่ควรตรวจสอบสามารถพิจารณาได้จากสารเคมีที่ใช้งานในกระบวนการที่ก่อให้เกิดของเสียนั้นๆ เนื่องจากหากนำของเสียที่เป็นอันตรายมาเป็นวัตถุดิบผลิตแท่งเชื้อเพลิงและใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักโดยไม่มีระบบกำจัดมลพิษอากาศที่มีประสิทธิภาพเพียงพออาจเกิดมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ใกล้เคียงและอุปกรณ์ที่นำเชื้อเพลิงไปใช้ ดังนั้นในกรณีที่เป็นการนำของเสียอันตรายมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงแท่งเชื้อเพลิงนั้นจะต้องถูกนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่มีการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียสและได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมให้นำของเสียอันตรายมากำจัดโดยวิธีการเผาเท่านั้น แต่หากเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากของเสียที่ไม่เป็นอันตรายก็จะสามารถนำไปใช้กับหน่วยผลิตไอน้ำหรือหน่วยผลิตความร้อนของโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปเช่นหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มน้ำมันร้อน (Hot oil) ซึ่งอุณหภูมิไม่เกิน 350 องศาเซลเซียสได้ [1]

2.3.2.2 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

ก. ค่าความร้อน (Calorimetric Value or Heating Value)คือปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อของเสียถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์หรือเรียกว่าความร้อนของการเผาไหม้แบ่งเป็น 2 ประเภทคือค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำมีหน่วยเป็นกิโลจูล (kJ) หรือกิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมของเสีย (kcal/kg)

ข. ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) เป็นปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเสียซึ่งรวมถึงปริมาณความร้อนแฝงที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำที่เป็นองค์ประกอบของของเสียเกิดการควบแน่น

ค. ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) เป็นค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเสียที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝง

ง. ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำที่ตรวจวัดได้ในของเสียชนิดหนึ่งจะแตกต่างกันเสมอ โดยค่าความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในของเสีย ดังนั้นในกรณีของเสียมีความชื้นมากๆ อาจใช้วิธีการตากแดดหรือผึ่งลมเพื่อลดความชื้นในของเสียแล้วตรวจวัดเฉพาะค่าความร้อนสูงก็ได้ เนื่องจากในระหว่างการผลิตเชื้อเพลิงแท่งนั้นกระบวนการอัดและการตากแห้งแท่งเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้จะทำให้น้ำในของเสียถูกกำจัดออกไปบางส่วนและคงเหลือในแท่งเชื้อเพลิงอีกบางส่วน

จ. ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) คือ องค์ประกอบในของเสียที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน ของเสียที่มีปริมาณสารระเหยได้สูง จะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูงด้วย อย่างไรก็ตาม สารที่ระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำวัสดุเชื้อเพลิงไปใช้งาน เช่น สารอัลคาไลน์ในทะลายปาล์มจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดท่อน้ำในห้องเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำลดลง

ฉ. ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่หลังจากที่ตากแห้งของเสีย ความชื้นของของเสียมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง โดยหากของเสียมีความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง

ช. ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) คือ ปริมาณสารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยาก โดยจะคงเหลืออยู่ในของเสียหลังจากที่เผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ของเสียที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจึงมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน

ซ. กำมะถันรวม (Total Sulfur) เมื่อกำมะถันทำปฏิกิริยาสันดาปกับออกซิเจนจะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังนั้นหากของเสียที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมากจึงไม่เหมาะจะเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากจะเกิดมลสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ในปริมาณมากด้วย

ฌ. เถ้า (Ash) คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาป ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ หรือเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้นั่นเอง ดังนั้น หากของเสียมีขี้เถ้าปริมาณมาก จะเป็นปัญหาในการเผาไหม้และเพิ่มความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าที่เกิดขึ้น [1]

2.3.3 เกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

ของเสียที่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการอัดแท่งแล้วกลายเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติสูงนอกจากจะมีค่าความร้อนสูงแล้วยังจะต้องมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนที่เผาไหม้ได้ โดยเฉพาะคาร์บอนคงตัวในปริมาณสูงแต่มีองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้หรือเถ้าในปริมาณน้อยเนื่องจากเป็นของเสียที่ต้องกำจัดออกจากห้องเผาไหม้นอกจากนี้ยังจะต้องมีกำมะถันรวมในปริมาณน้อยเพื่อไม่ให้ปริมาซัลเฟอร์ไอออกไซด์สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับความชื้นในของเสียแม้ว่าการตากแดดหรืออบแห้งสามารถลดความชื้นในของเสียได้แต่ก็จะเป็นการเพิ่มขั้นตอนและความยุ่งยากในการดำเนินงานและอาจเพิ่มต้นทุนการผลิตหากต้องใช้วิธีลดความชื้นด้วยการอบแห้งโดยสรุปคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของของเสียที่เหมาะสมสำหรับนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแท่งได้แก่

คุณสมบัติของเสียที่สามารถแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง	
ค่าความร้อน (Heating Value)	สูง
คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	สูง
ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Mattetrs)	สูง
เถ้า (Ash)	ต่ำ
ความชื้น (Moisture Content)	ต่ำ
กำมะถันรวม (Total Sulfur)	ต่ำ

สำหรับเกณฑ์คุณสมบัติของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแท่งทั้งในด้านการปนเปื้อนสารอันตรายและคุณสมบัติขั้นต่ำทางเชื้อเพลิงโดยพิจารณาจากข้อมูลคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง มีดังนี้"

การปนเปื้อนสารอันตราย	ไม่ปนเปื้อนสารอันตรายต่อไปนี้ - สารออกซิไดเซอร์ (Oxidizer) - สารที่ก่อให้เกิดการระเบิดเมื่อถูกทำให้ร้อน - สารกัดกร่อนที่เป็น Strong Oxidizer
ค่าความร้อน	ไม่ควรต่ำกว่า 3,000 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม
คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	ไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 15
เถ้า (Ash)	ไม่ควรเกินร้อยละ 20
กำมะถันรวม (Total Sulfur)	ไม่ควรเกินร้อยละ 2 [1]

2.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน-ถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547)

2.4.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะถ่านอัดแท่งที่ทำจากถ่านผงหรือถ่านเม็ดมาอัดเป็นแท่ง หรือทำจากวัสดุธรรมชาติมาอัดเป็นแท่งแล้วเผาจนเป็นถ่าน

2.4.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

2.4.2.1 ถ่านอัดแท่ง

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

2.4.2.2 ค่าความร้อน

หมายถึง พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหนัก 1 กรัม มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม

2.4.3 คุณลักษณะที่ต้องการ

2.4.3.1 ลักษณะทั่วไป

ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปทรงเดียวกัน ขนาดใกล้เคียงกัน มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะ อาจแตกหักได้บ้าง

2.3.3.2 การใช้งาน

เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควันและกลิ่น

2.4.3.3 ความชื้น

ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

2.4.3.4 ค่าความร้อน

ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม

2.4.4 การบรรจุ

2.4.4.1 หากมีการบรรจุ ให้บรรจุถ่านอัดแท่งในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับถ่านอัดแท่งได้

2.4.4.2 น้ำหนักสุทธิของถ่านอัดแท่งในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

2.4.5 เครื่องหมายและฉลาก

ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุถ่านอัดแท่งทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

2.4.5.1 ชื่อผลิตภัณฑ์

2.4.5.2 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำ

2.4.5.3 น้ำหนักสุทธิ

2.4.5.4 เดือน ปีที่ทำ

2.4.5.5 ข้อแนะนำในการใช้

2.4.5.6 ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

2.4.6 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

2.4.6.1 รุ่น

ในที่นี้ หมายถึง ถ่านอัดแท่งที่ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2.4.6.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ

ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

ก. การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุและเครื่องหมายและฉลากให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวนไม่น้อยกว่า 3 กิโลกรัม เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 2.4.3.1 ข้อ 2.4.4 และข้อ 2.4.5 จึงจะถือว่าถ่านอัดแท่งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ข. การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการใช้งาน ความชื้น และค่าความร้อน ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 2.4.6.2 แล้ว จำนวนไม่น้อยกว่า ๓ กิโลกรัม เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 2.4.3.2 ถึงข้อ 2.4.3.4 จึงจะถือว่าถ่านอัดแท่งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ค. เกณฑ์ตัดสินตัวอย่างถ่านอัดแท่งต้องเป็นไปตามข้อ 2.4.6.1 และข้อ 2.4.6.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าถ่านอัดแท่งรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

2.4.7 การทดสอบ

2.4.7.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

2.4.7.2 การทดสอบการใช้งานให้ทดสอบโดยการจุดตัวอย่างถ่านอัดแท่ง แล้วตรวจพินิจ

2.4.7.3 การทดสอบความชื้นให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 3173

2.4.7.4 การทดสอบค่าความร้อนให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 5865

2.4.7.5 การทดสอบน้ำหนักสุทธิให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม [11]

2.5วัตถุดิบที่ใช้ทำการทดลอง

2.5.1 ถ่านไม้

2.5.1.1 ความเป็นมาของถ่านไม้

ถ่านไม้อยู่คู่กับสังคมไทยมาช้านานแต่ถ้ามองให้ไกลออกไปก็จะพบว่าถ่านไม้มีความ สัมพันธ์กับสังคมมนุษย์มาไม่น้อยกว่า 450,000 ปีล่วงมาแล้วโดยเฉพาะเมื่อสังคมมนุษย์เริ่มเข้าสู่ยุคเหล็ก (Iron Age) เป็นต้นมาและมนุษย์เริ่มรู้จักการนำเอาแร่เหล็กมาถลุงเพื่อใช้ทำภาชนะต่างๆ เพื่อใช้ในการดำรงชีพและใช้สร้างอาวุธไว้ต่อสู้ป้องกันตัวและเป็นเครื่องล่าสัตว์ถ่านไม่จึงเข้ามามีบทบาทกับวิถีชีวิตมนุษย์ตั้งแต่นั้นมาประกอบกับในช่วงระยะเวลาดังกล่าวทรัพยากรป่าไม้มีอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ง่ายต่อการนำมาใช้ประโยชน์จึงทำให้เกิดการคิดค้นวิธีการใช้ประโยชน์จากไม้โดยผลิตเป็นถ่านขึ้นซึ่งให้พลังงานความร้อนสูงกว่าไม้ฟืนธรรมดาทั่วไป

ในระยะต่อมาได้มีอุตสาหกรรมผลิตถ่านเกิดขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตของสังคมมนุษย์อีกทั้งยังใช้เป็นเชื้อเพลิงในชีวิตประจาวันเช่นใช้ในการประกอบอาหารให้ความอบอุ่นแก่ร่าง กาย เป็นต้นโดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นได้มีอุตสาหกรรมผลิตถ่านไม้มาแล้วไม่น้อยกว่า 15 ศตวรรษและยังนำเอาควันที่เกิดขึ้นในการผลิตถ่านมาใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ก่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจนอกเหนือจากผลผลิตถ่านไม้ที่ผลิตได้อาจกล่าวได้ว่าประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาเทคนิควิธีการและใช้ประโยชน์จากขั้นตอนการผลิตถ่านไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยเฉพาะน้ำส้มไม้ (Wood Vinegar)ญี่ปุ่นได้ผลิตขึ้นใช้ในรัชสมัยเมจิเทียบได้กับรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวของประเทศไทย

ปริมาณการผลิตถ่านไม้ของประเทศญี่ปุ่นเมื่อประมาณ 50 ปีที่แล้ว (ค.ศ.1957-1958,2500-2501) สามารถผลิตถ่านไม้ได้เฉลี่ยปีละ 2.2 ล้านตันและมีปริมาณลดลงเรื่อยมาจนกระทั่ง ปีค.ศ. 1971 (2514) ผลิตถ่านไม้ได้เพียงปีละ 60,000 ตันทำให้ผู้ประกอบการผลิตถ่านไม้รวมตัวกันเป็นสมาคมผู้ผลิตถ่านไม้ขึ้นในปี1985 (2528) (SUMIYAKI-NO-KAI) เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งในเรื่องความนิยมของผู้บริโภคและเทคนิควิธีการผลิตถ่านไม้ให้ได้คุณภาพสูงโดยการวิจัยและพัฒนาการผลิตถ่านไม้อย่างเป็นระบบและยังได้ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนได้รับทราบและเห็นคุณค่าการใช้ถ่านไม้และน้ำส้มไม้ในวิถีชีวิตประจำวันได้หลากหลายขึ้น

สำหรับประเทศไทยนั้นการใช้ถ่านไม้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มยังพบได้ในท้องถิ่นชนบทห่างไกลหรือในชุมชนเมืองบางส่วนยังใช้ถ่านไม้ในวิถีชีวิตประจำวันอยู่แต่การผลิตถ่านไม้ในสังคมไทยผู้ผลิตยังถูกมองว่าเป็นต้นเหตุของการตัดไม้ทำลายป่าและสร้างมลภาวะให้กับ

สภาพแวดล้อมอีกทั้งกฎหมายระเบียบปฏิบัติของหน่วยงานที่ดูแลเรื่องนี้อยู่ก็ไม่เอื้อต่อผู้ผลิตถ่านไม้ที่จะคิดค้นพัฒนาเทคนิควิธีการผลิตถ่านไม้ให้มีคุณภาพสูงรวมถึงการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ทั้งที่ในประเทศมีการผลิตถ่านไม้ได้ไม่ต่ำกว่าปีละ 3 ล้านตันโดยมีผลผลิตเฉลี่ยประมาณไม่เกินร้อยละ 20 ถ้าหากได้มีการพัฒนาและวิจัยกระบวนการผลิตถ่านไม้จะสามารถเพิ่มผลผลิตขึ้นเป็นร้อยละ 30 ทำให้ประหยัดไม้ฟืนได้อย่างน้อยปีละ 5 ล้านตันรวมทั้งควันที่ปล่อยทิ้งอย่างน่าเสียดายหากนำมาผลิตน้ำส้มไม้จะได้ผลผลิตปีละ 750,000 ลิตรและยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

การเผาถ่านในยุคแรกๆ (กว่า 10,000 ปีมาแล้ว) จะนำท่อนไม้มาเรียงทับกันแล้วจุดไฟจากนั้นจึงกลบด้วยดินเตาเผาถ่านในลักษณะนี้จึงเรียกว่าเตาผีเตาหลุม (เหมือนกับการฝังศพคน) แต่วิธีการดังกล่าวให้ผลผลิตในปริมาณและคุณภาพต่ำเนื่องจากอากาศสามารถไหลผ่านดินที่กลบไว้ได้ทำให้ไม่สามารถควบคุมอากาศภายในได้ตามต้องการปัจจุบันได้มีการพัฒนาเตาผลิตถ่านไม้อย่างต่อเนื่องจนได้เป็นเตาผลิตถ่านที่ผนึกแน่นสามารถควบคุมอากาศได้ตามต้องการทำให้สามารถผลิตถ่านไม้ได้ผลผลิตและคุณภาพดีขึ้นเช่นเตาเผาถ่าน 200 ลิตรเตากรมป่าไม้เตาอิวาเตะ เป็นต้น [14]

2.5.1.2 คุณสมบัติที่ดีของถ่านไม้

ถ่านไม้คือผลผลิตที่ได้หลังจากไม้ถูกสลายตัวด้วยความร้อนและมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะตัวของไม้แต่ละชนิดและกระบวนการผลิตถ่านถ่านไม้ที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

คาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon)	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75
มีสารระเหยได้ (Volatile)	ไม่เกินร้อยละ 25
มีขี้เถ้า (Ash)	ไม่เกินร้อยละ 4
มีถ่านป่น (Fine)	ไม่เกินร้อยละ 10
มีความชื้น (Moisture)	ไม่เกินร้อยละ 10
มีค่าความร้อน (Heating Value)	ไม่น้อยกว่า 7,000 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม
มีค่าความแข็ง (Hardness)	ไม่น้อยกว่าระดับ 5
ต้องมีความพรุน (Porosity)	สูง
มีพื้นที่ผิว	ไม่น้อยกว่า 200 ตารางเมตร/กรัม
มีความต้านทานไฟฟ้า	ต่ำ
มีความเป็นด่าง	สูง pH ประมาณ 8-9

โดยสรุปถ่านที่ดีต้องมีลักษณะดังนี้

ก. มีควันน้อย

ข. ไม่มีการแตกหรือระเบิดขณะจุดติดไฟ

ค. มีความแกร่ง

ง. หักถ่านดูรอยหักต้องมีความมันวาว

จ. เวลาเคาะมีเสียงกังวาน

ฉ. มีความหนาแน่นสูง

ช. มีค่าความร้อนสูง [14]

2.5.2 แป้งมันสำปะหลัง

ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยในปี 2544 มีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรวมทั้งสิ้นประมาณ 5.57 ล้านตันคิดเป็นมูลค่าการส่งออกประมาณ 18,150 ล้านบาทแต่ผลิตภัณฑ์ที่ส่งออกเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของมันเส้นมันอัดเม็ดและแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีราคาต่ำและยังขึ้นอยู่กับปัจจัยจากตลาดต่างประเทศทั้งในเรื่องราคาและปริมาณความต้องการที่ไม่แน่นอนดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าจึงควรใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังในรูปแบบที่เป็นผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องทางอุตสาหกรรมโดยเฉพาะแป้งมันสำประหลังที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบทางอุตสาหกรรมได้อย่างมากมายโดยแป้งมันสำปะหลังสามารถใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้

2.5.2.1 อุตสาหกรรมสารให้ความหวาน

2.5.2.2 อุตสาหกรรมผงชูรส

2.5.2.3 อุตสาหกรรมผลิตแอล-ไลซีน (L-lysine)

2.5.2.4 อุตสาหกรรมแป้งดัดแปรง (modified starch) [14]

งานวิจัยนี้ได้นำแป้งมันสำปะหลังมาใช้เป็นตัวประสานให้กับการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งเพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้กับถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 2.14 แป้งมันสำปะหลัง

2.5.3 น้ำ

น้ำ (Water) จะช่วยในการผสมให้เข้ากันระหว่างผงถ่านกับแป้งมันสำปะหลัง และยังช่วยให้ผงถ่านจับตัวกันมากขึ้น ง่ายต่อการบรรจุลงในกระบอกเครื่องอัดแท่งถ่าน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริชัย ต่อสกุล พร้อมคณะ การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวที่เป็นส่วนผสมหลักมาผสมกับกะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ถ่านไม้ เบญจพรรณ ในอัตราส่วนผสมที่ 70:30 , 60:40 ,50:50 , 40:60 และ 30:70 ได้มีการทดสอบคุณสมบัติค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ทดสอบปริมาณความชื้น และทดสอบระยะเวลาในการมอดดับของถ่านอัดแท่ง ผลการทดสอบพบว่าถ่านอัดแท่งกากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าวกับถ่านอัดแท่งกากมะพร้าวผสมขี้เลื่อยมีค่าความร้อนใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.) ที่กำหนดไว้ว่าถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และพบว่าถ่านอัดแท่งกากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าวกับถ่านอัดแท่งกากมะพร้าวผสมขี้เลื่อยมีปริมาณความชื้นต่ำ ส่วนระยะเวลาในการมอดดับที่ใช้เวลานานที่สุด คือถ่านอัดแท่งกากมะพร้าวผสมไม้เบญจพรรณกับถ่านอัดแท่งกากมะพร้าวผสมถ่านไม้ และอัตราส่วนผสมที่ให้ค่าความร้อนสูงคือกากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าว, กากมะพร้าวผสมขี้เลื่อยที่อัตราส่วน 30:70 ส่วนกากมะพร้าวผสมถ่านไม้เบญจพรรณที่อัตราส่วน 70:30 ซึ่งกากมะพร้าวผสมขี้เลื่อย, กะลามะพร้าวจะให้ค่าความร้อนที่สูงกว่ากากมะพร้าวผสมถ่านไม้เบญจพรรณ และส่วนผสมที่ให้ปริมาณความชื้นต่ำคือ กากมะพร้าวผสม กะลามะพร้าว, ขี้เลื่อย, ถ่านไม้เบญจพรรณ ที่

อัตราส่วนผสม 30:70 แล้วระยะเวลาในการมอดดับคือ ส่วนผสมกากมะพร้าวกับกะลามะพร้าว, ขี้เลื่อย, ถ่านไม้เบญจพรรณ ที่อัตราส่วน 70:30 [14]

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ โดยศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง โดยทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชุน (มผช.238/2547) มลภาวะ ต้นทุนต่อหน่วยและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์จากการผลิตถ่านอัดแท่ง ผลการศึกษาพบว่าผลทางด้านสมรรถนะทางความร้อน สรุปได้ว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังในอัตราส่วน 9 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 6,580.10 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม และอัตราส่วน 1 : 9 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนต่ำสุดเท่ากับ 4,514.13 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม ผลการทดสอบมลภาวะจากการเผาไหม้ถ่านอัดแท่ง พบว่า ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีปริมาณเท่ากับ195 ppm ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เท่ากับ 26 ppm คาร์บอนไดออกไซด์ 9.11 ppm และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีปริมาณมากกว่า 4,000 ppm มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลง สัมพันธ์กับปริมาณคงเหลือของวัสดุหลังการเผาไหม้ ซึ่งในด้านสมรรถนะเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชุน (มผช.238/2547) ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังในอัตราส่วน 3 : 7 มีค่าสมรรถนะทางความร้อน เท่ากับ 5,003 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.) มีต้นทุนการผลิต เท่ากับ 5.35 บาทต่อกิโลกรัม และเมื่อมีกำลังการผลิตที่ 400 กิโลกรัม/วัน จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 1.4 ปี [12]

สังเวย เสวกวิหารี ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุดการวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ นำเปลือกมังคุดที่เป็นของเหลือทิ้งจากภาคครัวเรือน มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เชื้อเพลิงนี้ใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งแทนการใช้ฟืนและถ่านไม้จากป่าธรรมชาติโดยมีกาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน ผ่านกระบวนการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดมือ พบว่าเปลือกมังคุดสามารถนำมาเผาได้ถ่านเปลือกมังคุด มีสีดำ น้ำหนักเบา นำมาบดให้ละเอียดจนเป็นผงถ่าน ผสมผงถ่านเปลือกมังคุดกับกาวแป้งเปียก คลุกเคล้าให้เข้ากัน นำมาอัดให้เป็นแท่งเชื้อเพลิง ได้แท่งเชื้อเพลิงคงรูปไม่แตกหัก เมื่อนำไปตากแดดจนแห้ง ผลการทดสอบศักยภาพด้านพลังงาน พบว่า มีค่าความร้อนเท่ากับ 5920 แคลอรีต่อกรัม มีอัตราการเผาไหม้ 11.80 กรัมต่อนาที ปริมาณคาร์บอนเสถียรร้อยละ 61.7 ปริมาณเถ้าร้อยละ 7 สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด สามารถใช้งานหุงต้มได้ดี ไม่มีการแตกปะทุ ติดไฟได้ดี ให้มีเขม่า ไม่มีควันและไม่มีกลิ่น

รบกวนขณะใช้งาน แท่งเชื้อเพลิงนี้จึงเหมาะสำหรับการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในครัวเรือน ชุมชน หรือผลิตเพื่อการค้า และในอุตสาหกรรม [15]

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์(กำแพงแสน) ถ่านอัดแท่งจากเถ้าไม้ยางพารา วิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเถ้าไม้ยางพาราที่เหลือจากการใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนในกระบวนการต้ม บอยเลอร์ (Boiler)มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชน โดยศึกษาประสิทธิภาพคือ สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง แท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ใช้กากน้ำตาลที่อัตราส่วนต่าง ๆ เป็นตัวประสาน อัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดเย็นและได้ทำการทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 4,837กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และมีค่าความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 4.5 อัตราส่วนที่มีความหนาแน่นมากที่สุดคือ อัตราส่วน 7.5:0:5 เพราะเป็นอัตราส่วนที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานพียงอย่างเดียว การทดสอบหาคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงและความร้อน ถ่านที่ใช้ไขมันเป็นตัวประสานจะติดไฟได้ดี ติดไฟเร็ว แต่เวลาการเผาไหม้จนเป็นเถ้าจะน้อย เพราะกากไขมันช่วยเพิ่มความหนาแน่นและเพิ่มค่าความร้อนให้ถ่าน แต่การยึดเกาะจะไม่ดีนักจึงทำให้เป็นเถ้าเร็ว [8]

บทที่3
วิธีการดำเนินโครงงาน

การผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในชีวิตประจำวัน โดยคำนึงถึงการใช้ของเหลือจากการเผาไหม้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งจำนวนของถ่านที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐนั้นมีจำนวนมากพอสมควรและมีมูลค่าน้อย ดังนั้นการนำเอาถ่านที่เป็นของเหลือจากการเผาไหม้มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเป็นการเพิ่มมูลค่าของถ่านให้เพิ่มขึ้น ซึ่งในวิธีการผลิตนี้จะมีการบดถ่านที่เป็นของเหลือจากการเผาไหม้ให้ละเอียดก่อนนำมาผสมกับวัตถุดิบที่จะช่วยผสานให้ผงถ่านสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่งได้ตามอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วอัดเป็นแท่งผึ่งลมหรือตากแดดให้แห้งก็สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นได้ต่อไป

3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทดลอง

จากการเก็บข้อมูลและสอบถามถึงปัญหาและความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมท่อใยอิฐกรุงศรี พบว่าถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ในการเผาอิฐนั้นมีปริมาณที่มากแต่มีมูลค่าต่ำเลยมีความต้องการที่จะเพิ่มมูลค่าให้กับถ่านเหล่านั้น ดังนั้นจึงนำถ่านที่เป็นของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมาเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและผลิตถ่านอัดแท่งนั้นจะมีอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อเป็นชุดทดลองการผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อเลือกสูตรที่ดีและสมบูรณ์ที่สุดในการผลิตถ่านอัดแท่ง

3.1.1 วัสดุ

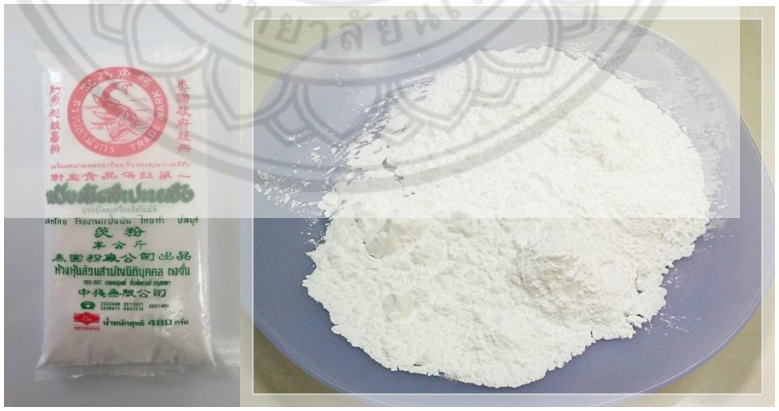
3.1.1.1 ถ่าน หรือของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ

ถ่าน เป็นวัตถุดิบหลักในการนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยก่อนที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งต้องทำการบดถ่านให้กลายเป็นผงถ่านละเอียดก่อนผสมกับวัสดุอื่น แล้วจึงนำไปอัดขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่งใช้เป็นเชื้อเพลิงส่งขายและเก็บไว้ใช้เองในชีวิตประจำวัน ซึ่งลักษณะของถ่าน หรือของเหลือจากการเผาไหม้นั้นก็มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ถ่าน หรือของเหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมผลิตอิฐ
ของโรงงานอุตสาหกรรมอิฐท่อใยอิฐกรุงศรี

3.1.1.2 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลัง ทำมาจากหัวมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงสีขาวจับผิวสัมผัสของแป้งจะเนียนลื่นมือเมื่อทำให้สุกจะเหลวเหนียวหนืด เมื่อพักให้เย็นจะมีลักษณะเหนียวเหนอะหนะคงตัวนิยมนำมาผสมกับอาหารที่ต้องการความเหนียวหนืดและใส เช่น ทับทิมกรอบ เต้าส่วน ฯลฯ ด้วยลักษณะของแป้งมันที่เหนียวจึงนำมาเป็นส่วนผสมหรือใช้เป็นตัวผสานระหว่างวัสดุที่ใช้มาทดลองซึ่งลักษณะแป้งมันสำปะหลังก็มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แป้งมันสำปะหลัง

3.1.1.3 น้ำสะอาดทั่วไป

ใช้ในการผสมวัตถุดิบที่ใช้ทดลองเพื่อให้วัตถุดิบผสมเข้ากันได้ง่ายขึ้นและอัดเป็นแท่งได้ดียิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 น้ำสะอาดทั่วไป

3.1.2 อุปกรณ์ในการทดลองที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งประกอบด้วย

3.1.2.1 อุปกรณ์ชั่ง ตวง วัด

ก. เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ ADAM รุ่น Compact Portable Balance รหัส CQT202 พิกัดกำลัง 200 กรัม ความละเอียด 10 มิลลิกรัม (0.01 กรัม) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 [4]

รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งดิจิตอล

ข. บิ๊กเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร และไซริงค์ขนาด 50 มิลลิลิตร เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตวงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมผลิตถ่านอัดแท่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 บิ๊กเกอร์และไซริงค์

3.1.2.2 เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer Mill)

เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยงยี่ห้อ WACO (Thailand) รุ่น BLENDER23 บดละเอียด 1 มิลลิเมตร ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ายี่ห้อ Mitsubishi ขนาด 2 แรงม้า ชนิดคอนเดนเซอร์สตาร์ติ้ง ไฟฟ้า 220 โวลต์ 4 โพล แบบขาตั้ง ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ทำหน้าที่เป็นเครื่องบดที่ใช้ลดขนาด (Size Reduction) โดยอาศัยหลักการแบบค้อนเหวี่ยง เครื่องแฮมเมอร์มิลล์ มีลักษณะหัวบดเป็นหัวค้อน (Hammer) หรือก้านที่ติดอยู่บนเพลาอาศัยกลไกเหวี่ยงกระแทก ทำให้วัสดุแตกเป็นชิ้นเล็กลงและมีตะแกรงเจาะรูขนาด 1 มิลลิเมตร เป็นตัวกั้นเพื่อให้เครื่องนั้นบดวัสดุให้ได้ขนาดตามที่ต้องการจึงปล่อยออกไป ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (hammer mill)

3.1.2.3 เครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด (Universal Testing Machine, UTM)

