การพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ภูมิปัญญาท้องถิ่น

Development of Local Wisdom 200 Liters Charcoal Kiln Manufacturing Process

นายรัชตะ เบียเชะ

นายวุฒิพงษ์ โมรารัมย์

นายอดุล บุตรสีทา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2562

ใบรับรองโครงงาน

หัวข้อโครงงาน : การพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ภูมิปัญญาท้องถิ่น
Development of Local Wisdom 200 Liters Charcoal Kiln Manufacturing Process

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายรัชตะ เบียเชะ รหัสนิสิต 59364486
นายวุฒิพงษ์ โมรารัมย์ รหัสนิสิต 59365261
นายอดุล บุตรสีทา รหัสนิสิต 59366237

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : นายเกดิษฐ์ กว้างตระกูล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2562

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

มัทนี สงวนเสริมศรี ..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี)

..... กรรมการ
(นายเกดิษฐ์ กว้างตระกูล)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร. ขวัญชัย ไกรทอง)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

หัวข้อโครงงาน	: การพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ภูมิปัญญาท้องถิ่น		
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายรัชตะ	เบียเชะ	รหัสนิสิต 59364486
	นายวุฒิพงษ์	โมรารัมย์	รหัสนิสิต 59365261
	นายอดุล	บุตรสีทา	รหัสนิสิต 59366237
อาจารย์ที่ปรึกษา	: รศ.ดร. มัทนี	สงวนเสริมศรี	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: นายเกดิษฐ์	กว้างตระกูล	
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	: 2562		

บทคัดย่อ

ปัญหาที่พบบ่อยประการหนึ่งของการเผยแพร่เทคโนโลยีเตาเผาถ่านสู่ชุมชน คือ ผู้เข้าอบรมไม่ประสบความสำเร็จในการสร้างและใช้งานเตาเองที่บ้าน เนื่องจากเตาที่สร้างขึ้นเองนั้นมักจะมีจุดที่แตกต่างจากแบบเตาที่ไปอบรม ส่งผลให้ต้องเสียเวลาในการลองใช้และปรับแก้เตา ตลอดจนต้องปรับเปลี่ยนวิธีการใช้งานหลายครั้ง กว่าจะสามารถเผาถ่านได้สำเร็จ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวโครงงานนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร จากภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อทำให้ได้เตาเผาถ่านที่มีมาตรฐานเดียวกันทุกครั้งในการผลิต

เตาเผาถ่านต้นแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยห้องเผาไหม้ทำจากถังเหล็กขนาด 200 ลิตร วางในแนวนอนภายในกรอบเตาขนาด 80 ×110 ×90 เซนติเมตร ระหว่างถังและกรอบเตาบรรจุทรายเพื่อใช้เป็นฉนวน ท่อปล่องควันทำจากท่อใยหินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ช่องใส่เชื้อเพลิงอยู่บริเวณด้านหน้าเตา โดยออกแบบให้มีช่องสำหรับควบคุมปริมาณอากาศที่จะไหลผ่านเข้าเตาได้ ในการสร้างเตานั้นได้ออกแบบให้สามารถประกอบชิ้นส่วนเตาได้อย่างสะดวก โดยจะทำการสร้างกรอบเตาก่อนจากเหล็กกล่องและแผ่นเมทัลชีท จากนั้นจะประกอบถังเข้ากับกรอบเตา ติดตั้งช่องใส่เชื้อเพลิงและปล่องควัน

ผลการทดสอบเตาเผาถ่านต้นแบบโดยใช้ไม้สะเดา (*Azadirachta indica A.Juss.Var.Siamensis Valeton*) พบว่าสามารถเผาไม้ฟืนได้เฉลี่ยครั้งละประมาณ 80.1 กิโลกรัม อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเท่ากับ 359.5 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณไม้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 8.3 กิโลกรัม ใช้เวลาประมาณ 35 – 40 ชั่วโมงต่อการเผาหนึ่งครั้ง ได้ปริมาณถ่านเฉลี่ยประมาณ 21.5 กิโลกรัม (คิดเป็นร้อยละ 26.43 ของไม้ฟืนที่เผา) ถ่านที่เผาได้มีค่าความร้อนเฉลี่ย 8,128.8 แคลอรี่ต่อ

กรัม ได้น้ำส้มควันไม้ดิบเฉลี่ย 2.82 ลิตรต่อการเผาหนึ่งครั้ง โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้มีค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย 2.74 และค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 1.013

เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวนอนต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีขั้นตอนการสร้างที่เป็นมาตรฐานชัดเจน ไม่ซับซ้อน สามารถติดตั้งบนพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นดินได้ เช่น พื้นปูน เป็นต้น ขั้นตอนการใช้งานสะดวก และสามารถเคลื่อนย้ายได้หลังจากติดตั้งแล้ว ทำให้สะดวกต่อการนำไปสาธิตหรือเผยแพร่เทคโนโลยีในชุมชนต่อไป

Project Title : Development of Local Wisdom 200 Liters Charcoal Kiln Manufacturing Process

Name : Mr. Ratchata Biache ID 59364486
Mr. Wutthiphong Moraram ID 59365261
Mr. Adun Butsetha ID 59366237

Project Advisor : Assoc. Prof. Dr. Mathanee Sanguansermsri
Joint Project Advisor : Mr. Kadit Kwangtrakun
Department : Mechanical Engineering
Academic Year : 2019

Abstract

One of the most common problems of distributing charcoal technology to the community is participants are not successful in creating and using the kiln at home. Since the kiln itself is built differently from the kiln which has been used in training. Because of that difference, most participants have to spend so much time in testing and modifying their kiln considered to be a waste of time. In order to solve the problem, this project has studied and developed the 200 liters charcoal kiln's manufacturing process from local wisdom to create charcoal kiln with the same standards every time.

The developed prototype charcoal kiln consists of a combustion chamber made of a 200 liters steel tank and horizontally placed inside the 80 x 110 x 90 centimeters kiln frame. Sand-filled between kiln frame and the tank for insulation. The chimney pipe is made of a 4 inches, a fuel compartment in front of the kiln, designed to have a cavity for controlling the amount of air flowing through the kiln. This prototype can be conveniently assembled. First, construct a kiln frame from the square steel tube and metal sheet. Secondly, assemble the tank into the kiln frame. Finally, Install fuel compartments and chimneys.

The test results of the prototype charcoal kiln by using the Neem tree *(Azadirachta indica A.Juss.Var.Siamensis Valeton)* showed that the average firewood burn was about 80.1 kilograms at a time, the maximum temperature inside the kiln was 359.5 degrees Celsius. Using an average fuel wood content of 8.3 kilograms, about 35 - 40 hours per burn, the average charcoal volume is about 21.5 kilograms (26.43 percent of burnt firewood), burnt charcoal has an average heating value of 8,128.8 calories per gram. The average amount of wood vinegar was 2.74 liters per burn. the average Potential of Hydrogen ion of wood vinegar was 2.84 and the specific gravity of wood vinegar was 1.017.

The horizontal 200 liters developed prototype charcoal kiln has a clear standard building process. It can be installed on non-ground areas such as mortar floors, etc. The procedure is convenient and movable after installation. This makes the horizontal 200 liters developed prototype charcoal kiln easy to demonstrate or distribute technology in the community.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้ดำเนินงาน ต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มัทนี สงวนเริมศรี และนายเกดิษฐ์ กว้างตระกูล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินโครงงาน ตลอดจนติดตามประเมิณผลการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ผู้ดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงงาน

ขอขอบพระคุณคุณบุญส่ง ศิริโยธินและคุณบุญมาก รุนกระโทก ปราชญ์ชาวบ้านในการให้ความรู้เกี่ยวกับเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ภูมิปัญญาท้องถิ่น

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูและสั่งสอนจนกระทั่งสามารถเติบโตมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนช่วยอุปการะทางการเงินและคอยให้กำลังใจ จนกระทั่งโครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบรรดาเพื่อนๆ ทุกคนสำหรับความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงงานนี้ แด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงงานนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายรัชตะ เบียเชะ

นายวุฒิพงษ์ โมรารัมย์

นายอดุล บุตรสีทา

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงงาน.....ก
บทคัดย่อ.....ข
Abstract.....ง
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญรูป.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....2
1.4 ขั้นตอนแผนการดำเนินงาน.....3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3
1.6 งบประมาณที่ใช้.....4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....5
2.1 กระบวนการการเผาไหม้(คาร์บอนไนเซชั่น).....5
2.2 เตาเผาถ่าน.....6
2.3 เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร จากภูมิปัญญาท้องถิ่น.....17
2.4 สมการที่ใช้ในโครงงาน.....23
2.5 ค่าความร้อน.....24
2.6 น้ำส้มควันไม้.....25
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....27

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....30
3.1 การศึกษาและทดลองสร้างเตาเผาถ่านภูมิปัญญาท้องถิ่น.....30
3.2 การพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่าน.....38
3.3 การทดสอบเตาเผาถ่านต้นแบบ.....40

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....46
4.1 เตาเผาถ่านต้นแบบที่พัฒนาขึ้น.....46
4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของเตาต้นแบบ.....48
4.3 ผลการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนของเตาต้นแบบ.....50
4.4 กระบวนการสร้างเตาเผาถ่านต้นแบบ.....52
4.5 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของเตาแบบดั้งเดิมและเตาต้นแบบ.....79
4.6 ผลการวิเคราะห์ไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่านและเป็นเชื้อเพลิง.....86
4.7 ผลการวิเคราะห์ถ่านและน้ำส้มควันไม้ของเตาแบบดั้งเดิมและเตาต้นแบบ.....86

บทที่ 5 บทสรุป.....88
5.1 สรุปผลการทดลอง.....88
5.2 ข้อดีและข้อเสียระหว่างเตาแบบดั้งเดิมและเตาต้นแบบ.....90
5.3 คำแนะนำในการใช้งานเตาเผาถ่านต้นแบบ.....91
5.4 ปัญหาและอุปสรรค.....91
5.5 ข้อเสนอแนะ.....92

เอกสารอ้างอิง.....93

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....96
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์.....97
ภาคผนวก ข การทดสอบ.....108
ภาคผนวก ค ตารางผลการทดสอบ.....120
ภาคผนวก ง ขั้นตอนการใช้เครื่องทดสอบค่าความร้อนและค่า pH.....159
ภาคผนวก จ แบบของเตาเผาถ่าน.....167
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน.....189

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....2
2.1 ข้อดีและข้อเสียของเตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร.....15
2.2 ความแตกต่างของเตาเผาถ่านคุณบุญส่ง ศิริโยธินและคุณบุญมาก รุนกระโทก.....23
4.1 การเตรียมวัสดุสำหรับสร้างเตาเผาถ่านต้นแบบ.....53
4.2 ปริมาณไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่านและเป็นเชื้อเพลิง.....86
4.3 ผลการทดสอบถ่านและน้ำส้มควันไม้.....87
5.1 ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักและคุณสมบัติทางกายภาพ.....89
5.2 ผลที่ได้จากการทดสอบเผาถ่าน.....89

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 เตาดินก่อ.....6
2.2 เตาอิฐก่อ.....7
2.3 เตาอิวาเตะ.....8
2.4 เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แบบไบโอชาร์.....9
2.5 เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แบบซูปเปอร์ซัน.....10
2.6 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบแนวนอน.....14
2.7 เตาเผาถ่านคุณบุญส่ง ศิริโยธิน.....17
2.8 เตาเผาถ่านคุณบุญมาก รุนกระโทก.....20
3.1 การเจาะรูช่องอากาศเข้าและระบายอากาศของเตาแบบดั้งเดิม.....31
3.2 การปรับหน้าดินของเตาแบบดั้งเดิม.....31
3.3 การวางเตาของเตาแบบดั้งเดิม.....32
3.4 การประกอบข้องอของเตาแบบดั้งเดิม.....32
3.5 การตัดและประกอบสังกะสีเป็นโครงเตาของเตาแบบดั้งเดิม.....33
3.6 การตัด ประกอบปล่อง และประสานรอยต่อด้วยดิน ของเตาแบบดั้งเดิม.....33
3.7 ช่องเชื้อเพลิงของเตาแบบดั้งเดิม.....34
3.8 การชั่งไม้ฟืนของเตาแบบดั้งเดิม.....34
3.9 ลักษณะการเรียงไม้ฟืน ของเตาแบบดั้งเดิม.....35
3.10 การทำช่องเชื้อเพลิงของเตาแบบดั้งเดิม.....35
3.11 ลักษณะการจุดไฟหน้าเตาในช่วงที่ 1 ของเตาแบบดั้งเดิม.....36
3.12 วิธีการเก็บน้ำส้มควันไม้ของเตาแบบดั้งเดิม.....37
3.13 วิธีการควบคุมอากาศของเตาแบบดั้งเดิม.....37
3.14 ลักษณะการปิดเตาของเตาแบบดั้งเดิม.....38
3.15 การชั่งไม้ฟืนของเตาต้นแบบ.....40
3.16 ลักษณะการเรียงไม้ฟืนของเตาต้นแบบ.....40
3.17 การประกอบช่องเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบ.....41
3.18 การยารอยต่อต่าง ๆ ช่องเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบ.....41
3.19 ลักษณะการจุดไฟหน้าเตาในช่วงที่ 1 ของเตาต้นแบบ.....42

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.20 วิธีการการคุมอากาศของเตาต้นแบบ.....43
3.21 วิธีการเก็บน้ำส้มควันไม้ของเตาต้นแบบ.....43
3.22 การปิดหน้าเตาของเตาต้นแบบ.....44
3.23 ลักษณะการปิดเตาของเตาต้นแบบ.....44
4.1 แผนภาพเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวนอนที่พัฒนา
จากเตาเผาถ่านภูมิปัญญาท้องถิ่น.....46
4.2 แบบ drawing ของเตาเผาถ่านต้นแบบ.....47
4.3 การวิเคราะห์ระยะโก่งตัว เหล็กหนา 1.5 มิลลิเมตร ของเตาต้นแบบ.....48
4.4 การวิเคราะห์ค่า Safety Factor เหล็กหนา 1.5 มิลลิเมตร ของเตาต้นแบบ.....48
4.5 การวิเคราะห์ระยะโก่งตัว เหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตร ของเตาต้นแบบ.....49
4.6 การวิเคราะห์ค่า Safety Factor เหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตร ของเตาต้นแบบ.....49
4.7 ความสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อความหนาของฉนวน (ทราย) ต่าง ๆ
ของเตาต้นแบบ.....50
4.8 มิติของเตาเผาถ่านต้นแบบ.....51
4.9 การตัดเหล็กสำหรับทำโครงสร้างของเตาต้นแบบ.....55
4.10 การตัดและเจาะหน้าเตาและหลังเตาของเตาต้นแบบ.....56
4.11 ระยะที่ใช้ในการตัดและเจาะ หน้าเตา ของเตาต้นแบบ.....56
4.12 การตัดและเชื่อม ฝาตอนปิดเตา ของเตาต้นแบบ.....57
4.13 ระยะที่ใช้ในการตัด เจาะ และเชื่อม ฝาตอนปิดเตา ของเตาต้นแบบ.....57
4.14 การตัดและระยะการตัด แผ่นเมทัลชีทหน้าเตาของเตาต้นแบบ.....58
4.15 การเจาะ ตัดและระยะการเจาะ ของข้องอ ของเตาต้นแบบ.....58
4.16 การตัด เชื่อม และระยะการเชื่อมตะแกรง ของเตาต้นแบบ.....59
4.17 การเชื่อมโครงแต่ละด้าน ของเตาต้นแบบ.....60
4.18 การเชื่อมแต่ละด้านประกบกัน ของเตาต้นแบบ.....60
4.19 การเชื่อมที่ค้ำและการเจาะโครงเตาประกอบแผ่นเมทัลชีทของเตาต้นแบบ.....61
4.20 ระยะการเจาะโครงเตาของแต่ละด้าน ของเตาต้นแบบ.....62
4.21 การเจาะแผ่นเมทัลชีท ของเตาต้นแบบ.....63

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.22 การยิงรีเวทและกรอบที่ได้แต่ละด้าน ของเตาต้นแบบ.....64
4.23 ระยะที่ใช้ในการตัดและเจาะ ช่องเชื้อเพลิง ของเตาต้นแบบ.....65
4.24 การดัดและเชื่อม ช่องเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบ.....66
4.25 การตัดและดัด ประตูปิด เปิด ช่องเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบ.....67
4.26 ระยะที่ใช้ในการตัด และเจาะ ประตูปิด เปิด ช่องเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบ.....67
4.27 การดัด เชื่อม และระยะในการดัด เชื่อมของหูประตูปิด เปิด
ช่องเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบ.....68
4.28 การดัด เชื่อมและเจาะ สล็อตเลื่อนปิด เปิด ควบคุมอากาศของเตาต้นแบบ.....69
4.29 ระยะที่ใช้ในการตัด ดัด เชื่อมและเจาะสล็อตเลื่อนปิด เปิด
ควบคุมอากาศของเตาต้นแบบ.....70
4.30 การเจาะ ระยะในการตัด และเจาะ สลักของสล็อตปิด เปิด
ควบคุมอากาศของเตาต้นแบบ.....71
4.31 การทาสีกันสนิมของเตาต้นแบบ.....72
4.32 การปรับหน้าดินและการวางโครงเตา ของเตาต้นแบบ.....73
4.33 การเททรายและปรับพื้นทราย ของเตาต้นแบบ.....73
4.34 การนำถังวางในโครงเตา ของเตาต้นแบบ.....74
4.35 การประกอบข้องอและท่อใยหิน ของเตาต้นแบบ.....74
4.36 การเตรียมดินของเตาต้นแบบ.....75
4.37 การประสานรอยต่อด้วยดิน ของเตาต้นแบบ.....75
4.38 การยิงรีเวทด้านหลัง ของเตาต้นแบบ.....76
4.39 การเททรายลงในโครงเตาของเตาต้นแบบ.....76
4.40 การทะลวงไม้ไผ่ ของเตาต้นแบบ.....77
4.41 การตัดช่องเก็บน้ำส้มควันไม้ตามระยะ ของเตาต้นแบบ.....77
4.42 ระยะในการตัดของไม้ไผ่เก็บน้ำส้มควันไม้ ของเตาต้นแบบ.....78
4.43 การวางของไม้ไผ่เก็บน้ำส้มควันไม้ ของเตาต้นแบบ.....78
4.44 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเตาแต่ละจุดต่อเวลาของเตาแบบดั้งเดิม.....79
4.45 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเตาเฉลี่ยต่อเวลาของเตาแบบดั้งเดิม.....80

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.46 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเตาแต่ละจุดต่อเวลาของเตาต้นแบบ.....81
4.47 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาต่อเวลาของเตาต้นแบบ.....82
4.48 ความสัมพันธ์แนวโน้มของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาต่อเวลา
ของเตาแบบดั้งเดิมและเตาต้นแบบ.....83
4.49 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิปากปล่องต่อเวลาของเตาแบบดั้งเดิม.....84
4.50 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิปากปล่องต่อเวลาของเตาต้นแบบ.....85

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ถ่านคือของแข็งสีดำน้ำหนักเบา ประกอบด้วยคาร์บอน ร้อยละ 70 หรือสูงกว่า โดยทั่วไปจะผลิตจากไม้หรือวัสดุชีวมวลอื่น ๆ โดยกระบวนการเผาไหม้แบบอับอากาศ [1] หรือจำกัดอากาศ คุณสมบัติของถ่าน เมื่อเทียบกับไม้ฟืนสดแล้ว ถ่านสามารถนำไปใช้งานได้สะดวกกว่า เนื่องจากมีน้ำหนักเบา จัดเก็บได้ง่าย ไม่เปลืองพื้นที่ มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ยาวนาน ให้ค่าความร้อนสูง ไม่มีควัน ช่วยลดการปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้นจากเผาไหม้ให้น้อยลงด้วย [2] ข้อดีของถ่านที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ เป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานได้ไม่มีวันหมด เพราะไม้เป็นแหล่งพลังงานที่สามารถปลูกได้หากมีการจัดการอย่างถูกต้องและเหมาะสม [3] นอกจากประโยชน์ทางด้านพลังงานแล้ว คุณค่าของถ่านยังขยายไปสู่การเกษตร ช่วยปรับปรุงบำรุงดิน ช่วยดูดซับสารเคมี และเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในดิน ถ่านที่มีคุณภาพสูงยังไปใช้ประโยชน์ทางด้านอื่น ๆ เช่น ดูดกลิ่น กรองน้ำ ใช้ในกระบวนการอาหาร ยา และเคมีภัณฑ์อีกด้วย

สำหรับในประเทศไทยการเผาถ่าน นับเป็นอาชีพที่มีการสืบทอดมาอย่างยาวนาน เป็นภูมิปัญญาของคนโบราณในการแปรรูปไม้ให้เป็นถ่าน [2] โดยการเผาถ่านในอดีตจะใช้วิธีการที่เรียกว่า เตาหลุมผี หรือเตาแกลบ โดยจะขุดดินให้เป็นหลุมลึกประมาณ 30 เซนติเมตร จากนั้นนำไม้ไปกองอย่างไม่เป็นระเบียบ กลบด้วยดิน ฟางข้าว ใบไม้ หรือแกลบ แล้วเผาวัสดุเหล่านี้อยู่ด้านบน จากนั้นจึงใช้น้ำดับ ถ่านไม้ที่ได้จึงมีคุณภาพต่อปริมาณถ่านน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณไม้ที่ใช้ โดยเตาประเภทนี้ไม่สามารถเผากิ่งไม้ขนาดเล็กได้ จากงานวิจัยพบว่าการเผาถ่านที่ใช้ถังน้ำมัน 200 ลิตรนั้นมีประสิทธิภาพสูง ให้คุณภาพถ่านที่ดีกว่าการเผาแบบดั้งเดิม โดยสามารถสร้างเองจากอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาถูก สามารถใช้เผากิ่งไม้ขนาดเล็ก ที่ได้จากการลิดและทอนกิ่งไม้ในสวน หรือตามหัวไร่ปลายนา จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเพื่อใช้ในครัวเรือนสำหรับประเทศไทย [3]

เทคโนโลยีเตาเผาถ่าน 200 ลิตร จึงเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ถูกถ่ายทอดออกสู่ชุมชนผ่านโครงการวางแผนพลังงานชุมชนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 จนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตามจากการลงพื้นที่ไปศึกษาแหล่งเรียนรู้เตาเผาถ่าน 200 ลิตร ภูมิปัญญาท้องถิ่น ในชุมชนบ้านแม่ระกา อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก พบปัญหาว่าผู้ที่มาเรียนรู้การทำเตาไปแล้ว ไม่ประสบความสำเร็จในการนำเตาเผา

ถ่านไปใช้งานจริง เนื่องจากไม่สามารถสร้างเตาได้เหมือนเตาแบบดั้งเดิมและไม่สามารถอุดรอยรั่วของอากาศให้สนิทได้ในการทำให้เตาเย็นตัวลง

คณะผู้ดำเนินโครงงานจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาโดยการพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่าน 200 ลิตร จากภูมิปัญญาท้องถิ่นให้เป็นกระบวนการที่สะดวก ได้เตาเผาถ่านที่มีมาตรฐานเดียวกันทุกครั้งในการสร้าง และเตาที่ได้มีสมรรถนะและประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบดั้งเดิม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ศึกษาและพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร จากภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อให้ได้เตาเผาถ่านที่มีมาตรฐานเดียวกันในการผลิตซ้ำ และสะดวกในการใช้งาน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ศึกษาโครงสร้าง วิธีการสร้าง และวิธีการใช้งานเตาเผาถ่านแบบแนวนอนขนาด 200 ลิตร แบบดั้งเดิมจากภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีการใช้งานในจังหวัดพิษณุโลก ทำการพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่าน 200 ลิตร สร้างเตาเผาถ่านต้นแบบโดยกระบวนการที่พัฒนาขึ้น ทำการทดสอบการใช้งานเปรียบเทียบกับเตาเผาถ่านดั้งเดิม ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ของตัวเตา อุณหภูมิปากปล่องควัน ปริมาณของไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่านและเป็นเชื้อเพลิง ปริมาณของถ่านที่ได้ ค่าความร้อนของถ่านที่ได้ ตลอดจนปริมาณ ค่าความเป็นกรด ด่าง (ค่า pH) และค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ได้

1.4 ขั้นตอนแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2562						2563			
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง										
2. พัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่าน										
3. สร้าง ทดสอบและปรับปรุงเตาเผาถ่านที่พัฒนาขึ้น										
4. วิเคราะห์ สรุปผลและจัดทำรายงาน										

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 กระบวนการสร้างเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวนอน ที่มีมาตรฐานเดียวกันในการผลิตซ้ำ โดยมีสมรรถนะและประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเตาดั้งเดิมจากภูมิปัญญาท้องถิ่น

1.5.2 เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวนอนต้นแบบ ที่มีโครงสร้างได้มาตรฐาน ใช้งานสะดวก สามารถติดตั้งบนพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นดินได้ เช่น พื้นปูน เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถเคลื่อนย้ายได้หลังจากติดตั้งแล้ว ทำให้สะดวกต่อการนำไปสาธิตหรือเผยแพร่เทคโนโลยีในชุมชนต่อไป

1.6 งบประมาณที่ใช้

วัสดุ/อุปกรณ์	ราคา (บาท)
ถังน้ำมัน 200 ลิตรแบบมีฝาล็อค (ชนิดเหล็ก)	500
ข้องอ ท่อใยหิน 90 องศา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว	30
ท่อใยหินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาวประมาณ 1 เมตร	30
เมทัลชีทแผ่นแบบเรียบหนา 0.3 มิลลิเมตร ขนาด กว้าง 0.8 เมตร ยาว 0.9 เมตร จำนวน 2 แผ่น ขนาด กว้าง 1.1 เมตร ยาว 0.9 เมตร จำนวน 2 แผ่น	360
เหล็กกล่องขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร ยาว 6 เมตร จำนวน 4 เส้น	560
เหล็กแผ่นหนา 1-1.2 มิลลิเมตร ขนาด 0.6 ตารางเมตร	100
เหล็กเส้น เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 มิลลิเมตร ยาว 15 เซนติเมตร	20
เหล็กแบนขนาด 1 นิ้ว ยาว 5 เมตร	180
ทรายหยาบ ใช้ 0.5 คิว	125
ลูกรีเวท เบอร์ 6-6 ตัวละ 0.211 บาท ใช้ 80 ตัว	20
ลวดเชื่อม ขนาด 2.6 มิลลิเมตร ประมาณ 50-60 เส้น	75
รวม	**2,000**

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการการเผาไหม้และการทำงานของเตาเผาถ่าน เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเตาเผาถ่านแต่ละชนิด และทฤษฎีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการการเผาไหม้ (คาร์บอนไนเซชั่น)

กระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น (Carbonization) เป็นกระบวนการที่นำไม้มาให้ความร้อนในบริเวณที่มีการจำกัดอากาศ ซึ่งผลผลิตที่ได้ออกมาคือ ถ่าน และมีผลิตภัณฑ์รอง คือ ของเหลวและแก๊สบางชนิด สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนการอบแห้ง ขั้นตอนการไล่น้ำออกจากไม้ เป็นกระบวนการดูดความร้อนมีอุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส

2. ขั้นตอนก่อนกระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น (Pre-carbonization) เป็นกระบวนการดูดความร้อนที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 170 – 300 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนนี้ได้ของเหลวไพโรลิกเนียส (Pyroligneous liquids) คือ น้ำส้มควันไม้และกรดอะซีติกและมีแก๊สบางชนิดคือคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เล็กน้อย

3. ขั้นตอนการเกิดถ่าน เป็นกระบวนการคายความร้อนที่อุณหภูมิที่ประมาณ 250 – 300 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนที่ไล่ของเหลวทาร์ และกรดไพรลิกเนียส (Pyroligneous acids) ออกจากไม้ ทำให้ได้ถ่าน

4. ขั้นตอนการเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงตัว เป็นกระบวนการคายความร้อนขั้นตอนสุดท้ายที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส เพื่อไล่สารระเหยที่เหลือออกจากถ่านไม้ทำให้ได้ปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านมากขึ้น

2.2 เตาเผาถ่าน

หลักการทำงานของเตาเผาถ่าน

โดยทั่วไปการเผาไม้ที่อากาศเปิดจะทำให้ไม้ที่นำมาเผาไหม้ จะกลายเป็นขี้เถ้าทั้งหมด ดังนั้น หลักการทำงานของเตาเผาถ่านคือการควบคุมอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ กล่าวคือถ้าไม้ที่ถูกเผาได้ทำการควบคุมอากาศที่เข้ามาในกระบวนการเผาไหม้มีความเหมาะสม จะทำให้ไม้ที่ถูกเผาไม่กลายเป็นขี้เถ้าแต่จะได้เป็นถ่าน เตาเผาถ่านที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) เตาดินเหนียวก่อ

2) เตาอิฐก่อ

3) เตาอิวาเตะ

4) เตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร

2.2.1 เตาดินเหนียวก่อ

เตาดินเหนียวก่อมีลักษณะคล้ายกับจอมปลวก ตัวผนังเตาบางส่วนอยู่บนดินอีกส่วนหนึ่งขุดลึกลงไปกว่าพื้นดิน เตาดินเหนียวก่อนี้สามารถพบได้ทั่วไปในชนบทของประเทศไทยผนังเตาที่ใช้ก่อขึ้นมาเหนือพื้นดินนั้นก่อด้วยดินเหนียว แต่ไม่จำเป็นต้องใช้ดินเหนียวล้วนอาจใช้ดินลูกรังหรือทรายหยาบปนได้บ้างเล็กน้อย เพื่อป้องกันผนังเตาแตกร้าวในระหว่างการเผาถ่านใน[4]

รูปที่ 2.1 เตาดินก่อ

ที่มา : https://www.sentangsedtee.com/w-pcontent/uploads/2018/07/untitled.png

ข้อดี

1. ให้ผลผลิตถ่านสูง
2. ให้ถ่านคุณภาพดี
3. ต้นทุนต่ำ
4. ใช้วัสดุพื้นบ้าน ไม่ต้องซื้อ
5. กรรมวิธีการเผาถ่านสะดวกไม่ยุ่งยาก

ข้อเสีย

1. ไม่สามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้
2. ควบคุมอุณหภูมิได้ค่อนข้างยาก
3. ใช้เวลาในการเผาที่ค่อนข้างนาน

2.2.2 เตาอิฐก่อ

เตาอิฐก่อมีลักษณะเหมือนมะนาวผ่าซีก คล้ายกับเตาดินเหนียวก่อแต่จะต่ำกว่าเตาดินเหนียวก่อเล็กน้อย ผนังเตาทำด้วยอิฐมอญ โดยทั่วไปเตาอิฐก่อจะเผาถ่านเพื่อการค้า เสียเป็นส่วนมาก[4]

รูปที่ 2.2 เตาอิฐก่อ

ที่มา : https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRkUJaepWWshYBPFYcX9BwvUrQrdyhMmmIPOlazKq_gRBLl5Uw7ew

ข้อดี

1. สามารถเผาถ่านในปริมาณที่มาก ๆ ได้ในครั้งเดียว
2. ให้ถ่านคุณภาพดี

ข้อเสีย

1. ต้นทุนสูงในระดับหนึ่ง
2. วิธีการสร้างเตายุ่งยาก
3. ขั้นตอนการเผาซับซ้อน

2.2.3 เตาอิวาเตะ

เตาเผาถ่าน อิวาเตะ เป็นเตาเผาถ่านที่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศญี่ปุ่นชาวญี่ปุ่น เรียกว่า “Sumiyaki Gama” เป็นเตาเผาถ่านที่ผลิตถ่านคุณภาพสูงสามารถควบคุมอุณภูมิภายในเตาเผาถ่านได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีปล่องควันเพียง 1 ปล่อง และมีรูปทรงเป็นหยดน้ำที่มีความแตกต่างด้านความสูงน้อยกว่าเตาอิฐก่อของไทย[4]

รูปที่ 2.3 เตาอิวาเตะ

ที่มา http://blog.thaisumi.com/wp-content/uploads/2013/10/%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%B0_1.jpg

ข้อดี

1. ให้ถ่านที่มีคุณภาพสูง
2. ควบคุมอุณหภูมิได้ดี
3. ผลิตถ่านได้จำนวนมาก

ข้อเสีย

1. มีต้นทุนสูง
2. ต้องใช้พื้นที่ติดตั้งเตาขนาดใหญ่
3. ใช้เวลาในการเผาหลายวัน

2.2.4 เตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร

เตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร ในปัจจุบันเป็นเตาที่นิยมใช้มากที่สุด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบแนวตั้งและแบบแนวนอน

แบบแนวตั้ง

1) เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แบบไบโอชาร์ (Biochar)

เป็นเตาเผาถ่านที่ทำจากถัง 200 ลิตร 1 ใบ ถังเหล็กขนาดเล็กกว่าถัง 200 ลิตร 1 ใบ (สำหรับใส่ฟืนที่จะเผาถ่าน) ถังสีเหล็ก 1 ใบ (สำหรับทำปล่องควัน) โดยถัง 200 ลิตรจะมีการเจาะรูบริเวณรอบ ๆ ข้างของตัวถังเพื่อให้อากาศเข้าได้สะดวก เตาเผาถ่านชนิดนี้จะใช้เวลาในการเผาค่อนข้างสั้น อยู่ที่ประมาณ 4 -5 ชั่วโมงก็สามารถเก็บถ่านได้

รูปที่ 2.4 เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แบบไบโอชาร์

ที่มา : https://images.thaiza.com/12/12_20150509165033..jpg

ข้อดี

1. ไม่มีควัน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2. ได้ถ่านที่มีคุณภาพสูง ค่าคาร์บอนสูงนำไปใช้ในการก่อติดไฟง่าย
3. สามารถเอาถ่านมาใช้ในการปรับปรุงดินในด้านการเกษตร
4. สามารถเอาถ่านไปทำเป็นไส้กรองน้ำ
5. ในต่างประเทศเอาถ่านไปใช้เครื่องสำอาง
6. ใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้ให้กลายเป็นถ่านน้อย
7. สามารถเคลื่อนย้ายไปเผาในที่ต่าง ๆ ได้สะดวกผู้เผาไม่ต้องค่อยควบคุมอากาศ เนื่องจากเป็นแบบระบบปิด

ข้อเสีย

1. ไม่มีน้ำส้มควันไม้
2. ต้องหุ้มด้วยฉนวนที่มีคุณภาพสูง
3. ไม้ที่จะทำเป็นถ่านจุดติดไฟช้า
4. ไม่เหมาะสมสำหรับเผาไม้ใหญ่

2) เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แบบซูปเปอร์ซัน (Super Sun)

เป็นเตาเผาถ่านที่ทำจากถัง 200 ลิตร 2 ถัง โดยถังแรกจะนำมาทำเป็น ห้องเผาไหม้มีการเจาะช่องสำหรับใส่เชื้อเพลิง อีกหนึ่งถังใช้สำหรับใส่ไม้ที่จะเผา เป็นถ่าน(ตัวเตา) เชื้อเพลิงที่ใช้ในการจุดจะเป็นน้ำมันเครื่องหรือน้ำมันชนิดอื่น ที่สามารถหาได้ง่ายปริมาณน้ำมันที่ใช้สำหรับจุดหน้าเตาอยู่ที่ประมาณ 1.5-2 ลิตร สำหรับการเผาในแต่ละครั้ง ชั้นนอกของตัวถังจะหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนาประมาณ 3 นิ้ว และใช้แผ่นอลูซิงค์หุ้มอีกหนึ่งชั้นเพื่อป้องกันความร้อนไหลออก กรณีที่ไม่ทำการหุ้มฉนวนไม้ที่นำมาเผาจะกลายเป็นถ่านเพียงบางส่วนเนื่องจากความร้อนภายในเตาไม่ถึงตามที่ต้องการ

รูปที่ 2.5 เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แบบซูปเปอร์ซัน

ที่มา : https://www.google.com/search?biw

ข้อดี

1. ควันน้อย
2. ใช้ระยะเวลาในการเผาที่ค่อนข้างสั้น
3. ประหยัดพลังงานในการเผาให้ความร้อน คือประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาให้ความร้อน
4. ลดมลภาวะทางอากาศ ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ปล่อยควันพิษ เช่น CO CH_4 น้อยมากเนื่องจากการเผาไหม้ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงาน
5. ได้ปริมาณถ่านมากเนื่องจากถ่านไม่ถูกเผาไหม้ในระหว่างการเผาถ่าน
6. สามารถเคลื่อนย้ายไปเผาในที่ต่าง ๆ ได้สะดวกต่อผู้เผาไม่ต้องค่อยควบคุมอากาศเนื่องจากเป็นแบบระบบปิด
7. ได้ถ่านที่มีคุณภาพสูง ค่าคาร์บอนสูงนำไปใช้ในการก่อติดไฟง่าย
8. นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า

ข้อเสีย

1. ไม่มีน้ำส้มควันไม้
2. ต้องหุ้มด้วยฉนวนที่มีคุณภาพสูง
3. ไม้ที่จะทำเป็นถ่านจุดติดไฟช้า
4. ไม่เหมาะสมสำหรับเผาไม้ใหญ่

แบบแนวนอน

เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แนวนอนถังเดียว

หลักการทำงาน

เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แนวนอนถังเดียวเป็นเตาเผาถ่านที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาเผาถ่านแบบดั้งเดิมประมาณ 1.2-1.5 เท่า โดยเปรียบเทียบจากปริมาณถ่านที่ได้ในการเผาแต่ละครั้ง โดยใช้ถังขนาด 200 ลิตร เป็นตัวเตา เตาประเภทนี้อาศัยความร้อนไล่ความชื้นในเนื้อไม้ที่อยู่ในเตาทำให้ไม้กลายเป็นถ่านหรือที่เรียกว่า “กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน” นอกจากนี้เตายังมีโครงสร้างที่มีลักษณะปิดทำให้สามารถควบคุมอากาศได้ จึงไม่มีการลุกติดไฟของเนื้อไม้ ผลผลิตที่ได้จึงเป็นถ่านที่มีคุณภาพ สารก่อมะเร็งต่ำ ขี้เถ้าน้อย และผลพลอยได้จากกระบวนการเผาถ่านอีกอย่างหนึ่งคือน้ำส้มควันไม้ (Wood Vinegar) ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเกษตรกรรมได้ด้วย[5] ในการเผาแต่ละครั้งใช้ไม้ฟืนประมาณ 80 กิโลกรัม ผลผลิตถ่าน 15-18 กิโลกรัมต่อครั้ง ใช้เวลาในการเผาประมาณ 6-8 ชั่วโมง[3]

ส่วนประกอบและโครงสร้าง

1. ถัง 200 ลิตร
2. ข้องอฉากใยหิน เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว
3. ท่อตรงใยหินเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาว 1 เมตร
4. อิฐบล็อกจำนวน 5 ก้อน
5. อิฐแดง
6. ดินเหนียวผสมขี้เถ้าแกลบให้ใช้อัตราส่วนขี้เถ้าแกลบต่อดินเหนียว 1:1 หรืออัตราส่วนแกลบต่อดินเหนียว 1:3
7. ดินหรือทรายประมาณครึ่งคิว
8. เสาค้ำยันสำหรับประคองผนังเตาด้านนอกตอกเสาให้มีระยะห่าง 80x80 เซนติเมตร
9. ไม้ฟืน 80 กิโลกรัมต่อครั้ง ได้ผลผลิตถ่าน 15-18 กิโลกรัมต่อครั้งใช้เวลาในการเผา 6-8 ชั่วโมง

ขั้นตอนการสร้างเตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แนวนอนถังเดียว

ทำการตอกเสาค้ำยันโดยวัดระยะห่างระหว่างเสาค้ำยันประมาณ 80x80 เซนติเมตร

1. นำตัวเตาเจาะทั้งด้านหน้าและด้านท้ายของเตาและนำถังมาวางกึ่งกลางเสาค้ำยัน โดยให้รูกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้วอยู่ด้านล่างเพื่อประกอบกับท่องอฉากที่เจาะรูขนาด 1 นิ้วไว้เพื่อระบายน้ำส้มควันไม้

2. ประกอบท่องอฉากกับถังที่เจาะรูไว้เข้าด้วยกันและนำท่อใยหินมาประกอบเข้ากับท่องอฉาก

3. ประสานรอยต่อระหว่างตัวเตา ท่องอฉากและปล่องควันให้สนิทด้วยดินเหนียวเพื่อไม่ให้เกิดรอยรั่ว

4. นำผนังเตามาประกอบกันโดยให้ห่างจากขอบของตัวเตาประมาณ 10 เซนติเมตร

5. ปิดผนังหน้าเตาโดยวางผนังด้านหลังเตาให้ห่างจากท่องอประมาณ 10-15 เซนติเมตร ใส่ดินหรือทรายลงไปพอประมาณเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวเตาขยับเขยื้อน

6.นำดินหรือทรายใส่ทั้ง 3 ด้านรอบตัวเตา เพื่อเป็นฉนวนให้กับเตาและนำผนังเตาด้านหน้าประกบหน้าเตาเพื่อป้องกันไม่ให้ฉนวนดินหรือทรายหน้าเตาพังลงมาโดยเว้นช่องฝาผนังเตาไว้เพื่อปิด เปิดฝาได้สะดวกโดยไม่ต้องรื้อเตาใหม่อีก

ขั้นตอนการใช้งาน

การจัดเรียงไม้เพื่อเผาถ่าน

1. นำไม้ที่ต้องการจะเผามาแยกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ เพื่อจะจัดเรียงตามขนาดใส่ลงในเตา

2. เรียงไม้ที่มีขนาดเล็กไว้ล่างสุดของเตาโดยให้ปลายที่มีขนาดเล็กอยู่ท้ายเตาปลายที่มีขนาดใหญ่อยู่หน้าเตา

การเผาถ่านด้วยเตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แนวนอนถังเดียว

- ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น หรือ คายความร้อน

1. เริ่มจุดไฟหน้าเตาเพื่อให้ความร้อนแก่เตาโดยจุดไฟบริเวณช่องเชื้อเพลิงบริเวณอิฐก้อนแรก

2. ใส่เชื้อเพลิงทีละน้อยในช่องเชื้อเพลิง ช่วงนี้จะเป็นช่วงของการให้ความร้อนในเตาเพื่อไล่ความชื้นในเนื้อไม้ ความชื้นภายในเตารวมทั้งที่ฉนวนหุ้มเตาช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความชื้นของปัจจัยต่าง ๆ

3. เมื่อไล่ความชื้นแล้ว ความร้อนในเตาจะสูงขึ้นจนทำให้เนื้อไม้ในเตาสามารถรักษาระดับอุณหภูมิภายในตัวเองได้โดยไม่ต้องใส่เชื้อเพลิงเข้าไปและสังเกตไฟถ้ามีการลุกแรงกว่าปกติหรือมีควันสีขาวขุ่นๆ ให้หรี่ไฟหน้าเตาลงเหลือครึ่งหนึ่ง

4. หลังจากหรี่ไฟประมาณ 1 ชั่วโมงหรือสังเกตควันที่มีสีขาวอมเหลือง ให้หรี่หน้าเตาลงเหลือเพียง 10เปอร์เซ็นต์ ของช่องเชื้อเพลิงและทำการเก็บน้ำส้มควันไม้

- ช่วงที่ 2 เปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน

  เมื่อควันจากกระบอกไม้ไผ่ได้รับความเย็นจากอากาศภายนอกจะทำให้เกิดการควบแน่นจับกันเป็นหยดน้ำไหลลงมาเรียกว่า น้ำส้มควันไม้ ใช้เวลาเก็บประมาณ 3-4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิปากปล่อง 80-150 องศาเซลเซียส

- ช่วงที่ 3 การทำถ่านให้บริสุทธิ์

  สังเกตควันที่ปากปล่องกลายเป็นสีฟ้าใสให้เริ่มเปิดหน้าเตาเพื่อให้อากาศเข้าไปไล่สารตกค้างหรือแก๊สที่ค้างอยู่ในเตาโดยเปิดหน้าเตาออกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของหน้าเตาทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที

- ช่วงที่ 4 การทำถ่านให้เย็นลง

  1. สังเกตสีของควันที่ปล่องควันถ้ามีสีฟ้าใสๆ แสดงว่าไม้กลายเป็นถ่านทั้งหมดแล้วให้ทำการปิดหน้าเตาให้สนิทแล้วทำการปิดปล่องควัน

2. หลังจากปิดให้ทำการเกลี่ยฉนวนออกเพื่อระบายความร้อนในเตาช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 12-15 ชั่วโมง

รูปที่ 2.6 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร แบบแนวนอน

ที่มา:

https://s.isanook.com/hm/0/rp/r/w700/ya0xa0m1w0/aHR0cHM6Ly9zLmlzYW5vb2suY29tL2htLzAvdWQvMy8xNTY4MS9tYWluMi5qcGc=.jpg

ข้อดี

1. ควบคุมปริมาณอากาศได้ดี ทำให้เกิดกระบวนการเผาไล่น้ำมันดิน
2. ถ่านมีความบริสุทธิ์สูง ให้ความร้อนสูงและใช้งานได้นาน
3. มีสารก่อมะเร็งต่ำ
4. ได้ปริมาณถ่านมาก 20-22 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณโดยมวล

ข้อเสีย

1. ในการควบคุมอากาศไหลในขั้นตอนการทำให้ถ่านบริสุทธิ์ก่อนปิดหน้าเตาต้องใช้ความชำนาญและประสบการณ์ มิฉะนั้นถ่านในเตาจะกลายเป็นขี้เถ้า
2. ต้องติดตั้งองศาของหน้าเตาให้มีความเหมาะสม มิฉะนั้นเตาจะติดไฟได้ยากหรือไม่ติดเลย

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของเตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร

รูปแบบ	ชื่อเตาเผาถ่าน	ข้อดี	ข้อเสีย
แนวตั้ง	1. เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตรแบบไบโอชาร์	1. ไม่มีควันเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 2. ได้ถ่านที่มีคุณภาพสูง ค่าคาร์บอนสูงนำไปใช้ในการก่อติดไฟง่าย 3. สามารถเอาถ่านมาใช้ในการปรับปรุงดินในด้านการเกษตร 4. สามารถเอาถ่านไปทำเป็นไส้กรองน้ำ 5. ในต่างประเทศเอาถ่านไปใช้เครื่องสำอาง 6. ใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้ให้กลายเป็นถ่านน้อย 7. สามารถเคลื่อนย้ายไปเผาในที่ต่าง ๆ ได้สะดวกผู้เผาไม่ต้องค่อยควบคุมอากาศเนื่องจากเป็นแบบระบบปิด	1. ไม่มีน้ำส้มควันไม้ 2. ต้องหุ้มด้วยฉนวนที่มีคุณภาพสูง 3. ไม้ที่จะทำเป็นถ่านจุดติดไฟช้า 4. ไม่เหมาะสมสำหรับเผาไม้ใหญ่

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของเตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร (ต่อ)

รูปแบบ	ชื่อเตาเผาถ่าน	ข้อดี	ข้อเสีย
แนวตั้ง	2. เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตรแบบซูปเปอร์ซัน	1. ควันน้อย 2. ใช้ระยะเวลาในการเผาที่ค่อนข้างสั้น 3. ประหยัดพลังงานในการเผาให้ความร้อนคือประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาให้ความร้อน 4. ลดมลภาวะทางอากาศไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมปล่อยควันพิษ เช่น CO CH_4 น้อยมากเนื่องจากการเผาไหม้ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงาน 5. ได้ปริมาณถ่านมากเนื่องจากถ่านไม่ถูกเผาไหม้ในระหว่างการเผาถ่าน 6. สามารถเคลื่อนย้ายไปเผาในที่ต่าง ๆ ได้สะดวกต่อผู้เผาไม่ต้องค่อยควบคุมอากาศเนื่องจากเป็นแบบระบบปิด 7. ได้ถ่านที่มีคุณภาพสูงค่าคาร์บอนสูงนำไปใช้ในการก่อติดไฟง่าย	1. ไม่มีน้ำส้มควันไม้ 2. ต้องหุ้มด้วยฉนวนที่มีคุณภาพสูง 3. ไม้ที่จะทำเป็นถ่านจุดติดไฟช้า 4. ไม่เหมาะสมสำหรับเผาไม้ใหญ่

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของเตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร (ต่อ)

รูปแบบ	ชื่อเตาเผาถ่าน	ข้อดี	ข้อเสีย
แนวนอน	1. เตาเผาถัง 200 ลิตร แนวนอนถังเดียว	1. ควบคุมปริมาณอากาศได้ดี ทำให้เกิดกระบวนการเผาไล่น้ำมันดิน 2. ถ่านมีความบริสุทธิ์สูง ให้ความร้อนสูงและได้นาน 3. มีสารก่อมะเร็งต่ำ 4. ได้ปริมาณถ่านมาก 20-22 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณโดยมวล	1. ในการควบคุมอากาศไหลในขั้นตอนการทำให้ถ่านบริสุทธิ์ก่อนปิดหน้าเตาต้องใช้ความชำนาญและประสบการณ์มิฉะนั้นถ่านในเตาจะกลายเป็นขี้เถ้า 2. ต้องติดตั้งองศาของหน้าเตาให้มีความเหมาะสมมิฉะนั้นเตาจะติดไฟได้ยากหรือไม่ติดเลย

2.3 เตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร จากภูมิปัญญาท้องถิ่น

2.3.1 เตาเผาถ่านคุณบุญส่ง ศิริโยธิน

ลักษณะเป็นเตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แบบแนวนอน [6]

รูปที่ 2.7 เตาเผาถ่านคุณบุญส่ง ศิริโยธิน

วัสดุในการทำเตาเผาถ่านคุณบุญส่ง ศิริโยธิน

1.	อิฐบล็อก	5	ก้อน
2.	ท่อใยหิน	1	เมตร
3.	ข้อต่อท่อใยหิน	1	ข้อ
4.	ถัง 200 ลิตร	1	ถัง
5.	สังกะสี 12 ฟุต	1	แผ่น
6.	ไม้ยึดด้านข้าง (ตามความเหมาะสม)		
7.	ทราย	½	คิว

ขั้นตอนการสร้างเตาเผาถ่านคุณบุญส่ง ศิริโยธิน

1. เจาะรูที่ฝาถังด้านหน้าขนาด 20 x 20 เซนติเมตร เจาะรูต่อท่อปล่องควันที่ด้านหลังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว เจาะรูด้านล่างของข้อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร

2. ปรับหน้าดินที่วางเตาให้เรียบเสมอกัน โดยเลือกที่ห่างไกลจากแหล่งชุมชนหรือที่อยู่อาศัย เลือกบริเวณที่สูงจากระดับน้ำและมีต้นไม้ เพื่อช่วยในการดูดซับแก๊สจากควัน

3. วางถังในแนวนอนให้ปล่องไฟและปล่องควันอยู่ติดพื้น โดยหน้าเตาใช้อิฐแดงรองสูงขึ้น 12-15 เซนติเมตร

4. นำปล่องควันมาต่อด้านหลังเตาแล้วให้นำดินเหนียวปิดตามรอยต่อทั้งด้านนอกและด้านใน เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ

5. นำเสาที่เตรียมไว้ไปปักเป็นกรอบสี่เหลี่ยม ห่างจากถัง 12-15 เซนติเมตร แล้วนำสังกะสีมาล้อมถังโดยยึดติดกับไม้ ให้สังกะสีอยู่ด้านใน โดยที่หัวและท้ายของสังกะสีชนกันพอดีที่ด้านหน้าของถังแล้วจึงตัดให้เป็นรูวงกลมขนาดเท่ากับปากถัง

6. นำทรายมาเทให้เต็มกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมถังไว้ และเทปิดด้านบนถังหนา 12-15 เซนติเมตร

7. ก่ออิฐบล็อกต่อจากช่องไฟที่หน้าถัง เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้วใช้ดินเหนียวอุดตามรอยต่อ ขุดหลุมช่องใส่เชื้อเพลิงหน้าเตาลึกลงไป 10-12 เซนติเมตร

ขั้นตอนการเตรียมก่อนการเผาถ่าน

1. เตรียมไม้แห้งที่จะเผาเป็นถ่านจำนวน 80 กิโลกรัม ยาว 80 เซนติเมตร และไม้แห้งที่นำมาทำเป็นเชื้อเพลิงจำนวน 15-20 กิโลกรัม

2. ใส่ไม้แห้งที่จะเผาเป็นถ่านลงไปในเตาเผาบนไม้รองพื้นที่ห่างจากก้นเตาเผาประมาณ 1 นิ้ว โดยจะเรียงตามแนวยาวของเตาเผาและเรียงโดยให้ไม้เล็กอยู่ข้างล่างของเตาเผาและให้ไม้ใหญ่อยู่ข้างบนของเตาเผา

3. ปิดฝาหน้าเตาเผาและนำอิฐบล็อกจำนวน 5 ก้อน มาเรียงตรงหน้าเตาเผาเพื่อใช้เป็นช่องในการเผาเชื้อเพลิงให้ความร้อนและเป็นช่องให้อากาศไหลเข้า

4. ใช้ดินเหนียวปิดขอบๆ ของฝากับเตาเผาและรอยต่อของอิฐบล็อกเพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

ขั้นตอนการเผาถ่าน

- ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น หรือ คายความร้อน

1. จุดไฟบริเวณหน้าเตาให้เชื้อเพลิงเกิดการติดไฟ

2. เปิดปากปล่องหน้าเตาทั้งหมดให้อากาศเข้าได้มากที่สุด เพื่อทำให้ไฟติดไวและไล่ความชื้นออกจากไม้ โดยจะสังเกตจากควันที่พุ่งออกมาจะมีสีขาว

3. ทำการเติมเชื้อเพลิงไปเรื่อย ๆ เพื่อให้ควันสีขาวที่พุ่งออกมากลายเป็น สีขาวคล้ำคล้ายกับสีของก้อนเมฆ หลังจากนี้จะเริ่มทำการเก็บน้ำส้มควันไม้

- ช่วงที่ 2 เมื่อไม้กลายเป็นถ่าน

1. ไม้ที่อยู่ในเตาจะคายความร้อนที่สะสมไว้ในตัว จะทำให้อุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้น ช่วงนี้จะลดการเติมเชื้อเพลิงลงเรื่อย ๆ จนหยุดเติมเชื้อเพลิงที่หน้าเตา

2. หลังจากหยุดเติมเชื้อเพลิงที่หน้าเตา จะต้องทำการควบคุมอากาศไม่ให้เข้าไปในเตาเผามากจนเกินไป โดยจะเปิดปากที่หน้าเตาให้เหลือช่องว่างประมาณ ¼ ของขนาดช่องหน้าเตา (ช่องว่างห่างจากขอบขวามือของช่องหน้าเตา 2 นิ้ว)

3. สังเกตที่สีของควันถ้ามีสีออกสีน้ำเงินใส ให้ทำการหยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ เพราะถ้ายิ่งเก็บต่อไปน้ำส้มควันไม้ที่ได้จะมีส่วนผสมของสารทาร์ ที่เป็นสารก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ หรือสังเกตจากการหยดของน้ำส้มควันไม้ ถ้ามีการหยดที่ช้ามาก ๆ ให้ทำการหยุดเก็บทันทีและปล่อยไว้จนควันจาง

- ช่วงที่ 3 การทำถ่านให้บริสุทธิ์

1. เมื่อหลังจากควันเริ่มจางแล้ว ให้เปิดปากหน้าเตาออกทั้งหมดเพื่อให้อากาศเข้าให้มากที่สุดและสังเกตที่ปล่องควันให้เห็นเปลวไฟพุงออกมาจากปล่องระบายควัน

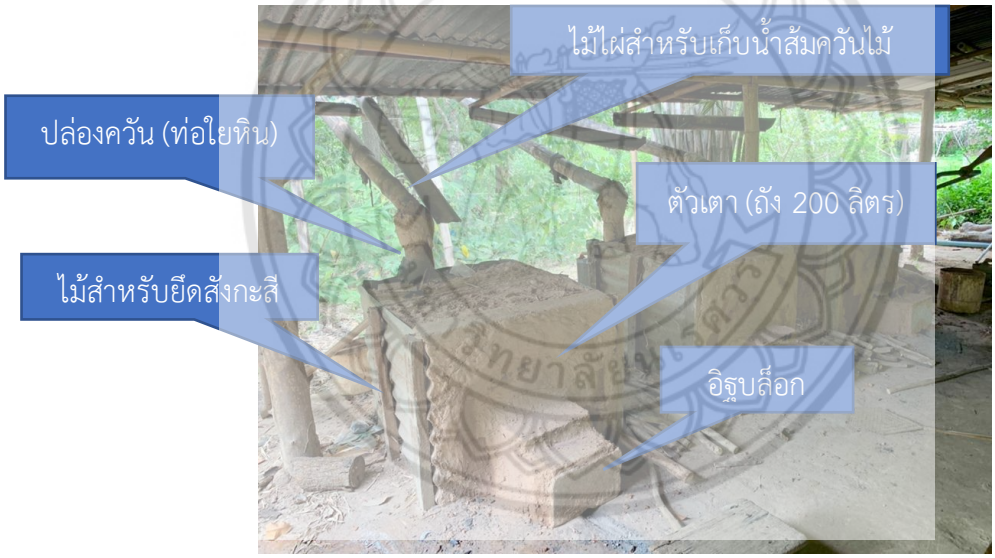
2. ทำการปิดหน้าเตาให้สนิทโดยใช้อิฐและดินเหนียวปิดให้สนิท จากนั้นนำผ้าห่อดินเหนียวให้มีขนาดใหญ่กว่าปล่องระบายควันนำมาปิดที่ปากปล่องระบายควันให้สนิทเพื่อไม่ให้มีอากาศเข้าไปในเตาเผาถ่านได้

- ช่วงที่ 4 การทำให้ถ่านในเตาเย็นลง

หลังจากปิดรูทุกรูอย่างสนิท ปล่อยเตาทิ้งไว้ประมาณ 1 วัน หรือ 1 ½ วัน เพื่อให้ถ่านดับสนิทแล้วจึงทำการเปิดเตาเพื่อนำถ่านออกมาจากเตา และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.3.2 เตาเผาถ่านคุณบุญมาก รุนกระโทก

ลักษณะเป็นเตาเผาถ่านถัง 200 ลิตร แบบแนวนอน [7]



รูปที่ 2.8 เตาเผาถ่านคุณบุญมาก รุนกระโทก

วัสดุในการทำเตาเผาถ่านคุณบุญมาก รุนกระโทก

1.	อิฐบล็อก	5	ก้อน
2.	ท่อเหล็กขนาด 4 นิ้ว	1	เมตร
3.	ข้องอท่อเหล็ก	1	ข้อ
4.	ถัง 200 ลิตร	1	ถัง
5.	สังกะสี 12 ฟุต	1	แผ่น
6.	ไม้ยึดด้านข้าง (ตามความเหมาะสม)		
7.	ดินเหนียวผสมทราย (ตามความเหมาะสม)		

ขั้นตอนการสร้างเตาเผาถ่านคุณบุญมาก รุนกระโทก

1. เจาะรูที่ฝาถังด้านหน้าขนาด 20 x 20 เซนติเมตร เจาะรูต่อท่อปล่องควันที่ด้านหลังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว

2. ปรับหน้าดินที่ว่างเตาให้เรียบเสมอกัน โดยเลือกที่ห่างไกลจากแหล่งชุมชนหรือที่อยู่อาศัยเลือกบริเวณที่สูงจากระดับน้ำและมีต้นไม้ เพื่อช่วยในการดูดซับแก๊สจากควัน

3. วางถังในแนวนอนให้ปล่องไฟและปล่องควันอยู่ติดพื้น โดยหน้าเตาและท้ายเตาวางแนวระนาบกับพื้นดิน

4. นำปล่องควันมาต่อด้านหลังเตาแล้วให้นำดินเหนียวปิดตามรอยต่อทั้งด้านนอกและด้านใน เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ

5. นำเสาที่เตรียมไว้ไปปักเป็นกรอบสี่เหลี่ยม ห่างจากถัง 3-4 นิ้วแล้วนำสังกะสีมาล้อมถังโดยยึดติดกับไม้ ให้สังกะสีอยู่ด้านใน โดยที่หัวและท้ายของสังกะสีชนกันพอดีที่ด้านหน้าของถังแล้วจึงตัดให้เป็นรูวงกลมขนาดเท่ากับปากถัง

6. นำดินผสมทรายมาเทให้เต็มกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมถังไว้ เทปิดด้านบนถังหนา 3-4 นิ้ว

7. ก่ออิฐบล็อกต่อจากช่องไฟที่หน้าถัง เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้วใช้ดินเหนียวอุดตามรอยต่อให้สนิท

ขั้นตอนการเตรียมก่อนการเผาถ่าน

1. เตรียมไม้แห้งที่จะเผาเป็นถ่านจำนวน 80 กิโลกรัม ยาว 80 เซนติเมตร และไม้แห้งที่นำมาทำเป็นเชื้อเพลิงจำนวน 1-2 กิโลกรัม

2. ใส่ไม้แห้งที่จะเผาเป็นถ่านลงไปในเตาเผาบนไม้รองพื้นที่ห่างจากก้นเตาเผาประมาณ 1 นิ้ว โดยจะเรียงตามแนวยาวของเตาเผา และเรียงโดยให้ไม้เล็กอยู่ข้างล่างของเตาเผาและให้ไม้ใหญ่อยู่ข้างบนของเตาเผา

3. ปิดฝาหน้าเตาเผาและนำอิฐบล็อกจำนวน 5 ก้อน มาเรียงตรงหน้าเตาเผาเพื่อใช้เป็นช่องในการเผาเชื้อเพลิงให้ความร้อนและเป็นช่องให้อากาศไหลเข้า

4. ใช้ดินเหนียวปิดขอบๆ ของฝากับเตาเผาและรอยต่อของอิฐบล็อกเพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

ขั้นตอนการเผาถ่าน

- ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น หรือ คายความร้อน

1. จุดไฟบริเวณหน้าตาให้เชื้อเพลิงเกิดการติดไฟ

2. เปิดปากปล่องหน้าเตาทั้งหมดให้อากาศเข้าได้มากที่สุด เพื่อทำให้ไฟติดไวและไล่ความชื้นออกจากไม้ โดยจะสังเกตจากควันที่พุ่งออกมาจะมีสีขาว

3. ทำการเติมเชื้อเพลิงไปเรื่อย ๆ เพื่อให้ควันสีขาวที่พุ่งออกมากลายเป็นสีขาวคล้ำคล้ายกับสีของก้อนเมฆ หลังจากนี้จะเริ่มทำการเก็บน้ำส้มควันไม้

- ช่วงที่ 2 เมื่อไม้กลายเป็นถ่าน

1. ไม้ที่อยู่ในเตาจะคายความร้อนที่สะสมไว้ในตัว จะทำให้อุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้น ช่วงนี้จะลดการเติมเชื้อเพลิงลงเรื่อย ๆ จนหยุดเติมเชื้อเพลิงที่หน้าเตา

2. หลังจากหยุดเติมเชื้อเพลิงที่หน้าเตา จะต้องทำการควบคุมอากาศไม่ให้เข้าไปในเตาเผามากจนเกินไป โดยจะเปิดปากที่หน้าเตาให้เหลือช่องว่างประมาณ ¼ ของขนาดช่องหน้าเตา (ช่องว่างห่างจากขอบขวามือของช่องหน้าเตา 2 นิ้ว)

3. สังเกตที่สีของควันถ้ามีสีออกสีน้ำเงิน ให้ทำการหยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ เพราะถ้ายิ่งเก็บต่อไปน้ำส้มควันไม้ที่ได้จะมีส่วนผสมของสารทาร์ ที่เป็นสารก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ หรือสังเกตจากการหยดของน้ำส้มควันไม้ ถ้ามีการหยดที่ช้ามาก ๆ ให้ทำการหยุดเก็บทันที และปล่อยไว้จนควันจาง

- ช่วงที่ 3 การทำถ่านให้บริสุทธิ์

1. เมื่อหลังจากควันเริ่มจางแล้ว ทำการปิดหน้าเตาให้สนิทโดยใช้อิฐและดินเหนียวปิดให้สนิท

2. จากนั้นนำผ้าห่อดินเหนียวให้มีขนาดใหญ่กว่าปล่องระบายควันนำมาปิดที่ปากปล่องระบายควันให้สนิท เพื่อไม่ให้มีอากาศเข้าไปในเตาเผาถ่านได้

- ช่วงที่ 4 การทำให้ถ่านในเตาเย็นลง

หลังจากปิดรูทุกรูอย่างสนิท ปล่อยเตาทิ้งไว้ประมาณ 8-12 ชั่วโมง เพื่อให้ถ่านดับสนิทแล้วจึงทำการเปิดเตาเพื่อนำถ่านออกมาจากเตาและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

เตาภูมิปัญญาท้องถิ่นทั้งสองแบบมีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกัน แต่มีจุดที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างเตาเผาถ่านคุณบุญส่ง ศิริโยธินและคุณบุญมาก รุนกระโทก

เตาเผาถ่านคุณบุญส่ง ศิริโยธิน	เตาเผาถ่านคุณบุญมาก รุนกระโทก
1. ลักษณะการวางเตาจะให้หน้าเตาสูงกว่าท้ายเตา 2. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ 15-20 กิโลกรัม 3. ใช้ท่อใยหินเป็นปล่องควัน 4. ใช้ระยะเวลาการเผาถ่านประมาณหนึ่งวันครึ่ง	1. หน้าเตาและท้ายเตามีการวางที่ระนาบกับพื้น 2. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ 1-2 กิโลกรัม 3. ใช้ท่อเหล็กเป็นปล่องควัน 4. ใช้ระยะเวลาการเผาถ่านประมาณหนึ่งวัน

2.4 สมการที่ใช้ในโครงงาน

2.4.1 การวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อโครงเตา

$$F_{avg} = \frac{F_{lower} A_{avg}}{2A_{lower}} \quad (2.1)$$

เมื่อ F_{avg} = แรงเฉลี่ย (N)

F_{lower} = แรงด้านล่างสุด (N)

A_{avg} = พื้นที่เฉลี่ย (m^2)

A_{lower} = พื้นที่ด้านล่าง (m^2) [8]

2.4.2 การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อน

การนำความร้อน

$$Q = -kA\frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity) (W/m-K)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของผนังการถ่ายเทความร้อน (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิในความหนาของผนัง (K/m)

การพาความร้อน

$$Q = hA\left(T_s - T_\infty\right) \quad (2.3)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Coefficient) (W/m^2-K)

T_s คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิว (K)

T_∞ คือ อุณหภูมิของไหล (K)

การแผ่รังสีความร้อน

$$Q = \varepsilon\sigma A_s\left(T^4_s - T^4_{sur}\right) \quad (2.4)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

σ เป็นค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ซึ่งเท่ากับ 5.6703×10^{-8} (W/m^2-K^4)

ε เป็นค่าสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) โดย ε =1 สำหรับวัตถุดำและ

ε =0 สำหรับวัตถุขาว

A_s คือ พื้นที่ผิวของวัตถุถ่ายเทความร้อน (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิว (K)

T_{sur} คือ อุณหภูมิภายนอก (K) [8],[9]

2.4.3 การคำนวณหาร้อยละโดยมวลของถ่านที่ได้จากการเผา

$$\text{ร้อยละโดยมวลของถ่านที่ได้} = \frac{\text{ปริมาณน้ำหนักถ่านที่ได้หลังเผา}}{\text{ปริมาณน้ำหนักไม้ก่อนเผา}} \times 100 \quad (2.5)$$

2.5 ค่าความร้อน

ค่าความร้อน (Heating Value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง 1 หน่วยมวล (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว) หรือ 1 หน่วยปริมาตร (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ) เมื่อเผาไหม้หมดอย่างสมบูรณ์

โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$H = Q / M \text{ (เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว)} \quad (2.6)$$

$$H = Q / V \text{ (เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ)} \quad (2.7)$$

เมื่อ H = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นปริมาณความร้อนต่อมวล หรือปริมาณความร้อนต่อปริมาตร

Q = ปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงนั้นให้ออกมา มีหน่วยเป็นแคลอรี หรือ กิโลแคลอรี จูล หรือ กิโลจูล

M = มวลของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นกรัม หรือ กิโลกรัม

V = ปริมาตรของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรหรือลูกบาศก์เมตร [11]

ถ่านบริสุทธิ์ที่ปลอดสารก่อมะเร็งและให้ค่าความร้อนสูงประมาณ 7,400 – 7,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยลักษณะที่สังเกตได้ว่าเป็นถ่านบริสุทธิ์ คือ พิจารณาจากพื้นผิวบริเวณแก่นไม้ที่มักจะพบรอยแตกเป็นรูปดอกไม้พร้อมกับมีความมันวาว และหากใช้นิ้วสัมผัสจะมีฝุ่นถ่านสีดำติดมือมาน้อยมาก ค่าความร้อนที่สูงจะทำให้สังเกตได้ชัดเจน เมื่อนำถ่านมาหุงต้มจะพบว่าอาหารนั้นสุกอย่างรวดเร็ว [12]