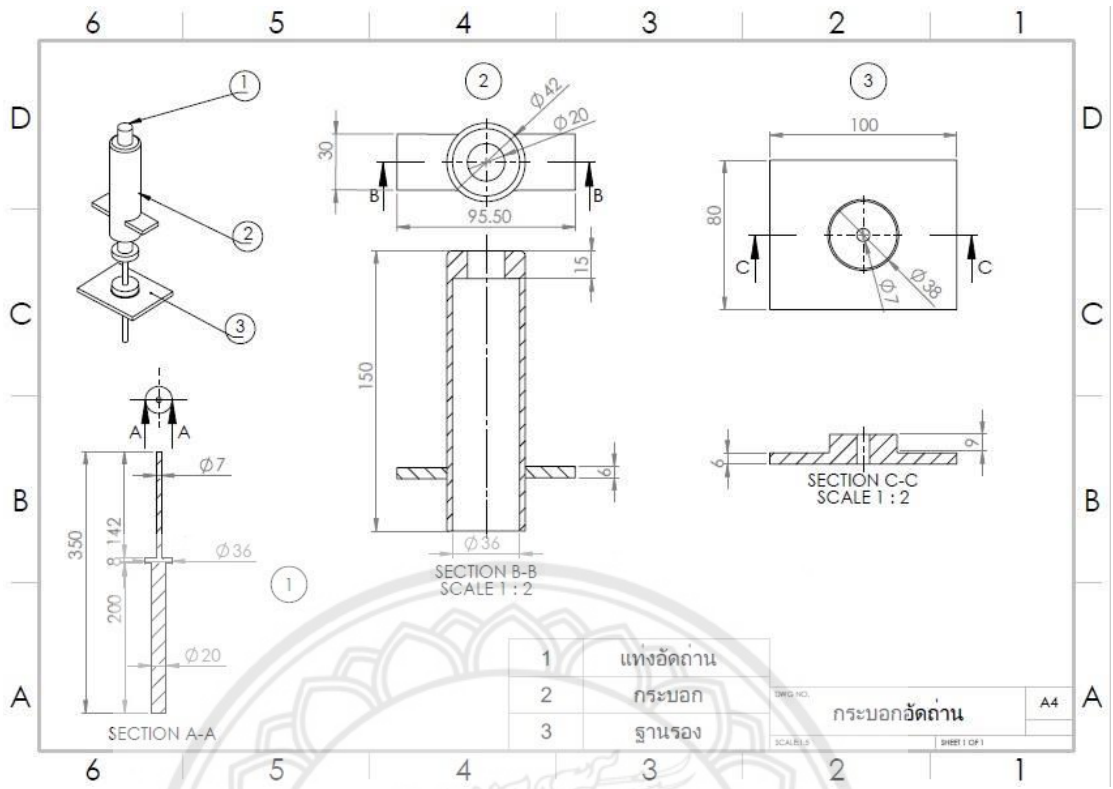
เครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด ยี่ห้อ HOUNSFIELD รุ่น H50KS สามารถสร้างแรงดึง แรงกดได้สูงสุด 50,000 นิวตัน เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาคุณสมบัติแรงดึง แรงกด ในที่นี้จะใช้คุณสมบัติด้านการทดสอบแรงกดเป็นหลักในการทำโครงงานครั้งนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 [5]

รูปที่ 3.7 เครื่อง (Universal Testing Machine, UTM)

3.1.2.4 กระบอกที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปของถ่านอัดแท่ง

กระบอกอัดถ่านอัดแท่ง เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้เป็นชุดทดลองการผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อเลือกสูตรที่ดีและสมบูรณ์ที่สุดในการผลิตถ่านอัดแท่ง จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ กระบอกสูบ, ลูกสูบพร้อมแกน และฐานรอง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.8 กระบอกอัดถ่าน



รูปที่ 3.9 แบบกระบอกอัดถ่านอัดแท่ง

3.1.2.5 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)

เครื่องควบคุมอุณหภูมิระบบ PID รุ่น REX-C100 ใช้วัดค่าอุณหภูมิแล้วสั่งเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น พัดลม, ปั๊มน้ำ, หม้อต้ม และฮีตเตอร์ ให้ได้ค่าอุณหภูมิที่เรากำหนด ในช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 400 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 3.10 [2]

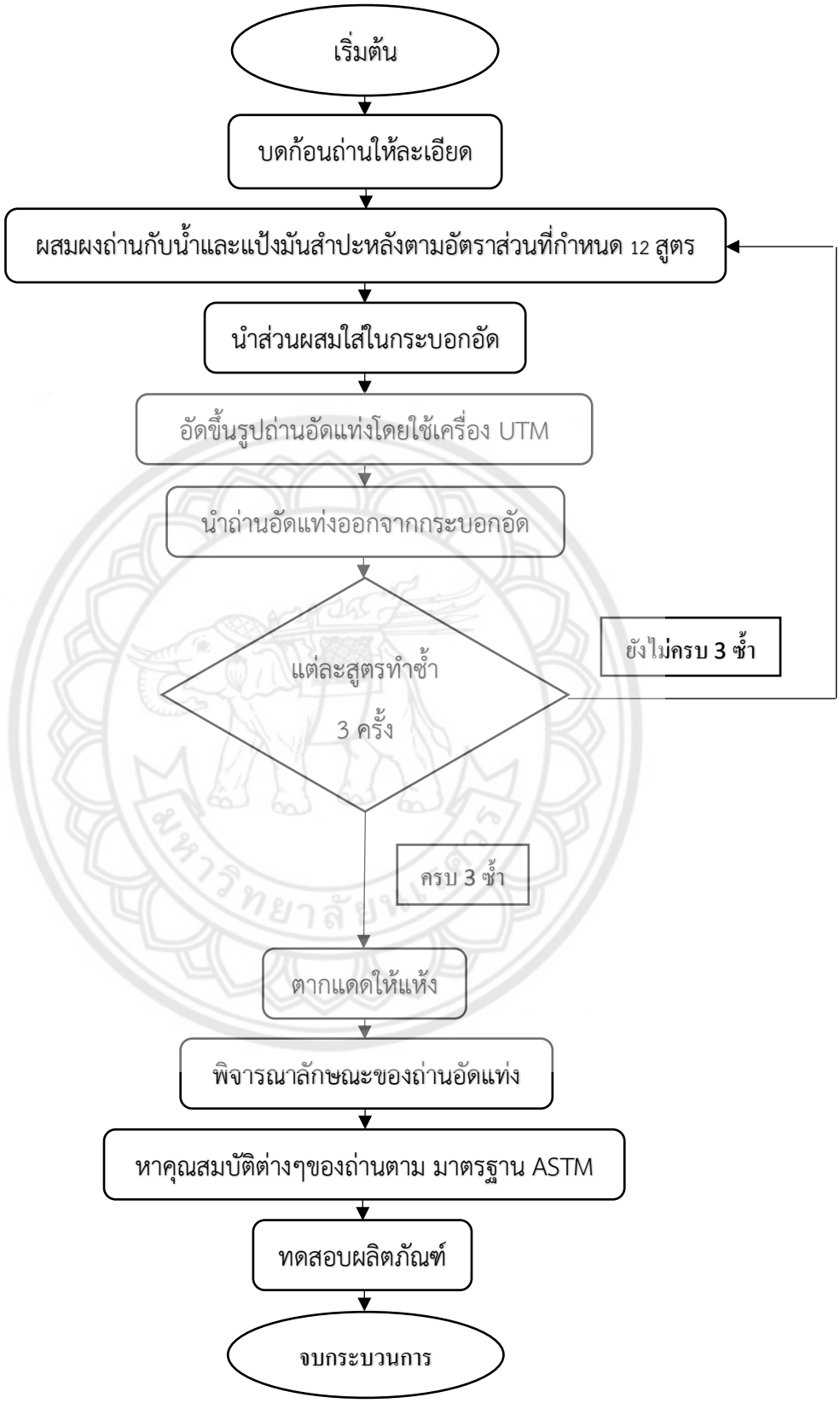
รูปที่ 3.10 Temperature Controller

3.1.2.6 ฮีตเตอร์ (Heater)

ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนโดยผ่านการควบคุมอุณหภูมิจากชุดควบคุม เพื่อจำลองอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในเครื่องอัดแบบสกรู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42 มิลลิเมตร ความยาว 70 มิลลิเมตร กำลังไฟฟ้า 220 โวลต์ กำลังวัตต์ของฮีตเตอร์ 450 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 Heater

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.12 แผนภาพการดำเนินงาน

3.2.1 ขั้นตอนการผลิต

3.2.1.1 บดถ่านให้เป็นผงละเอียด

นำถ่านหรือของเหลือจากการเผาไหม้มาบดให้เป็นผงละเอียดเพื่อเตรียมการผสมโดยใช้เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (hammer mill) พร้อมตะแกรงร่อนละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.13 บดถ่านให้ละเอียดก่อนเพื่อเตรียมผสม โดยใช้เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง

รูปที่ 3.14 ถ่านที่ผ่านการบดละเอียดแล้ว

3.2.1.2 ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน

นำผงถ่านมาผสมกับน้ำและแป้งมันสำปะหลังโดยน้ำและแป้งมันสำปะหลังจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานให้ผงถ่านสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งและอยู่ทรงได้ง่ายขึ้น ตามอัตราส่วนที่ได้ทำการกำหนดดังตาราง 3.1

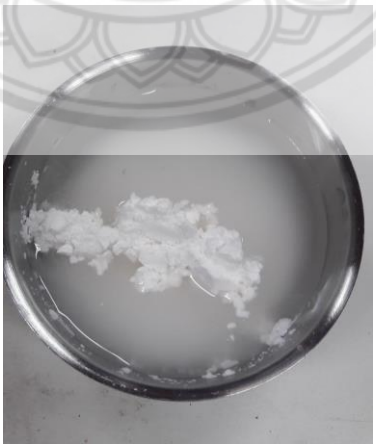
ตารางที่ 3.1 กำหนดอัตราส่วนผสม ผงถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง

ลำดับที่	อัตราส่วนผสม ผงถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ)	ครั้งที่
1	10:9:0.5	1
		2
		3
2	10:9:1	1
		2
		3
3	10:9:2	1
		2
		3
4	10:9:3	1
		2
		3
5	10:10:0.5	1
		2
		3
6	10:10:1	1
		2
		3
7	10:10:2	1
		2
		3
8	10:10:3	1
		2
		3

ตารางที่ 3.1 กำหนดอัตราส่วนผสม ผงถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง **(ต่อ)**

ลำดับที่	อัตราส่วนผสม ผงถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ)	ครั้งที่
9	10:11:0.5	1
		2
		3
10	10:11:1	1
		2
		3
11	10:11:2	1
		2
		3
12	10:11:3	1
		2
		3

ก. เริ่มจากการนำน้ำเปล่าผสมกับแป้งมันสำปะหลังก่อน ให้**แป้งมันสำปะหลังนั้นละลาย**ในน้ำเพื่อที่จะผสมเข้ากันผงถ่านได้อย่างทั่วถึง ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 นำน้ำและแป้งมันสำปะหลังมาผสมเข้าด้วยกันก่อน

ข. นำน้ำและแป้งมันสำปะหลังที่ผสมเข้าด้วยกันแล้วมาผสมกับผสมถ่านในภาชนะแล้วใช้วิธีการคนผสมผงถ่านและน้ำแป้งมันสำปะหลังจนเข้ากันดี ดังแสดงในรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 ผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังเข้าด้วยกันกับผงถ่านที่เตรียมไว้

ค. กรอกส่วนผสมทั้งหมดเข้าไปในกระบอกอัด แล้วทำการอัดผงถ่านที่ผสมแล้วเป็นถ่านอัดแท่ง โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด (Universal Testing Machine, UTM) อัดที่ความดัน 50 bar ซึ่งเป็นการอัดแบบความดันต่ำจะอยู่ในช่วง 20-50 bar ดังแสดงในรูปที่ 3.17 โดยการใช้เครื่อง UTM จะต้องป้อนค่าแรงที่ใช้อัดเป็นหน่วย นิวตัน ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณแรงที่ใช้อัดให้อยู่ในหน่วยนิวตันดังนี้ สมการที่ (3.1)

จากสมการ $$P = \frac{F}{A} \Longrightarrow F = P \times A \quad (3.1)$$

โดยที่ $$A = \pi r^2 \quad (3.2)$$

ดังนั้น $$F = 5,000,000\ [\pi(18 \times 10^{-3})^2]$$

$$F = 5,089.38\ \text{N}.$$

ส่วนอุณหภูมิที่จะทำการจำลอง อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะทำการอัดจะอยู่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากข้อมูลอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวยที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง วิทยานิพนธ์การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน, ทองทิพย์ พูลเกษม, พ.ศ. 2542, มหาวิทยาลัยมหิดล มาประยุกต์ใช้กับการทดลองผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมผลิตอิฐครั้งนี้ [9]

รูปที่ 3.17 ทำการอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่งโดยใช้เครื่อง UTM

3.2.2 การพิจารณาลักษณะของถ่านอัดแท่ง

หลักในการพิจารณาลักษณะของถ่านอัดแท่งที่สมบูรณ์ที่สุดก็คือ จะพิจารณาจากถ่านก้อนที่สามารถยึดเกาะกันได้ดีที่สุด มีรอยร้าวบริเวณรอบก้อนถ่านน้อยที่สุด มีรูปทรงที่สมบูรณ์สวยงามครบถ้วนไม่แตกหักขณะนำออกจากกระบอก และเมื่อนำไปตากแดดให้แห้งจะต้องไม่เกิดการร้าวหรือแตกหักจนไม่สามารถใช้งานได้

3.2.3 ขั้นตอนการหาคุณสมบัติ

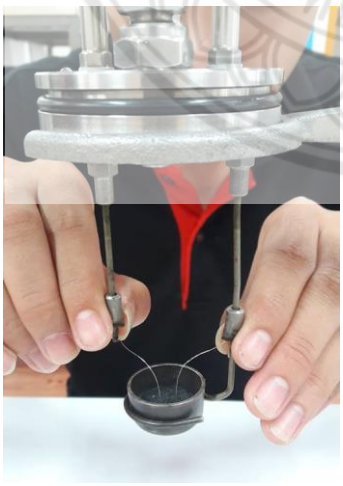
3.2.3.1 การหาค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนสามารถหาได้โดยใช้เครื่อง Isoperibol bomb calorimeter model 1261 (Parr instrument company, USA) ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ดังต่อไปนี้ ทำการชั่งผงถ่านที่ได้จากการบดละเอียดปริมาณ 0.5 กรัม ลงไปในถ้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.19 นำตัวอย่างผงถ่านที่จะบรรจุในลูกบอมบ์มาวางในที่วางของ bomb head ทำการตัดลวด (Fuse Wire) ยาวประมาณ 10 เซนติเมตร นำไปสอดใน eyelet โดยเลื่อน cap ขึ้นเมื่อสอดเสร็จแล้วทั้งสองข้างให้ดึง cap ลง จัดลวดให้สัมผัสกับตัวอย่างผงถ่านแล้วเขี่ยผงถ่านมากลบลวดเพื่อให้ลวดกับผงถ่านสัมผัสกันมากขึ้น ในขั้นตอนนี้ต้องระวังอย่าให้ลวดแตะโดนขอบของลูกบอมบ์แต่ต้องให้ลวดแตะบนตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ประกอบ bomb head เข้ากับลูกบอมบ์ปิดให้สนิท ดังแสดงในรูปที่ 3.21 นำไปอัดออกซิเจนตั้ง pressure gauge ไว้ที่ 500 psi ดังแสดงในรูปที่ 3.22 นำไปวางในถังบรรจุบอมบ์ (Bucket) ใส่น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ 24 องศาเซลเซียส ปริมาณ 2 ลิตรลงในถัง (Bucker) เสียบสายไฟที่ใช้ในการจุดระเบิด 2 เส้นเข้ากับ bomb head ดังแสดงในรูปที่ 3.23 แล้วปิดฝาเครื่องเปิดสวิตช์ อ่านอุณหภูมิของน้ำในถังบรรจุบอมบ์ (Bucket) กับน้ำที่อยู่ในตัวหุ้ม (Jacket) เมื่ออุณหภูมิทั้งสองมีค่า

ใกล้เคียงกัน กดปุ่มจุดระเบิด เครื่องจะทำการบอมบ์ประมาณ10-15นาที เมื่อเครื่อง Isoperibol bomb calorimeter ทำการเผาไหม้เสร็จนำลูกบอมบ์ออก ปล่อยก๊าซออกซิเจนออกจากตัวบอมบ์อย่างช้า ๆ ทำความสะอาด bomb head, ลูกบอมบ์และถ้วยที่บรรจุถ่านด้วยน้ำกลั่น วัดความยาวลวดที่เหลือแล้วป้อนค่าเข้าสู่เครื่อง เครื่องจะทำการคำนวณแล้วพิมพ์ค่าความร้อนของตัวอย่างออกมาทางเครื่องพิมพ์ [14]

รูปที่ 3.18 เครื่อง Isoperibol bomb calorimeter model 1261[6]

รูปที่ 3.19 ชั่งผงถ่านด้วย เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA413 [3]



รูปที่ 3.20 จัดลวดให้สัมผัสผงถ่าน

รูปที่ 3.21 ประกอบ bomb head เข้ากับลูกบอมบ์

รูปที่ 3.22 อัดออกซิเจนทำการบอมบ์

รูปที่ 3.23 ใส่ลูกบอมบ์ลงใน Bucket

3.2.3.2 วิเคราะห์สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ดังนี้

ก. การหาปริมาณความชื้น (Moisture) ASTM D 3173

ตู้อบที่ใช้ในการหาปริมาณความชื้น คือ ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UF450 ความจุ 749 ลิตร ขนาด 1040x720x600 มิลลิเมตร อุณหภูมิการใช้งาน อุณหภูมิห้อง + 10 ถึง 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.24 โดยทำการหาปริมาณความชื้นดังนี้ นำถ้วย (Crucible) ที่สะอาดไปอบ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นำออกมาปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก (W_1) จากนั้นนำผงถ่านบดละเอียดปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยนำไปชั่งน้ำหนัก (W_2) แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.25 นำออกมาปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก (W_3) โดยมีการคำนวณดังสมการที่ (3.3) [14]

$$\%\text{moisture} = \frac{(W_1 + W_2) - W_3}{W_2} \times 100 \qquad \textbf{(3.3)}$$

(W_1) = น้ำหนักถ้วย (กรัม)

(W_2) = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

(W_3) = น้ำหนักถ้วยและเถ้าของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

%moisture = ร้อยละของปริมาณความชื้น

รูปที่ 3.24 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UF450 [7]

รูปที่ 3.25 อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

ข. การหาปริมาณสารระเหยได้ (Volatile Matter) ASTM D 3175

เตาเผาที่ใช้ในการหาปริมาณสารระเหยคือ เตาเผา ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น Iso temp อุณหภูมิการใช้งาน 100-1,100 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.26 การหาปริมาณสาระเหยสามารถหาได้ดังนี้ นำถ้วย (Crucible) พร้อมฝาไปอบก่อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมงเผา ดังแสดงในรูปที่ 3.27 จึงนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำถ้วยเปล่าไปใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccators) 30นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.28 เพื่อไล่ความชื้นที่อยู่ในถ้วยออกให้หมดก่อนที่จะทำการเผาตัวอย่าง จึงนำไปชั่งน้ำหนัก (W_4) จากนั้นชั่งผงถ่านบดละเอียดปริมาณ 1 กรัม (W_5) ใส่ลงในถ้วยเปล่า ดังแสดงในรูปที่ 3.29 แล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการเผา 7 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.30 เมื่อเผาตัวอย่างเสร็จปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.31 แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_6) โดยมีการคำนวณดังสมการที่ (3.4) [14]

$$\%\text{Volatile} = \%\text{weight loss} - \%\text{moisture} \quad \textbf{(3.4)}$$

$$\text{โดยที่ } \%\text{weight loss} = \frac{(W_4 + W_5) - W_6}{W_5} \times 100 \quad \textbf{(3.5)}$$

(W_4) = น้ำหนักถ้วยพร้อมฝา (กรัม)

(W_5) = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

(W_6) = น้ำหนักถ้วยและเถ้าของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

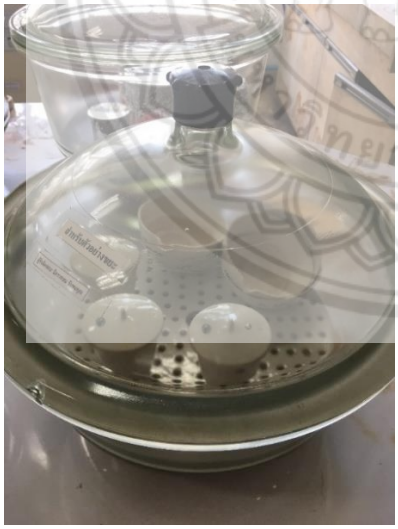
%Volatile = ร้อยละของปริมาณสารระเหย

%weight loss = ร้อยละของปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียไป

%moisture = ร้อยละของปริมาณความชื้น

รูปที่ 3.26 เตาเผา ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น Iso temp

รูปที่ 3.27 อบถ้วยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.28 นำถ้วยใส่ในโถดูดความชื้น

รูปที่ 3.29 ชั่งน้ำหนักผงถ่านปริมาณ 1 กรัม

รูปที่ 3.30 เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3.31 ผงถ่านหลังการเผา

ค. การหาปริมาณเถ้า (Ash) ASTM D 3174

เตาเผาที่ใช้ในการหาปริมาณเถ้าจะใช้เตาเผาเดียวกันกับเตาเผาที่ใช้หาปริมาณสารระเหยแต่จะใช้งานแตกต่างกันที่เวลาและอุณหภูมิใช้งาน การหาปริมาณเถ้าสามารถหาได้ดังนี้ นำถ้วย (Crucible) ที่สะอาดไปอบ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.32 นำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.33 จึงนำไปชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่า (W_7) จากนั้นชั่งผงถ่านบดละเอียดปริมาณ 1 กรัม (W_8) ใส่ลงในถ้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.34 กระจายผงถ่านออกให้ทั่วเพื่อให้ผงถ่านรับความร้อนอย่างทั่วถึง ดังแสดงในรูปที่ 3.35 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 450-500 องศาเซลเซียสใน 1 ชั่วโมงแรก เผาต่อที่อุณหภูมิ 700-750 องศาเซลเซียสในชั่วโมงที่ 2 จากนั้นอุ่นต่อที่อุณหภูมิสุดท้าย 2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.36 ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.37 แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก (W_9) โดยมีการคำนวณดังสมการที่ **(3.6)** [14]

$$\%ash = \frac{W_9 - W_7}{W_8} \times 100 \qquad \textbf{(3.6)}$$

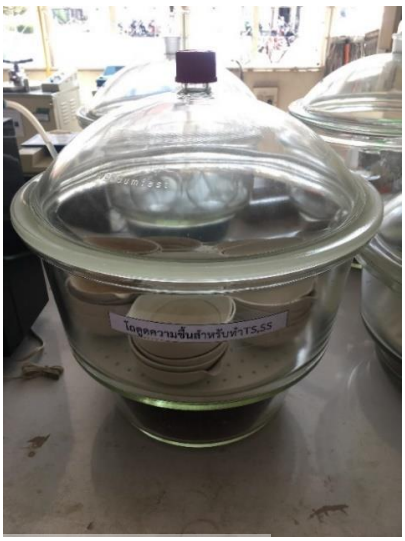
(W_7) = น้ำหนักถ้วย (กรัม)

(W_8) = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

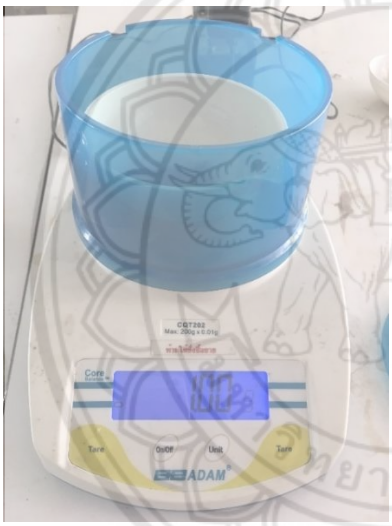
(W_9) = น้ำหนักถ้วยและเถ้าของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

%ash = ร้อยละของปริมาณเถ้า

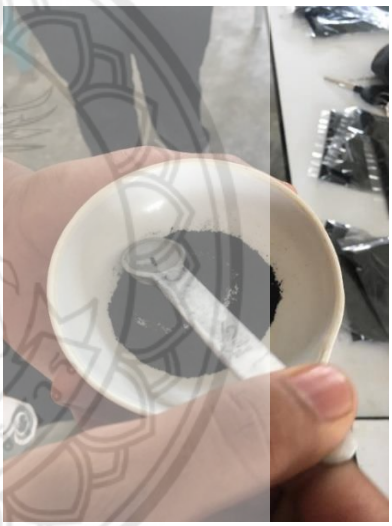
รูปที่ 3.32 อบถ้วยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.33 นำถ้วยใส่ในโถดูดความชื้น

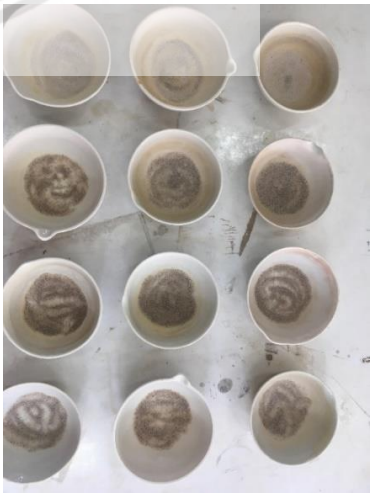


รูปที่ 3.34 ชั่งน้ำหนักผงถ่านปริมาณ 1 กรัม



รูปที่ 3.35 กระจายผงถ่านออกให้ทั่ว

รูปที่ 3.36 เผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.37 ผงถ่านหลังการเผา

ง. การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

ร้อยละของปริมาณคาร์บอนหาได้จากการนำร้อยละของปริมาณทั้งหมดนั่นก็คือ 100 มาลบออกด้วยร้อยละของปริมาณความชื้น, ร้อยละของปริมาณเถ้า และร้อยละของปริมาณสารระเหย โดยมีการคำนวณดังสมการ **(3.7)** [14]

$$\%\text{Fixed carbon} = 100 - (\%\text{moisture} + \%\text{ash} + \%\text{Volatile}) \quad \textbf{(3.7)}$$

%moisture = ร้อยละของปริมาณความชื้น

%ash = ร้อยละของปริมาณเถ้า

%Volatile = ร้อยละของปริมาณสารระเหย

%Fixed carbon = ร้อยละของปริมาณคาร์บอน

3.2.4 การทดสอบผลิตภัณฑ์

3.2.4.1 ศึกษาการต้มน้ำเดือด

นำถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วนที่มีความสมบูรณ์มากที่สุดคืออัตราส่วน 10:10:0.5, 10:10:1 และ10:9:0.5 นำมาทดสอบโดยการต้มน้ำใช้หม้อต้มน้ำกับเตาหุงต้มทั่วไป ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องปกติไม่มีลมพัด สังเกตการแตกปะทุของเชื้อเพลิง ปริมาณควันของเชื้อเพลิงขณะติดไฟ วัดอุณหภูมิของน้ำจนกระทั่งน้ำเดือด แล้วบันทึกเวลาที่ใช้ไป นำมาหาอัตราการเผาไหม้ มีการคำนวณดังสมการที่ **(3.8)**, **(3.9)** และสมการที่ **(3.10)**

$$\text{งานที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป}}{\text{น้ำหนักของถ่านที่ใช้สุทธิ}} \quad \textbf{(3.8)}$$

$$\text{อัตราการเผาไหม้} = \frac{\text{น้ำหนักของถ่านที่ใช้สุทธิ(กรัม)}}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด(นาที)}} \quad \textbf{(3.9)}$$

รูปที่ 3.38 จุดถ่านและจับเวลาจนถ่านติด

รูปที่ 3.39 จับเวลาจนน้ำเดือดและเวลาที่ถ่านนั้นดับลง

เป็นการประยุกต์ใช้การทดสอบจากงานวิจัยศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด, สังเวย เสวกวิหาร, พ.ศ. 2555, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร [15]

3.2.4.2 การหาคุณสมบัติเชิงกล

ก. การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

หาได้จากสมการที่ **(3.10)**

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \textbf{(3.10)}$$

ρ = ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m = มวลของถ่านอัดแท่ง (กรัม)

v = ปริมาตรของถ่านอัดแท่ง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ข. การทดสอบค่าความแข็งแรง

นำถ่านอัดแท่งทั้ง 3 สูตรที่มีความสมบูรณ์มากที่สุดมาทดสอบความแข็งแรงด้วยการนำมาวางบนแท่นวางของเครื่อง UTM ครั้งละ 1 แท่ง ซึ่งแต่ละสูตรจะทำการทดสอบ 3 ในการทดสอบแรงอัดทำลายนี้จะทำการเพิ่มแรงที่ใช้ในการกดสูงขึ้นไปอย่างต่อเนื่องจนแท่งถ่านเกิดการแตกหักแรงที่ใช้ในการกดก็จะลดลง จากนั้นทำการอ่านค่าแรงที่สูงสุดที่ถ่านอัดแท่งสามารถรับได้ก่อนที่ถ่านอัดแท่งจะแตกออกจากกัน แล้วจดบันทึกค่าไว้ ทำการคำนวณหาค่าความเค้นของถ่านอัดแท่งดังสมการที่ (3.11) เป็นการประยุกต์ใช้การทดสอบจากงานวิจัยถ่านอัดแท่งไม้ยางพาราที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ผสมกากไขมันโดยมีกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการขนส่งการคำนวณหาการรับแรงในการวางซ้อนกล่อง มีการคำนวณดังสมการที่ (3.12) และสมการที่ (3.13) การทดสอบแรงอัดทำลาย ดังแสดงในรูปที่ 3.40 และรูปที่ 3.41 [8]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \textbf{(3.11)}$$

σ = การทนแรงกดของถ่านอัดแท่ง (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)

F = แรงกดที่กระทำต่อตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก (นิวตัน)

A = พื้นที่หน้าตัดของถ่านอัดแท่ง (ตารางเซนติเมตร)

*หมายเหตุ ความเค้นอัด (compressive stress) จะเกิดขึ้นโดยแรงอัดจะต้องกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่กระทำนั้น

$$F = mg \quad \textbf{(3.12)}$$

F_1 = แรงกระทำต่อ 1 กล่อง (นิวตัน)

m = น้ำหนักต่อ1กล่อง (กิโลกรัม)

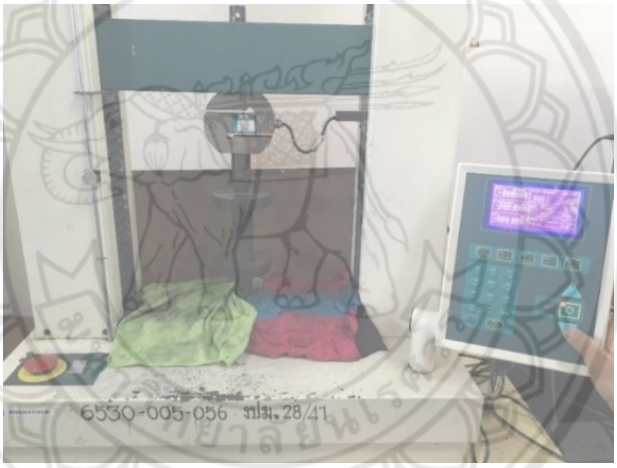
g = 9.81 ตารางเมตรต่อวินาที

$$N = \frac{F}{F_1} \qquad \textbf{(3.13)}$$

N = จำนวนกล่องบรรจุถ่านอัดแท่งที่สามารถวางซ้อนกันได้ (กล่อง)

F = แรงกดที่กระทำต่อตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างแตก (นิวตัน)

F_1 = แรงกระทำต่อ 1 กล่อง (นิวตัน)