2.6 น้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) เป็นของเหลวสีน้ำตาลใสมีกลิ่นควันไฟ ที่ได้มาจากการควบแน่น (Condensed) ควันที่เกิดจากการผลิตถ่านไม้ในช่วงที่ไม้กำลังเปลี่ยนเป็นถ่าน (Carbonization) อุณหภูมิภายในเตา อยู่ระหว่าง 300 – 400 องศาเซลเซียส สารประกอบต่าง ๆ ในไม้ฟืนจะถูกสลายตัวด้วยความร้อนเกิดเป็นสารประกอบใหม่ๆ มากมาย (Pyrolysis) แต่ถ้าเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส แม้ว่าเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) จะสลายตัวแล้ว และเซลลูโลสกำลังเริ่มสลายตัว แต่ก็จะมีสารประกอบที่มีประโยชน์น้อยมากไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และถ้าเก็บน้ำส้มควันไม้ในช่วงอุณหภูมิเกิน 425 องศาเซลเซียส น้ำมันดินจะสลายตัวเป็นสารก่อมะเร็งได้ แม้ว่าสารดังกล่าวสามารถกำจัดออกไปได้ง่ายเมื่อมากลั่นซ้ำที่อุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส แต่การนำมากลั่นซ้ำก็จะสูญเสียสารประกอบบางอย่างที่เป็น ประโยชน์ต่อการเกษตร

สมาคมน้ำส้มควันไม้แห่งประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นคนกลางในการซื้อขายน้ำส้มควันไม้ ได้ตั้งเกณฑ์มาตรฐานของการเก็บน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตจากเตาอิวาเตะ (IWATE) ไว้โดยการวัดอุณหภูมิที่ปากปล่องควันระหว่าง 80 – 150 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิภายในเตาจะอยู่ระหว่าง 300 – 400 องศาเซลเซียส น้ำส้มควันไม้สามารถเก็บได้โดยอาศัยเครื่องมือง่าย ๆ โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากปล่องดักควันที่มีอุณหภูมิสูง สู่อากาศรอบปล่องดักควันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ความชื้นในควันก็จะควบแน่นเป็นหยดน้ำ นำมารวบรวมและทำให้บริสุทธิ์ขึ้นก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ จุดสำคัญของการเก็บน้ำส้มควันไม้ก็คือ ต้องให้ปล่องดักควันอยู่ห่างจากปากปล่องควัน

ของเตาผลิตถ่าน 20-30 เซนติเมตร หากทั้งสองส่วนเชื่อมต่อกันโดยตรงจะเท่ากับเป็นการต่อความยาวให้กับปล่องควัน ของเตาซึ่งจะมีผลกระทบไปถึงการไหลเวียนของอากาศภายในเตาและส่งผลถึงคุณภาพและผลผลิตของถ่านไม้ด้วย

อุปกรณ์ที่ใช้ดักน้ำส้มควันไม้ต้องทำจากวัสดุทนกรด เช่น เหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นหากต้องการต้องการเก็บน้ำส้มควันไม้จากเตาผลิตถ่านที่มีปล่องควันหลายจุดก็จะต้องลงทุนสูงกว่าเตาผลิตถ่านที่มีปล่องควันจุดเดียว เช่น เตาอิวาเตะ ผลผลิตของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเก็บโดยการระบายความร้อนด้วยอากาศจะได้ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักไม้ฟืนเมื่อนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ก็จะเหลือผลผลิตเพียงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ หากต้องการเพิ่มผลผลิตขึ้นอาจได้ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ และได้ความร้อนจากสารที่ใช้หล่อเย็นซึ่งอาจใช้น้ำหรืออากาศก็จะได้น้ำร้อนหรืออากาศร้อนมาใช้อย่างอื่นได้

การทำให้น้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์สามารถทำได้ 3 วิธี

1) ปล่อยให้ตกตะกอน โดยนำน้ำส้มควันไม้มาเก็บในถังทรงสูง มีความสูงมากว่าความกว้างประมาณ 3 เท่า โดยทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 90 วัน น้ำส้มควันไม้ก็จะตกตะกอนแบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นบนสุดจะเป็นน้ำมันใส (Light Oil) ชั้นกลางเป็นของเหลวใสสีชา คือน้ำส้มควันไม้และชั้นล่างสุดจะเป็นของเหลวข้นสีดำคือน้ำมันดิน หากนำผงถ่านมาผสมประมาณ 5เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ผงถ่านก็จะดูดซับทั้งน้ำมันใสและน้ำมันดิบให้ตกตะกอนลงสู่ชั้นล่างสุดในเวลาที่เร็วขึ้น เพียงประมาณ 45 วัน

2) การกรอง โดยใช้ผ้ากรองหรือถังกรองที่ใช้ผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะได้คุณสมบัติแตกต่างกันไป เพราะถ่านกัมมันต์จะลดความเป็นกรดของน้ำส้มควันไม้ และจะใช้วิธีนี้ เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมเฉพาะกรณีเท่านั้น

3) การกลั่น โดยกลั่นได้ทั้งในความดันบรรยากาศและกลั่นแบบลดความดันรวมทั้งกลั่นแบบลำดับส่วนเพื่อแยกเฉพาะสารหนึ่งสารใดในน้ำส้มควันไม้มาใช้ประโยชน์มักใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยา

อย่างไรก็ตามทั้งการกรองและการกลั่นต้องทำหลังจากตกตะกอนก่อนเท่านั้นเนื่องจากต้องรอให้เกิดปฏิกิริยาในน้ำส้มควันไม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ก่อน

คุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้แตกต่างจากน้ำส้มสายชู หรือน้ำส้มอื่น ๆ ที่ได้จากการหมักหรือสังเคราะห์อื่น ๆ คือมีสารประกอบหลากหลายว่า โดยเฉพาะฟีนอล (Phenol) ซึ่งได้จากการสลายตัวของลิกนิน (Lignin) น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ต่างชนิดก็จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วย เช่น น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ยูคาลิปตัส จะมีความเป็นกรดต่ำและมีสีใสแต่มีเมธานอล (Methanol) สูงกว่าไม้กระถินยักษ์หรือไม้สะเดา น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่าง ๆ มากกว่า 200 ชนิด ซึ่งได้จากการสลายตัวของไม้ด้วย

ความร้อน เกิดเป็นสารประกอบใหม่หลายชนิด เช่น กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ ได้จากการสลายตัว ของเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ส่วนฟีนอลได้จากการสลายตัวของลิกนิน น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบที่สำคัญได้แก่น้ำ ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ กรดอินทรีย์ ประมาณ 3เปอร์เซ็นต์ และสารอินทรีย์อื่น ๆ อีกประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด (pH) ประมาณ 2-3 ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.010-1.025 โดยจะแตกต่างกันไปตามชนิดของไม้ [13]
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้มาตรฐานเลขที่ มผช.659/2553 แสดงในภาคผนวก ค.

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิสิษฏ์ มณีโชติ, ประพิธาร์ ธนารักษ์, สหัถยา ทองสาร, บงกช ประสิทธิ์, วิกานต์ วันสูงเนิน, ประวิทย์ นิลวิเชียร, อันธิกา เพชรี และ อนุพล อัคพิน. 2558. การพัฒนาเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้ง ด้วยเทคนิคแก๊สซิฟิเคชั่น เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาของเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้ง โดยวัตถุดิบในการผลิตถ่าน คือไม้ท่อนเบญจพรรณ ขนาดความยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 30-35 กิโลกรัม จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในเตาเผา 754.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหน้าเตาเผา 566.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ปล่องควัน 678.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านบนสุด ของเตาเฉลี่ย 618.6 องศาเซลเซียส ถ่านไม้ที่ผลิตได้ 7.1 กิโลกรัม ใช้เวลาในการผลิต 2 ชั่วโมง 30 นาที ระบบสามารถตอบโจทย์ทั้งจะช่วยลดระยะเวลาการผลิต ได้พลังงานความร้อนภายในเตาที่สูงขึ้น คุณภาพถ่านที่มีคุณภาพกว่าแบบปกติ ลดขั้นตอนความยุ่งยากในการผลิต[14]

ปองพล รักการงาน, กังสดาล สกุลพงษ์มาลี, จุติพร อินทะนิน และ ภาณุศักดิ์ มูลศรี. 2557. การเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร โดยใช้ฉนวนกันความร้อน เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาถ่านชีวมวล ขนาด 200 ลิตร ที่ใช้สำหรับผลิตถ่านชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยใช้หลักการให้ความร้อนไปไล่ความชื้นในเนื้อไม้วัสดุ ทำให้วัสดุกลายเป็นถ่าน เรียกว่า กระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น ซึ่งปัญหาของการเผาถ่านโดยเตาชีวมวล 200 ลิตร คือ ใช้เวลาเผาเป็นเวลานานและมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผาเนื่องจากการสูญเสียความร้อนในการเผาถ่านทางผนังของเตาในแต่ละด้าน งานวิจัยนี้จึงได้นำฉนวนกันความร้อนหุ้มบริเวณผนังของเตา โดยใช้ฉนวนกันความร้อนแบบเซรามิกซ์ไฟเบอร์ที่บริเวณผนังด้านนอกของห้องเผาไหม้ โดยทดลองเปรียบเทียบเตาเผาถ่านชีวมวลขนาด 200 ลิตร แบบติดตั้งฉนวนกันความร้อน และแบบไม่

ติดตั้งฉนวนกันความร้อน จากการทดลองให้ความร้อนความร้อนจากถ่านชีวมวลที่ทำจากไม้สะแก ในปริมาณ 5 กิโลกรัม ซึ่งจากการทดลองพบว่าถ้าไม่ติดตั้งฉนวน จะมีการสูญเสียความร้อนบริเวณผนังทุกด้านของห้องเผาไหม้ของเตาในปริมาณความร้อนที่มากสูงสุด ประมาณ 8,000 วัตต์ ซึ่งส่งผลให้ใช้เวลามากในการเผาชีวมวล ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา และเมื่อติดตั้งฉนวน ทำให้ลดการสูญเสียความร้อน อุณภูมิบริเวณผนังด้านนอกของเตาเผา 200 ลิตร พบว่ามีอุณภูมิสูงสุดที่ 240 องศาเซลเซียส ซึ่งในส่วนของเตาเผาถ่านชีวมวลที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ มี อุณภูมิบริเวณผนังด้านนอกอยู่ที่ 750 องศาเซลเซียส โดยลดการสูญเสียความร้อนจากเตาเผาชีวมวล และลดระยะเวลาในการเผาของเตาชีวมวลได้ อีกทั้งยังเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นทำให้กำจัดน้ำมันดิบ ออกจากเนื้อไม้ได้มากขึ้นและส่งผลให้ถ่านที่ได้จากการเผาของเตาชีวมวลมีความบริสุทธิ์มากขึ้นอีกด้วย[15]

อรัญ ขวัญปานและชนะกานต์ พงศาสนองกุล. 2555. ประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้จากเตาเผาถ่าน เป็นการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการ เผาไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบให้ได้น้ำส้มควันไม้ และศึกษาประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้ ตามชนิด ความชื้นของไม้ ในการดำเนินการศึกษานั้นแบ่งออกการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน โดย ขั้นตอนแรกนั้นเป็นการสร้างเตาเผาถ่านเพื่อเตรียมน้ำส้มควันไม้จากถังโลหะขนาด 200 ลิตร ขั้นตอนที่สองจะเป็นการเผาเพื่อเก็บน้ำส้มควันไม้ โดยศึกษาไม้ 3 ชนิด คือ ไม้ลิ้นจี่ ไม้กระถินยักษ์ และไม้ มะขาม เมื่อได้น้ำส้มควันไม้มาแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนที่สามคือการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ และขั้นตอนสุดท้ายคือการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้ 659 (2547) เพื่อวัดประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้ ผลการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพของเตาเผาถ่าน เตาเผาถ่านแบบแนวนอนสามารถใช้ใน การเผาไม้ทั้ง 3 ชนิด คือ ไม้ลิ้นจี่ ไม้กระถินยักษ์ และไม้มะขาม ที่มีค่าความชื้นสูงระหว่าง 25เปอร์เซ็นต์-64เปอร์เซ็นต์ ที่ตัดแล้วตากทิ้งไว้ 10-30 วัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำมาเผาแล้วจะได้ปริมาณถ่านที่แตกต่างกันตามระยะเวลาการตาก โดยที่ไม้ที่ตัดแล้วตากทิ้งไว้นาน 30 วัน จะได้ปริมาณถ่านมากที่สุด และจะให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่แตกต่างกันตามความชื้นของเนื้อไม้ ซึ่งไม้ที่ตัดตากทิ้งไว้ 10 วัน จะมี ความชื้นสูงได้ปริมาณน้ำส้มควันมากที่สุด และใช้เวลาในการเผา 6-7 ชั่วโมง น้ำส้มควันไม้ที่ได้ เมื่อตั้งของเหลวทิ้งไว้ 49-67 วัน จะตกตะกอนจะแบ่งเป็น 3 ชั้น น้ำส้มควันไม้ที่ใช้งานได้จะอยู่ชั้นกลาง สามารถนำไปใช้ในการเกษตร ปศุสัตว์ อุตสาหกรรมและครัวเรือน สีของน้ำส้มควันไม้เป็นสีเหลือง อ่อนและน้ำตาลอ่อน ความเป็นกรด ด่าง

อยู่ในช่วง 1.6-2.5 ความถ่วงจำเพาะมีค่าอยู่ในช่วง 1.02-1.09 จึงสรุปได้ว่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้ดิบ (มผช.659/2547) [16]

A. Saravanakumar และ T. M. Haridasan. 2555-2556. การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาถ่านด้วยกระบวนการแบบ Pyrolytic จะเป็นการอธิบายวิธีการการผลิตถ่านที่มีคุณภาพสูงจากชีวมวล ให้ได้ผลตอบแทน 48-83 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้น ด้วยเตาเผาถ่านโลหะที่สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยจะทำการศึกษาทดลองการเผาไม้ให้กลายเป็นถ่านแบบไพโรไลซิสภายในเตาเผาถ่าน เพื่อทำความเข้าใจและยกระดับกระบวนการ จะทำการตรวจสอบกระบวนการเผาไหมภายในเตา ในแนวคิดที่ว่า เตาเผาโลหะกำลังการผลิต 250 กิโลกรัม ได้รับการออกแบบและสร้าง สำหรับระยะเวลาการทดสอบ 5 ชั่วโมง ของไม้ 250 กิโลกรัม ถูกเผาให้เป็นถ่านเป็นถ่าน 100 กิโลกรัม อัตราส่วนการแปลงเฉลี่ยอยู่ที่ 4:1 หมายความว่า 4 กิโลกรัม ของไม้ที่ถูกเผาในอากาศแห้ง ถ่านที่ได้จะเท่ากับ 1 กิโลกรัม อุณหภูมิภายในเตาจะอยู่ที่ 456-600 องศาเซลเซียส ช่วยให้เข้าใจกระบวนการของปฏิกิริยาไพโรไลซิสเพื่อให้ได้ถ่านในรูปแบบสุดท้าย ประสิทธิภาพที่ได้จะมากกว่าสองเท่าของกระบวนการเตาเผาแบบดั้งเดิม และจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ถูกสร้างขึ้นในขั้นตอนคาร์บอนไนเซชั่น [17]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินโครงงานประกอบด้วยการศึกษาและทดลองสร้างเตาเผาถ่านภูมิปัญญาท้องถิ่น การพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่าน และการทดสอบเตาเผาถ่านที่พัฒนาขึ้น

3.1 การศึกษาและทดลองสร้างเตาเผาถ่านภูมิปัญญาท้องถิ่น

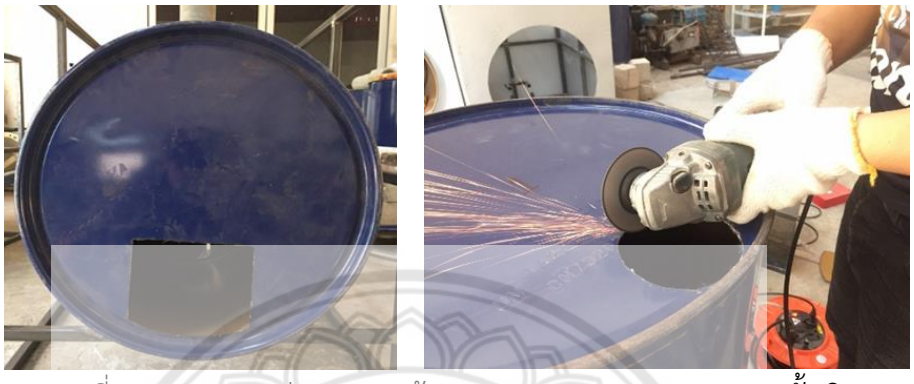
ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการศึกษาและทดลองสร้างเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตรแบบแนวนอน กับคุณบุญส่ง ศิริโยธิน ปราชญ์ชาวบ้านของบ้านแม่ระกา อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก เนื่องจาก คุณบุญส่ง ศิริโยธิน เป็นผู้ที่มีความรู้ ความสามารถในด้านเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตรแบบแนวนอน และสะดวกในการที่จะมาดำเนินการสร้างเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ภูมิปัญญาท้องถิ่น (แทนด้วย เตาแบบดั้งเดิม) และทดสอบใช้งาน ขั้นตอนการสร้างเตาเผาถ่านแบบดั้งเดิมนี้ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.1.1 วัสดุในการสร้างเตาเผาถ่านแบบดั้งเดิม

1)	อิฐบล็อก	5	ก้อน
2)	ท่อใยหิน	1	เมตร
3)	ข้อต่อท่อใยหิน	1	ข้อ
4)	ถัง 200 ลิตร	1	ถัง
5)	สังกะสี 12 ฟุต	1	แผ่น
6)	ไม้ยึดด้านข้างยาว 1 เมตร	10	ท่อน
7)	ทราย	½	คิว
8)	ลวด		
9)	กรรไกรหรือเครื่องเจียร		
10)	ไม้ไผ่		

3.1.2 ขั้นตอนการสร้างเตาเผาถ่านแบบดั้งเดิม

1) เจาะรูที่ฝาถังด้านหน้าขนาด 20 x 20 เซนติเมตร เจาะรูต่อข้องอที่ด้านหลังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว เจาะรูด้านล่างของข้อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเจาะรูช่องอากาศเข้าและระบายอากาศ ของเตาแบบดั้งเดิม

2) ปรับหน้าดินที่จะวางเตาให้เรียบเสมอกันด้วยทราย โดยเลือกที่ห่างไกลจากแหล่งชุมชนหรือที่อยู่อาศัย เลือกบริเวณที่สูงจากระดับน้ำ และมีต้นไม้ เพื่อช่วยในการดูดซับแก๊สจากควัน ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 การปรับหน้าดิน ของเตาแบบดั้งเดิม

3) วางถังในแนวนอนให้ปล่องไฟและปล่องควันอยู่ติดพื้น โดยใช้ทรายรองหน้าเตารองสูงขึ้น 12-15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 การวางเตา ของเตาแบบดั้งเดิม

4) นำข้องอมาต่อด้านหลังเตาแล้วให้นำดินเหนียวผสมทราย (อัตราส่วนทราย 1:3 ของดินเหนียว 1 บุ้งกี๋) ประสานตามรอยต่อทั้งด้านนอกและด้านใน เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ โดยจะทำการตอกเสาไม้ประคองปล่องควันและมัดปล่องควันเข้ากับเสาไม้ด้วยลวดเพื่อไม่ให้ปล่องควันล้ม ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 การประกอบข้องอของเตาแบบดั้งเดิม

5) นำเสาไม้ที่เตรียมไว้ไปปักเป็นกรอบสี่เหลี่ยม ห่างจากถัง 12-15 เซนติเมตร และตัดหัวและท้ายของสังกะสีเป็นรูวงกลมขนาดเท่ากับปากถัง มาล้อมถังโดยยึดติดกับเสาไม้ด้วยลวด และให้สังกะสีอยู่ด้านใน โดยที่หัวและท้ายของสังกะสีชนกันพอดีที่ด้านหน้าของถัง ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 การตัดและประกอบสังกะสีเป็นโครงเตาของเตาแบบดั้งเดิม

6) ทำการตัดปลายของปล่องควันแล้วนำมาต่อเข้ากับข้องอแล้วใช้ดินเหนียวผสมทรายมาประสานรอยต่อแล้วมัดเข้ากับเสาไม้ประคอง จากนั้นนำทรายมาเทให้เต็มกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมถังไว้ และใช้ดินผสมทรายปิดหน้าเตาประมาณ 4 นิ้ว ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 การตัด ประกอบปล่อง และประสานรอยต่อด้วยดิน ของเตาแบบดั้งเดิม

7) ก่ออิฐบล็อกต่อจากช่องไฟที่หน้าถัง เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้วใช้ดินเหนียวอุดตามรอยต่อ ขุดหลุมช่องใส่เชื้อเพลิงหน้าเตาลึกลงไป 10-12 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 ช่องเชื้อเพลิงของเตาแบบดั้งเดิม

หมายเหตุ : ในการสร้างและติดตั้งเตาเผาถ่านภูมิปัญญาท้องถิ่นนี้ ต้องใช้จำนวนแรงงาน 1-2 คนและเวลาในการสร้างและติดตั้ง 1 วัน โดยต้องมีวัสดุและอุปกรณ์พร้อมและแรงงานต้องมีความชำนาญทางด้านช่าง

3.1.3 ขั้นตอนการเผาถ่านของเตาเผาถ่านแบบดั้งเดิม

ประกอบด้วย การเตรียมเตา และการเผาถ่าน

1) การเตรียมเตา

ทำการเตรียมไม้แห้งที่จะเผาเป็นถ่านจำนวน 70-80 กิโลกรัม ยาว 80 เซนติเมตร และไม้แห้งที่นำมาทำเป็นเชื้อเพลิงจำนวน 6-10 กิโลกรัม

รูปที่ 3.8 การชั่งไม้ฟืน ของเตาแบบดั้งเดิม

จากนั้นให้ใส่ไม้ฟืนแห้งที่จะเผาเป็นถ่านลงไปในเตาเผาบนไม้รองพื้นที่ห่างจากก้นเตาเผาประมาณ 1 นิ้ว โดยจะเรียงตามแนวยาวของเตาเผาและเรียงโดยให้ไม้เล็กอยู่ข้างล่างของเตาเผาและให้ไม้ใหญ่อยู่ข้างบน

รูปที่ 3.9 ลักษณะการเรียงไม้ฟืน ของเตาแบบดั้งเดิม

จากนั้นให้ทำการปิดฝาหน้าเตาเผา และนำอิฐบล็อกจำนวน 5 ก้อน มาเรียงตรงหน้าเตาเผาเพื่อใช้เป็นช่องในการเผาเชื้อเพลิงให้ความร้อนและเป็นช่องให้อากาศไหลเข้า

รูปที่ 3.10 การทำช่องเชื้อเพลิงของเตาแบบดั้งเดิม

ขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมเตา คือ การยารอยต่อต่างๆ โดยใช้ดินเหนียวผสมทรายปิดขอบๆ ของฝากับเตาเผาและรอยต่อของอิฐบล็อก เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

2) การเผาถ่าน

ขั้นตอนนี้แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น (ใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง)

ช่วงที่ 2 ไม้กลายเป็นถ่าน (ใช้เวลาประมาณ 8-10 ชั่วโมง)

ช่วงที่ 3 การทำถ่านให้บริสุทธิ์ (ใช้เวลาประมาณ 30 นาที)

ช่วงที่ 4 การทำถ่านให้เย็นลง (ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง)

รายละเอียดของแต่ละช่วงมีดังนี้

ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น

1) จุดไฟบริเวณหน้าเตาให้เชื้อเพลิงเกิดการติดไฟ

2) เปิดปากปล่องหน้าเตาทั้งหมดให้อากาศเข้าได้มากที่สุด เพื่อทำให้ไฟติดไวและไล่ความชื้นออกจากไม้ โดยจะสังเกตจากควันที่พุ่งออกมา จะมีสีขาว

รูปที่ 3.11 ลักษณะการจุดไฟหน้าเตาในช่วงที่ 1 ของเตาแบบดั้งเดิม

3) ทำการเติมเชื้อเพลิงไปเรื่อย ๆ เพื่อให้ควันสีขาวที่พุ่งออกมากลายเป็นสีขาวคล้ำคล้ายกับสีของก้อนเมฆ หลังจากนี้จะเริ่มทำการเก็บน้ำส้มควันไม้

4) การเตรียมท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ นำไม้ไผ่มาทำการทะลวงข้อปล้องภายในลำไม้ไผ่ให้ทะลุตลอดความยาว วัดความยาวจากส่วนที่จะใช้ประกบกับปล่องควันห่างออกมาประมาณ 10-20 เซนติเมตร แล้วทำการตัดลึกลงไป 3 เซนติเมตร ตัดเนื้อไม้ส่วนที่เป็นเหลี่ยมออกโดยทำมุมเอียงประมาณ 45องศา จากนั้นเจาะรูสำหรับเป็นช่องให้น้ำส้มควันไม้หยดลงมาสู่กระบอกพลาสติกที่แขวนไว้กับลำไม้ไผ่ โดยวัดวัดความยาวจากส่วนที่จะใช้ประกบกับปล่องควันห่างออกมาประมาณ 25-30 เซนติเมตร แล้วทำการเจาะกว้าง 1-1.5 เซนติเมตร ลึกลงไป 2-3 เซนติเมตร โดยวางลำไม้ไผ่ทำมุมเอียงกับพื้นประมาณ 20-25 องศา ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 วิธีการเก็บน้ำส้มควันไม้ของเตาแบบดั้งเดิม

ช่วงที่ 2 ไม้กลายเป็นถ่าน

1) ไม้ที่อยู่ในเตาจะคายความร้อนที่สะสมไว้ในตัว จะทำให้อุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้น ช่วงนี้จะลดการเติมเชื้อเพลิงลงเรื่อย ๆ จนหยุดเติมเชื้อเพลิงที่หน้าเตา

2) หลังจากหยุดเติมเชื้อเพลิงที่หน้าเตา จะต้องทำการควบคุมอากาศไม่ให้เข้าไปในเตาเผามากจนเกินไป โดยจะเปิดปากที่หน้าเตาให้เหลือช่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 วิธีการควบคุมอากาศของเตาแบบดั้งเดิม

3) สังเกตที่สีของควันถ้ามีสีออกสีน้ำเงินผสม ให้ทำการหยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ เพราะถ้ายิ่งเก็บต่อไปน้ำส้มควันไม้ที่ได้จะมีส่วนผสมของสารทาร์ ที่เป็นสารก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ หรือสังเกตจากการหยดของน้ำส้มควันไม้ ถ้ามีการหยดที่ช้ามาก ๆ ให้ทำการหยุดเก็บทันที และปล่อยไว้จนควันจางประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่ง

ช่วงที่ 3 การทำถ่านให้บริสุทธิ์

เมื่อหลังจากควันเริ่มจางแล้ว ให้เปิดปากหน้าเตาออกทั้งหมด เพื่อให้อากาศเข้าให้มากที่สุดและสังเกตที่ปล่องควันให้เห็นเปลวไฟพุ่งออกมาจากปล่องระบายควัน

ช่วงที่ 4 การทำถ่านให้เย็นลง

1) ทำการปิดหน้าเตาให้สนิทโดยใช้อิฐและดินเหนียวผสมทราย จากนั้นนำผ้าห่อดินเหนียวให้มีขนาดใหญ่กว่าปล่องระบายควันและนำมาปิดที่ปากปล่องระบายควันให้สนิท เพื่อไม่ให้มีอากาศเข้าไปในเตาเผาถ่านได้ ดังรูปที่ 3.14

2) ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงรื้อช่องใส่เชื้อเพลิงออกและเปิดเตานำถ่านออกมา

รูปที่ 3.14 ลักษณะการปิดเตาของเตาแบบดั้งเดิม

3.2 การพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่าน

จากที่ได้ดำเนินการสร้างเตาเผาถ่าน 200 ลิตร ภูมิปัญญาท้องถิ่น (แทนด้วย เตาแบบดั้งเดิม) และทดสอบใช้งาน พบว่าสาเหตุหลักของปัญหาทั้งในการสร้างและใช้งานเตาแบบดั้งเดิมคือ การขาดแบบที่ชัดเจน ดังนั้นคุณภาพของเตาที่ได้ จะขึ้นกับความชำนาญและประสบการณ์ของผู้สร้าง เช่นเดียวกันกับการใช้งานเตา โดยสามารถสรุปเป็นประเด็นหลักๆ ได้ดังนี้

1) ไม่มีรายละเอียดหรือแบบที่ระบุขนาด ตำแหน่ง ขององค์ประกอบต่างๆ ของเตา เช่น โครงสร้างเตา มุมเอียงของถัง และความยาวของท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ เป็นต้น ทำให้เตาที่สร้างได้ในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันไป ซึ่งส่งผลถึงวิธีการใช้งานที่ต้องปรับให้เข้ากับเตาที่ได้

2) ในการวางถังจะใช้การประมาณความสูงและใช้ทรายเป็นตัวรับ ซึ่งทำให้เกิดการยุบตัวได้

3) เตาต้องวางบนพื้นดิน ไม่สามารถวางบนพื้นอื่น เช่น พื้นปูนได้ เพราะใช้การตอกหลักไม้ลงในพื้นดิน ในการทำโครงเตา

4) ในการเผาแต่ละครั้ง ต้องมีการรื้อและทำช่องใส่เชื้อเพลิงใหม่ทุกครั้ง

5) ทำการอุดรอยรั่วของอากาศบริเวณหน้าเตาได้ค่อนข้างยาก ต้องใช้ความชำนาญในการทำ

6) การควบคุมปริมาณอากาศที่เข้าสู่เตา ทำได้ยาก ต้องอาศัยความชำนาญ

7) เน้นการใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในการสร้างเตา ทำให้สะดวกและต้นทุนต่ำ แต่ส่งผลต่ออายุการใช้งาน

จากปัญหาดังกล่าว ผู้ดำเนินโครงงาน จึงมีแนวคิดในการแก้ปัญหาดังต่อไปนี้

1) ทำการออกแบบโครงสร้างเตาใหม่ โดยการวิเคราะห์จุดรับแรงของโครงสร้างด้วยโปรแกรม Solid Work และคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของเตา

2) ทำการพัฒนากระบวนการสร้าง โดยการ

- ออกแบบให้โครงเตามีขนาดและตำแหน่งที่แน่นอนสำหรับการประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน
- ออกแบบชุดฝาปิดหน้าเตา เพื่อง่ายต่อการปิดหน้าเตาในช่วงสุดท้าย
- ออกแบบให้มีชุดช่องเชื้อเพลิงถาวร เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน เนื่องจากไม่ต้องสร้างและรื้อทิ้งทุกครั้ง
- ออกแบบให้มีชุดควบคุมปริมาณอากาศที่จะไหลเข้าสู่ตัวเตา ทำให้การใช้งานสะดวกขึ้นและสามารถควบคุมอากาศได้แม่นยำขึ้น
- เปลี่ยนวัสดุที่ใช้ เช่น ใช้แผ่นเมทัลชีทเป็นกรอบเตา ใช้เหล็กกล่องเป็นโครงเตา และใช้เหล็กแผ่นเป็นช่องเชื้อเพลิง เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของเตา

3.3 การทดสอบเตาเผาถ่านต้นแบบ

ประกอบด้วย การเตรียมเตา และการเผาถ่าน

1) การเตรียมเตา

ทำการเตรียมไม้แห้งที่จะเผาเป็นถ่านจำนวน 70-80 กิโลกรัม ยาว 80 เซนติเมตร และไม้แห้งที่นำมาทำเป็นเชื้อเพลิงจำนวน 6-10 กิโลกรัม

รูปที่ 3.15 การชั่งไม้ฟืนของเตาต้นแบบ

จากนั้นให้ใส่ไม้ฟืนแห้งที่จะเผาเป็นถ่านลงไปในเตาเผาบนตะแกรงโดยจะเรียงตามแนวยาวของเตาเผาและเรียงโดยให้ไม้เล็กอยู่ข้างล่างของเตาเผาและให้ไม้ใหญ่อยู่ข้างบนและส่วนปลายที่ใหญ่กว่าอยู่ด้านหน้าเตาส่วนที่มีขนาดเล็กกว่าอยู่ด้านท้ายเตา

รูปที่ 3.16 ลักษณะการเรียงไม้ฟืน ของเตาต้นแบบ

จากนั้นให้ทำการปิดฝาหน้าเตาเผา และนำช่องเชื้อเพลิงที่มีฝาช่องเชื้อเพลิงปิดไว้ตามขนาดรูที่ได้เจาะไว้ด้วยสลักมาประกอบ

รูปที่ 3.17 การประกอบช่องเชื้อเพลิง ของเตาต้นแบบ

ขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมเตา คือ การยารอยต่อต่าง ๆ โดยใช้ดินเหนียวผสมแกลบ (อัตราส่วนแกลบ 1:3 ของดินเหนียว 1 บุ้งกี๋) ขอบๆ ของฝากับเตาเผาและรอยต่อของช่องเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

รูปที่ 3.18 การยารอยต่อต่าง ๆ ช่องเชื้อเพลิง ของเตาต้นแบบ

2) การเผาถ่าน

ขั้นตอนนี้แบ่งออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่

ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น (ใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง)

ช่วงที่ 2 ไม้กลายเป็นถ่าน (ใช้เวลาประมาณ 8-10 ชั่วโมง)

ช่วงที่ 3 การทำถ่านให้บริสุทธิ์ (ใช้เวลาประมาณ 30 นาที)

ช่วงที่ 4 การทำถ่านให้เย็นลง (ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง)

รายละเอียดของแต่ละช่วงมีดังนี้

ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น

1) จุดไฟบริเวณหน้าเตาให้เชื้อเพลิงเกิดการติดไฟ

2) เปิดปากปล่องหน้าเตาให้อากาศเข้าได้มากที่สุด เพื่อทำให้ไฟติดไวและไล่ความชื้นออกจากไม้ โดยจะสังเกตได้จากควันที่ปากปล่องจะพุ่งออกมาอย่างแรงที่เรียกว่าควันบ้า

3) ทำการเติมเชื้อเพลิงไปเรื่อย ๆ เพื่อให้ควันสีขาวที่พุ่งออกมากลายเป็นสีขาวคล้ำคล้ายกับสีของก้อนเมฆ จะหยุดเติมเชื้อเพลิงที่หน้าเตา และจะเริ่มทำการเก็บน้ำส้มควันไม้