รูปที่ 3.40 ทดสอบความแข็งแรงของถ่านอัดแท่ง

รูปที่ 3.41 เพิ่มแรงกดจนถ่านอัดแท่งเกิดการแตกร้าว

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์

ในส่วนของบทนี้เป็นการนำเสนอกับอภิปรายผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาส่วนผสมและข้อมูลต่างๆ ที่นำมาทดสอบเพื่อวัดสมรรถนะของถ่านอัดแท่งนี้ โดยได้ผลดังนี้

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดลองของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ

จากการนำวัตถุดิบ (ผงถ่าน) มาทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าความร้อน ค่าความชื้น ค่าสารระเหย ปริมาณเถ้า และค่าคาร์บอนคงตัวของผงถ่านจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ โดยได้ผลดังนี้

4.1.1.1 ผลการทดลองค่าความร้อน

หลังจากนำถ่านที่เหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมาบดจนเป็นผงแล้ว ก็ได้นำผงถ่านที่ได้มาทดสอบค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D 5865 ซึ่งได้ข้อมูลออกมาแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความร้อนของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมผลิตอิฐ

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน (แคลอรี่ต่อกรัม)	ค่าความร้อนเฉลี่ย (แคลอรี่ต่อกรัม)
1	6,679.19	6,683.95
2	6,637.70	
3	6,734.96	

จากค่าในตารางที่ 4.1 จากการหาทดลองหาค่าปริมาณความร้อน (Heating value) จากผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ โดยการสุ่มตัวอย่างผงถ่านในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐจากภาชนะมา 3 บริเวณ พบว่าการสุ่มตัวอย่างจากบริเวณที่ 1 ได้ค่าปริมาณความร้อนเท่ากับ 6,679.19 แคลอรี่ต่อกรัม บริเวณที่ 2 ได้ค่าปริมาณความร้อนเท่ากับ 6,637.70 แคลอรี่ต่อกรัม และบริเวณที่ 3 ได้ค่าปริมาณความร้อนเท่ากับ 6,734.96 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งพบว่าค่าปริมาณความร้อนมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 6,683.95 แคลอรี่ต่อกรัม และ 48.80 ตามลำดับ แสดงว่าค่าปริมาณความร้อนมีการกระจายตัวของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณความร้อนอยู่ที่ 48.80

4.1.1.2 ผลการทดลองค่าความชื้น

การทดลองเพื่อหาปริมาณความชื้นจากผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ ตามมาตรฐาน ASTM D 3173 โดยวัดค่าความชื้นที่ยังเหลืออยู่หลังจากการนำไปตากแห้งตามขั้นตอน ซึ่งผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความชื้นของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมผลิตอิฐ

ตัวอย่าง	ค่าความชื้น (ร้อยละ)	ค่าความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)
1	5	4.33
2	2	
3	6	

จากค่าข้อมูลในตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่าความชื้น (Moisture content) จากผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ โดยการสุ่มตัวอย่างผงถ่านในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐจากภาชนะมา 3 บริเวณ พบว่าการสุ่มตัวอย่างจากบริเวณที่ 1 ได้ค่าความชื้นร้อยละ 5 บริเวณที่ 2 ได้ค่าความชื้นร้อยละ 2 และบริเวณที่ 3 ได้ค่าความชื้นร้อยละ 6 ซึ่งพบว่าค่าความชื้นมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 4.33 และ 2.08 ตามลำดับ แสดงว่าค่าความชื้นของผงถ่านมีการกระจายตัวของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นอยู่ที่ 2.08

4.1.1.3 ผลการทดลองค่าสารระเหย

การทดลองเพื่อหาปริมาณสารระเหยจากผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ ตามมาตรฐาน ASTM D 3175 ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าสารระเหยของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ

ตัวอย่าง	ค่าสารระเหย (ร้อยละ)	ค่าสารระเหยเฉลี่ย (ร้อยละ)
1	31	32.67
2	36	
3	31	

จากค่าข้อมูลในตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าค่าสารระเหย (Volatile matters) จากผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ โดยการสุ่มตัวอย่างผงถ่านในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐจากภาชนะมา 3 บริเวณ พบว่าการสุ่มตัวอย่างจากบริเวณที่ 1 ได้ค่าสารระเหยร้อยละ 31 บริเวณที่ 2 ได้ค่าสารระเหยร้อยละ 36 และบริเวณที่ 3 ได้ค่าสารระเหยร้อยละ 31 ซึ่งพบว่าค่าสารระเหยมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 32.67และ 2.89 ตามลำดับ แสดงว่าค่าสารระเหยของผงถ่านมีการกระจายตัวของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของค่าสารระเหยอยู่ที่ 2.89

4.1.1.4 ผลการทดลองค่าปริมาณเถ้า

การทดสอบค่าปริมาณเถ้าของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐตามมาตรฐาน ASTM D 3174 ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณเถ้าของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ

ตัวอย่าง	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้าเฉลี่ย (ร้อยละ)
1	5	5.67
2	6	
3	6	

จากค่าข้อมูลในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณเถ้า (Ash content) จากผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ โดยการสุ่มตัวอย่างผงถ่านในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐจากภาชนะมา 3 บริเวณ พบว่าการสุ่มตัวอย่างจากบริเวณที่ 1 ได้ค่าปริมาณเถ้าร้อยละ 5 บริเวณที่ 2 ได้ค่าปริมาณเถ้าร้อยละ 6 และบริเวณที่ 3 ได้ค่าปริมาณเถ้าร้อยละ 6 ซึ่งพบว่าปริมาณเถ้าคงตัวมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 5.67 และ 0.56 ตามลำดับ แสดงว่าปริมาณเถ้ามีการกระจายตัวของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของปริมาณเถ้าอยู่ที่ 0.56

4.1.1.5 ผลการทดลองคาร์บอนคงตัว

การทดสอบค่าคาร์บอนคงตัวตามมาตรฐาน ASTM D 3172 ซึ่งการหาค่าคาร์บอนคงตัวนั้นหาได้จากนำค่าร้อยละความชื้น, ร้อยละสารระเหย และร้อยละปริมาณเถ้า นำไปลบ 100 ก็จะได้ร้อยละคาร์บอนคงตัว ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าคาร์บอนคงตัวของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ

ตัวอย่าง	ค่าคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	ค่าคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย (ร้อยละ)
1	59	57.33
2	56	
3	57	

จากค่าข้อมูลในตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) จากผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ โดยการสุ่มตัวอย่างผงถ่านในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐจากภาชนะมา 3 บริเวณ พบว่าการสุ่มตัวอย่างจากบริเวณที่ 1 ได้ค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 59 บริเวณที่ 2 ได้ค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 56 และบริเวณที่ 3 ได้ค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 57 ซึ่งพบว่าค่าคาร์บอนคงตัวมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ ร้อยละ 57.33 และ 1.53 ตามลำดับ แสดงว่าค่าคาร์บอนคงตัวของผงถ่านมีการกระจายตัวของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของค่าคาร์บอนคงตัวอยู่ที่ 1.53

4.1.2 ผลการทดลองการนำผงถ่านมาอัดแท่ง

จากการนำของผงถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมาอัดแท่ง โดยการใช้น้ำและแป้งมัน เป็นตัวประสาน ทำการอัดแท่งด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด (Universal testing machine, UTM) ที่อัตราส่วน ผงถ่าน : น้ำ : แป้งมัน โดยอัตราส่วนที่ใช้มีดังนนี้ 10:9:0.5, 10:9:1, 10:9:2, 10:9:3, 10:10:0.5, 10:10:1, 10:10:2, 10:10:3, 10:11:0.5, 10:11:1, 10:11:2 และ10:11:3 ซึ่งจากการตรวจพินิจด้วยสายตาผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ลักษณะของถ่านหลังอัดออกมาตามส่วนผสมระหว่าง ผงถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง

ลำดับที่	อัตราส่วนผสม ผงถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ)	ลักษณะการยึดเกาะกันเป็นก้อน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1	10:9:0.5	ยึดเกาะกันดีผิวเรียบ	✓	
2	10:9:1	มีรอยแตกบริเวณกลางของแท่งถ่าน		✗
3	10:9:2	มีรอยแตกทั่วบริเวณของแท่งถ่าน		✗

ตารางที่ 4.6 ลักษณะของถ่านหลังอัดออกมาตามส่วนผสมระหว่าง ผงถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง **(ต่อ)**

ลำดับที่	อัตราส่วนผสม ผงถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ)	ลักษณะการยึดเกาะกันเป็นก้อน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
4	10:9:3	มีรอยแตกทั่วบริเวณของแท่งถ่าน		✗
5	10:10:0.5	ยึดเกาะกันดีผิวเรียบ	✓	
6	10:10:1	ยึดเกาะกันดีผิวเรียบ	✓	
7	10:10:2	มีรอยแตกทั่วบริเวณของแท่งถ่าน		✗
8	10:10:3	ไม่สามารถยึดเกาะเป็นแท่งได้		✗
9	10:11:0.5	มีรอยแตกบริเวณกลางของแท่งถ่าน		✗
10	10:11:1	มีรอยแตกทั่วบริเวณของแท่งถ่าน		✗
11	10:11:2	มีรอยแตกทั่วบริเวณของแท่งถ่าน		✗
12	10:11:3	ไม่สามารถยึดเกาะเป็นแท่งได้		✗

จากตารางที่ 4.6 หลังนำผงถ่านมาอัดแท่งด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด(Universal testing machine, UTM) โดยทำการอัดถ่านอัตราส่วนละ 3 ครั้ง พบว่าอัตราส่วนที่มีลักษณะการยึดเกาะกันดี ไม่มีรอยแตก รอยร้าว ได้แก่ อัตราส่วน 10:9:0.5 , 10:10:0.5 และ10:10:1 ตามลำดับ ซึ่งลักษณะของถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนจะแสดงดังรูปที่ ก.1 - รูปที่ ก.12

หลังจากทำการนำผงถ่านมาอัดด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด(Universal testing machine ,UTM) จนได้เป็นถ่านอัดแท่งแล้วจึงนำถ่านทั้ง 3 อัตราส่วนที่มีความสมบูรณ์ที่สุดมาทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าความร้อน ค่าความชื้น ค่าสาระเหย ปริมาณเถ้า ค่าคาร์บอนคงตัว การต้มน้ำเดือด และคุณสมบัติเชิงกล ของถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วน ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

4.1.2.1 ผลการทดลองค่าความร้อน

หลังจากนำถ่านที่เหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมาอัดแท่ง ก็ได้นำผงถ่านที่ได้มาทดสอบค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D 5865 มี 3 อัตราส่วนดังนี้ 10:9:0.5, 10:10:0.5 และ10:10:1 ซึ่งได้ข้อมูลออกมาแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าความร้อน (แคลอรี่ต่อกรัม)	ค่าความร้อนเฉลี่ย (แคลอรี่ต่อกรัม)
10:9:0.5	1	6,740.43	6,755.23
	2	6,668.60	
	3	6,856.66	
10:10:0.5	1	6,726.48	6,694.57
	2	6,763.33	
	3	6,620.91	
10:10:1	1	6,588.25	6,609.86
	2	6,601.43	
	3	6,639.91	

จากค่าในตารางที่ 4.7 จากการทดลองหาค่าปริมาณความร้อน (Heating value) จากถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนโดยทำการทดลองอัตราส่วนละ 3 ครั้ง พบว่าอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนมากที่สุดคืออัตราส่วน 10:9:0.5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,755.23 แคลอรี่ต่อกรัม และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 94.9 อัตราส่วนที่มีค่าความร้อนน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,609.86 แคลอรี่ต่อกรัม และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 26.84 โดยปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่ง ทั้ง 3 อัตราส่วนผสมมีปริมาณความร้อนมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ที่ได้กำหนดไว้ปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่งควรมีค่าไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม

4.1.2.2 ผลการทดลองค่าความชื้น

การทดลองเพื่อหาปริมาณความชื้นจากถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วน ตามมาตรฐาน ASTM D 3173 โดยวัดค่าความชื้นที่ยังเหลืออยู่หลังจากการนำไปตากแห้งตามขั้นตอน ซึ่งผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าความชื้น (ร้อยละ)	ค่าความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)
10:9:0.5	1	5	3.67
	2	3	
	3	3	
10:10:0.5	1	3	4.33
	2	6	
	3	4	
10:10:1	1	2	2.67
	2	3	
	3	3	

จากค่าข้อมูลในตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าค่าความชื้น (Moisture content) จากถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนโดยทำการทดลองอัตราส่วนละ 3 ครั้ง พบว่าอัตราส่วนที่มีค่าความชื้นน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 2.67 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 อัตราส่วนที่มีค่าความชื้นมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:0.5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 4.33 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 โดยถ่านจากทุกอัตราส่วนผสมนั้นมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ที่ได้กำหนดไว้ว่าความชื้นของถ่านอัดแท่งควรมีค่าไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนัก

4.1.2.3 ผลการทดลองค่าสารระเหย

การทดลองเพื่อหาปริมาณสารระเหยจากจากถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วน ตามมาตรฐาน ASTM D 3175 ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าสารระเหยของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าสารระเหย (ร้อยละ)	ค่าสารระเหยเฉลี่ย (ร้อยละ)
10:9:0.5	1	40	45.00
	2	50	
	3	45	
10:10:0.5	1	44	40.00
	2	32	
	3	44	
10:10:1	1	48	46.67
	2	47	
	3	45	

จากค่าข้อมูลในตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าค่าสารระเหย (Volatile matters) จากถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนโดยทำการทดลองอัตราส่วนละ 3 ครั้ง พบว่าอัตราส่วนที่มีค่าสารระเหยน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:0.5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 40 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.93 อัตราส่วนที่มีค่าสารระเหยมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 46.67 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.53 ตามลำดับ โดยที่ถ่านที่ดีนั้นปริมาณสารระเหยควรมีค่าน้อยที่สุด รวมไปถึงปริมาณควันที่ออกมาจากถ่านแต่ละอัตราส่วนด้วย

4.1.2.4 ผลการทดลองค่าปริมาณเถ้า

การทดสอบค่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วนตามมาตรฐาน ASTM D 3174 ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน	ครั้งที่	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้าเฉลี่ย (ร้อยละ)
10:9:0.5	1	6	5.67
	2	6	
	3	5	
10:10:0.5	1	7	5.67
	2	5	
	3	5	
10:10:1	1	6	6.00
	2	6	
	3	6	

จากค่าข้อมูลในตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณเถ้า (Ash content) จากถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนโดยทำการทดลองอัตราส่วนละ 3 ครั้ง พบว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10:9:0.5 และ 10:10:0.5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 5.67 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 และ1.16 ตามลำดับ อัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 6 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0 ค่าปริมาณเถ้าจะต้องมีค่าน้อย เพราะปริมาณเถ้าจะมีผลต่อการลุกไหม้ของไฟและความร้อนที่ได้จึงต้องมีการควบคุมปริมาณเถ้าให้น้อยที่สุด

4.1.2.5 ผลการทดลองคาร์บอนคงตัว

การทดสอบค่าคาร์บอนคงตัวตามมาตรฐาน ASTM D 3172 ซึ่งการหาค่าคาร์บอนคงตัวนั้นหาได้จากนำค่าร้อยละความชื้น, ร้อยละสารระเหย และร้อยละปริมาณเถ้า นำไปลบ 100 ก็จะได้ร้อยละคาร์บอนคงตัว ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	ค่าคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย (ร้อยละ)
10:9:0.5	1	49	45.67
	2	41	
	3	47	
10:10:0.5	1	46	50.00
	2	57	
	3	47	
10:10:1	1	44	44.67
	2	44	
	3	46	

จากค่าข้อมูลในตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) จากถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนโดยทำการทดลองอัตราส่วนละ 3 ครั้ง พบว่าอัตราส่วนที่ให้ค่าคาร์บอนคงตัวมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:0.5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 50 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.08 อัตราส่วนที่ให้ค่าคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 44.67 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.16 ซึ่งถ่านที่ดีต้องมีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงเพราะค่าคาร์บอนคงตัวที่อยู่ในถ่านนั่นจะทำให้การติดไฟดีขึ้น

4.1.2.6 การทดสอบการต้มน้ำเดือด

นำถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วนมาเผาเพื่อหาระยะเวลาในการติดไฟ เวลาน้ำเดือด เวลาในการดับไฟ และอัตราการเผาไหม้ แล้วบันทึกค่าของแต่ละอัตราส่วน ซึ่งผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าการทดสอบการต้มน้ำเดือด

สูตร	ครั้งที่	เวลา(นาที)			อัตราการเผาไหม้ (กรัม/นาที)	หมายเหตุ
		ติดไฟ	น้ำเดือด	ถ่านดับ		
10:9:0.5	1	5	18	97	2.03	ไม่พบการแตกปะทุ ควัน เขม่าของถ่าน
	2	5	17	102	1.99	
	3	8	20	99	2.02	
10:10:0.5	1	4	15	107	1.87	ไม่พบการแตกปะทุ ควัน เขม่าของถ่าน
	2	4	15	104	1.89	
	3	5	17	109	1.82	
10:10:1	1	5	16	113	1.78	ไม่พบการแตกปะทุ ควัน เขม่าของถ่าน
	2	4	16	110	1.80	
	3	7	18	108	1.83	

จากค่าข้อมูลในตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าเวลาในการติดไฟ เวลาน้ำเดือด เวลาในการดับไฟ และอัตราการเผาไหม้ จากการนำถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนมาเผา โดยการทำการทดลองอัตราส่วนละ 3 ครั้ง พบว่า อัตราส่วนที่ติดไฟได้เร็วที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:0.5 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 นาที และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 อัตราส่วนที่ติดไฟได้ช้าที่สุด คือ อัตราส่วน 10:9:0.5 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6 นาที และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.73 ตามลำดับ อัตราส่วนที่น้ำเดือดเร็วที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:0.5 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.67 นาที และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.16 อัตราส่วนที่น้ำเดือดช้าที่สุด คือ อัตราส่วน 10:9:0.5 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.33 นาที และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.53 ตามลำดับ อัตราส่วนที่ถ่านดับช้าที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 110.33 นาที และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.52 อัตราส่วนที่ถ่านดับเร็วที่สุด คือ อัตราส่วน 10:9:0.5 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.33 นาที และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.52 ตามลำดับ อัตราที่มีอัตราการเผาไหม้มากที่สุด คือ อัตราส่วน 10:9:0.5 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.02 กรัม/นาที และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.02 อัตราที่มีอัตราการเผาไหม้น้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.80 กรัม/นาที และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.03 ตามลำดับ จากการสังเกตเชื้อเพลิงทั้ง 3

อัตราส่วนขณะจุดติดไฟคือ ไม่มีการแตกปะทุของถ่าน ไม่มีกลิ่น ไม่มีควัน ไม่มีเขม่าและสามารถจุดติดไฟได้ดี

ทำการคำนวณหาการรับแรงในการวางซ้อนกล่อง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้ กำหนดให้กล่องมาตรฐานบรรจุสินค้าเกรด A กว้าง 300 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร สูง 240 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านอัดแท่ง 36 มิลลิเมตร ยาว 100-120 มิลลิเมตร หนักเฉลี่ย 50 กรัม/แท่ง ซึ่งสามารถบรรจุถ่านได้ 2 ชั้น รวม 176 แท่งคิดเป็นน้ำหนัก 8.8 กิโลกรัม/กล่อง หรือ 86.33 นิวตัน/กล่อง ซึ่งคิดจากแรงที่ต่ำที่สุดของถ่านอัดแท่งรับได้จนแตกหักคือ 1,502 นิวตัน ซึ่งสามารถรับแรงในการวางซ้อนกล่องได้ทั้งหมด 17 กล่อง

4.1.2.7 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

การหาความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งในแต่ละอัตราส่วนและนำถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วนมารับแรงกดจากเครื่อง (Universal Testing Machine, UTM) เพื่อหาแรงที่สามารถทำให้ถ่านเกิดความเสียหายของแต่ละอัตราส่วนซึ่งผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

อัตราส่วน	ครั้งที่	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	แรง (นิวตัน)	ความเค้น (นิวตัน/ตร.ซม.)
10:9:0.5	1	0.40	1,427	140.19
	2	0.40	1,515	148.84
	3	0.31	1,565	153.75
10:10:0.5	1	0.39	1,568	154.05
	2	0.40	1,682	165.25
	3	0.40	1,850	181.75
10:10:1	1	0.44	2,802	275.28
	2	0.44	2,802	275.28
	3	0.44	2,722	267.42

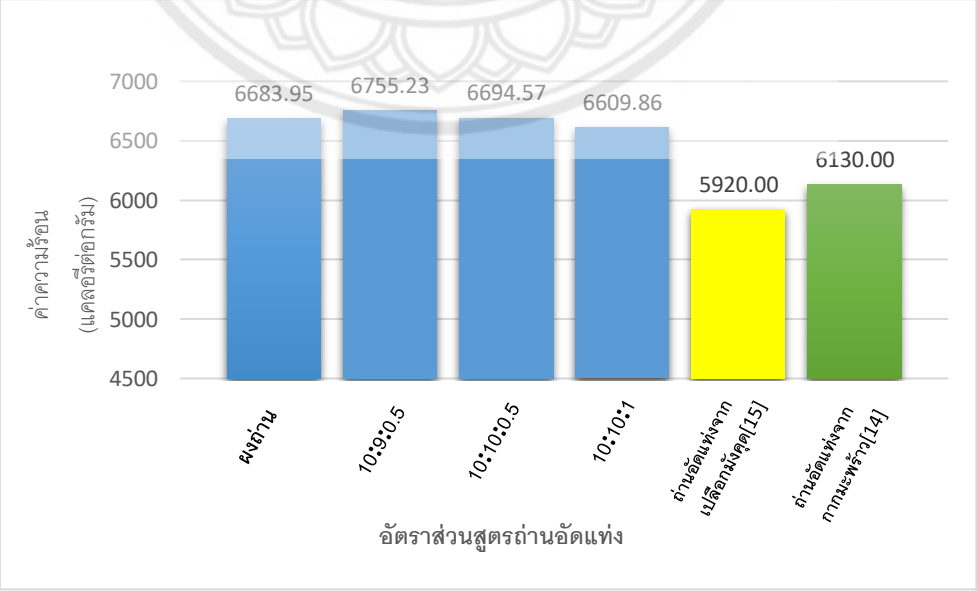
จากค่าข้อมูลในตารางที่ 4.13 แสดงค่าของความหนาแน่นและแรงที่สามารถทำให้ถ่านเกิดความเสียหาย จากนำถ่านอัดแท่งทั้ง 3 อัตราส่วนมารับแรงกดจากเครื่องทดสอบแรงดึง

แรงกด (Universal Testing Machine, UTM) โดยทำการทดลองอัตราส่วนละ 3 ครั้ง พบว่า อัตราส่วนที่ความหนาแน่นมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.003 อัตราส่วนที่ความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:0.5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.40 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.007 ตามลำดับ อัตราส่วนที่สามารถรับแรงกดได้มากที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,775.33 นิวตัน และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 46.19 อัตราส่วนที่สามรถรับแรงกดได้น้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10:9:0.5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,502.33 นิวตัน และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 69.87 ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีความเค้นมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10:10:1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 272.66 นิวตัน/ตารางเซนติเมตร และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.54 อัตราส่วนที่มีความเค้นน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10:9:0.5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 147.60 นิวตัน/ตารางเซนติเมตร และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.86 ตามลำดับ

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองของถ่านอัดแท่ง

4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าความร้อน (Heating value)

ผลการทดสอบค่าความร้อน (Heating value) เป็นที่คำนึงถึงในการที่จะนำเอาชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิง ความสามารถในการให้พลังความร้อนของถ่านอัดแท่ง ถ้าชีวมวลให้ค่าความร้อนสูงเหมาะที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ จะทำการทดสอบทั้ง 3 อัตราส่วน ซึ่งจากผลการทดสอบค่าความร้อน ดังรูปที่ 4.1



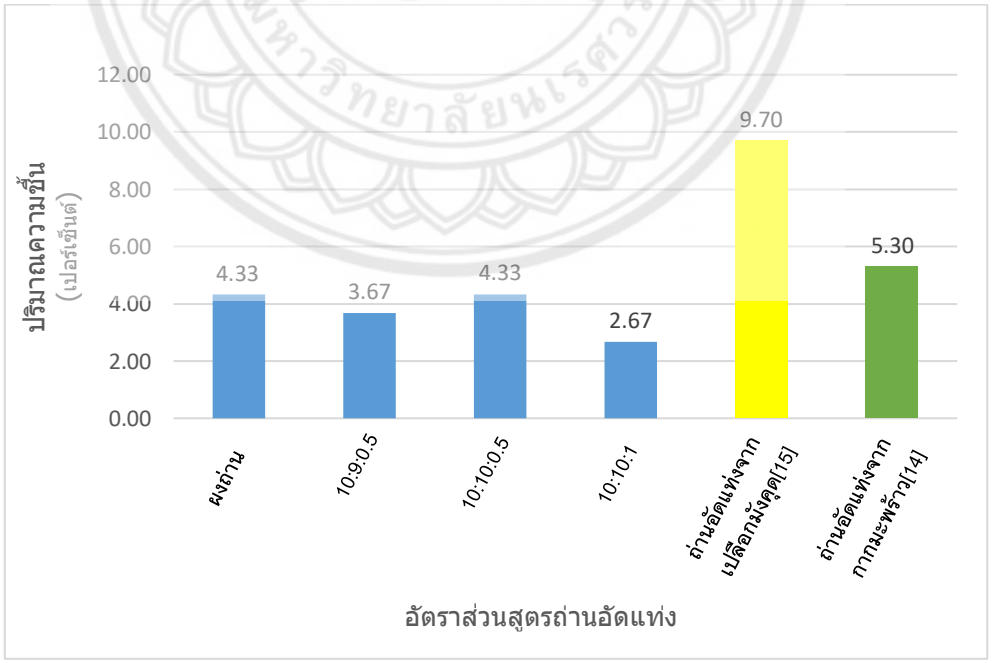
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าความร้อน (Heating value)

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งระหว่างถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐกับถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าความร้อนทั้งหมดไม่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.) ที่กำหนดไว้ว่าค่าความร้อนต้องไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม

จากกราฟการที่ถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว อาจเกิดจากความชื้นในถ่านได้ถูกกำจัดออกไปเกือบหมดและอาจเป็นเพราะความหนาแน่นของเนื้อไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่าน เนื่องจากไม้ที่นำมาเผาอิฐเป็นไม้เนื้อแข็ง มีความหนาแน่นมาก เมื่อกลายเป็นถ่านจึงให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าถ่านที่ได้จากเปลือกมังคุดและถ่านจากกากมะพร้าว

4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบปริมาณความชื้น (Moisture content)

การทดสอบหาปริมาณความชื้นเป็นการต้องการทราบว่าการนำชีวมวลมาเป็นแท่งเชื้อเพลิงนั้นมีความเหมาะสมกับการเป็นเชื้อเพลิงหรือไม่ เนื่องจากชีวมวลมีปริมาณความชื้นสูง ซึ่งจะมีผลต่อค่าความร้อนกิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมทำให้ค่าความร้อนลดลงได้ โดยผลการทดสอบหาปริมาณความชื้นดังรูปที่ 4.2



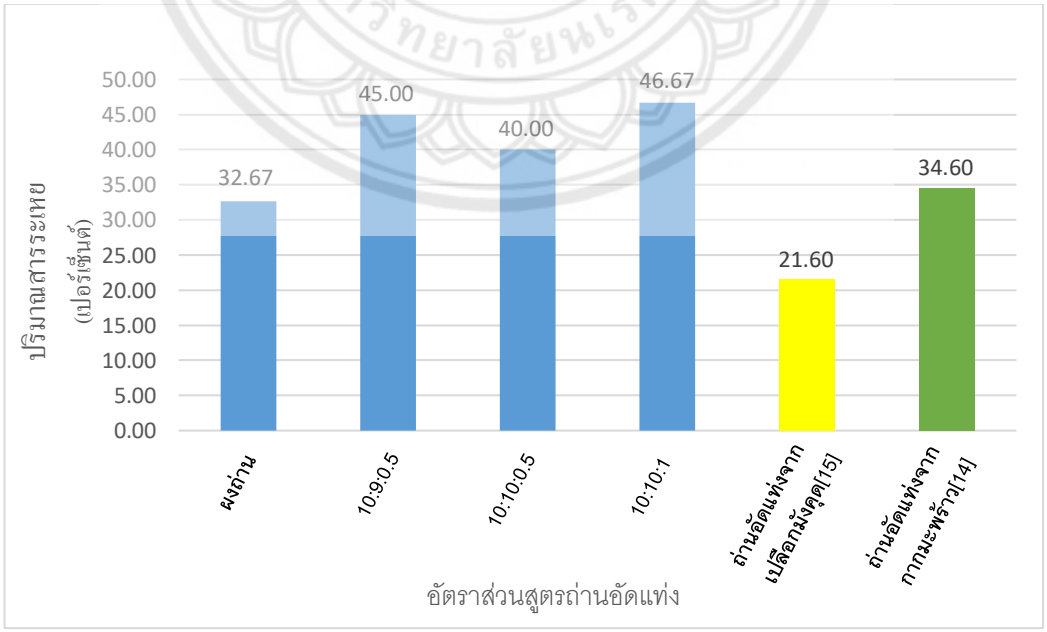
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบปริมาณความชื้น (Moisture content)

จากรูปที่ 4.2 แสดงการทดสอบปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งระหว่างถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐกับถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว จากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐกับถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (มผช.) ที่ได้กำหนดไว้ว่าถ่านควรมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ส่วนถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดมีค่าปริมาณความชื้นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้

จากกราฟการที่ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานอาจเกิดจากการเผาเปลือกมังคุดให้กลายเป็นถ่าน การเผาไหม้อาจจะไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจจะมีบางส่วนที่ยังคงมีสภาพที่สดอยู่ภายใน และการที่มีความชื้นสูงจะมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการใช้งาน และความสามารถในการจุดติดไฟ

4.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบปริมาณสาระเหย (Volatile content)

การวิเคราะห์ทดสอบปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐเป็นการบอกถึงคุณสมบัติของการจุดติดไฟได้ง่าย ถ้ามีปริมาณสารระเหยที่มากจะทำให้การจุดติดไฟได้ง่าย แต่ถ้ามีปริมาณสารระเหยน้อยจะทำให้มีการจุดติดไฟได้ยาก ซึ่งจากผลการทดสอบปริมาณสาระเหย ดังรูปที่ 4.3