รูปที่ 3.19 ลักษณะการจุดไฟหน้าเตาในช่วงที่ 1 ของเตาต้นแบบ

ช่วงที่ 2 ไม้กลายเป็นถ่าน

1) ดึงสลักตรงฝาช่องเชื้อเพลิงออก เลื่อนลงมาถึงพื้นแบบปิดสุด

2) ให้ทำการเปิดช่องอากาศ 4 x 20 เซนติเมตร ในช่วง 1.00-2.00 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นลดช่องอากาศให้เหลือ 4 x 2 เซนติเมตร เพื่อป้องกันเตาดับ

3) เลื่อนควบคุมอากาศด้วยสล็อต ตามขนาดที่ต้องการ (ในการทดลองนี้ใช้ขนาด 4x2 เซนติเมตร คือเสียบสลักไว้รูที่ 2) ดังรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.20 วิธีการการคุมอากาศของเตาต้นแบบ

4) นำท่อไม้ไผ่มาวางตรงปล่องควัน แล้วใช้ผ้าเปียกน้ำห่อที่ไม้ไผ่บริเวณปล่องควัน และใช้ดินเหนียวผสมแกลบประสานรอยต่อเพื่อเก็บน้ำส้มควันไม้ โดยจะเก็บจนกว่าน้ำส้มควันไม้จะไหลแบบช้า ๆ (ประมาณ 10-15 หยดต่อนาที หรือ อุณหภูมิปากปล่องอยู่ที่ประมาณ 150 องศาเซลเซียส ขึ้นไป) ดังรูปที่ 3.21

5) เมื่อหยุดเก็บน้ำส้มควันไม้แล้วยกท่อไม้ไผ่ออกแล้วทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่ง

รูปที่ 3.21 วิธีการเก็บน้ำส้มควันไม้ ของเตาต้นแบบ

ช่วงที่ 3 การทำถ่านให้บริสุทธิ์

เมื่อผ่านไป 1 ชั่วโมง ให้เลื่อนฝาช่องใส่เชื่อเพลิงขึ้นมาประมาณครึ่งหนึ่งของขนาดที่ได้เปิดไว้ในช่วงที่ 1 โดยจะมีรูสลักเพื่อเสียบ

ช่วงที่ 4 การทำถ่านให้เย็นลง

1) เมื่อควันเริ่มจางแล้ว ให้ยกช่องใส่เชื้อเพลิงออกแล้วนำฝาปิดเตามาเสียบปิดหน้าเตา ดังรูปที่ 3.22

รูปที่ 3.22 การปิดหน้าเตาของเตาต้นแบบ

2) ใช้ดินเหนียวผสมแกลบประสานรอยต่อและทาปิดหน้าเตาให้หมด แล้วค่อยนำผ้าห่อทรายและดินเหนียวผสมแกลบปิดตรงปากปล่องควัน โดยจะปิดให้สนิทที่สุดไม่ให้มีรอยรั่วเพื่อป้องอากาศไหลเข้า แล้วปล่อยเตาทิ้งไว้ประมาณ 1 วัน หรือ 1 ½ วัน เพื่อให้ถ่านดับสนิท ดังรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.23 ลักษณะการปิดเตาของเตาต้นแบบ

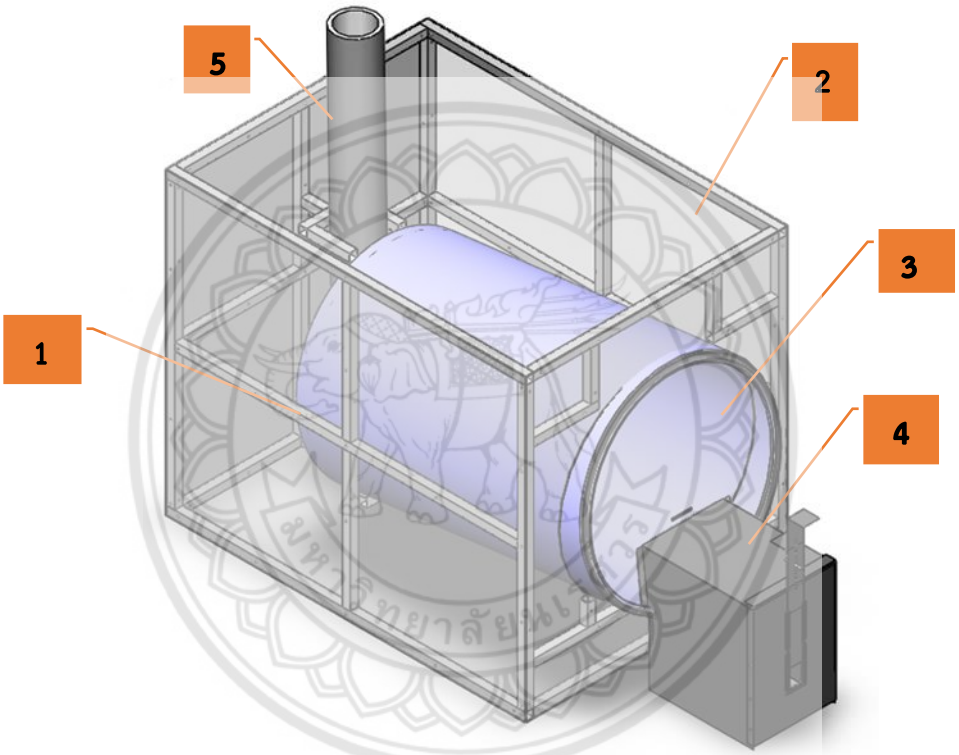
3) เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้ทำการเปิดเตา โดยจะเปิดที่ปากปล่องควันก่อนเพื่อระบายอากาศจากนั้นค่อยมาเปิดหน้าเตา

4) จากนั้นนำถ่านออกมาจากเตาแล้วเกลี่ยให้ถ่านกระจายทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ในที่ร่ม แล้วค่อยนำถ่านไปบรรจุ

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 เตาเผาถ่านต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวนอนที่พัฒนาจากเตาเผาถ่านภูมิปัญญาท้องถิ่น แสดงดังแผนภาพ ในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 แผนภาพเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวนอนที่พัฒนาจากเตาเผาถ่านภูมิปัญญาท้องถิ่น

ส่วนประกอบที่สำคัญ

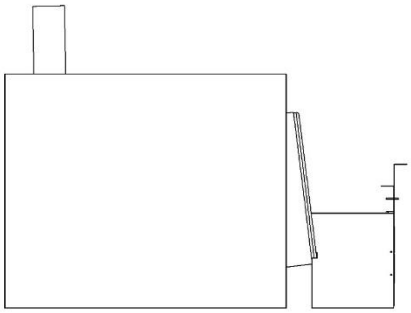
1) โครงเตา ที่สร้างจากเหล็กกล่องขนาด 25x25 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร

2) กรอบเตา ที่สร้างจากเมทัลชีทแผ่นแบบเรียบหนา 0.3 มิลลิเมตร

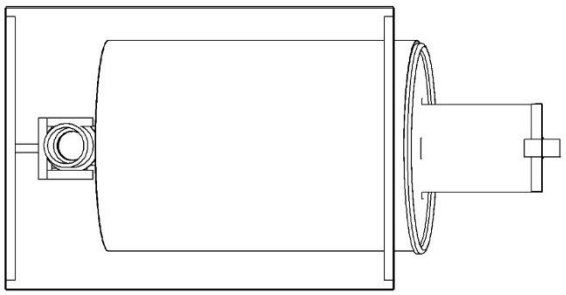
3) ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร แบบมีฝาล็อก

4) ช่องเชื้อเพลิง ที่สร้างจากเหล็กแผ่นหนา 1-1.2 มิลลิเมตร

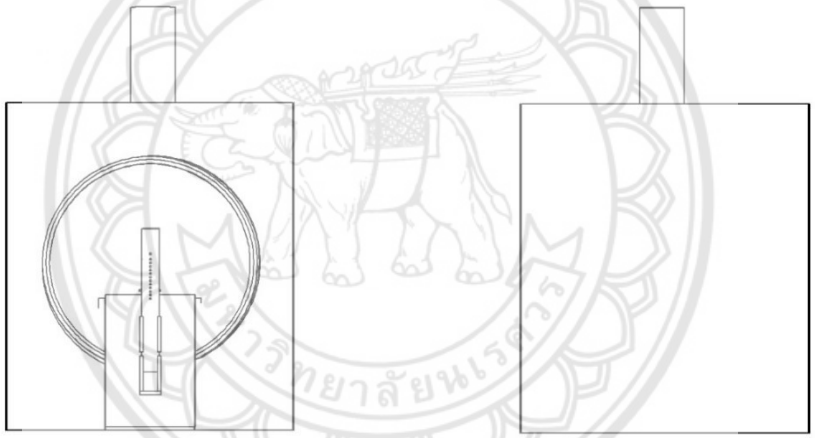
5) ท่อใยหิน 90 องศา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว



(ก) วิวด้านข้าง



(ข) วิวด้านบน

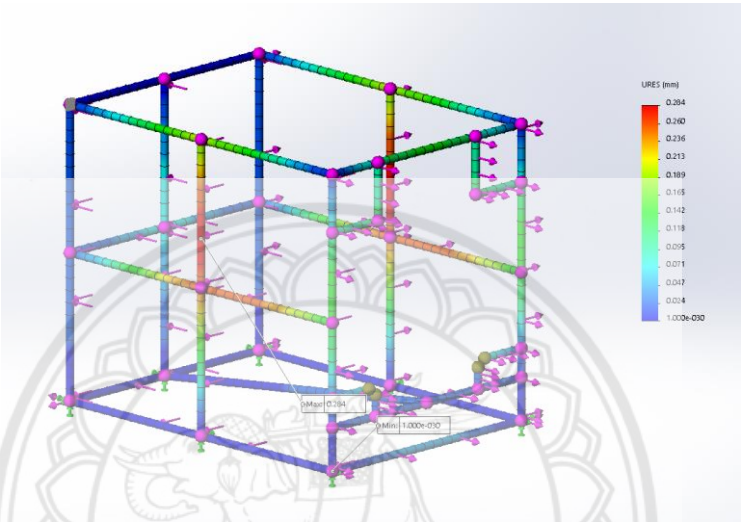


(ค) วิวด้านขวาและซ้าย

รูปที่ 4.2 แบบ drawing ของเตาเผาถ่านต้นแบบ

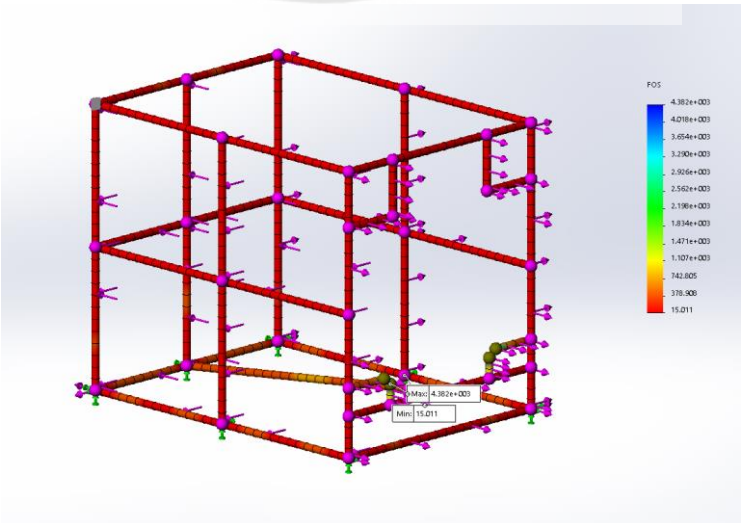
4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของเตาต้นแบบ

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเตาเผาถ่านที่ออกแบบไว้ เมื่อเลือกใช้เหล็กที่มีความหนาแตกต่างกัน 2 ค่า คือ 1.2 และ 1.5 มิลลิเมตร ด้วยโปรแกรม Solid work แสดงดังรูปที่ 4.3 – 4.6 โดยรายละเอียดของการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ก.



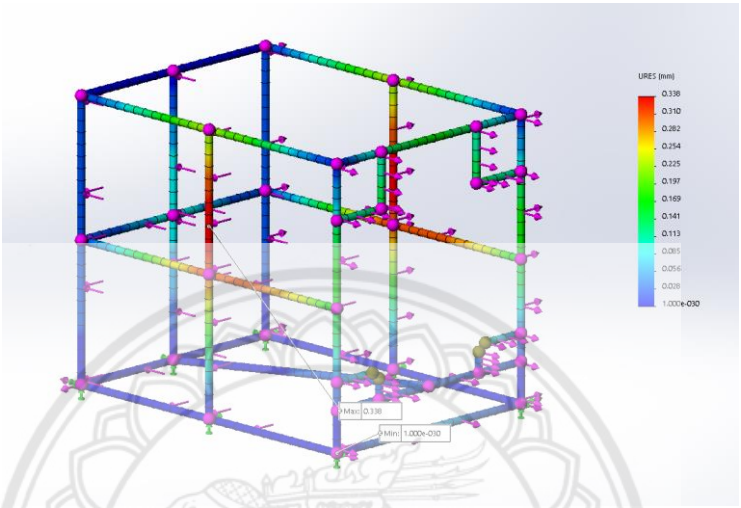
รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์ระยะโก่งตัว เหล็กหนา 1.5 มิลลิเมตร ของเตาต้นแบบ

จากรูปที่ 4.3 พบว่าผลการวิเคราะห์เหล็กขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร ด้วยแรง 116.37 นิวตัน/เมตร พบว่าจุดที่เกิดการโก่งตัวมากที่สุด มีระยะการโก่งตัวอยู่ที่ 0.284 มิลลิเมตร ซึ่งมีระยะที่โก่งตัวน้อยมากไม่ก่อให้เกิดความเสียหายของโครงสร้าง



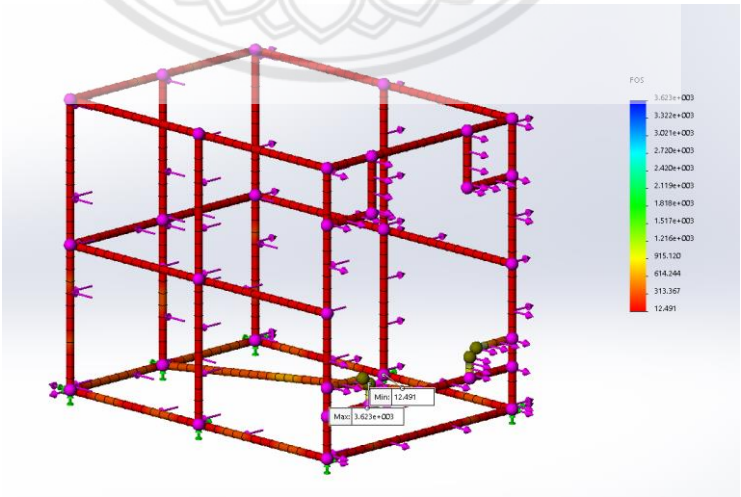
รูปที่ 4.4 การวิเคราะห์ค่า Safety Factor เหล็กหนา 1.5 มิลลิเมตร ของเตาต้นแบบ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าผลการวิเคราะห์เหล็กขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร ด้วยแรง 116.37 นิวตัน/เมตร พบว่าจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดมีค่า Safety Factor = 15.011 แสดงว่าโครงนี้สามารถรับแรงได้มากกว่า 116.37 นิวตัน/เมตร แต่ไม่เกิน 1746.83 นิวตัน/เมตร



รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์ระยะโก่งตัว เหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตร ของเตาต้นแบบ

จากรูปที่ 4.5 พบว่าผลการวิเคราะห์เหล็กขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร ด้วยแรง 116.37 นิวตัน/เมตร พบว่าจุดที่เกิดการโก่งตัวมากที่สุด มีระยะการโก่งตัวอยู่ที่ 0.338 มิลลิเมตร ซึ่งมีระยะโก่งตัวน้อยมากไม่ก่อให้เกิดความเสียหายของโครงสร้าง



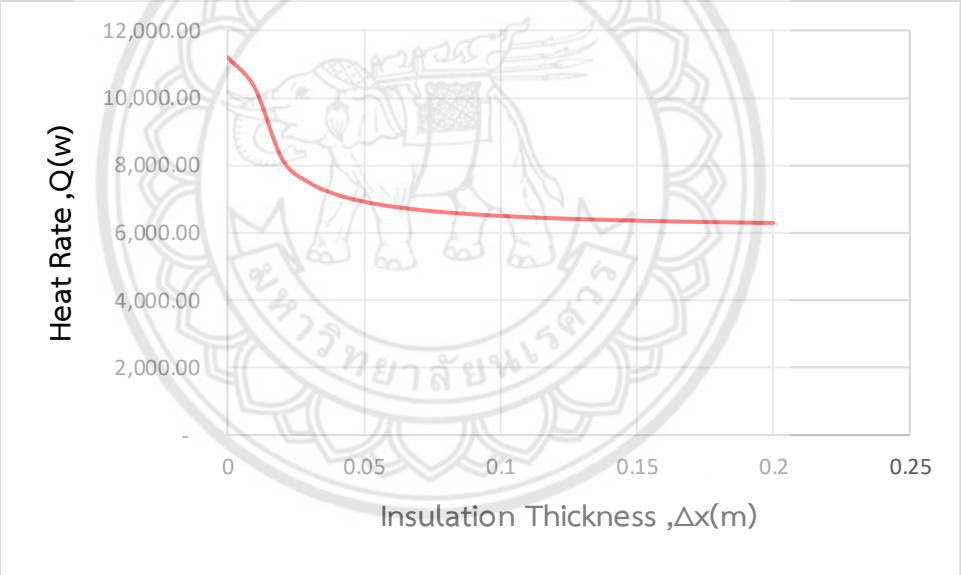
รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ค่า Safety Factor เหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตร ของเตาต้นแบบ

จากรูปที่ 4.6 พบว่าผลการวิเคราะห์เหล็กขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร ด้วยแรง 116.37 นิวตัน/เมตร พบว่าจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดมีค่า Safety Factor = 12.491 แสดงว่าโครงนี้สามารถรับแรงได้มากกว่า 116.37 นิวตัน/เมตร แต่ไม่เกิน 1453.57 นิวตัน/เมตร

จากการวิเคราะห์พบว่าสามารถเลือกใช้เหล็กกล่องขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร ที่ความหนา 1.2 และ 1.5 มิลลิเมตร มาสร้างเป็นโครงเตาได้ แต่เหล็กกล่องที่ความหนาหนา 1.2 มิลลิเมตร นั้นทำการเชื่อมประกอบได้ค่อนข้างยาก เพื่อลดระยะเวลาในการสร้างและได้โครงสร้างเตาที่มีความแข็งแรงมากกว่าจึงทำการเลือกเหล็กกล่องที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตร ในการสร้างเป็นกรอบเตา

4.3 ผลการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนของเตาต้นแบบ

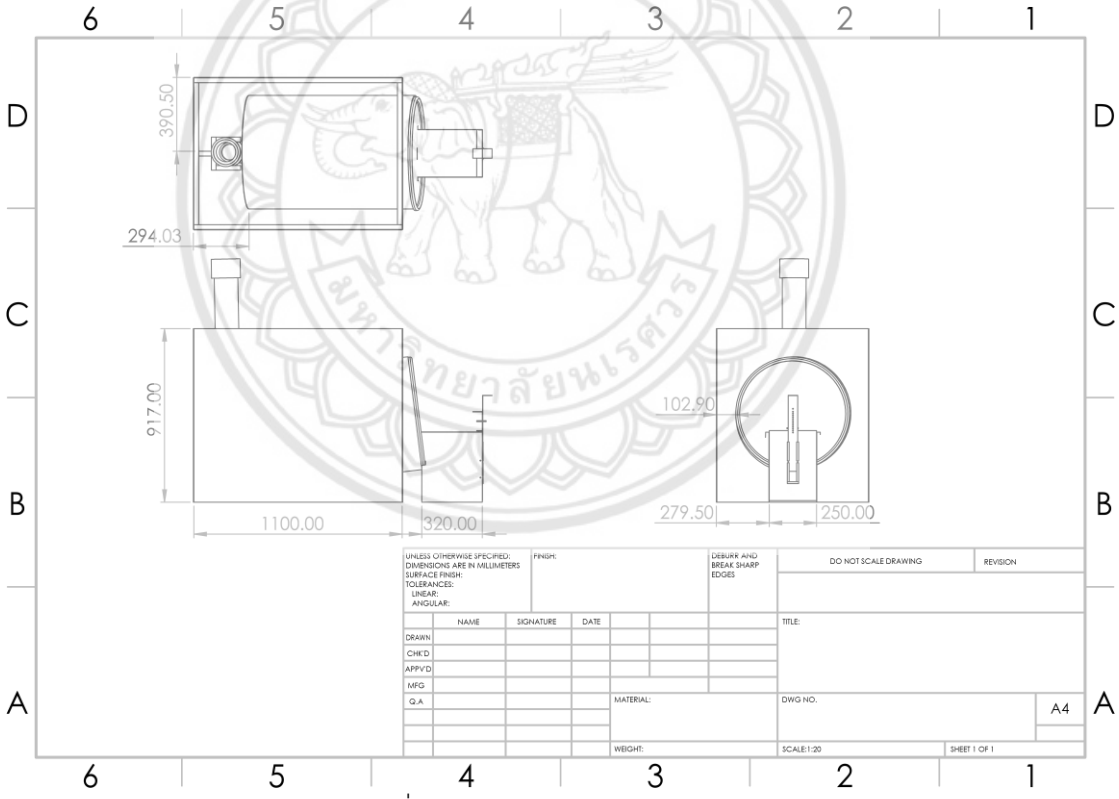
ผลการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ออกจากตัวเตา เมื่อใช้ทรายเป็นฉนวนที่มีค่าความหนาต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.7 โดยรายละเอียดของการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ก.



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อความหนาของฉนวน (ทราย) ต่าง ๆ ของเตาต้นแบบ

จากกราฟในรูปที่ 4.7 พบว่าความหนาของฉนวนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านออกจากตัวเตาได้น้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความหนา 0.05 เมตรแรก ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 85.58 กิโลวัตต์ต่อเมตรของความหนาของฉนวนที่เพิ่มขึ้น โดยในช่วงความหนาฉนวนตั้งแต่ 0.05 เมตร เป็นต้นไป พบว่าความหนาของฉนวนที่เพิ่มขึ้น มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความหนา 0.1 ถึง 0.2 เมตร ซึ่งมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 2.11 กิโลวัตต์ต่อเมตรของความหนาของฉนวนที่เพิ่มขึ้น เมื่อคำนึงถึงต้นทุนและขนาดของเตาที่กะทัดรัด ในโครงงานนี้จึงเลือกใช้ความหนาของฉนวนทรายเท่ากับ 0.1 เมตร

จากผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างและอัตราการถ่ายเทความร้อนข้างต้น ทำให้สามารถกำหนดขนาดที่เหมาะสมของเตาต้นแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 มิติของเตาเผาถ่านต้นแบบ

4.4 กระบวนการสร้างเตาเผาถ่านต้นแบบ

กระบวนการสร้างเตาต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ

1) การเตรียมชิ้นงานให้มีขนาดตามแบบ

2) การสร้างโครงสร้างของเตา

3) การประกอบโครงสร้างของเตา

4) การสร้างช่องใส่เชื้อเพลิง

5) การทาสี

6) การติดตั้งเตาเผาถ่าน

รายละเอียดของแต่ละขั้นตอน มีดังต่อไปนี้

4.4.1 การเตรียมชิ้นงานให้มีขนาดตามแบบ ประกอบด้วย การตัดและเจาะวัสดุที่จะนำมาทำส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เหล็กกล่อง เหล็กเส้น เหล็กแผ่น เหล็กแบน ฝาถัง ก้นถัง แผ่นเมทัลชีท ข้องอท่อ ใยหิน และลำไม้ไผ่สำหรับเก็บน้ำส้มควันไม้

เครื่องมือที่ต้องใช้ในขั้นตอนการตัดและเจาะวัสดุนี้ ได้แก่

1) แท่นตัดไฟเบอร์ MAKTEC รุ่น MT241 ขนาด 14 นิ้ว และใบตัดเหล็ก ขนาด 14 นิ้ว

2) เครื่องเจียรไฟฟ้า Makita รุ่น 9553BX ขนาด 4 นิ้ว และหินเจียร ใบตัดเหล็ก ขนาด 4 นิ้ว

3) เครื่องตัดเหล็กแผ่น

4) เครื่องมอเตอร์หินเจียร ขนาด 6 นิ้ว

5) สว่านไฟฟ้า RYOBI รุ่น PD-130VR ขนาด 3/8 นิ้ว ดอกสว่าน ขนาด 13 มม.และ 5.5 มม.

6) สว่านแท่น

7) ตู้เชื่อมไฟฟ้า WELPRO รุ่น WELARC140-IGBT ลวดเชื่อมเหล็ก Kobe ขนาด 2.6 มม.

8) ค้อนหงอนขนาด 370 กรัม

9) แม่เหล็กจับฉากขนาด 4 นิ้ว

10) ไม้บรรทัดเหล็กขนาด 12 นิ้ว

11) ตลับเมตรขนาด 8 ม.

12) เวอร์เนียร์ดิจิตอล OKURA รุ่น ODC ขนาด 6 นิ้ว

13) กรรไกรตัดเหล็กแผ่นบางขนาด 200 - 355 มม.

14) ปลั๊กไฟยาว 20 ม.

15) ปากกาเคมีตรา Horse

16) ดินสอ

โดยมีวัสดุที่ต้องเตรียม ดังนี้

1) เหล็กกล่องขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร สำหรับโครงสร้างเตาเผาถ่านต้นแบบ โดยต้องตัดให้มีขนาดความยาวและจำนวนสำหรับโครงสร้างแต่ละส่วน ดังสรุปแสดงในตารางที่ 4.1

2) เหล็กแผ่นเหล็กแผ่นหนา 1-1.2 มิลลิเมตร สำหรับฝาปิดหน้าเตา ช่องเชื้อเพลิงและประตูเปิด ปิด ช่องเชื้อเพลิง ของเผาถ่านต้นแบบ โดยต้องตัดให้มีขนาดและจำนวนสำหรับทำแต่ละชิ้นส่วน ดังสรุปแสดงในตารางที่ 4.1

3) เหล็กแบนขนาด 1 นิ้ว สำหรับตะแกรงและหูของเตาเผาถ่านต้นแบบ โดยต้องตัดให้มีขนาดความยาวและจำนวนสำหรับทำตะแกรงและหู ดังสรุปแสดงในตารางที่ 4.1

4) เหล็กเส้นขนาด 6 มิลลิเมตร สำหรับสลักของเตาเผาถ่านต้นแบบ โดยต้องตัดให้มีขนาดความยาวและจำนวนสำหรับทำสลัก ดังสรุปแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเตรียมวัสดุสำหรับสร้างเตาเผาถ่านต้นแบบ

วัสดุ	ชิ้นส่วน	ขนาด	จำนวน
เหล็กกล่อง	โครงสร้างเตาด้านข้าง	ยาว 867 มม.	4 ท่อน
		ยาว 1,100 มม.	4 ท่อน
		ยาว 1,050 มม.	2 ท่อน
		ยาว 421 มม.	4 ท่อน
	โครงสร้างเตาด้านหลัง	ยาว 750 มม.	3 ท่อน
		ยาว 421 มม.	2 ท่อน
	โครงสร้างเตาด้านหน้า	ยาว 750 มม.	3 ท่อน
		ยาว 150 มม.	2 ท่อน
		ยาว 200 มม.	2 ท่อน
		ยาว 65 มม.	2 ท่อน
		ยาว 100 มม.	2 ท่อน
	ฐานวางถัง	ยาว 1,058 มม. ปลาย 2 ข้าง เอียง 6-7 องศา	1 ท่อน
	ที่ค้ำข้องอ	ยาว 70 มม.	2 ท่อน
		ยาว 100 มม.	2 ท่อน

ตารางที่ 4.1 การเตรียมวัสดุสำหรับสร้างเตาเผาถ่านต้นแบบ(ต่อ)

วัสดุ	ชิ้นส่วน	ขนาด	จำนวน
เหล็กกล่อง	ที่ค้ำท่อใยหิน	ด้านล่าง ยาว 80 มม. ยาว 160-165 มม. ยาว 100 มม. ด้านบน ยาว 70 มม. ยาว 175 มม. ยาว 130 มม.	1 ท่อน 1 ท่อน 2 ท่อน 1 ท่อน 1 ท่อน 2 ท่อน
ถังเหล็ก	ถังบรรจุถ่าน	ขนาด 200 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 ซม.	1 ถัง
เหล็กแผ่น	ฝาปิดเตา	ขนาด 175x230 มม. ขนาด 30x60 มม.	1 แผ่น 3 แผ่น
	ช่องเชื้อเพลิง	ขนาด 990x365 มม. ขนาด 250x195 มม.	1 แผ่น 1 แผ่น
	ประตูเปิด ปิด ช่องเชื้อเพลิง	ขนาด 290x400 มม. ขนาด 150x50 มม. ขนาด 450x50 มม. ขนาด 100x10 มม. ขนาด 100x5 มม.	1 แผ่น 1 แผ่น 1 แผ่น 5 แผ่น 5 แผ่น
เหล็กแบน	ตะแกรงและหู	ยาว 250 มม. ยาว 600 มม. ยาว 350 มม. ยาว 233 มม.	11 เส้น 2 เส้น 1 เส้น 1 เส้น
เหล็กเส้น	สลัก	50 มม. 10 มม.	3 แท่ง 1 แท่ง
เมทัลชีทแผ่นเรียบ	กรอบเตา	ขนาด 0.8 x 0.9 ม. ขนาด 1.1 x 0.9 ม.	2 แผ่น 2 แผ่น
	กรอบเตาด้านหน้า	เจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มม.	1 รู

ตารางที่ 4.1 การเตรียมวัสดุสำหรับสร้างเตาเผาถ่านต้นแบบ(ต่อ)

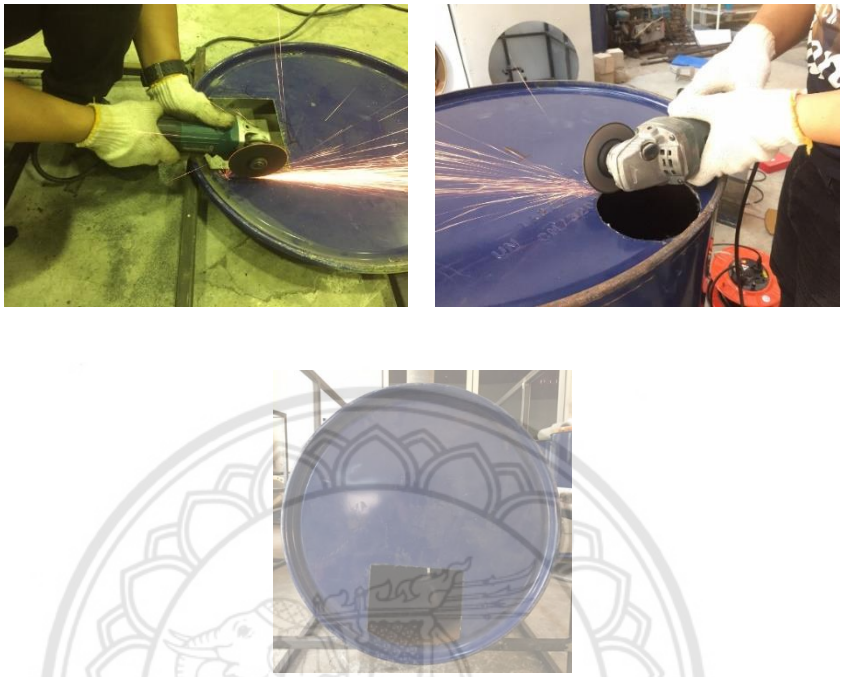
วัสดุ	ชิ้นส่วน	ขนาด	จำนวน
ท่อใยหิน	ปล่องควัน	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาวประมาณ 1 เมตร	1 ท่อ
ข้องอท่อใยหิน	ข้อปล่องควัน	ขนาด 90 องศา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว	1 ข้อ
	ช่องระบายน้ำส้มควันไม้	เจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มม.	1 รู
ไม้ไผ่ทะลุตลอดความยาว	ท่อเก็บน้ำส้มควันไม้	ประมาณ 3-4 เมตร	1 ท่อ
ทรายหยาบ	ฉนวนความร้อน	0.5 คิว	½ คิว

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานให้มีขนาดตามแบบ

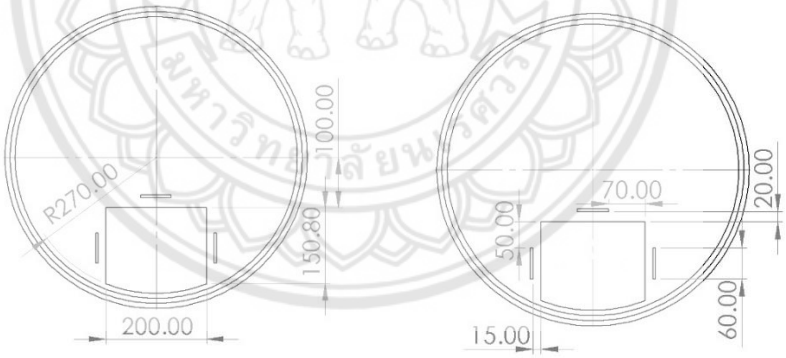
1) ตัดเหล็กกล่อง เหล็กแผ่น เหล็กแบน และเหล็กเส้น สำหรับสร้างโครงสร้างเตาเผาถ่านต้นแบบ ดังรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 การตัดเหล็กสำหรับทำโครงสร้างของเตาต้นแบบ

2) เจาะรูช่องอากาศเข้าตรงฝาถัง ช่องเสียบแผ่นเหล็กตอนปิดเตาช่วงท้ายและช่องระบายอากาศออกด้านท้ายเตาตามขนาดที่ได้ออกแบบ ดังรูปที่ 4.10-4.11