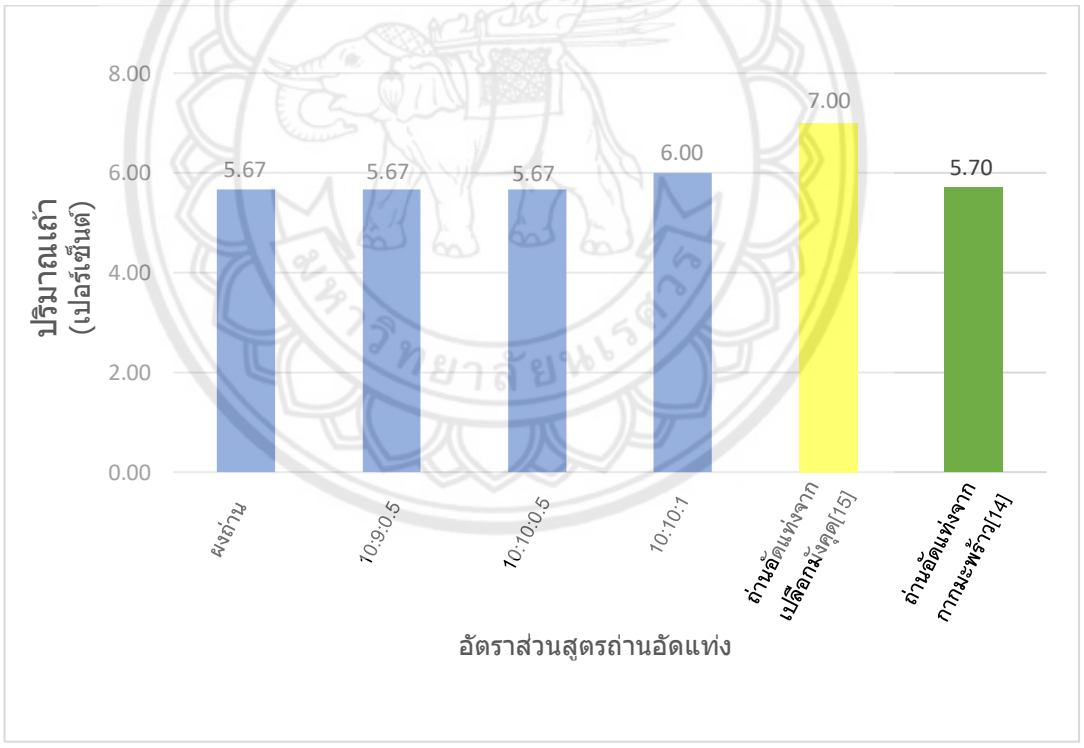


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบปริมาณสาระเหย (Volatile content)

จากรูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งระหว่างถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐกับถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว จากกราฟจะเห็นได้ว่าถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมีปริมาณสารระเหยสูงที่สุด ซึ่งการที่มีปริมาณสารระเหยได้สูง จะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูงด้วย แต่ควรมีการตรวจสอบชนิดของสารระเหยในถ่านอัดแท่งต่อไป ซึ่งสารที่ระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำวัสดุเชื้อเพลิงไปใช้งาน

4.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบปริมาณเถ้า (Ash content)

การทดสอบปริมาณเถ้า (Ash content) เป็นการแสดงถึงการมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของถ่าน ถ้ามีปริมาณเถ้าที่ต่ำ ทำให้เป็นเชื้อเพลิงที่ดีที่จะนำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงได้ ซึ่งจากผลการทดสอบปริมาณเถ้า ดังรูปที่ 4.4



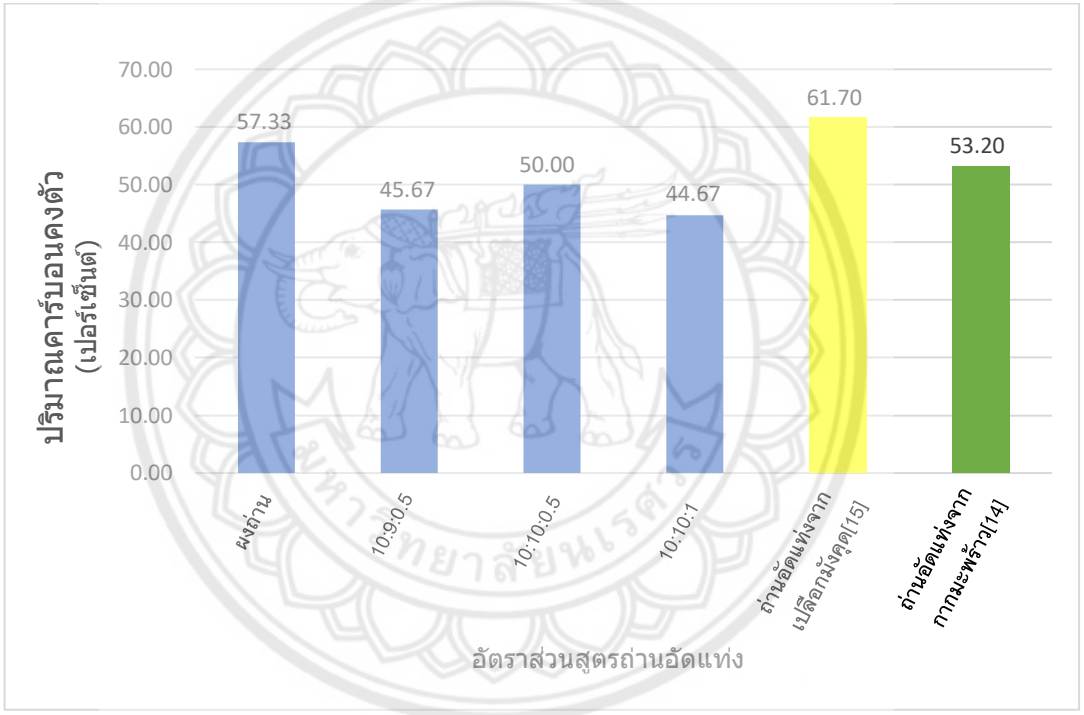
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบปริมาณเถ้า (Ash content)

จากรูปที่ 4.4 แสดงการทดสอบปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งระหว่างถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐกับถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว จากกราฟจะเห็นได้ว่าถ่านแต่ละสูตรนั้นมีปริมาณเถ้าที่น้อยและมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งถือว่าถ่านอัดแท่ง

ที่ผลิตออกมานั้นมีคุณภาพที่ดี สำหรับถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดที่มีปริมาณเถ้าสูงกว่าสูตรอื่น อาจเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของขั้นตอนการทำให้เปลือกมังคุดให้กลายเป็นถ่าน

4.2.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบปริมาณคาร์บอนคงตัว (Carbon stable)

การทดสอบปริมาณคาร์บอนคงตัว (Carbon stable) เป็นการแสดงถึงคุณภาพในการนำถ่านอัดแท่งจากชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงได้ดีหรือไม่ โดยถ้ามีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจะแสดงถึงว่ามีคุณสมบัติของการเป็นเชื้อเพลิงได้ดี จะทำให้มีค่าความร้อนสูงตามไปด้วย ซึ่งจากผลการทดสอบปริมาณคาร์บอนคงตัว ดังรูปที่ 4.5



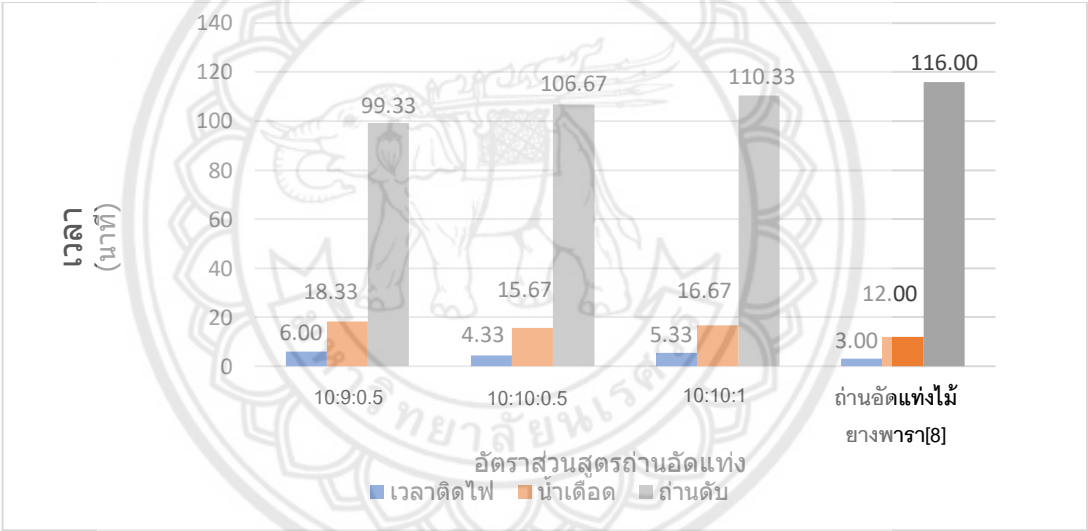
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบปริมาณคาร์บอนคงตัว (Carbon stable)

จากรูปที่ 4.5 แสดงการทดสอบปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งระหว่างถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐกับถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดและถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าว จากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของแต่ละสูตรมีค่าไม่ต่างกันมาก ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มีค่าสูงจะมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าอัตราส่วนที่มีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อย

ซึ่งถ่านอัดแท่งจากเปลือกมังคุดมีค่าคาร์บอนคงตัวที่สูงกว่าอัตราสูตรอื่น อาจจะเกิดกระบวนการผลิตถ่านที่ต่างจากไป คือใช้ตัวประสานเป็นกาวแป้งเปียก(นำแป้งไปกวนกับน้ำเดือด) ซึ่งอาจทำให้ความหนาแน่นของเนื้อถ่านเพิ่มมากขึ้น จึงได้ค่าคาร์บอนคงตัวที่สูงกว่าเล็กน้อย

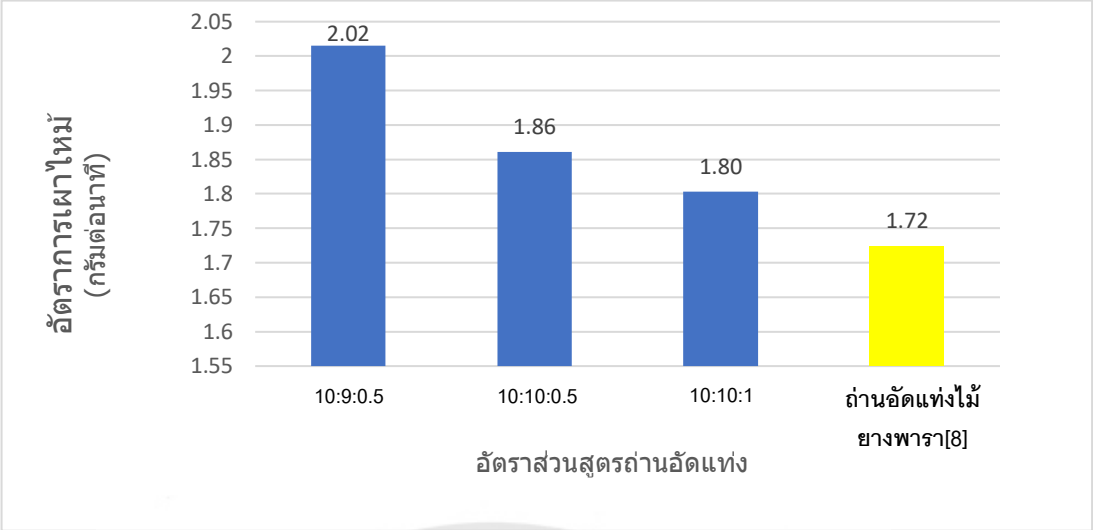
4.2.6 การวิเคราะห์การทดสอบการต้มน้ำเดือด

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งแล้ว ลดความชื้นด้วยวิธีการนำไปตากแดดเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นทดสอบการต้มน้ำเดือด โดยใช้เชื้อเพลิงจากไม้จุดแท่งถ่านจำนวนตัวอย่างละ 200 กรัมในเตาและต้มน้ำร้อนโดยใช้หม้ออะลูมิเนียม จำนวน 200 กรัม ภายใต้อุณหภูมิห้อง ไม่ควบคุมความชื้นบรรยากาศ ไม่มีลมพัด จากนั้นวัดอุณภูมิของน้ำสูงสุดด้วยเทอร์โมมิเตอร์จับเวลาการจุดติด เวลาที่น้ำเดือด เวลาการมอดดับ หาอัตราการเผาไหม้ ดังภาพที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเวลาต่างๆ ของผลการทดสอบต้มน้ำเดือด

จากรูป 4.6 แสดงผลการทดสอบการต้มน้ำเดือดของถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ ซึ่งแสดงกราฟของเวลาในการติดไฟ น้ำเดือด และการมอดดับของถ่าน

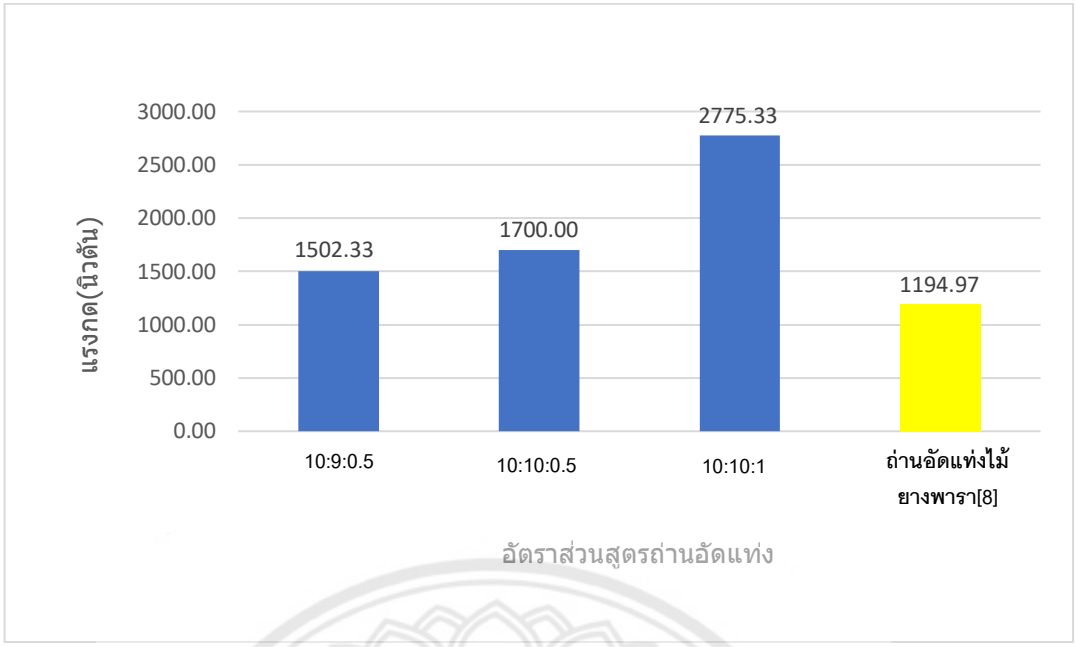


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดสอบต้มน้ำเดือด

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบการต้มน้ำเดือดของถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ ซึ่งแสดงกราฟของอัตราการเผาไหม้ จากกราฟจะเห็นว่าอัตราส่วนสูตร 10:10:1 ให้ค่าอัตราการเผาไหม้ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านอัดแท่งสูตรนี้มีความหนาแน่นดีกว่าสูตรอื่น ซึ่งเมื่อเทียบกับถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพาราจะเห็นได้ว่าถ่านอัดแท่งไม้ยางพาราจะมีอัตราการเผาไหม้ที่ต่ำกว่า จึงทำให้มีการเผาไหม้อย่างช้าๆ ซึ่งจะทำให้มีเวลามอดดับที่ช้ากว่า แต่ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ทำการทดสอบ

4.2.7 การวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

การทดสอบความแข็งแรงของถ่านเป็นการใช้เครื่อง (Universal Testing Machine, UTM) ในการทดสอบถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ มีค่าความแข็งแรงก่อนการแตกหักเท่าไร ซึ่งจากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของถ่านอัดแท่ง

จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของถ่านอัดแท่งระหว่างถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐกับถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา จากกราฟจะเห็นได้ว่าแรงที่รับได้ต่ำที่สุดของถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมีค่าสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา ซึ่งถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐสามารถรับน้ำหนักในการวางซ้อนกล่องได้ถึง 17 กล่อง