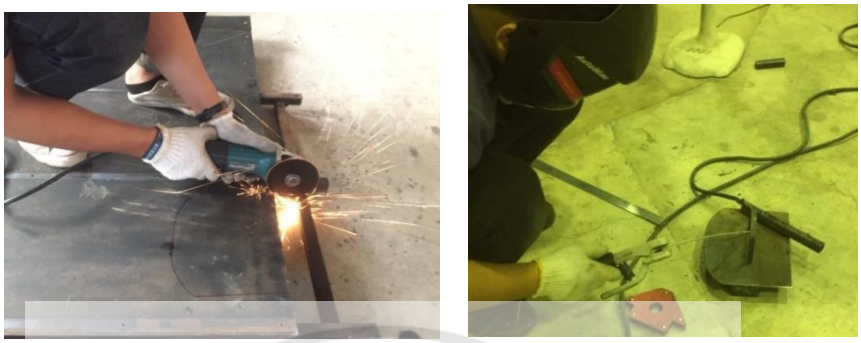


รูปที่ 4.10 การตัดและเจาะหน้าเตาและหลังเตาของเตาต้นแบบ

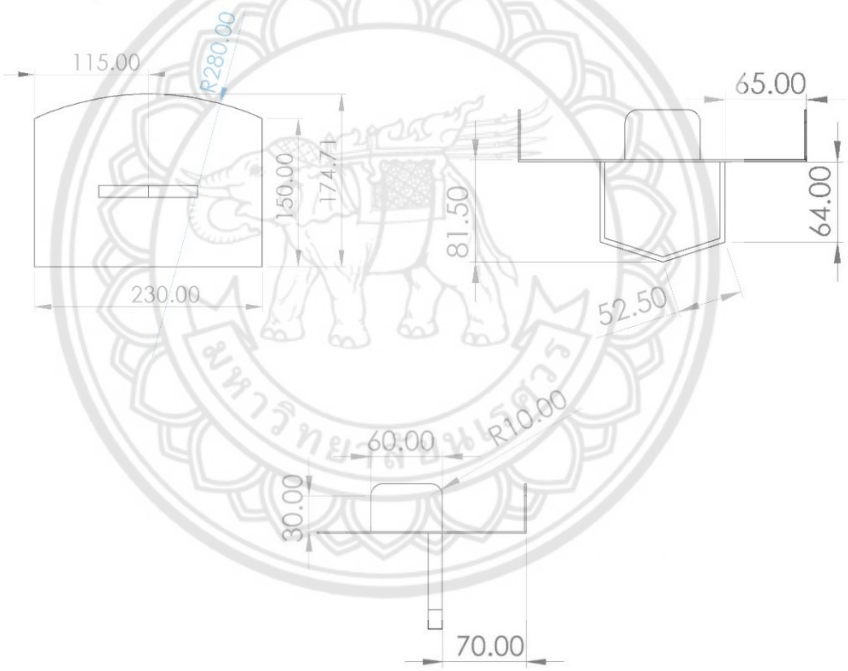


รูปที่ 4.11 ระยะที่ใช้ในการตัดและเจาะ หน้าเตา ของเตาต้นแบบ

3) ตัดเหล็กแผ่น เหล็กแบน จากนั้นทำการดัดและเชื่อมเพื่อทำเป็นฝาตอนปิดเตา ดังรูปที่ 4.12-4.13



รูปที่ 4.12 การตัดและเชื่อม ฝาตอนปิดเตา ของเตาต้นแบบ

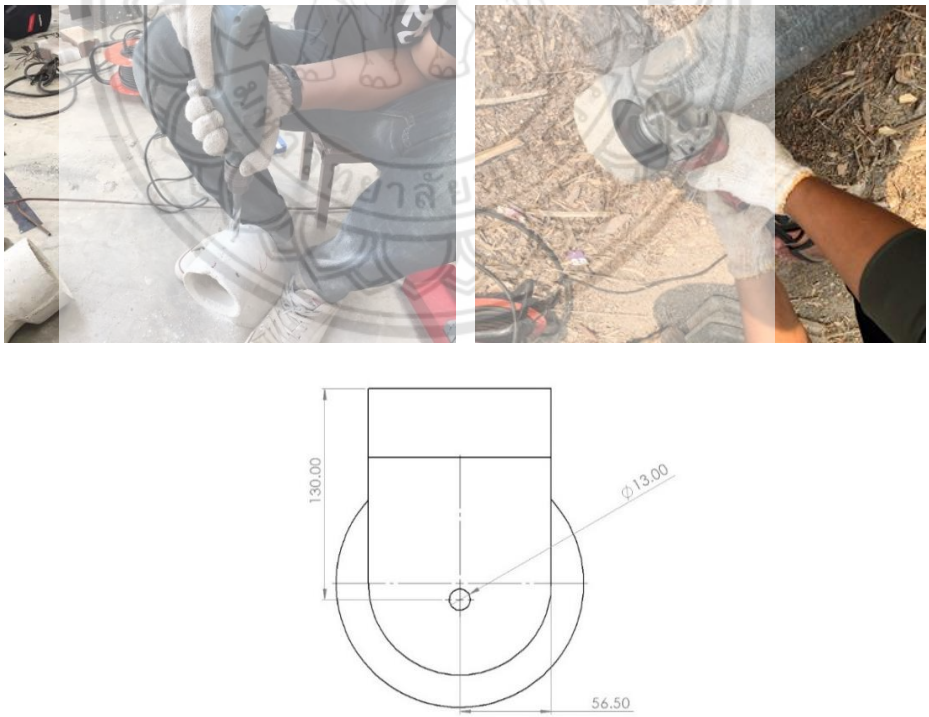


รูปที่ 4.13 ระยะที่ใช้ในการตัด เจาะ และเชื่อม ฝาตอนปิดเตา ของเตาต้นแบบ

4) ตัดแผ่นเมทัลชีคด้านหน้าเตาเป็นวงกลม ดังรูปที่ 4.14

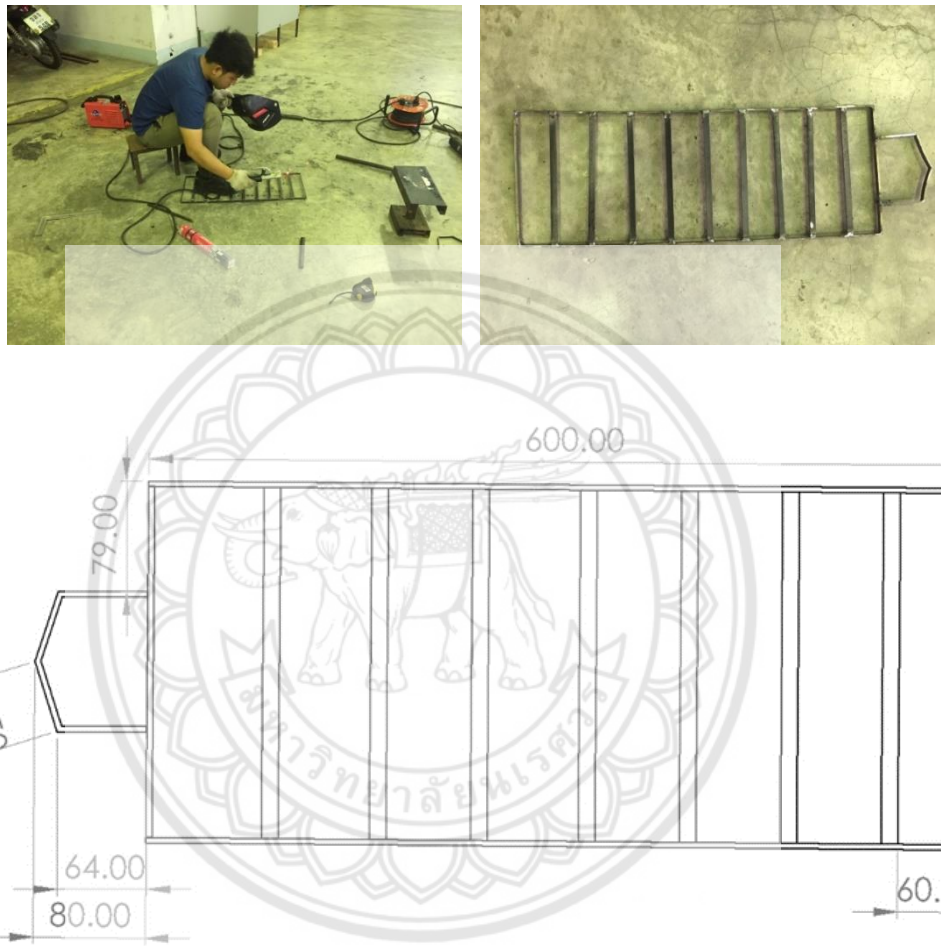
รูปที่ 4.14 การตัดและระยะการตัด แผ่นเมทัลชีทหน้าเตาของเตาต้นแบบ

5) เจาะรูข้องอด้วยสว่านโดยใช้ดอกสว่านขนาด 13 มิลลิเมตร โดยจะเจาะบริเวณกึ่งกลางของข้องอ เพื่อระบายน้ำส้มควันไม้ที่จะไหลย้อนกลับมาและทำการตัดปลายของท่อใยหินออก ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การเจาะ ตัดและระยะการเจาะ ของข้องอ ของเตาต้นแบบ

6) ตัดเหล็กแบน แล้วนำมาเชื่อมเป็นตะแกรง โดยหูตะแกรงต้องเอาไปดัดเป็นหกเหลี่ยมครึ่งก่อน รูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การตัด เชื่อม และระยะการเชื่อมตะแกรง ของเตาต้นแบบ

4.4.2 การสร้างโครงสร้างของเตา คือการเชื่อมชิ้นส่วนเหล็กกล่องที่ตัดแล้วของแต่ส่วนของโครงเตาให้ประกบกัน

เครื่องมือที่ต้องใช้ในขั้นตอนการสร้างโครงสร้างของเตานี้ ได้แก่

1) ตู้เชื่อมไฟฟ้า WELPRO รุ่น WELARC140-IGBT ลวดเชื่อมเหล็ก Kobe ขนาด 2.6 มม.

2) ค้อนหงอนขนาด 370 กรัม

3) แม่เหล็กจับฉากขนาด 4 นิ้ว

4) สว่านไฟฟ้า RYOBI รุ่น PD-130VR ขนาด 3/8 นิ้ว ดอกสว่าน ขนาด 5.5 มม.

5) ปลั๊กไฟยาว 20 ม.

ขั้นตอนในการสร้างโครงสร้างของเตา

1) เชื่อมโครงเตาแต่ละด้าน (ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านข้าง 2 ด้าน) ตามขนาดของความยาวของเหล็กกล่องที่ได้ตัดไว้แล้ว แล้วทำการเจียรแต่ง โดยก่อนการเชื่อมแต่ละครั้งจะใช้แม่เหล็กจับฉากในการจับเหล็กกล่องให้ตั้งฉากกันก่อนเสมอ ดังรูปที่ 4.17

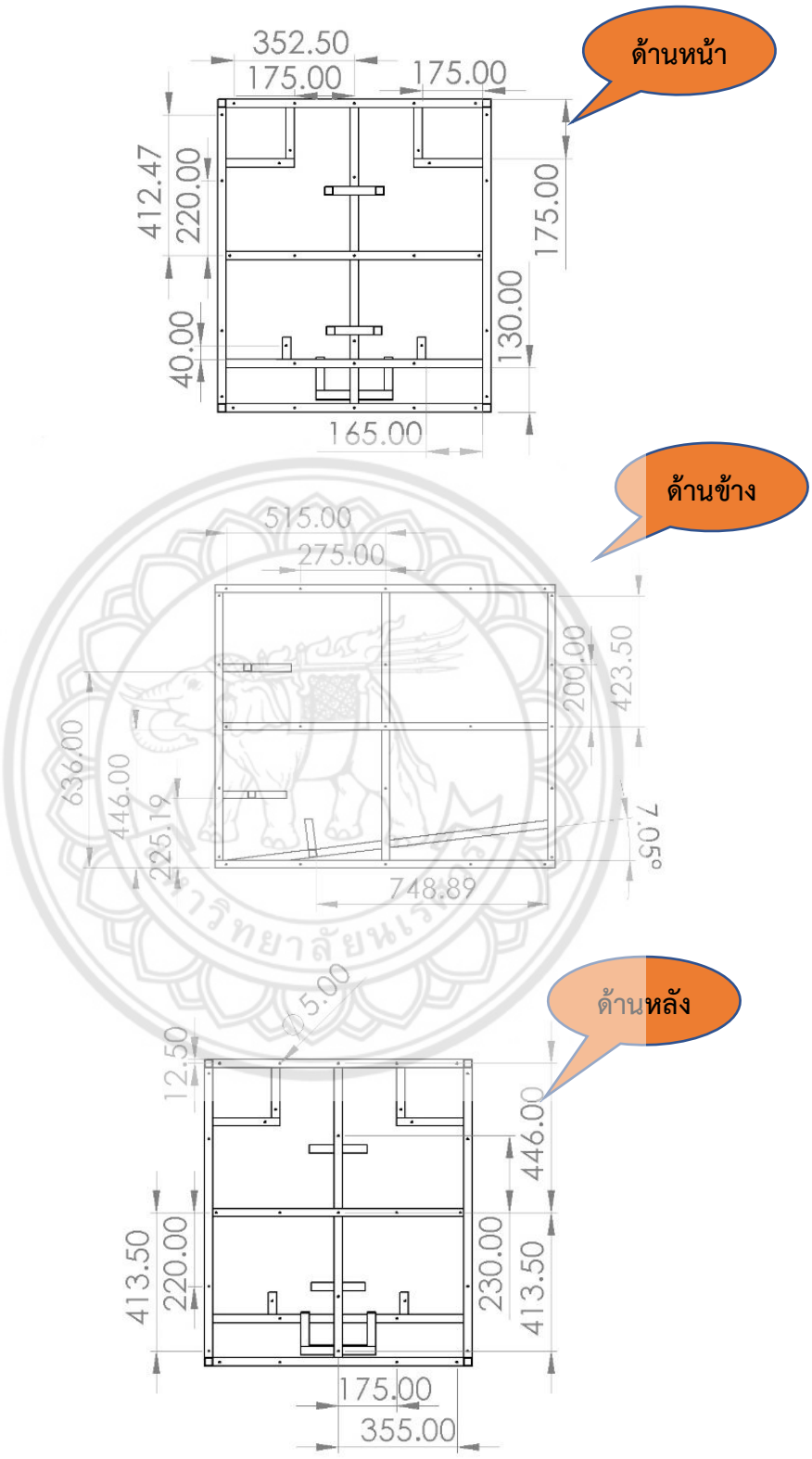
รูปที่ 4.17 การเชื่อมโครงแต่ละด้าน ของเตาต้นแบบ

2) เชื่อมโครงเตาแต่ละด้านให้ประกบกัน ดังรูปที่ 4.18

รูปที่ 4.18 การเชื่อมแต่ละด้านประกบกัน ของเตาต้นแบบ

3) เชื่อมคานรองรับถังขนาด 200 ลิตร ตัวค้ำข้องอและท่อใยหิน และจุดรับแรงเพิ่มตรงหน้าเตา และเจาะรูบนโครงเตาด้วยดอกสว่านขนาด 5.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.19-4.20

รูปที่ 4.19 การเชื่อมที่ค้ำและการเจาะโครงเตาประกอบแผ่นเมทัลชีทของเตาต้นแบบ



รูปที่ 4.20 ระยะการเจาะโครงเตาของแต่ละด้าน ของเตาต้นแบบ

4.4.3 การประกอบโครงสร้างของเตา คือการนำแผ่นเมทัลชีทมาเจาะ และยึดเข้ากับโครงเตาด้วยรีเวท

เครื่องมือที่ต้องใช้ในขั้นตอนการประกอบโครงสร้างของเตานี้ ได้แก่

1) คีมย้ำรีเวทยี่ห้อ Lobster (ตรา กุ้ง) ขนาด 10 นิ้ว ลูกรีเวท BLIND RIVER เบอร์ 6-6

2) คีมล็อก IRWIN ขนาด 10 นิ้ว

3) สว่านไฟฟ้า RYOBI รุ่น PD-130VR ขนาด 3/8 นิ้ว ดอกสว่าน ขนาด 5.5 มม.

4) ปลั๊กไฟยาว 20 ม.

5) เหล็กนำศูนย์

ขั้นตอนการประกอบกรอบเตา

1) นำแผ่นเมทัลชีทมาวางตามขนาดของโครงเตาแต่ละด้านแล้วใช้คีมล็อกจับระหว่างแผ่นเมทัลชีทกับโครงเตา จากนั้นใช้นำศูนย์ตอกให้ตรงกับรูที่ได้เจาะบนโครงสร้างของเตา แล้วทำการเจาะรูแผ่นเมทัลชีทด้วยดอกสว่านขนาด 5.5 มิลลิเมตร ตามจุดที่ได้ตอกนำศูนย์ไว้ ดังรูปที่ 4.21

รูปที่ 4.21 การเจาะแผ่นเมทัลชีท ของเตาต้นแบบ

2) ใช้คีมย้ำรีเวทยิงรีเวทเพื่อทำให้แผ่นเมทัลชีทและโครงเตาประกบติดกัน โดยจะประกอบทุกด้านยกเว้นด้านหลังของโครงเตา ดังรูปที่ 4.22

รูปที่ 4.22 การยิงรีเวทและกรอบที่ได้แต่ละด้าน ของเตาต้นแบบ

4.4.4) การสร้างช่องใส่เชื้อเพลิง คือการนำเหล็กเส้น เหล็กแผ่นที่ตัดไว้แล้วมาทำการดัดเชื่อม ทำเป็นช่องเชื้อเพลิง

เครื่องมือที่ต้องใช้ในขั้นตอนการสร้างช่องใส่เชื้อเพลิงนี้ ได้แก่

1) ตู้เชื่อมไฟฟ้า WELPRO รุ่น WELARC140-IGBT ลวดเชื่อมเหล็ก Kobe ขนาด 2.6 มม.

2) สว่านไฟฟ้า RYOBI รุ่น PD-130VR ขนาด 3/8 นิ้ว ดอกสว่าน ขนาด 5.5 มม.

3) ปลั๊กไฟยาว 20 ม.

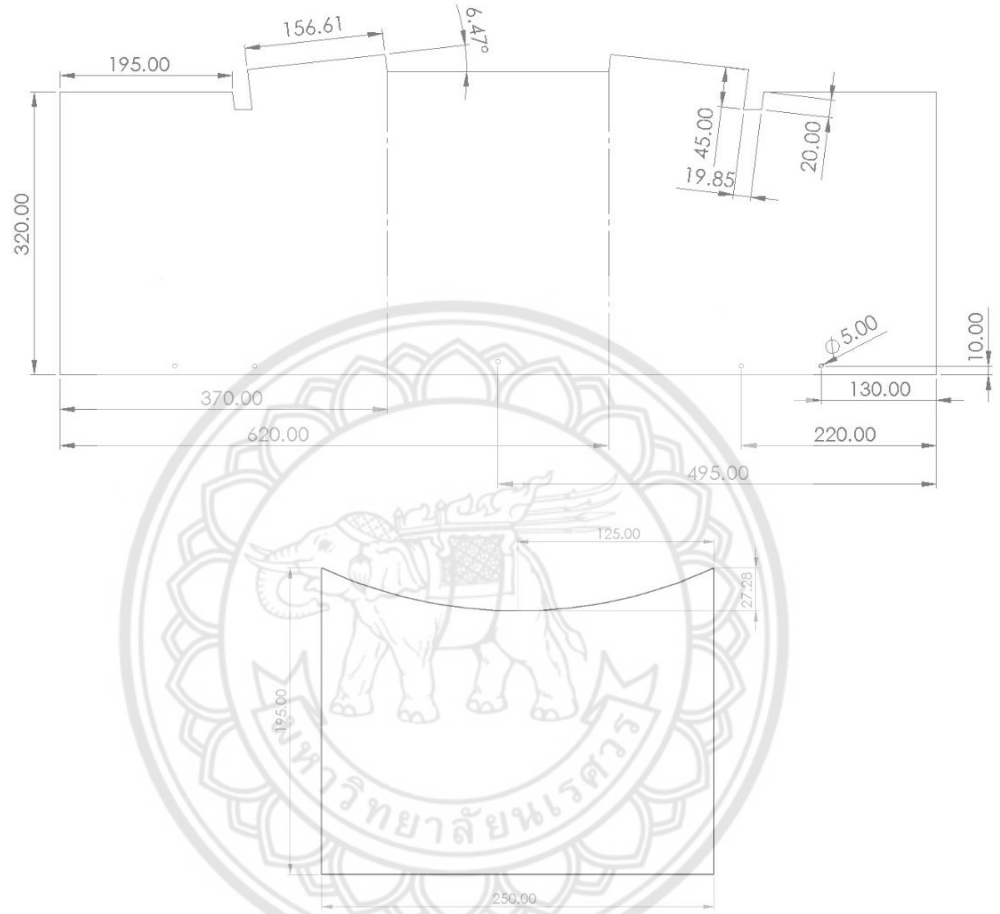
4) คีมล็อก IRWIN ขนาด 10 นิ้ว

5) แม่เหล็กจับฉากขนาด 4 นิ้ว

6) เครื่องพับเหล็กแผ่น

ขั้นตอนการสร้างช่องใส่เชื้อเพลิง

1) เจาะเหล็กแผ่นด้วยดอกสว่านขนาด 5.5 มิลลิเมตร เพื่อทำเป็นช่องเชื้อเพลิงตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 4.23

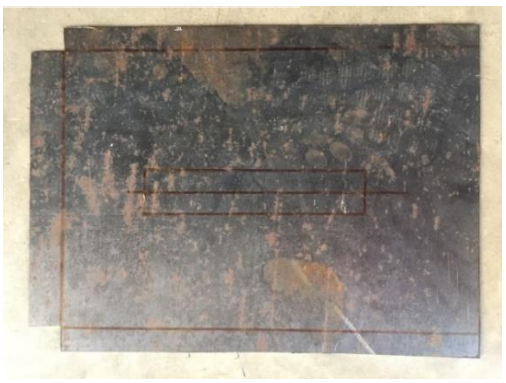


รูปที่ 4.23 ระยะที่ใช้ในการตัดและเจาะ ช่องเชื้อเพลิง ของเตาต้นแบบ

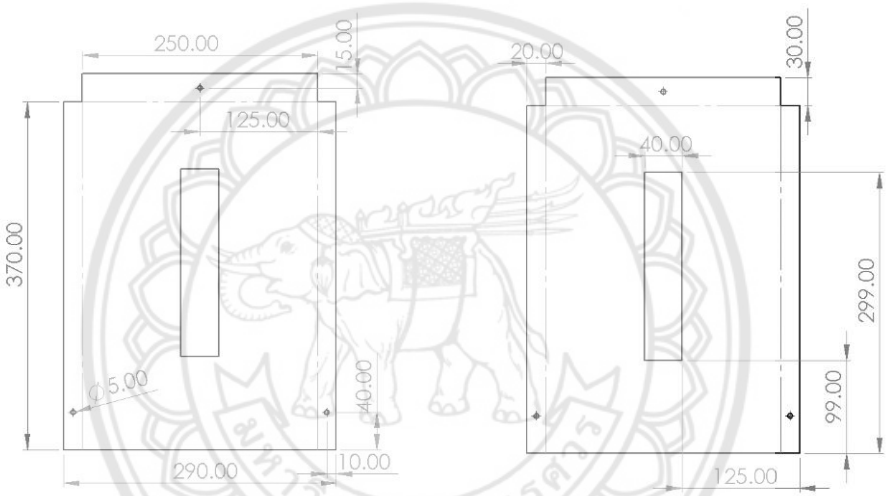
2) ดัดและเชื่อมเหล็กแผ่นปิดด้านที่ประกบติดกับหน้าเตา ดังรูปที่ 4.24

รูปที่ 4.24 การดัดและเชื่อม ช่องเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบ

3) เจาะด้วยดอกสว่านขนาด 5.5 มิลลิเมตร และดัดเหล็กแผ่นเพื่อทำประตูปิด เปิด ช่องใส่เชื้อเพลิงตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 4.25-4.26

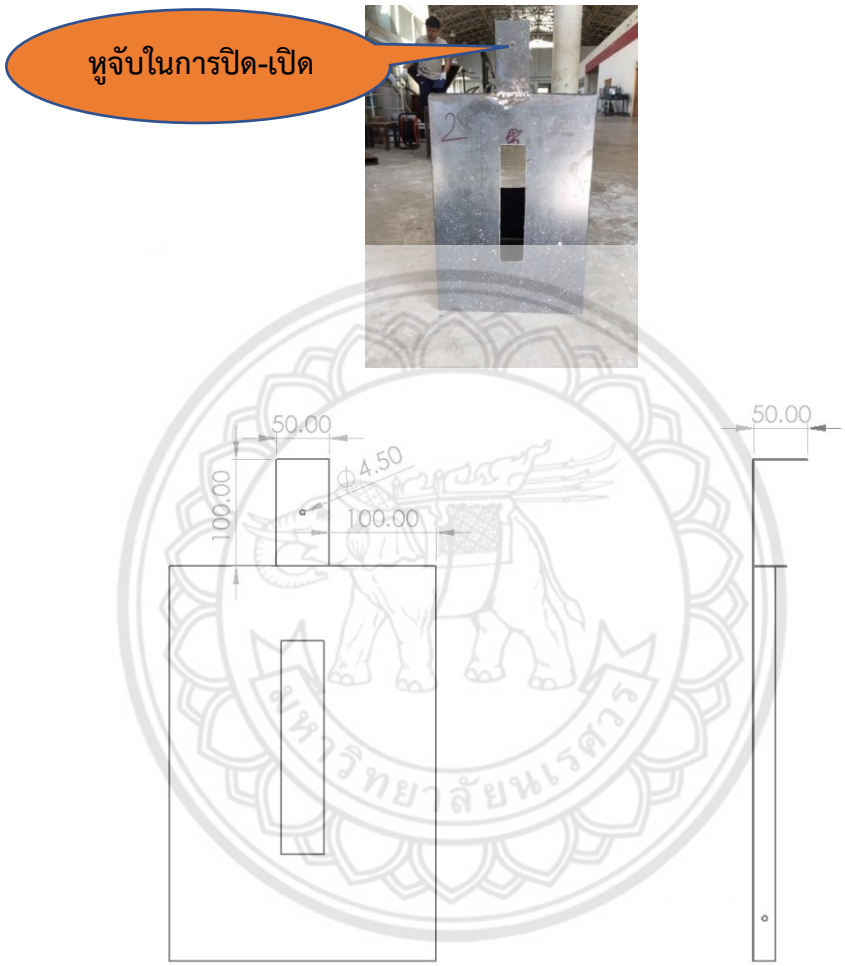


รูปที่ 4.25 การตัดและดัด ประตูปิด เปิด ช่องเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบ



รูปที่ 4.26 ระยะที่ใช้ในการตัด และเจาะ ประตูปิด เปิด ช่องเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบ

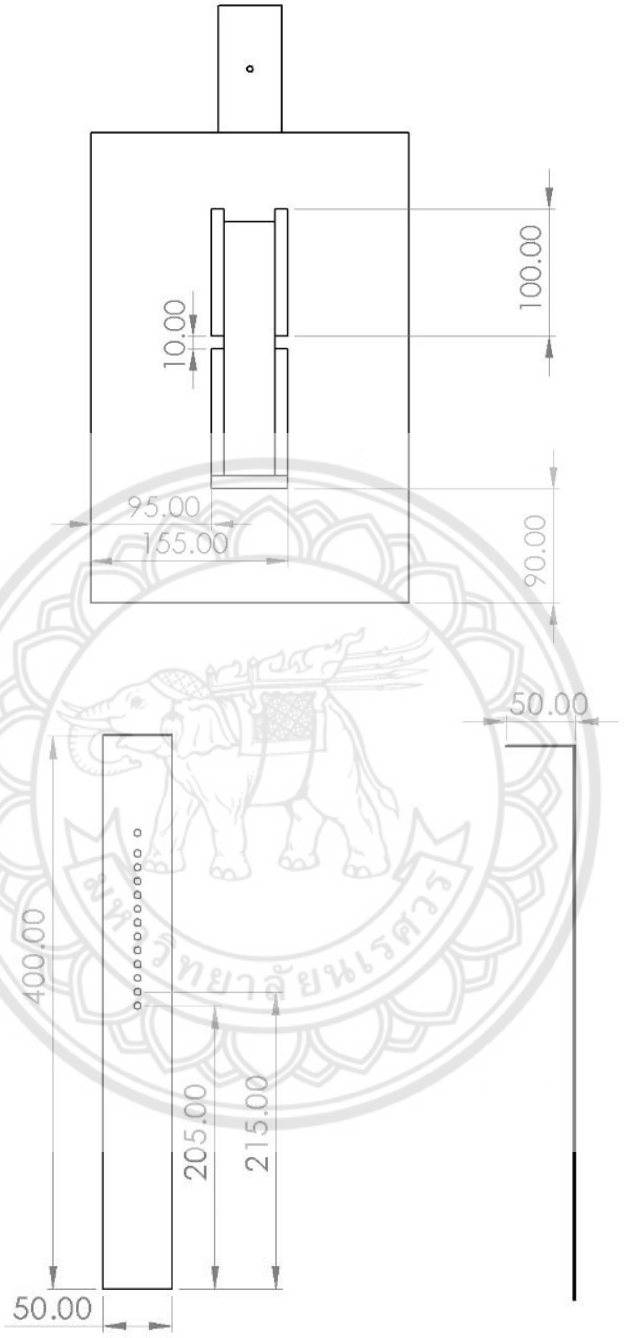
4) เชื่อมเหล็กเส้นติดกับรูที่ได้เจาะตรงประตูปิด เปิด ช่องใส่เชื้อเพลิง เพื่อทำเป็นสลักป้องกันไม่ให้ประตูปิด เปิด ช่องใส่เชื้อเพลิงหล่นลงมา จากนั้นนำเหล็กแผ่นไปเจาะด้วยดอกสว่านขนาด 5.5 มิลลิเมตร และดัด แล้วนำมาเชื่อมติดกับประตูปิด เปิด ช่องใส่เชื้อเพลิง เพื่อทำเป็นหูจับในการปิด เปิด ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 การดัด เชื่อม และระยะในการดัด เชื่อมของหูประตูปิด เปิด ช่องเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบ

5) นำเหล็กแผ่นที่ตัดไว้แล้วไปดัด เจาะรู เชื่อม และเจียรแต่งเพื่อทำเป็นสล็อตเลื่อนปิด เปิด ควบคุมอากาศ ดังรูปที่ 4.28-4.29

รูปที่ 4.28 การดัด เชื่อมและเจาะ สล็อตเลื่อนปิด เปิด ควบคุมอากาศของเตาต้นแบบ



รูปที่ 4.29 ระยะที่ใช้ในการตัด ดัด เชื่อมและเจาะสล็อตเลื่อนปิด เปิด ควบคุมอากาศของเตาต้นแบบ

6) นำเหล็กเส้นไปเจียรแต่งเพื่อทำเป็นสลักในการเลื่อนของสล็อตปิด เปิด ควบคุมอากาศและใช้เป็นสลักในการยึดประตูปิด เปิด ช่องใส่เชื้อเพลิงไม่ให้ขยับลงมา จากนั้นเจาะรูตรงหูจับของประตูปิด เปิด ช่องใส่เชื้อเพลิง เพื่อที่จะใช้ลวดในการมัดตัวสลักป้องกันไม่ให้สลักหล่นหาย ดังรูปที่ 4.30

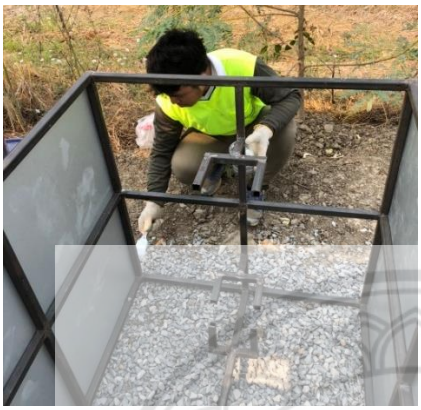
รูปที่ 4.30 การเจาะ ระยะในการตัด และเจาะ สลักของสล็อตปิด เปิด ควบคุมอากาศของเตาต้นแบบ

4.4.5 การทาสี คือการนำสีมาทาลงบนโครงสร้างของเตาเพื่อป้องกันการเกิดสนิม

เครื่องมือที่ต้องใช้ในขั้นตอนการทาสีนี้ ได้แก่

1) สีรองพื้นกันสนิม TOA สีขาว

2) แปรงทาสีขนาด 3 และ 2 นิ้ว



รูปที่ 4.31 การทาสีกันสนิมของเตาต้นแบบ

4.4.6 การติดตั้งเตาเผาถ่าน คือการนำเตาเผาถ่านที่ได้จากการสร้างนำไปติดตั้ง

เครื่องมือที่ต้องใช้ในขั้นตอนการติดตั้งเตาเผาถ่านนี้ ได้แก่

1) คีมย้ำรีเวทยี่ห้อ Lobster (ตรา กุ้ง) ขนาด 10 นิ้ว ลูกรีเวท BLIND RIVER เบอร์ 6-6

2) บุ้งกี๋หวายทึบ

3) จอบ

4) ทรายหยาบ

5) ดินเหนียว

6) แกลบ

7) มีด

8) เลื่อยเลื่อยคันธนู 24 นิ้ว

ขั้นตอนการติดตั้งเตาเผาถ่าน

1) ปรับหน้าดินบริเวณที่จะวางโครงเตาเผาถ่านให้เรียบเสมอกัน ก่อนวางโครงเตาเผาถ่าน ดังรูปที่ 4.32

รูปที่ 4.32 การปรับหน้าดินและการวางโครงเตา ของเตาต้นแบบ

2) เททรายจำนวน 6-7 บุ้งกี๋ ก่อนจะวางถังขนาด 200 ลิตร เพื่อความสะดวกในการเททราย หลังจากวางถังขนาด 200 ลิตร ดังรูปที่ 4.33

รูปที่ 4.33 การเททรายและปรับพื้นทราย ของเตาต้นแบบ

3) นำถังขนาด 200 ลิตร เข้าไปวางในโครงเตา ดังรูปที่ 4.34

รูปที่ 4.34 การนำถังวางในโครงเตา ของเตาต้นแบบ

4) ประกอบข้องอท่อใยหิน โดยสวมเข้าไปในช่องที่เจาะไว้ท้ายตัวเตาและประกอบท่อใยหินสวมเข้ากับข้องอที่ประกอบไว้ท้ายเตา ดังรูปที่ 4.35

รูปที่ 4.35 การประกอบข้องอและท่อใยหิน ของเตาต้นแบบ

5) เตรียมดินเหนียวผสมแกลบ (อัตราส่วนแกลบ 1:3 ของดินเหนียว 1 บุ้งกี๋) โดยทำการนวดให้มีความละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ประมาณ 1 บุ้งกี๋ ดังรูปที่ 4.36