จากการที่ถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐสามารถรับแรงกดได้ดีกว่าถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารา อาจเกิดจากน้ำยาประสานที่แตกต่างกันออกไป โดยที่ถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพารานั้นใช้กากไขมันเป็นน้ำยาประสาน

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลจากการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด (Universal Testing Machine, UTM) ถ่านอัดแท่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 36 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7 มิลลิเมตร ความยาว 100-120 มิลลิเมตร การทำการทดลองผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ มีอัตราส่วนของถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลังคือ 10:9:0.5, 10:9:1, 10:9:2, 10:9:3, 10:10:0.5, 10:10:1, 10:10:2, 10:10:3, 10:11:0.5, 10:11:1, 10:11:2 และ10:11:3 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากของเหลือในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ ได้ผลทดลองในการอัดเป็นแท่งที่มีความสมบูรณ์มากที่สุด 3 อัตราส่วน คือ อัตราส่วน 10:10:0.5, 10:10:1 และ10:9:0.5 เพื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

5.1.1 ประสิทธิภาพการใช้งานเป็นเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง

ผลที่ได้จากการทดลองคุณสมบัติทางด้านต่างๆ ของถ่านอัดแท่งจากถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐใน 3 อัตราส่วน และเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งทั่วไปจากวัสดุอื่นเพื่อหาส่วนผสมที่ดีที่สุด ได้สรุปผลโดยแยกแต่ละคุณสมบัติดังนี้

5.1.1.1 การหาค่าความร้อนที่อัตราส่วนผสม 10:9:0.5ให้ค่าความร้อนสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 6,755.23 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งจากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ในทุกอัตราส่วนผสมนั้นก็มีค่าสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ที่กำหนดไว้ว่าความร้อนต้องไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม

5.1.1.2 การหาค่าความชื้นที่เหลืออยู่ในถ่านอัดแท่งจากถ่านเหลือในอุตสาหกรรมผลิตอิฐนั้นในอัตราส่วนผสม 10:10:1 มีค่าความชื้นน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.67 ซึ่งดีต่อการลุกติดไฟและการให้ความร้อน ซึ่งจากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ในทุกอัตราส่วนผสมนี้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ที่กำหนดไว้ว่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนัก

5.1.1.3 การหาค่าสารระเหยในอัตราส่วนผสม 10:10:0.5 มีค่าสารระเหยน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 40.00 และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมเพิ่มตัวประสาน ซึ่งการที่มีปริมาณสารระเหยสูงควรมีการตรวจสอบเชิงลึกต่อไป

5.1.1.4 การทดลองการหาปริมาณเถ้าในอัตราส่วนผสม 10:9:0.5 และ 10:10:0.5 มีค่าเท่ากันโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.67 ซึ่งจากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ในทุกอัตราส่วนยังมีปริมาณเถ้าน้อยกว่าถ่านไม้ทั่วไป ซึ่งถือว่าถ่านอัดแท่งที่ผลิตออกมามีคุณภาพที่ดี

6.1.1.5 การทดลองการหาค่าคาร์บอนคงตัวในอัตราส่วน 10:10:0.5 มีค่าคาร์บอนคงตัวสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 50.00 ซึ่งในการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ปริมาณคาร์บอนคงตัวทุกอัตราส่วนนั้นมีค่าน้อยกว่าถ่านอัดแท่งที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งการมีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพการติดไฟและค่าความร้อนดีกว่า ถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ

5.1.1.6 การทดสอบการต้มน้ำเดือดของทุกอัตราส่วนผสมนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันมากซึ่งมีค่าการมอดดับอยู่ในช่วง 100-110 นาที และอัตราการเผาไหม้อยู่ในช่วง 1.80-2.00 กรัมต่อนาที แต่ในทุกอัตราส่วนนั้นมีระยะเวลาในการมอดดับน้อยกว่าถ่านอัดแท่งจากไม้ยางพาราที่ซึ่งมีค่าการมอดดับเท่ากับ 116 นาทีและอัตราการเผาไหม้เท่ากับ 1.72 กรัมต่อนาที

5.1.1.7 การทดสอบเชิงกลในอัตราส่วน 10:10:1 มีค่าการรับแรงกดได้สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 2,775.33 นิวตัน ซึ่งมากกว่าถ่านอัดแท่งที่นำมาเปรียบเทียบซึ่งรับแรงกดได้เพียง 1,194.97 นิวตัน ซึ่งการรับแรงกดได้สูงจะมีผลต่อการขนส่งและการบรรจุ เช่น การวางซ้อนกล่อง เป็นต้น

5.1.2 ศึกษาส่วนผสมระหว่างผงถ่านกับตัวประสาน

การใช้น้ำและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานทำให้ถ่านอัดแท่งมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น รับแรงกดและความเค้นได้มากขึ้น ตามปริมาณของตัวประสานที่ผสมลงไปในถ่านอัดแท่ง แต่ปริมาณของตัวประสานที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าความร้อนของผงถ่านที่ไม่มีตัวประสาน และค่าความชื้นก็ยังมีผลต่อค่าความร้อน

5.2 ข้อเสนอแนะในการทดลอง

5.2.1 ศึกษาวิจัยหาวัตถุดิบที่ใช้ในการนำมาเป็นตัวประสานที่ดีกว่าแป้งมันสำปะหลัง มีการส่งเสริมกันด้านค่าความร้อน มีต้นทุนที่ต่ำกว่าสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นและที่สำคัญต้องไม่เป็นมลภาวะต่อผู้ใช้ถ่านอัดแท่ง

5.2.2 ศึกษาวิจัยหาส่วนผสมในการทำถ่านอัดแท่ง เพื่อให้ได้สมรรถนะหรือประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งที่ดีขึ้น และสามารถนำวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรมาประยุกต์เป็นส่วนผสมได้จะดียิ่งขึ้น

5.2.3 ศึกษากระบวนการประยุกต์ใช้ตู้อบรมร้อนแทนการตากแห้ง เพื่อง่ายต่อการควบคุมตัวแปรที่เท่ากันและประหยัดต่อเวลาในการทำให้แห้ง

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม.(กุมภาพันธ์ 2555).คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 30 เมษายน 2561, จาก: http://www2.diw.go.th/iwmb/form/iwd040_

[2] เครื่องควบคุมอุณหภูมิระบบ PID รุ่น REX-C100 [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2561, จาก: http://www.arduino4pro.com/product/174

[3] เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่ง รุ่น PA413 [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2561,จาก: http://www.pnpscale.com/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail &pid=218068

[4] เครื่องชั่งดิจิตอลรุ่น Compact Portable Balance [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2561, จาก: http://www.zepper.biz/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail&pid =68096

[5] เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine, UTM) [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2561, จาก: http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=26&id=32

[6] เครื่อง Bomb Calorimeter [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2561, จาก: http://e-book.ram. edu/e-book/f/FY473(51)/FY473-13.pdf

[7] ตู้อบลมร้อนยี่ห้อ Memmert รุ่น UF450 [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2561, จาก: http://asithailand.com/products/memmert/

[8] ถ่านอัดแท่งไม้ยางพาราที่เหลือจากกระบวนการหม้อต้มไอน้ำ [อินเทอร์เน็ต]. คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 4 พฤษภาคม 2561, จาก: http://www.eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project_IdDoc266_IdPro652.pdf

[9] ทองทิพย์ พูลเกษม.(2542).วิทยานิพนธ์การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 13 ธันวาคม 2560, จาก: http://mulinet11.li.mahidol.ac.th/e-thesis/scan/3937277.pdf

[10] ฟืนไม้เบญจพรรณ [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 16 ธันวาคม 2560, จาก: http://chm-thai.onep.go.th/chm/ForestBio/Mixed_%20deciduos%20_forest.html

[11] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชุน ถ่านอัดแท่ง มผช.238/2547 [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 23 เมษายน 2561, จาก: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238_47.pdf

[12] รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล.(2553).วิทยานิพนธ์การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 15 พฤศจิกายน 2560, จาก: http://thesis.swu.ac.th/ swuthesis/Ind_Ed/Rung-Roj_P.pdf

[13] รายการชลบุรี 360 องศา ตอนอิฐแดงพานทอง [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 16 ธันวาคม 2560, จาก: https://www.youtube.com/watch?time_continue=71&v=Qb96KS16ZD8

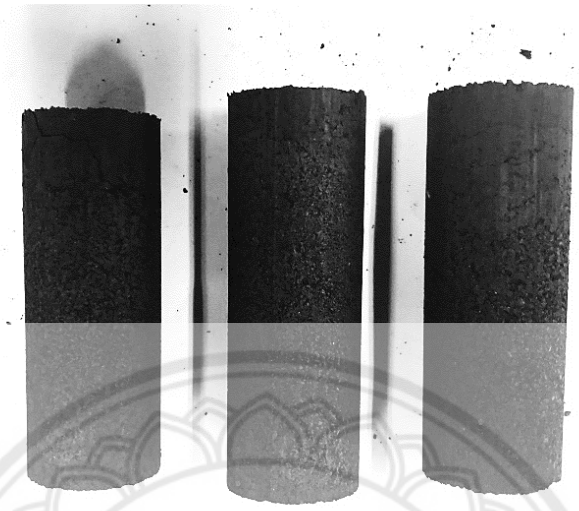
[14] ศิริชัย ต่อสกุลและคณะ.(2555).รายงานวิจัยการพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน [อินเทอร์เน็ต] สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2560,จาก: http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/190201/c782dadcf1aa47a1e800454f48d94a0d?Resolve_DOI=10.14457/RMUTT.res.2012.19

[15] สังเวย เสวกวิหารี.(2555).รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด [อินเทอร์เน็ต] สืบค้นเมื่อ 28 เมษายน 2561, จาก: https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/1206/SCI_55_07.pdfequence=1&isAllowed=y

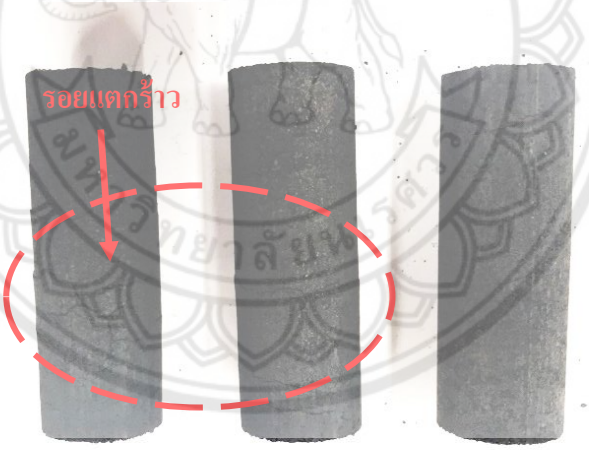
ภาคผนวก ก

รูปภาพแสดงผลการทำถ่านอัดแท่ง

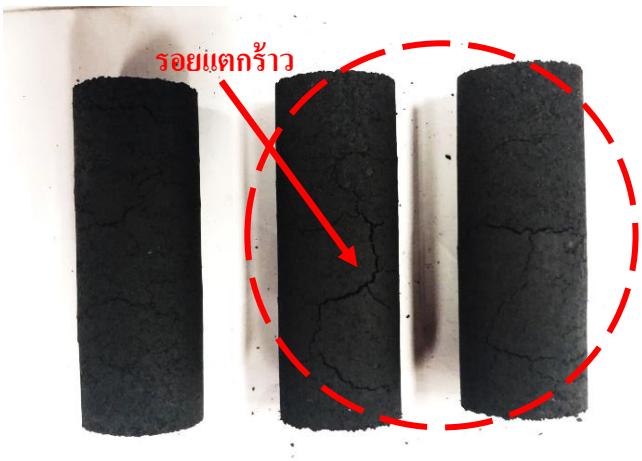
ผลการทำถ่านอัดแท่งทั้ง 12 อัตราส่วน



รูปที่ ก.1 อัตราส่วน 10:9:0.5



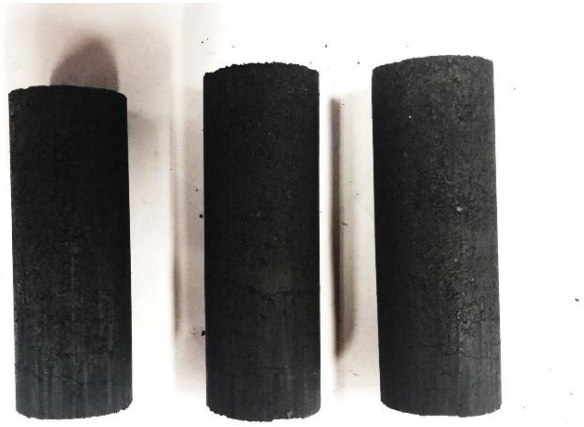
รูปที่ ก.2 อัตราส่วน 10:9:1



รูปที่ ก.3 อัตราส่วน 10:9:2

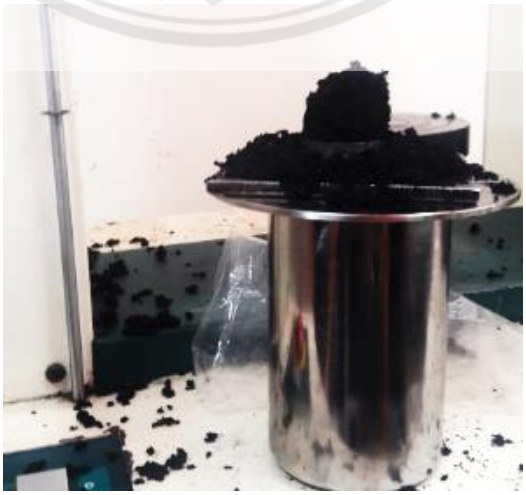
รูปที่ ก.4 อัตราส่วน 10:9:3

รูปที่ ก.5 อัตราส่วน 10:10:0.5

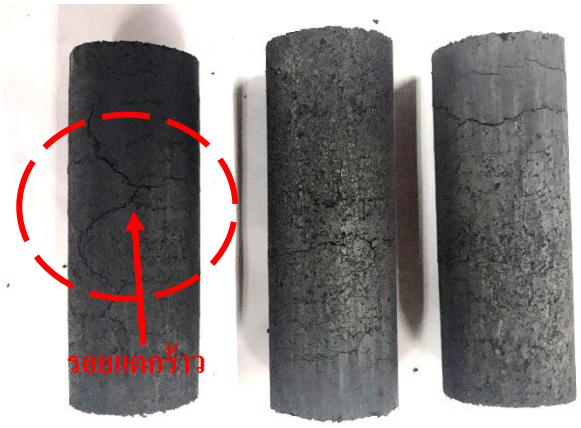


รูปที่ ก.6 อัตราส่วน 10:10:1

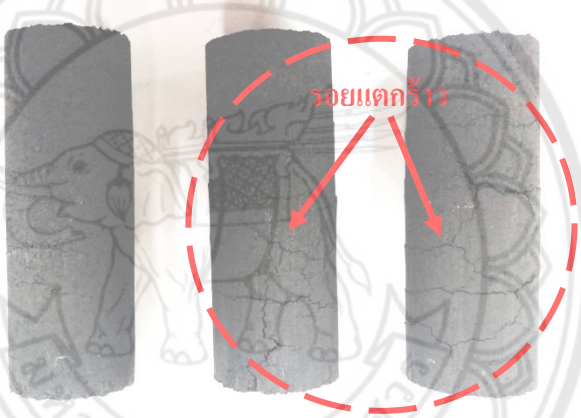
รูปที่ ก.7 อัตราส่วน 10:10:2



รูปที่ ก.8 อัตราส่วน 10:10:3



รูปที่ ก.9 อัตราส่วน 10:11:0.5



รูปที่ ก.10 อัตราส่วน 10:11:1

รูปที่ ก.11 อัตราส่วน 10:11:2

รูปที่ ก.12 อัตราส่วน 10:11:3