รูปที่ 4.36 การเตรียมดินของเตาต้นแบบ

6) นำดินมาประสานรอยต่อระหว่างข้องอกับถังขนาด 200 ลิตร ทั้งด้านในและด้านนอก ตรงรอยต่อระหว่างข้องอและท่อใยหิน และด้านหน้าเตาที่เป็นรอยต่อระหว่างถังน้ำมัน 200 ลิตร กับ แผ่นเมทัลชีท เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ ดังรูปที่ 4.37

รูปที่ 4.37 การประสานรอยต่อด้วยดิน ของเตาต้นแบบ

7) ประกอบแผ่นเมทัลชีทด้านหลังของโครงเตา ด้วยรีเวท ดังรูปที่ 4.38

รูปที่ 4.38 การยิงรีเวทด้านหลัง ของเตาต้นแบบ

8) เททรายลงไปในโครงเตาให้ได้ตามปริมาตรที่ต้องการ (เหลือระยะที่ว่างจากส่วนบนสุดของเตาถึงผิวทราย 5-6 เซนติเมตร) ดังรูปที่ 4.39

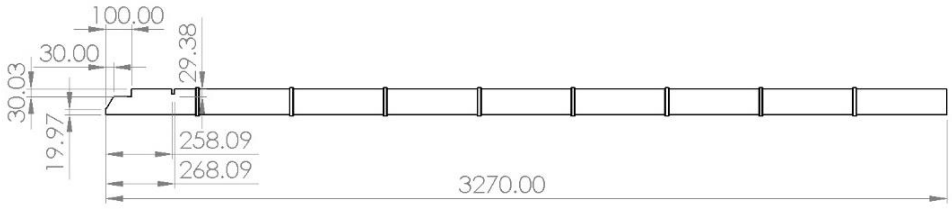
รูปที่ 4.39 การเททรายลงในโครงเตาของเตาต้นแบบ

9) นำไม้ไผ่มาทำการทะลวงข้อปล้องภายในลำไม้ไผ่ ให้ทะลุตลอดความยาว โดยวางลำไม้ไผ่ทำมุมเอียงกับพื้นประมาณ 20-25 องศา ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 4.40 การทะลวงไม้ไผ่ ของเตาต้นแบบ

10) วัดความยาวจากส่วนที่จะใช้ประกบกับปล่องควันห่างออกมาประมาณ 10-20 เซนติเมตร แล้วทำการตัดลึกลงไป 3 เซนติเมตร ตัดเนื้อไม้ส่วนที่เป็นเหลี่ยมออกโดยทำมุมเอียงประมาณ 45องศาองศา จากนั้นเจาะรูสำหรับเป็นช่องให้น้ำส้มควันไม้หยดลงมาสู่กระบอกพลาสติกที่แขวนไว้กับลำไม้ไผ่ โดยวัดวัดความยาวจากส่วนที่จะใช้ประกบกับปล่องควันห่างออกมาประมาณ 25-30 เซนติเมตร แล้วทำการเจาะกว้าง 1-1.5 เซนติเมตร ลึกลงไป 2-3 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.41-4.42

รูปที่ 4.41 การตัดช่องเก็บน้ำส้มควันไม้ตามระยะ ของเตาต้นแบบ



รูปที่ 4.42 ระยะในการตัดของไม้ไผ่เก็บน้ำส้มควันไม้ ของเตาต้นแบบ

11) สร้างคานรองรับไม้ไผ่เก็บน้ำส้มควันไม้ โดยจะสร้างให้ไม้ไผ่เก็บน้ำส้มควันไม้ทำมุมเอียง 20-25 องศา กับแนวระดับ

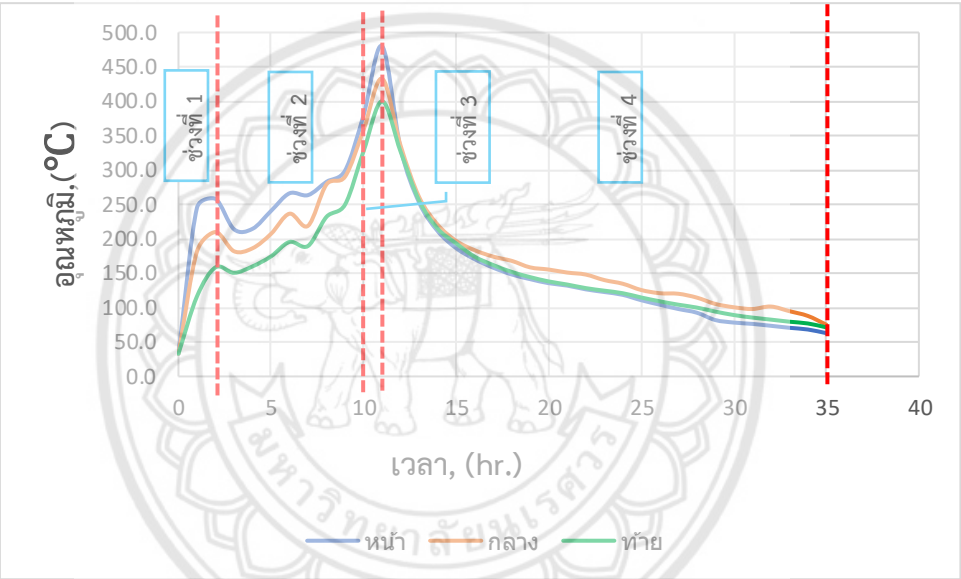
รูปที่ 4.43 การวางของไม้ไผ่เก็บน้ำส้มควันไม้ ของเตาต้นแบบ

หมายเหตุ : ในการสร้างและติดตั้งต้องใช้จำนวนแรงงาน 1-2 คนและเวลาในการสร้างและติดตั้ง 1-2 วัน (ต้องมีวัสดุและอุปกรณ์พร้อมและแรงงานต้องมีความชำนาญทางด้านช่าง)

4.5 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของเตาแบบดั้งเดิมและเตาต้นแบบ

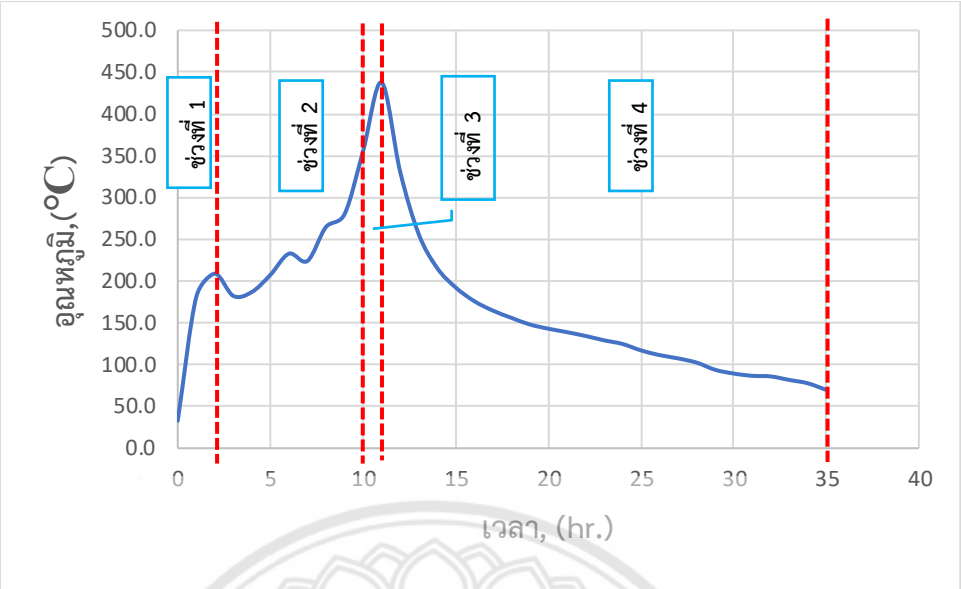
จากการทดสอบจะใช้ไม้สะเดาเป็นฟืนที่นำมาเผาเป็นถ่าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไม้จะอยู่ที่ 1-7 นิ้ว และใช้ไม้สะเดาส่วนที่เป็นกิ่งเล็ก ๆ ในการเผาเป็นฟืนหน้าเตา โดยทำการทดสอบระหว่างวันที่ 19-29 กุมภาพันธ์ 2563 ณ หมู่ 7 ตำบลบ่อทอง อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ในการทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบค่าอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ของตัวเตา โดยการทดสอบค่าที่จุดต่าง ๆ ของตัวเตาจะทำการวัดค่า 4 ตำแหน่ง คือ หน้าเตา กลางเตา ท้ายเตา และปากปล่องควัน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบค่าอุณหภูมิคือสาย Thermocouple Type K

4.5.1 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิภายในเตาของเตาแบบดั้งเดิมและเตาต้นแบบ



รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเตาแต่ละจุดต่อเวลาของเตาแบบดั้งเดิม

จากกราฟในรูปที่ 4.44 พบว่าในช่วงของการเผาไม้ให้กลายเป็นถ่านอุณหภูมิหน้าเตามีค่ามากกว่าอุณหภูมิกลางเตาและท้ายเตาตามลำดับ และในช่วงของการปิดเตาอุณหภูมิหน้าเตา กลางเตา และท้ายเตา มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากไม่มีการไหลของอากาศจึงทำให้ความร้อนกระจายตัวอยู่ภายในเตา



รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเตาเฉลี่ยต่อเวลาของเตาแบบดั้งเดิม

จากการเผาถ่านจะแบ่งช่วงการเผาออกเป็น 4 ช่วง หลัก ๆ ได้แก่

1) ไล่ความชื้น 2) คุมอากาศ 3) เพิ่มปริมาณคาร์บอน 4)ทำให้เตาเย็นลง

ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น

จากกราฟในรูปที่ 4.45 พบว่าที่เวลา 0.00-2.00 ชั่วโมง เตาแบบดั้งเดิมมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 33.00-208.90 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในเตาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปในเตา

ช่วงที่ 2 คุมอากาศ

จากกราฟในรูปที่ 4.45 พบว่าที่เวลา 2.00-3.00 ชั่วโมงเตาแบบดั้งเดิมมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 208.90-182.20 องศาเซลเซียส

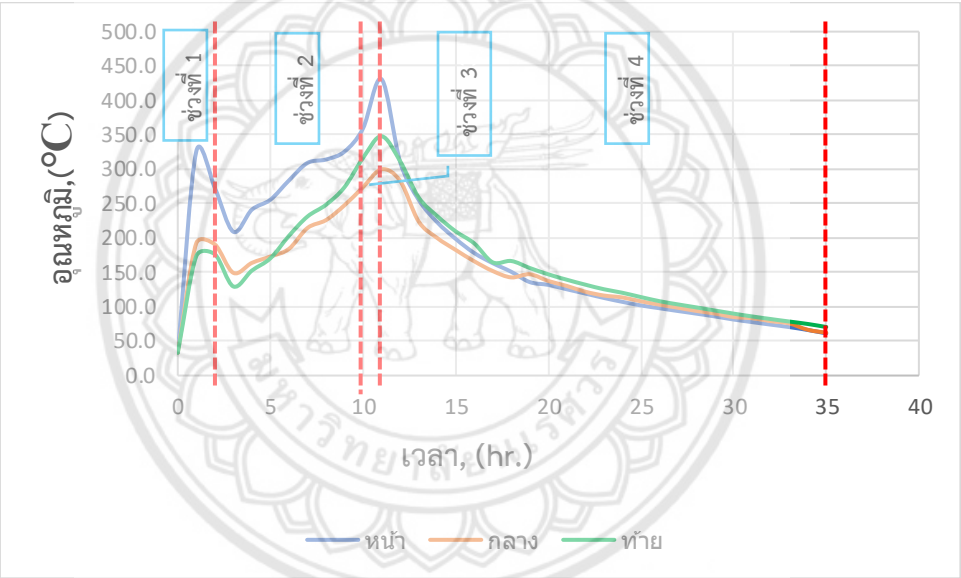
ที่เวลา 3.00-10.30 ชั่วโมงเตาแบบดั้งเดิมมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 182.20-355.20 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในเตาช่วงเวลา 2.00-3.00 ชั่วโมง จะลดลงและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงเวลา 3.00-10.00 ชั่วโมง เนื่องจากการควบคุมอากาศไม่ให้ไหลเข้าสู่ภายในเตามากจนเกินไป จึงทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างช้า ๆ

ช่วงที่ 3 เพิ่มปริมาณคาร์บอน

จากกราฟในรูปที่ 4.45 พบว่าที่เวลา 10.30-11.00 ชั่วโมง เตาแบบดั้งเดิมมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 355.20-437.70 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเปิดช่องอากาศ 2/3 ของช่องใส่เชื้อเพลิง ให้อากาศเข้าไปภายในเตาส่งผลให้ไม้ภายในเตาเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว

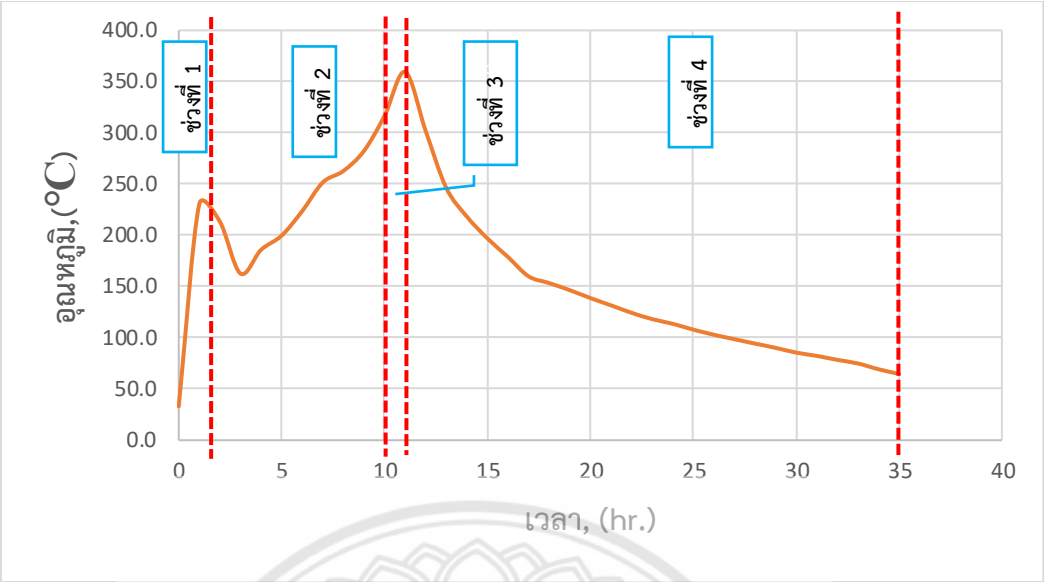
ช่วงที่ 4 ทำให้เตาเย็นลง

จากกราฟในรูปที่ 4.45 พบว่าที่เวลา 11.00-35.00 ชั่วโมง เตาแบบดั้งเดิมมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 437.70-69.8 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในเตาจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากการปิดช่องอากาศไม่ให้อากาศไหลเข้าสู่ภายในเตา



รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเตาแต่ละจุดต่อเวลาของเตาต้นแบบ

จากกราฟในรูปที่ 4.46 พบว่าในช่วงของการเผาไม้ให้กลายเป็นถ่านอุณหภูมิหน้าเตามีค่ามากกว่าอุณหภูมิท้ายเตาและกลางเตาตามลำดับ และในช่วงของการปิดเตาอุณหภูมิหน้าเตา กลางเตา และท้ายเตา มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากไม่มีการไหลของอากาศจึงทำให้ความร้อนกระจายตัวอยู่ภายในเตา



รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาต่อเวลาของเตาต้นแบบ

ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น

จากกราฟในรูปที่ 4.47 พบว่าที่เวลา 0.00-2.00 ชั่วโมง เตาต้นแบบ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 33.00-213.30 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในเตาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไป

ช่วงที่ 2 คุมอากาศ

จากกราฟในรูปที่ 4.47 พบว่าที่เวลา 2.00-3.00 ชั่วโมง เตาต้นแบบ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 213.30-162.60 องศาเซลเซียส

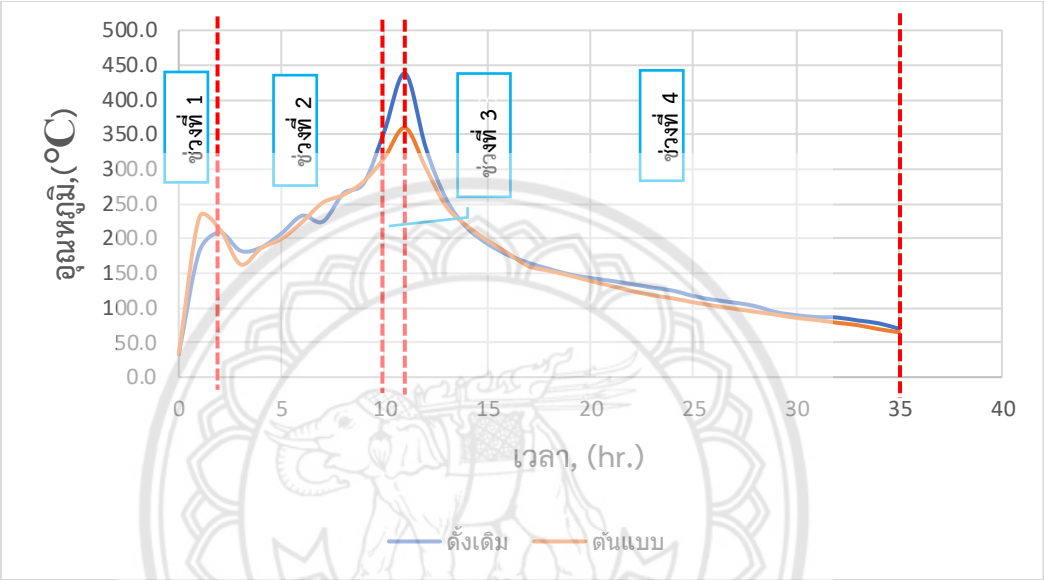
ที่เวลา 3.00-10.30 ชั่วโมงเตาต้นแบบ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 162.60-316.60 องศาเซลเซียสจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในเตาช่วงเวลา 2.00-3.00 ชั่วโมง จะลดลงและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงเวลา 3.00-10.30 ชั่วโมง เนื่องจากการควบคุมอากาศไม่ให้ไหลเข้าสู่ภายในเตามากจนเกินไป จึงทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างช้า ๆ

ช่วงที่ 3 เพิ่มปริมาณคาร์บอน

จากกราฟในรูปที่ 4.47 พบว่าที่เวลา 10.30-11.00 ชั่วโมง เตาต้นแบบ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 316.60-359.50 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเปิดช่องอากาศ 2/3 ของช่องใส่เชื้อเพลิง ให้อากาศเข้าไปภายในเตาส่งผลให้ไม้ภายในเตาเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว

ช่วงที่ 4 ทำให้เตาเย็นลง

จากกราฟในรูปที่ 4.47 พบว่าที่เวลา 11.00-35.00 ชั่วโมง เตาต้นแบบ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 359.50-64.70 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในเตาจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากการปิดช่องอากาศไม่ให้อากาศไหลเข้าสู่ภายในเตา

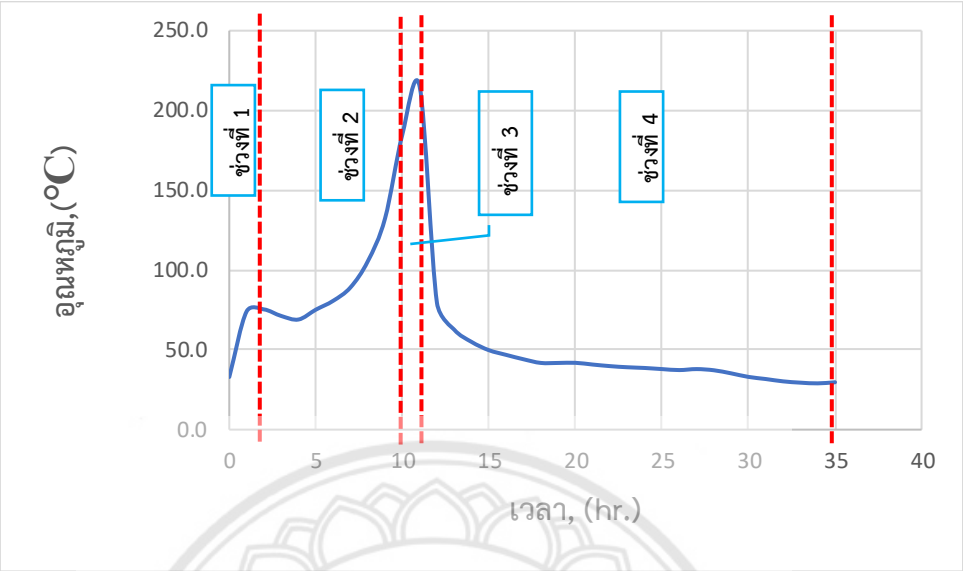


รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์แนวโน้มของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาต่อเวลา ของเตาแบบดั้งเดิมและเตาต้นแบบ

จากกราฟในรูปที่ 4.48 พบว่าในช่วงของการไล่ความชื้นในไม้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาดั้งเดิมและเตาต้นแบบ จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเตาดั้งเดิมมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 208.90 องศาเซลเซียส และเตาต้นแบบ มีอุณหภูมิสูงสุด 230.60 องศาเซลเซียส

ในช่วงไม้กลายเป็นถ่านอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาดั้งเดิมและเตาต้นแบบ จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยเตาดั้งเดิมมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 437.70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 11.00 ชั่วโมง และเตาต้นแบบ มีอุณหภูมิสูงสุด 359.50 องศาเซลเซียส ที่เวลา 11.00 ชั่วโมง เมื่อทำการปิดเตาอุณหภูมิปากปล่องเตาของเตาดั้งเดิมและเตาต้นแบบ จะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 60.00-70.00 องศาเซลเซียส

4.5.2 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิปากปล่องของเตาแบบดั้งเดิมและเตาต้นแบบ



รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิปากปล่องต่อเวลาของเตาแบบดั้งเดิม

ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น

จากกราฟในรูปที่ 4.49 ที่เวลา 0.00-2.00 ชั่วโมง เตาแบบดั้งเดิมมีอุณหภูมิ 33.00-75.30 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 2 คุมอากาศ

จากกราฟในรูปที่ 4.49 ที่เวลา 2.00-4.00 ชั่วโมง เตาแบบดั้งเดิมมีอุณหภูมิ 75.30-69.00 องศาเซลเซียส

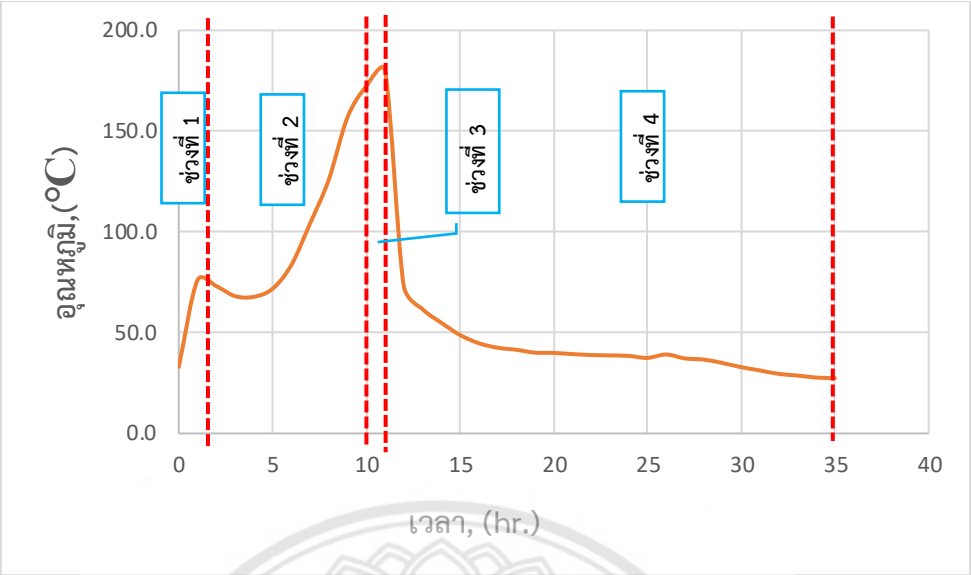
ที่เวลา 4.00-10.30 ชั่วโมง เตาแบบดั้งเดิมมีอุณหภูมิ 69.00-184.90 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 3 เพิ่มปริมาณคาร์บอน

จากกราฟในรูปที่ 4.49 ที่เวลา 10.30-11.00 ชั่วโมง เตาแบบดั้งเดิมมีอุณหภูมิ 184.90-214.90 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 4 ทำให้เตาเย็นลง

จากกราฟในรูปที่ 4.49 ที่เวลา 11.00-35.00 ชั่วโมง เตาแบบดั้งเดิมมีอุณหภูมิ 214.90-29.70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิปากปล่องต่อเวลาของเตาต้นแบบ

ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น

จากกราฟในรูปที่ 4.50 ที่เวลา 0.00-2.00 ชั่วโมง เตาต้นแบบมีอุณหภูมิ 33.00-73.10 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 2 คุมอากาศ

จากกราฟในรูปที่ 4.50 ที่เวลา 2.00-4.00 ชั่วโมง เตาต้นแบบมีอุณหภูมิ 73.10-67.80 องศาเซลเซียส

ที่เวลา 4.00-10.30 ชั่วโมง เตาต้นแบบมีอุณหภูมิ 67.80-172.20 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 3 เพิ่มปริมาณคาร์บอน

จากกราฟในรูปที่ 4.50 ที่เวลา 10.30-11.00 ชั่วโมง เตาต้นแบบมีอุณหภูมิ 172.20-180.20 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 4 ทำให้เตาเย็นลง

จากกราฟในรูปที่ 4.50 ที่เวลา 11.00-35.00 ชั่วโมง เตาต้นแบบมีอุณหภูมิ 180.20-27.40 องศาเซลเซียส

จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิปากปล่องเตาดั้งเดิมและเตาต้นแบบนั้นแปรผันตรงกับอุณหภูมิภายในเตา

ในช่วงที่ไม้กำลังเปลี่ยนเป็นถ่าน สมาคมน้ำส้มควันไม้แห่งประเทศญี่ปุ่น ได้ตั้งเกณฑ์มาตรฐานของการเก็บน้ำส้มควันไม้ไว้โดยการวัดอุณหภูมิที่ปากปล่องควันระหว่าง 80 – 150 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายในเตาจะอยู่ระหว่าง 300 – 400 องศาเซลเซียส [13] ซึ่งทำให้สารประกอบต่าง ๆ ในไม้ฟืนจะถูกสลายตัวด้วยความร้อนเกิดเป็นสารประกอบใหม่ๆ มากมาย แต่ถ้าเก็บน้ำส้มควันในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส จะมีสารประกอบที่มีประโยชน์น้อยมากและถ้าเก็บในช่วงอุณหภูมิเกิน 425 องศาเซลเซียส น้ำมันดินจะสลายตัวเป็นสารก่อมะเร็งได้ อีกทั้งยังเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นทำให้กำจัดน้ำมันดิบออกจากเนื้อไม้ได้มากขึ้นและส่งผลให้ถ่านที่ได้มีความบริสุทธิ์ [15] จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ได้ของเตาแบบดั้งเดิมและเตาต้นแบบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสมาคมน้ำส้มควันไม้แห่งประเทศญี่ปุ่น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

4.6 ผลการวิเคราะห์ไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่านและเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.2 ปริมาณไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่านและเป็นเชื้อเพลิง

ชนิดของเตา	ไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่าน,(kg)	ไม้ที่นำมาเป็นเชื้อเพลิง,(kg)
เตาดั้งเดิม	79.9	8.1
เตาต้นแบบ	80.1	8.3

จากตารางที่ 4.2 ปริมาณไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่าน พบว่าปริมาณไม้ที่นำมาเผาของเตาต้นแบบเท่ากับ 80.1 kg คิดเป็นร้อยละ 100.25 ของเตาดั้งเดิม[3]

ปริมาณไม้ที่นำมาเป็นเชื้อเพลิง พบว่าปริมาณไม้ที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงของเตาต้นแบบเท่ากับ 8.3 kg ติดเป็นร้อยละ 102.47 ของเตาดั้งเดิม[3]

จะเห็นได้ว่าปริมาณไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่านและปริมาณไม้ที่นำมาเป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณใกล้เคียงกันเนื่องจากไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่านเป็นไม้ชนิดเดียวกันและมีระยะเวลาในการตากแห้งเท่ากัน

4.7 ผลการวิเคราะห์ถ่านและน้ำส้มควันไม้ของเตาแบบดั้งเดิมและเตาต้นแบบ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบถ่านและน้ำส้มควันไม้

ชนิดของเตาเผาถ่าน	ถ่าน		น้ำส้มควันไม้		
	ร้อยละของถ่าน ,(%)	ค่าความร้อน ,(Cal/g)	ปริมาณ (l)	ค่า pH	ค่า SG
เตาดั้งเดิม	24.28	8,206.7	2.86	2.67	1.018
เตาต้นแบบ	26.43	8,128.8	2.82	2.74	1.013

จากตารางที่ 4.3 ปริมาณร้อยละของถ่าน พบว่าร้อยละของถ่านของเตาต้นแบบได้เท่ากับ 26.43 โดยมวลของไม้ฟืน คิดเป็นร้อยละ 108.85 ของเตาดั้งเดิม อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของร้อยละขอลถ่าน โดยมีค่ามามาตรฐาน 20-30 โดยมวลของไม้ฟืน[3]

จากตารางที่ 4.3 ค่าความร้อนของถ่าน พบว่าค่าความร้อนของถ่านของเตาต้นแบบได้เท่ากับ 8,128.8 Cal/g คิดเป็นร้อยละ 99.05 ของเตาดั้งเดิม อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของค่าความร้อนของถ่านบริสุทธิ์ที่ 7,400-7,800 Cal/g[12]

จากตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำส้มควันไม้ พบว่าปริมาณน้ำส้มควันไม้ของเตาต้นแบบได้เท่ากับ 2.82 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 98.60 ของเตาดั้งเดิม อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ 1.0-2.0 ลิตร[21]

จากตารางที่ 4.3 ค่า pH ของน้ำส้มควันไม้ พบว่าค่า pH ของน้ำส้มควันไม้ของเตาต้นแบบได้เท่ากับ 2.74 คิดเป็นร้อยละ 102.62 ของเตาดั้งเดิม อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของค่า pH ของน้ำส้มควันไม้ที่ 2.0-3.0[21]

จากตารางที่ 4.3 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ของเตาต้นแบบได้เท่ากับ 1.013 คิดเป็นร้อยละ 99.51 ของเตาดั้งเดิม อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ที่ 1.010-1.025[21]

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการสร้างเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร จากภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อให้ได้เตาเผาถ่านที่มีมาตรฐานเดียวกันในการผลิตซ้ำ และสะดวกในการใช้งาน

เตาเผาถ่านต้นแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยห้องเผาไหม้ทำจากถังเหล็กขนาด 200 ลิตร วางในแนวนอนภายในกรอบเตาขนาด 80 ×110 ×90 เซนติเมตร ระหว่างถังและกรอบเตาบรรจุทรายเพื่อใช้เป็นฉนวน ท่อปล่องควันทำจากท่อใยหินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ช่องใส่เชื้อเพลิงอยู่บริเวณด้านหน้าเตาโดยออกแบบให้มีช่องสำหรับควบคุมปริมาณอากาศที่จะไหลผ่านเข้าเตาได้ในการสร้างเตานั้นได้ออกแบบให้สามารถประกอบชิ้นส่วนเตาได้อย่างสะดวก โดยจะทำการสร้างกรอบเตาก่อนจากเหล็กกล่องและแผ่นเมทัลชีท จากนั้นจะประกอบถังเข้ากับกรอบเตา ติดตั้งช่องใส่เชื้อเพลิงและปล่องควัน ดังตารางที่ 5.1

ผลการทดสอบเตาเผาถ่านต้นแบบโดยใช้ไม้สะเดา สรุปได้ดังตารางที่ 5.2 เมื่อนำเตาต้นแบบที่พัฒนาขึ้นเทียบสมรรถนะกับเตาดั้งเดิมพบว่าปริมาณของไม้ฟืนเฉลี่ยที่นำมาเผาเป็นถ่านคิดเป็นร้อยละ 100.25 ของเตาดั้งเดิม ปริมาณไม้เชื้อเพลิงเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 102.47 ของเตาดั้งเดิม ร้อยละเฉลี่ยของถ่านคิดเป็นร้อยละ 108.85 ของเตาดั้งเดิม อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยภายในเตาคิดเป็นร้อยละ 82.13 ของเตาดั้งเดิม ค่าความร้อนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 99.05 ของเตาดั้งเดิม ปริมาณน้ำส้มควันไม้เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 98.60 ของเตาดั้งเดิม ค่าความเป็นกรด ด่างเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 102.62 ของเตาดั้งเดิม และค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 99.51 ของเตาดั้งเดิม อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวนอน

เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวนอนต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีขั้นตอนการสร้างที่เป็นมาตรฐานชัดเจน ไม่ซับซ้อน สามารถติดตั้งบนพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นดินได้ เช่น พื้นปูน เป็นต้น ขั้นตอนการใช้งานสะดวก และสามารถเคลื่อนย้ายได้หลังจากติดตั้งแล้วทำให้สะดวกต่อการนำไปสาธิตหรือเผยแพร่เทคโนโลยีในชุมชนต่อไป

ตารางที่ 5.1 ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักและคุณสมบัติทางกายภาพ

ชิ้นส่วน	ชนิดของเตา			
	เตาดั้งเดิม		เตาต้นแบบ	
	วัสดุ	คุณสมบัติ	วัสดุ	คุณสมบัติ
โครงเตา	ไม้	ผุพังได้ง่าย ความแข็งแรงน้อย อายุการใช้งานสั้น	เหล็ก	ผุพังได้ยาก ความแข็งแรงสูง อายุการใช้งานมาก
กรอบเตา	สังกะสี	เกิดสนิมได้ง่าย อายุการใช้งานสั้น	เมทัลชีท	โครงสร้างมีผิวเคลือบจากอะลูมิเนียม ผสมสังกะสี ทำให้เกิดสนิมได้ยาก อายุการใช้งานมาก
ช่องเชื้อเพลิง	อิฐบล็อก	แตกหักได้ง่ายหลังจาก ผ่านความร้อนสูง	แผ่นเหล็ก	ทนความร้อนได้สูง อายุการใช้งานมาก
ปล่องควัน	ท่อใยหิน	ทนต่อการกัดกร่อน ของกรด	ท่อใยหิน	ทนต่อการกัดกร่อนของกรด

ตารางที่ 5.2 ผลที่ได้จากการทดสอบเผาถ่าน

รายการ		ชนิดของเตา	
		เตาดั้งเดิม	เตาต้นแบบ
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ปริมาณไม้ฟืน (kg)	79.9	80.1
	ปริมาณไม้เชื้อเพลิง (kg)	8.1	8.3
	ร้อยละโดยมวลของถ่าน (%)	24.28	26.43
	อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด ($^{\circ}$C)	437.70	359.50
	ค่าความร้อนของถ่าน (Cal/g)	8,206.7	8,128.8
	ปริมาณน้ำส้มควันไม้ดิบ (l)	2.86	2.82
	ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำส้มควันไม้ดิบ	2.67	2.74
	ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ดิบ	1.018	1.013
ระยะเวลา	ระยะเวลาในการสร้างเตา (day)	1	1-2
	ระยะเวลาในการเผาถ่าน (hr.)	35-40	35-40
ต้นทุน	ต้นทุนในการสร้างไม่รวมค่าแรง (Baht)	1,600	2,000

5.2 ข้อดีและข้อเสียระหว่างเตาดั้งเดิมและเตาต้นแบบ

เตาดั้งเดิม

ข้อดี 1. ต้นทุนในการผลิตต่ำ

2. วัสดุในการสร้างเตาสามารถหาได้ง่าย

ข้อเสีย 1. โครงสร้างไม่ค่อยได้มาตรฐานทำให้การสร้างแต่ละครั้งได้เตาออกมาไม่เหมือนกัน

2. ต้องมีการทำช่องใส่เข้าเพลิงใหม่ในการเผาแต่ละครั้ง

3. อุดรอยรั่วของอากาศบริเวณหน้าเตาได้ค่อนข้างยากต้องใช้ความชำนาญในการทำ

4. การควบคุมปริมาณอากาศที่เข้าสู่ตัวเตาทำได้ยาก

เตาต้นแบบ

ข้อดี 1. มีโครงสร้างที่เป็นมาตรฐานทำให้การสร้างแต่ละครั้งได้เตาออกมาเหมือนเดิมทุกครั้ง

2. สามารถติดตั้งเตาเผาถ่านบนพื้นที่ที่เป็นพื้นปูนได้

3. สามารถเคลื่อนย้ายเตาได้สะดวกตามความต้องการ

4. ควบคุมปริมาณอากาศเข้าสู่ตัวเตาได้สะดวก

5. ในการเผาแต่ละครั้ง ไม่ต้องทำช่องใส่เชื้อเพลิงขึ้นมาใหม่

6. มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า เนื่องจากเมทัลชีทมีการทนต่อการเกิดสนิมได้ดีกว่าสังกะสี

ข้อเสีย 1. ต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง

2. วัสดุที่ใช้ในการสร้างต้องมาการหาซื้อจากร้านขายวัสดุก่อสร้าง อาจจะไม่สะดวกกับชุมชนที่ห่างไกล

5.3 คำแนะนำในการใช้งานเตาเผาถ่านต้นแบบ

1. ควรใช้ดินเหนียวประสานฝาเตาทั้งหมดก่อนทำการติดไฟหน้าเตา เพื่อความสะดวกในการปิดเตา

2. ดินที่ผ่านการใช้งานแล้ว สามารถแกะออกมาและนำไปแช่น้ำแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้

3. เมื่อเตาติดหลังจากไล่ความชื้นเสร็จแล้ว ให้ทำการเปิดช่องอากาศ 4 x 20 เซนติเมตร ในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรกหลังจากนั้นลดช่องอากาศให้เหลือ 4 x 2 เซนติเมตร เพื่อป้องกันเตาดับ

4. ควรเลือกไม้ที่มีขนาดเท่า ๆ กันในการนำมาเผา เพราะขนาดของไม้และชนิดของไม้มีผลต่อระยะเวลาในการเผา ไม้ขนาดใหญ่ต้องใช้เวลาในการเผาที่นานกว่าไม้ขนาดเล็กจึงทำให้ไม้เล็กอาจจะเป็นเถ้าหมดก่อนไม้ใหญ่จะเป็นถ่าน

5. ในช่วงของการปิดเตาควรตรวจเช็ดว่ามีรอยรั่วของอากาศหรือไม่อย่างสม่ำเสมอหลังจากการปิดเตา ถ้ามีรอยรั่วให้ทำการปิดรอยรั่วโดยทันที

6. หลังจากนำถ่านออกจากเตาแล้วให้ทิ้งถ่านไว้ 1 ชั่วโมงก่อนเก็บ เพื่อให้แน่ใจว่าถ่านจะไม่เกิดการลุกติดไฟอีกรอบ

7. การวางของตัวถังไม่ควรมีการเอียงมากเกินไป ความเอียงที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 3-4 องศา

8. ควรใช้ไม้ไผ่สดแทนไม้ไผ่แห้งในการทำเป็นท่อเก็บน้ำส้มควันไม้ เพราะไม้ไผ่แห้งเมื่อเผาไปหลายครั้งจะทำให้เกิดการแตกร้าว

9. ควรมีหน้ากากป้องกันในขณะการเผาทุกครั้งสำหรับคนที่แพ้ควันจากการเผา

5.4 ปัญหาและอุปสรรค

1. กำหนดเวลาในการเผาในแต่ละช่วงการเผาได้ยาก ซึ่งกำหนดเวลาได้เพียงประมาณเป็นช่วงในแต่ละช่วงการเผา เนื่องจากขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของไม้ที่นำมาใช้ในการเผา

2. ขาดทักษะในการใช้เครื่องมือช่าง

5.5 ข้อเสนอแนะ

1. ใช้วัสดุอื่นแทนการใช้ดินเหนียวในการยารอต่อและปิดหน้าเตา เช่น ยาแนว อื่น ๆ เพื่อลดปริมาณดิน

2. ทดสอบเผาถ่านโดยใช้วัสดุอื่นที่ไม่ใช่ทรายในการทำเป็นฉนวนกันความร้อน เช่น ดิน หรือไม่มีฉนวนเลย

3. ติดตั้งล้อเลื่อนในเตาและปิดพื้นเตาด้านล่าง เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายทั้งก่อนการติดตั้งและหลังการติดตั้งเตา

4. กำจัดควันที่ออกจากปล่องท่อไม้ไผ่เก็บน้ำส้มควันไม้ โดยการติดตั้งสเปรย์น้ำหรืออื่น ๆ ที่ปลายท่อไม้ไผ่เก็บน้ำส้มควันไม้

5. ติดตั้งใบพัดหรือพัดลมบริเวณหน้าเตา เพื่อบังคับให้ปริมาณและความเร็วของอากาศไหลเข้าได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ไม้ภายในเตาจุดติดเร็วขึ้นและลดระยะเวลาในการเผา

6. ห่อผ้าเปียกบริเวณท่อไม้ไผ่เก็บน้ำส้มควันไม้ เพื่อทำให้เกิดการควบแน่นของน้ำส้มควันไม้ได้ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่เพิ่มขึ้นตาม

เอกสารอ้างอิง

[1] Hassan Gomaa and Mohmed Fathi. (September 2000). A Simple Charcoal Kiln. H. Gomaa / ICEHM2000, Cairo University, Egypt, page 167 - 174.

[2] ฝ่ายชุมชนและผู้ด้อยโอกาส สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ไม้กลายเป็นถ่าน. เข้าถึงได้จาก http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/53.pdf

[3] กระทรวงพลังงาน. (n.d.). คู่มือเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสมสำหรับภาคประชาชน.

[4] บริษัท ไทยซูมิ จำกัด-THAILAND. (2562, กรกฎาคม 22). รูปแบบลักษณะเตาเผาถ่าน. Retrieved from บริษัท ไทยซูมิ จำกัด-THAILAND: https://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/brickkiln5.php

[5] พนิตา สุมานะตระกูล, จตุพร แก้วอ่อน, ปริชาติ เทพทอง, และ พลากร บุญใส. (18 กรกฎาคม 2562). การเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาเพื่อผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ตงลืมแล้ง รายงานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาเพื่อผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ตงลืมแล้ง มหาวิทยาลัยทักษิณ. เข้าถึงได้จาก TSU Knowledge Bank Thaksin University Library: http://hdl.handle.net/123456789/3239

[6] บุญส่ง ศิริโยธิน. (22 กรกฎาคม 2562). เตาเดี่ยว แบบนอนจากถัง 200 ลิตร. (วุฒิพงษ์ โมรารัมย์, ผู้สัมภาษณ์)

[7] บุญมาก รุนกระโทก. (6 สิงหาคม 2562). เตาเดี่ยว แบบนอนจากถัง 200 ลิตร. (วุฒิพงษ์ โมรารัมย์, ผู้สัมภาษณ์)

[8] เด็กวิทย์พาเรียน. (15 มีนาคม 2563). สมบัติเชิงกลของสารของแข็ง. เข้าถึงได้จาก เด็กวิทย์พาเรียน: https://sites.google.com/site/dekwithyphareiyn/phy/bth-thi9-smbati-cheingkl-khxng-sar?tmpl=/system/app/templates/print/&showPrintDialog=1&fbclid=IwAR0slfdxJbu41atBtkHWEJ66XX8kt64YsiMZARZNQtM8N4XNp7aucZm63zk

[9] สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสรนารี. (23 มีนาคม 2563). ME SUT. เข้าถึงได้จาก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสรนารี: http://eng.sut.ac.th/me/2014/subject_mechanical-blue.php?page=HeatTransfer

[10] FRANK P. INCROPERA, และ DAVID P. DEWITT. (2002). Fundamentals Of Heat and Mass Transfer.

[11] TN Group. (26 มีนาคม 2563). Media Center พลังงานความร้อนที่ได้จากความร้อนคือ. เข้าถึงได้จาก TN Group: https://www.tngroup.co.th/media/article_detail/287

[12] ThAI SUMI CO. ,LTD. (25 มีนาคม 2563). สาระความรู้การเผาถ่านอิวาเตะ. เข้าถึงได้จาก THAI SUMI CO. ,LTD: https://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/eivada.php?fbclid=IwAR2fVNbxAubbDHSZIGdeLCSJxNnROfy8W6MMS15MswtcsePgJ6kcRCI6d5Y

[13] AT GARDARE. (28 มีนาคม 2563). น้ำส้มควันไม้. เข้าถึงได้จาก http://researchex.rae.mju.ac.th/agikl/index.php/knowledge/43-another/137-wood-vineger

[14] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2558, พฤศจิกายน 4-6). การพัฒนาเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้ง ด้วยเทคนิคแก๊สซิฟิเคชั่น.

[15] ปองพล รักการงาน, กังสดาล สกุลพงษ์มาลี, จุติพร อินทะนิน, และ ภาณุศักดิ์ มูลศรี. (10 เมษายน 2563). การเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร โดยใช้ฉนวนกันความร้อน. เข้าถึงได้จาก file:///C:/Users/ACER/Desktop/โปรเจ็ค/Paper/วรรกรรมปริทัศน์/TREC-7_O-CF010%20บทคัดย่อ.pdf

[16] นางสาวชนะกานต์ พงศาสนองกุล และอาจารย์อรัญ ขวัญปาน. (2555). ประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้จากเตาเผาถ่าน . มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

[17] Saravanakumar A. Haridasan T. M. และ (12 September 2012-26 January 2013). A novel performance study of kiln using long stick wood pyrolytic conversion for charcoal production.

[18] In Slideshare. (30 เมษายน 2563). In Slideshare. เข้าถึงได้จาก https://www.slideshare.net/ssuser72828d/002-introduction-and-basic-concepts-thai

[19] Food Network Solution. (26 มีนาคม 2563). Emissivity/สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน. เข้าถึงได้จาก Food Network Solution ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4304/emissivity-%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%A1%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B8%97%E0%B8%98%E0%B8%B4%E0%B9%8C%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B9%88%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B

[20] TIC. (26 มีนาคม 2563). Emissivity. เข้าถึงได้จาก http://www.tic.co.th/index.php?op=tips-detail&id=73

[21] กรมอุตุนิยมวิทยา. (26 มีนาคม 2563). พิษณุโลก. เข้าถึงได้จาก กรมอุตุนิยมวิทยา: https://www.tmd.go.th/province_weather_stat.php?StationNumber=48378#

[22] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (23 มีนาคม 2563). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำส้มควันไม้มาตรฐานเลขที่ มผช.659/2557. เข้าถึงได้จาก http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0659_53(%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%89).pdf

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์

ก.1 การวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อโครงเตาต้นแบบ

ทราย 1 คิว = 1 m^3 = 1,529.2 kg

ปริมาตรทรายในเตา $V = w \times l \times h$ (ก.1)

$= 1 \times 0.8 \times 0.8$

$= 0.704\ m^3$

ปริมาตรถัง 200 ลิตร $= \pi r^2 h$ (ก.2)

$= \pi(0.3^2)(0.885)$

$= 0.2503\ m^3$

ปริมาตรถัง 200 ลิตรที่เกินออกมา $= \left(\frac{\pi r^2 h_1}{2}\right) + \left(\pi r^2 h_2\right)$ (ก.3)

$= \left(\frac{\pi(0.3^2)(0.065)}{2}\right) + \left(\pi(0.3^2)(0.03)\right)$

$= 0.0177\ m^3$

ปริมาตรของปล่องควัน (รัศมี 0.0625 m ยาว 1.2 m) $= \pi\left(0.0625^2\right)(1.2)$

$= 0.0147\ m^3$

ปริมาตรของถัง 200 ลิตรภายในเตา $= 0.2503 - 0.0177 = 0.2327\ m^3$

ปริมาตรของทรายที่เหลือภายในเตา $= 0.7040 - 0.2327 - 0.0147 = 0.4566\ m^3$

ทฤษฎีความดันเฉลี่ย

สมการ

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{(ก.4)}$$

P = ความดัน (N/m^2); F = แรง (N); A = พื้นที่ (m^2)

$$P_{avg} = \frac{F_{avg}}{A_{avg}} = \left(\frac{P_{top} + P_{lower}}{2}\right) \quad \text{(ก.5)}$$

P_{avg} = ความดันเฉลี่ย (N/m^2); P_{top} = ความดันบนสุด (N/m^2)

F_{avg} = แรงเฉลี่ย (N); P_{lower} = ความดันล่างสุด (N/m^2)

A_{avg} = พื้นที่เฉลี่ย (m^2)

จากสมการที่ ก.5

$$\text{จะได้ว่า } P_{avg} = \frac{F_{avg}}{A_{avg}} = \left(\frac{\cancel{P_{top}^{0}} + P_{lower}}{2} \right) = \frac{P_{lower}}{2} \quad ; \quad \frac{F_{avg}}{A_{avg}} = \frac{P_{lower}}{2}$$

$$\text{จาก } \frac{P_{lower}}{2} = \frac{F_{lower}}{2A_{lower}}$$

$$\text{จะได้ว่า } ; \quad \frac{F_{avg}}{A_{avg}} = \frac{F_{lower}}{2A_{lower}} \qquad \text{(ก.6)}$$

นำปริมาตรทรายที่ได้มาหาน้ำหนัก ; $\rho = 1,600 \ (kg/m^3)$

$$\text{จาก } m = \rho V = 1,600(0.4566) = 730.56 \ kg$$

หาแรงที่กระทำกับพื้นด้านล่าง

$$F_{lower} = mg \qquad \text{(ก.7)}$$

$$= \left(m_{tank} + m_{wood} + m_{pipe} + m_{sand} \right) g$$

$$= (18.5 + 75 + 11 + 730.56)(9.81)$$

$$= 8,191.94 \ N$$

หาแรงกระทำพื้นที่ด้านข้าง

จากสมการที่ (ก.6) ; $A_{avg} = A_{lower}$

$$\text{จะได้ว่า } \frac{F_{avg}}{\cancel{A_{avg}}} = \frac{F_{lower}}{2\cancel{A_{lower}}}$$

$$F_{avg} = \frac{F_{lower}}{2} = \frac{8,191.94}{2}$$

$= 4,095.97$ N; พื้นที่แรงกระทำ $0.88 \ m^2$

หาแรงที่กระทำด้านหน้าและด้านหลัง

$$\text{จากสมการที่ (ก.6) จะได้ว่า } \frac{F_{avg}}{A_{avg}} = \frac{F_{lower}}{2A_{lower}}$$

$$F_{avg} = \frac{F_{lower} A_{avg}}{2A_{lower}}$$

$$F_{avg} = \frac{(8,191.94)(0.8 \text{x} 0.8)}{2(0.8 \text{x} 1.1)}$$

$F_{avg} = 2,978.89$ N; พื้นที่แรงกระทำ $0.64 \ m^2$

โครงสร้างเตาใช้เหล็กกล่องขนาด 25x25x1.5 mm

พื้นที่รับแรง

พื้นที่โครงสร้างด้านข้างที่รับแรง

$A_1 = 25 \times (1{,}052+1{,}100+(867 \times 2)+(421 \times 2))/1{,}000 = 0.1182\ m^2$

ความยาว $L_1 = (1{,}052+1{,}100+(867 \times 2)+(421 \times 2)/1{,}000 = 4.728\ m$

พื้นที่โครงสร้างด้านหลังที่รับแรง

$A_2 = 25 \times ((750 \times 2)+(867 \times 2)+(421 \times 2))/1{,}000 = 0.1019\ m^2$

ความยาว $L_2 = ((750 \times 2)+(867 \times 2)+(421 \times 2))/1{,}000 = 4.076\ m$

พื้นที่โครงสร้างด้านหน้าที่รับแรง

$A_3 = 25 \times ((750 \times 2)+(867 \times 2)+(65 \times 2)+(150 \times 2)+(200 \times 2))/1{,}000 = 0.1016\ m^2$

ความยาว $L_3 = ((750 \times 2)+(867 \times 2)+(65 \times 2)+(150 \times 2)+(200 \times 2))/1{,}000 = 4.064\ m$

แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง

แรงที่กระทำโครงสร้างด้านข้าง

$$F_1 = \frac{(4{,}095.97 \times 0.1182)}{0.88} = 550.16\ N$$

แรงที่กระทำโครงสร้างด้านหลัง

$$F_2 = \frac{(2{,}978.89 \times 0.1019)}{0.64} = 474.30\ N$$

แรงที่กระทำโครงสร้างด้านหน้า

$$F_3 = \frac{(2{,}978.89 \times 0.1016)}{0.64} = 472.90\ N$$

แรงที่กระทำต่อหน่วยความยาวของโครงสร้าง

แรงที่กระทำโครงสร้างด้านข้าง

$$F_1 = \frac{550.16}{4.728} = 116.36\ N/m$$

แรงที่กระทำโครงสร้างด้านหลัง

$$F_2 = \frac{474.30}{4.076} = 116.36\ N/m$$

แรงที่กระทำโครงสร้างด้านหน้า

$$F_3 = \frac{472.90}{4.064} = 116.36\ N/m$$ [8]

ก.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนของเตาต้นแบบ

ก.2.1 ปริมาตรของทรายที่เหลือภายในเตาต้นแบบ

ตารางที่ ก.1 ปริมาตรทรายที่เหลือภายในเตาต้นแบบที่ความหนาต่างกัน

ความหนาด้านข้างและด้านบน ,(m)	ความหนาด้านหลัง, (m)	กว้าง, (m)	ยาว, (m)	สูง, (m)	ปริมาตรของทราย ,(m^3)
0	0	0.6	0.8	0.7	0.0886
0.01	0.03	0.62	0.83	0.71	0.1180
0.02	0.06	0.64	0.86	0.72	0.1489
0.03	0.09	0.66	0.89	0.73	0.1814
0.04	0.12	0.68	0.92	0.74	0.2156
0.05	0.15	0.7	0.95	0.75	0.2514
0.06	0.18	0.72	0.98	0.76	0.2889
0.07	0.21	0.74	1.01	0.77	0.3281
0.08	0.24	0.76	1.04	0.78	0.3691
0.09	0.27	0.78	1.07	0.79	0.4120
0.1	0.3	0.8	1.1	0.8	0.4566
0.11	0.33	0.82	1.13	0.81	0.5032
0.12	0.36	0.84	1.16	0.82	0.5516
0.13	0.39	0.86	1.19	0.83	0.6020
0.14	0.42	0.88	1.22	0.84	0.6544
0.15	0.45	0.9	1.25	0.85	0.7089
0.16	0.48	0.92	1.28	0.86	0.7654
0.17	0.51	0.94	1.31	0.87	0.8239
0.18	0.54	0.96	1.34	0.88	0.8846
0.19	0.57	0.98	1.37	0.89	0.9475
0.2	0.6	1	1.4	0.9	1.0126

หมายเหตุ หน้าเตาจะใช้ดินเหนียวผสมแกลบ(อัตราส่วนแกลบ 1:3 ของดินเหนียว 1 บุ้งกี๋)
ประมาณ 8 บุ้งกี๋
จาก 1 ถังสี เท่ากับ 18.925 ลิตร เท่ากับ 2 บุ้งกี๋ เท่ากับ 0.019 m^3
ดังนั้น 8 บุ้งกี๋ เท่ากับ 75.7 ลิตร เท่ากับ 0.076 m^3

ก.2.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนของเตาต้นแบบ ได้แก่

ก.2.2.1 กรณีที่ไม่มีทรายเป็นฉนวน ได้แก่ การพาความร้อน การแผ่ความร้อน

สูตรการพาความร้อน

$$Q = hA\left(T_s - T_\infty\right) \qquad (ก.8)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Coefficient) (W/m^2-K) โดย (h=25 W/m^2-K)

T_s คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิว (K)ที่ได้จากนำอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาของเตาต้นแบบ จาก Test 1 – 4 มาเฉลี่ยซึ่งเท่ากับ 210.44 $^\circ$C

T_∞ คือ อุณหภูมิของไหล (K) ซึ่งเท่ากับ 33 $^\circ$C ของจังหวัดพิษณุโลก [20]

สูตรการแผ่ความร้อน

$$Q = \varepsilon\sigma A_s\left(T_s^4 - T_{sur}^4\right) \qquad (ก.9)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

σ คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ซึ่งเท่ากับ $5.6703\ 10^{-8}$ (w/m^2-K^4)

ε คือ ค่าสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) โดย ε (เหล็ก) = 0.95 [18],[19]

A_s คือ พื้นที่ผิวแต่ละด้านของเตาถ่ายเทความร้อน (m^2) เมื่อ

$A_{ข้าง} = A_{บน} = \pi DL = \pi x0.6x0.86 = 0.87\ m^2$

$A_{หลัง} = \pi r^2 = \pi x(0.3^2) = 0.28\ m^2$

T_s คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิวเตา (K) ที่ได้จากนำอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาของเตาต้นแบบ จาก Test 1 – 4 มาเฉลี่ยซึ่งเท่ากับ 210.44 $^\circ$C

T_{sur} คือ อุณหภูมิภายนอก (K) ซึ่งเท่ากับ 33 $^\circ$C ของจังหวัดพิษณุโลก [20]

ก.2.2.2 กรณีที่มีทรายเป็นฉนวนความหนาขนาดต่าง ๆ ได้แก่ การแผ่ความร้อน การพาความร้อน การนำความร้อน

สูตรการนำความร้อน

$$Q = -\frac{kA\Delta T}{\Delta x} \qquad \text{(ก.10)}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity) (W/m-K) โดย

k(ทราย) = 0.27 W/m-K [10]

A คือ พื้นที่หน้าตัดของผนังฉนวนทรายการถ่ายเทความร้อน (m^2)

$A_{ข้าง}$ = กว้างxยาว = 1.1x0.8 = 0.88 m^2

$A_{บน}$ = กว้างxยาว = 1.1x0.8 = 0.88 m^2

$A_{หลัง}$ = กว้างxยาว = 0.8x0.8 = 0.64 m^2

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ (K) ($T_s - T_{sur} = 210.44 - 33 = 177.44\ ^{\circ}C$)

Δx คือ ความหนาของฉนวนทราย (m)

สมมติฐาน 1. สภาวะคงที่

2. ถังน้ำมัน 200 ลิตร มีความหนาของผนังขนาด 1 มิลลิเมตร จึงเป็นขนาดที่บางเกินไปจึงไม่คิดค่าการนำความร้อนผ่านผนังของถัง

3. ทิศทางการถ่ายเทความร้อนและผลต่างอุณหภูมิใน 1 มิติ

4. ค่าสภาพการนำความร้อนคงที่

5. มีการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างถังน้ำมัน 200 ลิตร และภายนอก [9],[10]

ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ความหนาต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ตามตาราง ดังนี้

ตารางที่ ก.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนด้านต่าง ๆ ของเตาต้นแบบ

ด้านข้าง		ด้านบน		ด้านหลัง	
ΔX,(m)	Q, (W)	ΔX,(m)	Q, (W)	ΔX,(m)	Q, (W)
0	11,199.49	0	11,199.49	0	1,953.40
0.01	10,293.22	0.01	10,293.22	0.03	5,441.87
0.02	8,185.23	0.02	8,185.23	0.06	4,930.84
0.03	7,482.57	0.03	7,482.57	0.09	4,760.50
0.04	7,131.24	0.04	7,131.24	0.12	4,675.33
0.05	6,920.44	0.05	6,920.44	0.15	4,624.23
0.06	6,779.91	0.06	6,779.91	0.18	4,590.16
0.07	6,679.53	0.07	6,679.53	0.21	4,565.82
0.08	6,604.24	0.08	6,604.24	0.24	4,547.57
0.09	6,545.69	0.09	6,545.69	0.27	4,533.38
0.1	6,498.84	0.1	6,498.84	0.3	4,522.02
0.11	6,460.52	0.11	6,460.52	0.33	4,512.73
0.12	6,428.58	0.12	6,428.58	0.36	4,504.99
0.13	6,401.55	0.13	6,401.55	0.39	4,498.43
0.14	6,378.39	0.14	6,378.39	0.42	4,492.82
0.15	6,358.31	0.15	6,358.31	0.45	4,487.95
0.16	6,340.74	0.16	6,340.74	0.48	4,483.69
0.17	6,325.24	0.17	6,325.24	0.51	4,479.94
0.18	6,311.47	0.18	6,311.47	0.54	4,476.60
0.19	6,299.14	0.19	6,299.14	0.57	4,473.61
0.2	6,288.04	0.2	6,288.04	0.6	4,470.92

ตารางที่ ก.3 ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity) (W/m-K)ของทราย[10]

TABLE A.3 *Continued*

Other Materials (Continued)

Description/ Composition	Temperature (K)	Density, ρ (kg/m^3)	Thermal Conductivity, k (W/m · K)	Specific Heat, c_p (J/kg · K)
Ice	273	920	1.88	2040
	253	—	2.03	1945
Leather (sole)	300	998	0.159	—
Paper	300	930	0.180	1340
Paraffin	300	900	0.240	2890
Rock				
Granite, Barre	300	2630	2.79	775
Limestone, Salem	300	2320	2.15	810
Marble, Halston	300	2680	2.80	830
Quartzite, Sioux	300	2640	5.38	1105
Sandstone, Berea	300	2150	2.90	745
Rubber, vulcanized				
Soft	300	1100	0.13	2010
Hard	300	1190	0.16	—
Sand	300	1515	0.27	800
Soil	300	2050	0.52	1840
Snow	273	110	0.049	—
		500	0.190	—
Teflon	300	2200	0.35	—
	400		0.45	—
Tissue, human				
Skin	300	—	0.37	—
Fat layer (adipose)	300	—	0.2	—
Muscle	300	—	0.5	—
Wood, cross grain				
Balsa	300	140	0.055	—
Cypress	300	465	0.097	—
Fir	300	415	0.11	2720
Oak	300	545	0.17	2385
Yellow pine	300	640	0.15	2805
White pine	300	435	0.11	—
Wood, radial				
Oak	300	545	0.19	2385
Fir	300	420	0.14	2720

[a]Adapted from References 1 and 8–13.

ตารางที่ ก.4 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน(Convection Coefficient) (W/m^2-K) [18]

Type of convection	h, W/m^2 · °C*
Free convection of gases	2–25
Free convection of liquids	10–1000
Forced convection of gases	25–250
Forced convection of liquids	50–20,000
Boiling and condensation	2500–100,000

ตารางที่ ก.5 ค่าสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) ของเหล็ก[19]

Material's Surface	Wavelength (λ : μm)	Temperature (K)	Emissivity (ε)	References
Aluminum; Oxidized		273-373	0.11	Fraden, 2010
Aluminum; Polished		273-373	0.05	Fraden, 2010
Aluminum; Rough		273-373	0.06- 0.07	Fraden, 2010
Brass; Oxidized	9.3		0.61	Rao, 2010
Brass; Polished	5.4 – 9.3		0.10	Rao, 2010
Copper; Oxidized		298	0.78	Fogiel, 1992
Copper; Polished		390	0.023	Fogiel, 1992
Iron; Cast,Oxidized	3.6 – 9.3		0.63 – 0.76	Rao, 2010
Iron; Oxidized	9.3		0.96	Rao, 2010
Iron; Polished	3.6 – 9.3		0.06 - 0.13	Rao, 2010
Stainless Steel;Types 304		489	0.44	Fogiel, 1992
Stainless Steel; Types 316; Polished			0.28	Amidon, 1999
Bread	10		> 0.80	Kress-Rogers and Brimelow, 2005.
Chocolate	10		0.85	Kress-Rogers and Brimelow, 2005.
Coke	8 - 13		0.95 -1.00	Bentley, 1998.
Ice; Rough		300	0.99	Brewster, 1992.
Ice; Smooth		300	0.97	Brewster,1992.
Paper		300	0.90 - 0.98	Brewster, 1992.
Vegetation		300	0.92 - 0.96	Brewster, 1992.
Water	9.3		0.96	Rao (2010)

หรือ[19]

วัสดุ	ค่า Emissivity
ยางมะตอย	0.93-0.95
เซรามิก	0.80-0.95
ผ้า	0.95
คอนกรีต	0.94-0.95
แก้ว	0.76-0.85
สี	0.74-0.96
กระดาษ	0.50-0.95
ยาง	0.95
ดิน	0.9
หิมะ	0.82-0.89
ทราย	0.90-0.98
เหล็ก(Oxidized)	0.65-0.95
สแตนเลส	0.10-0.80
น้ำ	0.93
ไม้	0.89-0.94

ตารางที่ ก.6 อุณหภูมิเฉลี่ยเดือนกุมภาพันธ์ของจังหวัดพิษณุโลก จากกรมอุตุนิยมวิทยา[21]

เดือน	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ปริมาณฝน (มม)	จำนวนวันฝนตก(วัน)
มกราคม	18.7	31.6	3.9	-
กุมภาพันธ์	21.0	33.8	13.5	-
มีนาคม	23.6	35.8	26.7	-
เมษายน	25.4	37.2	55.7	-
พฤษภาคม	25.2	35.6	170.9	-
มิถุนายน	25.0	34.0	165.7	-
กรกฎาคม	24.8	33.2	179.4	-
สิงหาคม	24.7	32.5	247.6	-
กันยายน	24.7	32.5	246.6	-
ตุลาคม	24.1	32.4	162.5	-
พฤศจิกายน	21.7	31.7	33.4	-
ธันวาคม	18.6	30.7	11.1	-

ภาคผนวก ข

การทดสอบ

ข.1 Pre-Test เตาต้นแบบ

ข.1.1 Pre-Test 1 เตาต้นแบบ

น้ำหนักไม้

- ไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่าน 70 กิโลกรัม
- ไม้เชื้อเพลิง 10 กิโลกรัม

ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น

เริ่ม 14 : 06 น.

หยุด 15 : 50 น.

ช่วงที่ 2 ไม้กลายเป็นถ่าน

เริ่ม 15 : 50 น. (พร้อมควบคุมอากาศและเริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้และเลิกเก็บเวลา 19 : 49 น.)

หยุด 21 : 03 น.

ช่องควบคุมอากาศขนาด 4 x 5 เซนติเมตร (เริ่ม16 : 20 น.)

ครั้งที่	อัตราการหยดน้ำส้มควันไม้,(หยดต่อนาที)
1	40
2	60
3	66
4	60
5	64

ช่องควบคุมอากาศขนาด 4 x 10 เซนติเมตร (เริ่ม16 : 47 น.)

ครั้งที่	อัตราการหยดน้ำส้มควันไม้,(หยดต่อนาที)
1	57
2	70
3	78
4	78
5	76

ช่วงที่ 3 การทำถ่านให้บริสุทธิ์

เริ่ม 21 : 03 น.

หยุด 21 : 30 น.

เปิดสูงจากพื้น 8 เซนติเมตร

ช่วงที่ 4 การทำถ่านในเตาให้เย็นลง

เริ่ม 21 : 30 น.

หยุด 07 : 36 น. (พร้อมนำถ่านออกมาจากเตาแล้วราดน้ำ)

ข.1.2 Pre-test 2 เตาต้นแบบ

น้ำหนักไม้

- ไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่าน 75 กิโลกรัม
- ไม้เชื้อเพลิง 5 กิโลกรัม

ช่วงที่ 1 ไล่ความชื้น

- เริ่ม 07 : 10 น.
- หยุด 08 : 10 น.

เวลา ,(นาที)	อุณหภูมิด้านหน้าเตา ,(องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิปากปล่องเตา ,(องศาเซลเซียส)
30	200	65
30	330	70

ช่วงที่ 2 ไม้กลายเป็นถ่าน

- เริ่ม 08 : 10 น. (พร้อมควบคุมอากาศและเริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้ 08 : 30 น. (เริ่มเก็บหลังจากควบคุมอากาส 20 นาที) และเลิกเก็บเวลา 14 : 40 น.)
- หยุด 14 : 40 น.
- ช่องควบคุมอากาศขนาด 4 x 2 เซนติเมตร (โดยเริ่มวัดเวลาหลังจากควบคุมอากาส 1 ชั่วโมงและวัดทุก ๆ 30 นาที)

ครั้งที่	อัตราการหยดน้ำส้มควันไม้,(หยดต่อนาที)
1	96
2	132
3	144
4	150
5	108
6	105
7	92
8	61
9	56
10	49
11	30
12	30

ช่วงที่ 3 การทำถ่านให้บริสุทธิ์

- เริ่ม 14 : 40 น.
- หยุด 15 : 10 น.
- เริ่มวัดตั้งแต่ทำการเปิดเตาครึ่งหนึ่งของช่วงที่ 1 โดยจะวัดทุก ๆ 5 นาที

ครั้งที่	อุณหภูมิปากปล่องเตา,(องศาเซลเซียส)
1	156
2	185
3	190
4	200
5	207
6	219

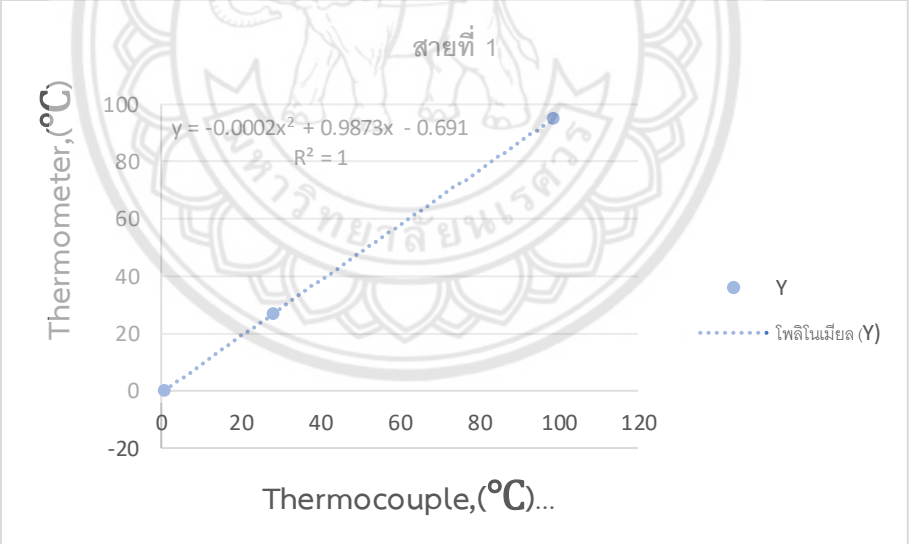
ช่วงที่ 4 การทำถ่านในเตาให้เย็นลง

- เริ่ม 15 : 10 น.
- หยุด 07 : 00 น. (พร้อมนำถ่านออกมาจากเตาแล้วราดน้ำ)
- อุณหภูมิก่อนเปิด

จุดที่วัด	อุณหภูมิ,(องศาเซลเซียส)
ด้านหน้าเตา	34
ด้านข้างเตา (2 ข้าง)	25
ปากกปล่องเตา (ผิวท่อใยหิน)	32
ภายในเตา (หลังเปิดเตา)	50-70

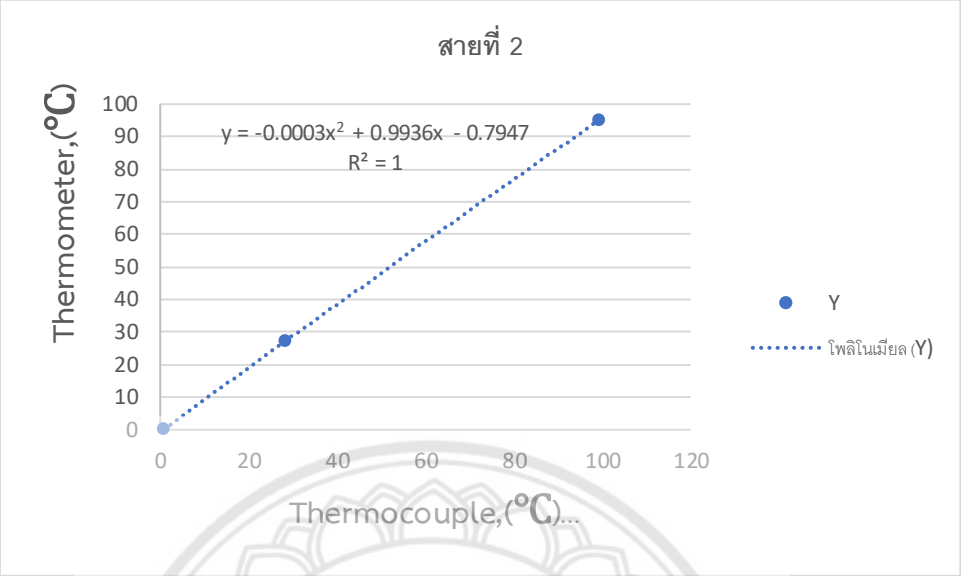
ข.2 การสอบเทียบสาย Thermocouple และ Data logger เทียบกับ Thermometer **โดยจะทดสอบ**เทียบที่ น้ำแข็ง, น้ำปกติ และน้ำเดือด

ข.2.1 สายที่ 1 คือ หน้าเตาต้นแบบ



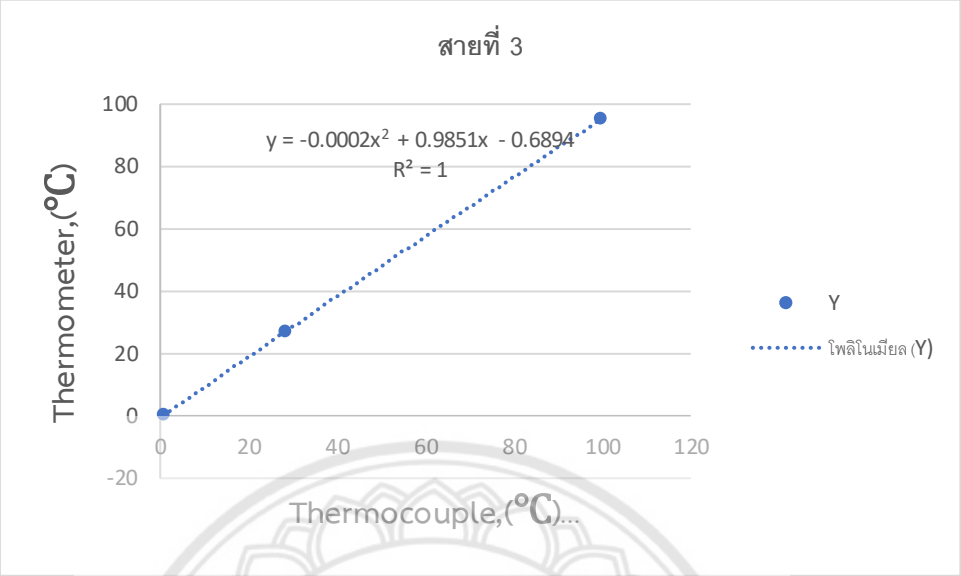
Thermocouple (องศาเซลเซียส)	Thermometer (องศาเซลเซียส)
0.7	0
28.2	27
98.8	95

ข.2.2 สายที่ 2 คือ กลางเตาต้นแบบ



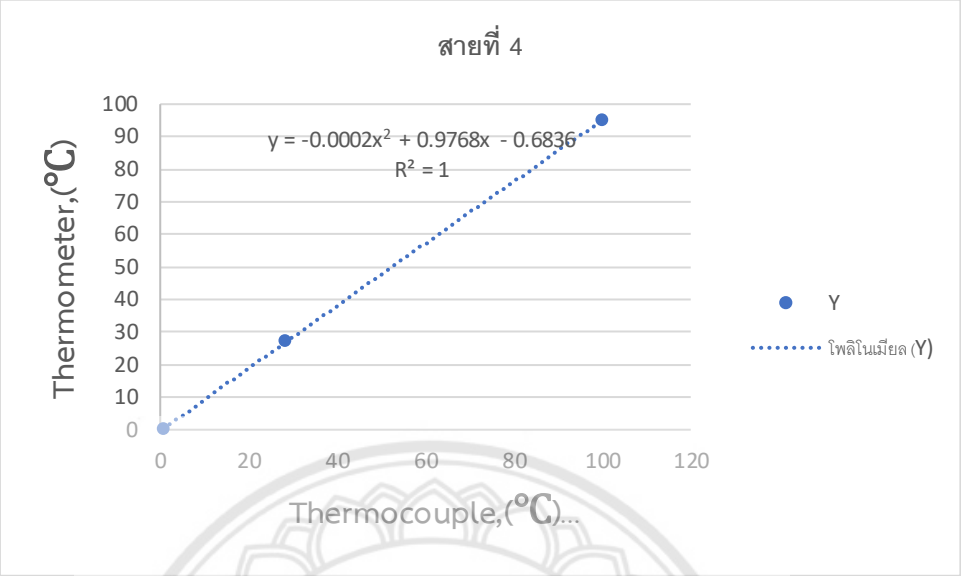
	Thermocouple (องศาเซลเซียส)	Thermometer (องศาเซลเซียส)
	0.8	0
	28.2	27
	99.2	95

ข.2.3 สายที่ 3 คือ ท้ายเตาต้นแบบ



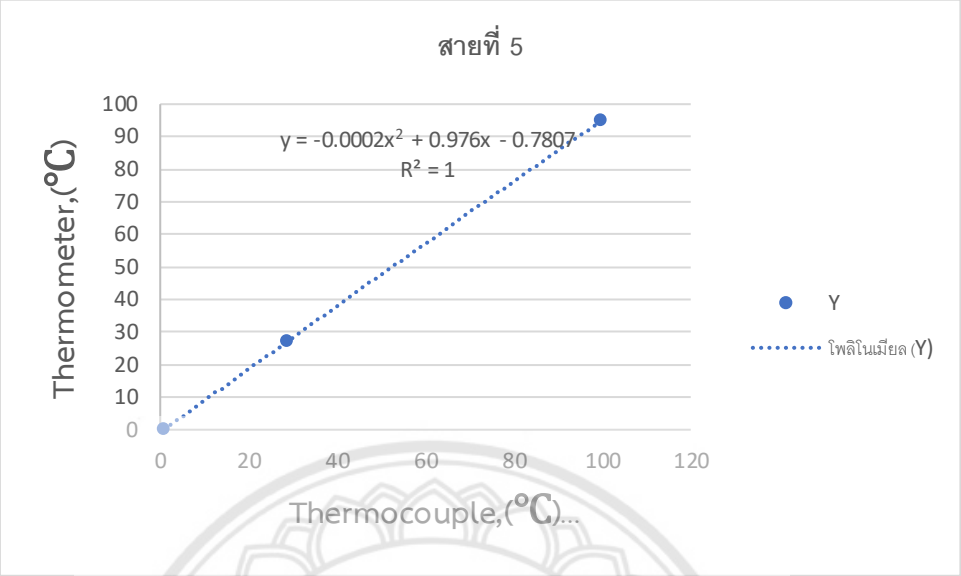
Thermocouple (องศาเซลเซียส)	Thermometer (องศาเซลเซียส)
0.7	0
28.3	27
99.5	95

ข.2.4 สายที่ 4 คือ หน้าเตาแบบดั้งเดิม



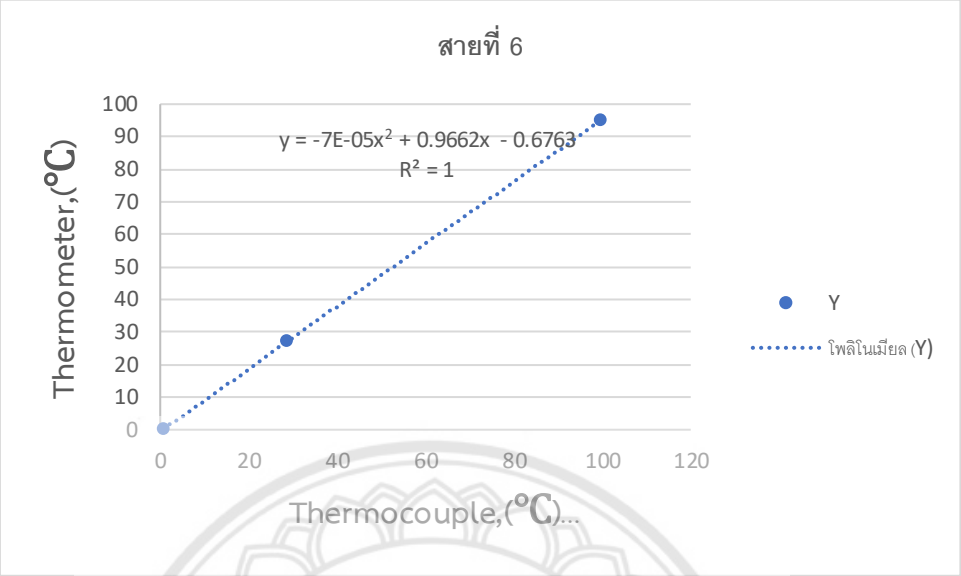
Thermocouple (องศาเซลเซียส)	Thermometer (องศาเซลเซียส)
0.7	0
28.5	27
99.9	95

ข.2.5 สายที่ 5 คือ กลางเตาแบบดั้งเดิม



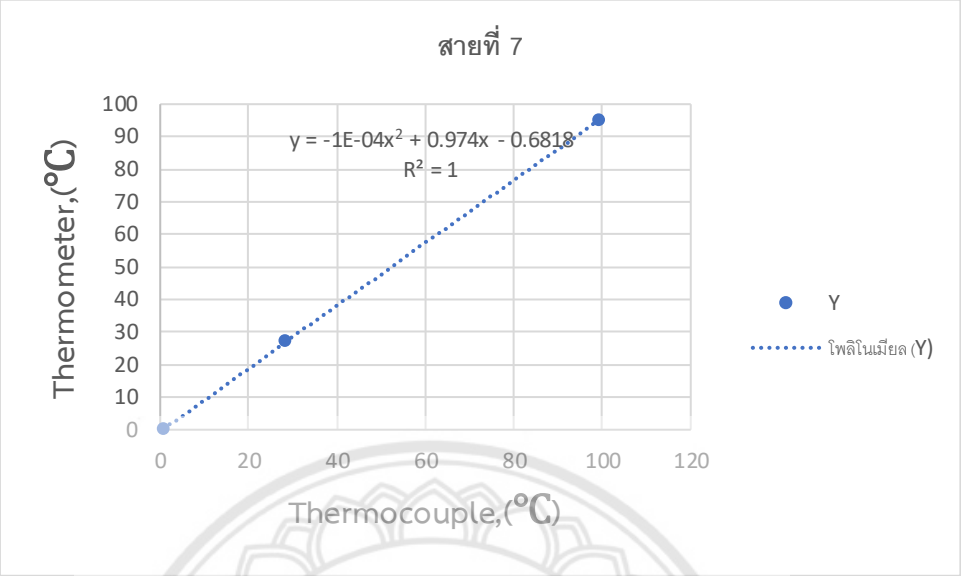
Thermocouple (องศาเซลเซียส)	Thermometer (องศาเซลเซียส)
0.8	0
28.6	27
99.8	95

ข.2.6 สายที่ 6 คือ ท้ายเตาแบบดั้งเดิม



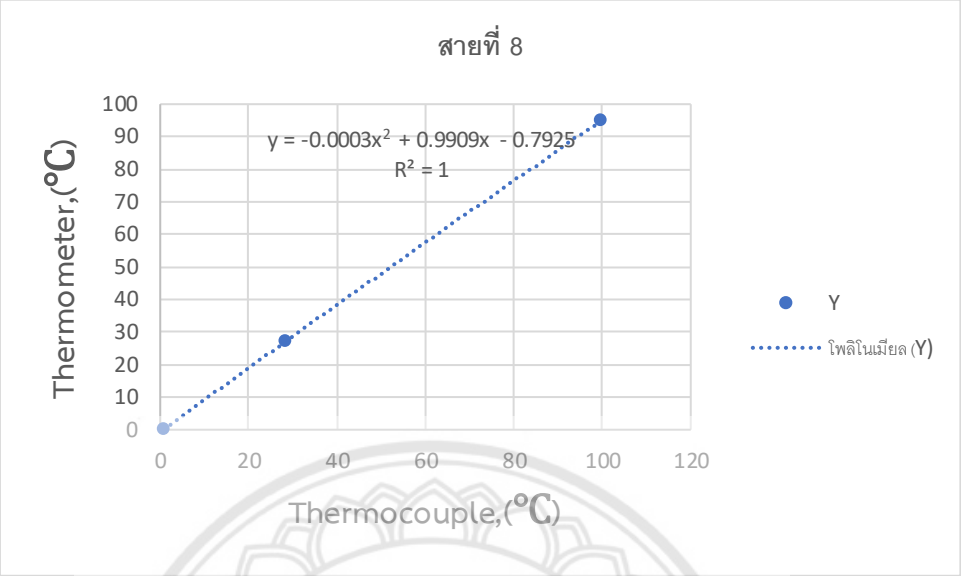
Thermocouple (องศาเซลเซียส)	Thermometer (องศาเซลเซียส)
0.7	0
28.7	27
99.7	95

ข.2.7 สายที่ 7 คือ ปากปล่องเตาต้นแบบ



Thermocouple (องศาเซลเซียส)	Thermometer (องศาเซลเซียส)
0.7	0
28.5	27
99.2	95

ข.2.8 สายที่ 8 คือ ปากปล่องเตาแบบดั้งเดิม



Thermocouple (องศาเซลเซียส)	Thermometer (องศาเซลเซียส)
0.8	0
28.3	27
99.8	95

ภาคผนวก ค

ตารางผลการทดสอบ

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 1					
เวลา,(ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
0:10:00	51.9	49.0	52.5	51.1	35.2
0:20:00	60.9	50.7	52.5	54.7	34.3
0:30:00	89.0	59.4	60.1	69.5	40.1
0:40:00	117.2	66.9	66.4	83.5	45.7
0:50:00	193.9	96.6	133.9	141.5	56.8
1:00:00	228.1	134.4	95.0	152.5	68.5
1:10:00	213.3	156.8	111.1	160.4	71.3
1:20:00	243.9	188.8	130.1	187.6	72.9
1:30:00	240.6	187.0	135.8	187.8	71.6
1:40:00	222.7	182.7	134.7	180.0	70.0
1:50:00	217.6	136.2	135.8	163.2	71.1
2:00:00	219.1	186.8	139.9	182.0	69.8
2:30:00	234.8	185.8	141.6	187.4	71.4
3:00:00	175.4	164.8	132.0	157.4	66.1
3:30:00	162.1	144.8	129.5	145.5	62.1
4:00:00	163.3	148.9	130.9	147.7	59.5
4:30:00	163.0	136.1	131.5	143.5	57.7
5:00:00	169.3	152.1	134.5	151.9	58.6
5:30:00	167.2	167.1	136.8	157.0	59.6
6:00:00	194.1	190.7	144.0	176.3	61.7
6:30:00	228.0	215.9	160.9	201.6	66.9
7:00:00	227.4	225.6	169.5	207.5	66.6

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 1					
เวลา,(ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
7:30:00	231.7	247.9	179.6	219.7	66.9
8:00:00	251.7	272.9	195.0	239.9	70.1
8:30:00	288.3	296.0	214.8	266.3	72.8
9:00:00	273.1	286.4	225.3	261.6	78.4
9:30:00	264.1	278.9	247.6	263.5	82.5
10:00:00	300.6	293.4	252.6	282.2	77.5
10:03:00	330.7	301.4	256.1	296.1	79.2
10:06:00	339.3	305.7	259.5	301.5	79.4
10:09:00	348.4	310.3	263.6	307.4	82.0
10:12:00	344.3	313.8	267.9	308.7	84.7
10:15:00	342.6	317.2	270.1	310.0	87.2
10:18:00	343.2	319.6	272.5	311.8	90.7
10:21:00	347.2	321.5	274.7	314.5	92.4
10:24:00	351.0	323.8	277.5	317.4	94.6
10:27:00	351.7	324.1	279.0	318.3	94.9
10:30:00	350.8	323.8	280.3	318.3	96.4
12:00:00	261.6	276.3	256.8	264.9	69.8
13:00:00	212.5	229.7	211.5	217.9	55.9
14:00:00	173.6	192.1	177.5	181.1	46.0
15:00:00	144.8	167.1	153.3	155.0	39.6
16:00:00	129.1	149.3	135.6	138.0	35.1
17:00:00	118.4	136.6	123.0	126.0	32.7

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 1					
เวลา,(ชั่วโมง)	**หน้า**	**กลาง**	**ท้าย**	**เฉลี่ย**	**ปากปล่อง**
18:00:00	109.6	127.1	113.9	116.9	30.8
19:00:00	101.4	119.3	106.6	109.1	29.5
20:00:00	91.8	112.7	99.7	101.4	31.5
21:00:00	88.0	108.6	96.4	97.7	31.1
22:00:00	84.1	101.9	91.1	92.4	30.5
23:00:00	82.0	95.5	87.2	88.2	31.5
24:00:00	78.5	90.8	84.2	84.5	32.1
25:00:00	75.4	85.6	79.4	80.2	32.7
26:00:00	73.8	83.8	75.6	77.8	33.3
27:00:00	69.8	78.8	71.8	73.5	33.8
28:00:00	66.5	74.3	68.4	69.8	34.0
29:00:00	62.3	69.5	64.8	65.5	32.8
30:00:00	58.2	64.9	61.1	61.4	30.5
31:00:00	53.0	60.2	57.5	56.9	28.4
32:00:00	49.5	56.0	54.0	53.2	26.6
33:00:00	46.1	52.6	51.2	50.0	25.6
34:00:00	43.7	49.4	48.6	47.3	24.6
35:00:00	40.8	46.5	45.9	44.4	23.6

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 1					
เวลา, (ชั่วโมง)	**หน้า**	**กลาง**	**ท้าย**	**เฉลี่ย**	**ปากปล่อง**
0:10:00	144.5	61.0	77.7	94.4	38.3
0:20:00	225.3	95.3	83.4	134.7	54.7
0:30:00	251.5	119.6	105.1	158.7	64.4
0:40:00	357.2	159.4	134.0	216.8	68.5
0:50:00	347.9	176.7	189.0	237.9	70.4
1:00:00	432.6	213.5	217.3	287.8	74.0
1:10:00	320.8	194.0	198.5	237.8	70.7
1:20:00	368.3	197.5	216.8	260.9	69.8
1:30:00	347.3	216.4	213.4	259.0	73.7
1:40:00	326.5	203.9	215.8	248.7	68.4
1:50:00	294.0	197.9	202.4	231.4	66.4
2:00:00	256.9	200.7	184.6	214.1	64.0
2:30:00	202.5	166.1	154.1	174.3	64.0
3:00:00	178.0	141.9	103.2	141.0	60.2
3:30:00	169.4	137.1	102.1	136.2	56.8
4:00:00	170.7	134.4	101.0	135.4	54.1
4:30:00	168.2	135.5	101.0	134.9	53.8
5:00:00	182.8	132.4	119.1	144.8	54.8
5:30:00	203.0	141.2	136.1	160.1	56.6
6:00:00	236.6	144.5	168.6	183.2	64.4
6:30:00	261.6	174.1	185.8	207.2	68.0
7:00:00	274.5	193.4	195.7	221.2	71.9

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 1					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
7:30:00	288.3	209.8	209.8	236.0	75.7
8:00:00	302.3	226.0	224.9	251.1	81.1
8:30:00	313.1	242.1	240.7	265.3	86.2
9:00:00	336.4	246.6	255.0	279.3	91.5
9:30:00	340.6	245.4	266.6	284.2	99.5
10:00:00	322.7	236.6	269.8	276.4	103.3
10:03:00	328.6	243.9	273.3	282.0	101.3
10:06:00	340.9	249.5	279.3	289.9	110.8
10:09:00	347.1	255.7	284.4	295.8	116.5
10:12:00	348.8	259.3	287.9	298.6	119.7
10:15:00	351.9	262.8	291.3	302.0	122.1
10:18:00	355.5	269.5	293.5	306.2	123.6
10:21:00	358.8	271.2	296.5	308.8	128.7
10:24:00	362.1	274.9	299.7	312.2	131.4
10:27:00	368.3	277.9	301.6	315.9	133.3
10:30:00	371.3	279.2	304.8	318.4	137.6
12:00:00	282.1	261.6	263.6	269.1	83.9
13:00:00	233.8	225.1	226.1	228.3	70.7
14:00:00	200.4	195.5	197.5	197.8	60.9
15:00:00	174.8	175.3	176.5	175.5	50.8
16:00:00	157.2	161.6	162.3	160.4	43.7
17:00:00	143.6	148.0	150.9	147.5	41.2

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 1					
เวลา, (ชั่วโมง)	**หน้า**	**กลาง**	**ท้าย**	**เฉลี่ย**	**ปากปล่อง**
18:00:00	133.3	132.0	142.5	136.0	38.5
19:00:00	109.2	128.5	134.6	124.1	35.0
20:00:00	117.0	120.9	127.6	121.8	36.3
21:00:00	113.5	116.3	122.7	117.5	35.5
22:00:00	108.3	110.2	117.4	111.9	35.6
23:00:00	104.2	104.6	112.2	107.0	35.8
24:00:00	98.8	101.1	110.5	103.5	36.2
25:00:00	94.5	98.0	103.7	98.8	36.8
26:00:00	92.0	92.8	97.1	94.0	38.1
27:00:00	88.5	89.4	93.3	90.4	38.0
28:00:00	85.4	83.7	90.0	86.3	39.2
29:00:00	81.9	81.8	86.1	83.3	38.3
30:00:00	77.2	76.9	81.6	78.6	35.0
31:00:00	73.0	77.0	77.4	75.8	33.1
32:00:00	68.8	72.5	73.4	71.6	30.2
33:00:00	65.0	68.7	70.1	67.9	29.3
34:00:00	59.5	64.7	66.7	63.6	28.5
35:00:00	53.5	56.1	62.6	57.4	27.4

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 2					
เวลา, (ชั่วโมง)	**หน้า**	**กลาง**	**ท้าย**	**เฉลี่ย**	**ปากปล่อง**
0:10:00	65.8	82.8	49.4	66.0	37.2
0:20:00	82.3	85.9	53.7	74.0	47.7
0:30:00	187.8	171.8	75.5	145.0	71.3
0:40:00	245.2	211.5	98.1	184.9	77.5
0:50:00	303.4	256.4	120.6	226.8	83.9
1:00:00	337.7	274.9	134.9	249.2	85.4
1:10:00	368.8	284.4	147.7	267.0	91.5
1:20:00	341.2	273.2	156.4	256.9	92.8
1:30:00	391.3	298.7	164.4	284.8	95.6
1:40:00	345.7	281.3	172.6	266.5	77.9
1:50:00	324.0	274.4	176.2	258.2	75.0
2:00:00	324.6	279.0	181.1	261.6	75.6
2:30:00	275.5	242.2	176.2	231.3	72.8
3:00:00	260.3	234.2	183.5	226.0	72.0
3:30:00	263.2	235.0	188.2	228.8	71.6
4:00:00	270.2	242.3	194.1	235.5	72.1
4:30:00	281.8	257.0	202.6	247.1	79.8
5:00:00	286.8	263.3	212.3	254.1	85.0
5:30:00	303.9	278.2	221.9	268.0	86.5
6:00:00	299.6	277.3	226.7	267.9	88.4
6:30:00	254.8	152.4	153.7	187.0	90.4
7:00:00	293.4	274.7	235.6	267.9	88.8

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 2					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
7:30:00	286.5	274.8	237.4	266.2	94.1
8:00:00	289.1	280.4	241.2	270.3	103.0
8:30:00	288.0	279.6	244.9	270.8	116.4
9:00:00	245.4	265.5	239.6	250.2	124.6
9:30:00	230.3	283.5	239.9	251.3	150.6
10:00:00	228.6	284.7	246.4	253.2	148.5
10:30:00	282.6	320.2	279.1	293.9	202.7
11:00:00	324.9	334.6	307.0	322.2	225.8
11:03:00	397.2	396.4	337.5	377.0	230.5
11:06:00	440.6	429.4	366.2	412.1	236.1
11:09:00	463.7	447.8	383.8	431.8	238.6
11:12:00	485.4	446.8	395.1	442.5	235.7
11:15:00	493.4	460.2	405.5	453.0	231.6
11:18:00	503.6	466.0	417.1	462.2	235.2
11:21:00	509.3	474.4	428.4	470.7	241.6
11:24:00	510.9	475.3	439.4	475.2	246.4
11:27:00	519.9	480.7	450.0	483.5	244.1
11:30:00	522.7	486.1	458.6	489.1	248.0
12:30:00	318.6	332.7	326.5	326.0	63.2
13:30:00	262.6	284.9	254.9	267.5	57.6
14:30:00	230.4	253.7	247.6	243.9	52.1
15:30:00	205.5	230.5	223.2	219.7	48.8

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 2					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
16:30:00	191.5	216.3	204.8	204.2	44.3
17:30:00	185.7	209.1	195.1	196.6	42.6
18:30:00	178.0	203.3	186.7	189.3	40.1
19:30:00	173.1	199.2	179.6	184.0	38.3
20:30:00	167.4	199.2	172.8	179.8	37.2
21:30:00	161.3	200.7	168.4	176.8	35.4
22:30:00	161.1	201.2	165.6	176.0	34.7
23:30:00	160.3	200.9	163.3	174.8	33.6
24:30:00	158.0	205.0	161.4	174.8	33.4
25:30:00	157.1	205.7	159.3	174.0	35.8
26:30:00	156.6	198.7	157.5	170.9	36.5
27:30:00	159.4	203.1	155.5	172.7	37.4
28:30:00	161.9	202.6	154.8	173.1	37.7
29:30:00	157.4	207.6	153.6	172.9	36.9
30:30:00	156.1	197.1	154.6	169.3	36.4
31:30:00	153.5	190.8	154.0	166.1	36.4
32:30:00	140.1	174.9	146.8	153.9	36.5
33:30:00	128.1	167.2	139.8	145.1	35.6
34:30:00	119.2	176.0	134.9	143.4	36.9
35:30:00	112.4	170.2	131.2	137.9	36.2
36:30:00	88.2	152.4	123.7	121.5	33.9
37:30:00	84.9	142.2	117.3	114.8	32.4

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 2					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
38:30:00	87.5	141.5	113.4	114.1	31.6
39:30:00	85.6	155.7	111.2	117.5	30.1
40:30:00	82.2	142.0	106.8	110.3	29.2
41:30:00	79.6	126.2	103.9	103.2	27.8
42:30:00	70.0	103.3	97.6	90.3	27.7

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 2					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
0:10:00	149.4	70.0	69.9	96.4	48.3
0:20:00	202.7	91.2	92.0	128.6	64.4
0:30:00	249.9	117.6	119.1	162.2	71.2
0:40:00	264.7	137.2	130.7	177.5	71.3
0:50:00	280.7	154.3	141.6	192.2	76.2
1:00:00	298.2	175.0	157.1	210.1	80.7
1:10:00	318.8	180.5	169.4	222.9	83.5
1:20:00	341.8	199.2	182.2	241.1	85.1
1:30:00	343.3	199.5	190.3	244.4	85.2
1:40:00	310.7	184.0	190.0	228.2	78.8
1:50:00	286.7	182.3	181.9	217.0	77.6
2:00:00	280.8	183.1	179.3	214.4	73.8

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 2					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
2:30:00	214.8	153.7	154.6	174.4	72.7
3:00:00	195.9	140.4	140.1	158.8	69.5
3:30:00	185.5	127.0	132.8	148.4	66.6
4:00:00	186.9	124.2	128.8	146.6	63.6
4:30:00	239.3	143.3	145.6	176.1	54.1
5:00:00	285.6	178.2	178.2	214.0	70.2
5:30:00	287.4	188.3	190.0	221.9	65.9
6:00:00	259.9	178.1	180.5	206.2	63.7
6:30:00	301.1	274.6	228.9	268.2	62.1
7:00:00	257.6	159.5	178.2	198.4	59.9
7:30:00	262.6	168.8	181.2	204.2	65.3
8:00:00	275.3	178.7	186.1	213.4	63.9
8:30:00	275.6	186.0	191.5	217.7	66.3
9:00:00	270.8	192.2	194.5	219.2	68.5
9:30:00	279.8	196.0	200.8	225.5	66.8
10:00:00	281.0	197.1	205.5	227.9	68.5
10:30:00	294.2	209.7	215.8	239.9	76.8
11:00:00	294.9	213.7	223.9	244.2	74.7
11:30:00	295.7	215.9	229.5	247.0	76.6
12:00:00	299.8	225.5	235.0	253.4	79.1
12:30:00	298.8	226.8	239.0	254.9	82.8
13:00:00	292.6	226.1	237.6	252.1	81.7

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 2					
เวลา, (ชั่วโมง)	**หน้า**	**กลาง**	**ท้าย**	**เฉลี่ย**	**ปากปล่อง**
13:30:00	294.7	228.6	240.0	254.4	84.6
14:00:00	288.6	226.7	240.4	251.9	94.2
14:30:00	274.0	221.9	239.7	245.2	130.9
15:00:00	269.4	231.1	244.5	248.3	136.2
15:30:00	275.1	246.9	251.4	257.8	138.0
16:00:00	281.9	262.4	261.2	268.5	138.3
16:30:00	285.2	265.3	270.5	273.7	144.7
17:00:00	286.0	279.1	279.2	281.4	154.1
17:30:00	288.0	276.8	287.0	283.9	142.8
18:00:00	289.2	273.5	289.9	284.2	148.6
18:03:00	298.6	279.0	290.7	289.5	148.6
18:06:00	319.4	278.1	294.7	297.4	149.5
18:09:00	340.4	279.5	297.4	305.8	149.9
18:12:00	356.8	285.0	300.7	314.2	150.4
18:15:00	369.2	290.9	305.1	321.7	151.0
18:18:00	377.8	293.8	310.1	327.2	148.2
18:21:00	384.3	296.0	311.0	330.4	150.1
18:24:00	377.8	294.3	310.4	327.5	148.4
18:27:00	377.6	295.3	310.9	327.9	153.3
18:30:00	372.5	295.3	311.4	326.4	153.1
19:30:00	286.1	325.5	317.4	309.7	53.1
20:30:00	237.3	222.9	240.6	233.6	49.5

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 2					
เวลา, (ชั่วโมง)	**หน้า**	**กลาง**	**ท้าย**	**เฉลี่ย**	**ปากปล่อง**
21:30:00	213.9	206.3	221.0	213.7	44.1
22:30:00	192.6	189.2	202.4	194.7	40.4
23:30:00	174.7	168.3	186.2	176.4	38.8
24:30:00	162.1	150.4	132.5	148.3	36.5
25:30:00	150.6	148.3	163.5	154.1	38.1
26:30:00	140.9	144.8	153.4	146.4	37.7
27:30:00	131.7	133.9	144.5	136.7	37.2
28:30:00	124.2	126.5	136.4	129.0	37.3
29:30:00	119.9	122.7	129.3	123.9	38.0
30:30:00	111.9	118.1	123.2	117.7	37.3
24:30:00	106.0	113.2	116.8	112.0	38.6
31:30:00	101.1	105.7	111.5	106.1	36.3
32:30:00	96.6	101.3	106.4	101.4	41.3
33:30:00	92.8	97.2	101.9	97.3	37.7
34:30:00	89.1	93.9	97.4	93.5	35.6
35:30:00	84.8	88.9	92.7	88.8	32.8
36:30:00	80.6	83.1	88.3	84.0	31.1
37:30:00	77.8	82.2	84.8	81.6	29.9
38:30:00	74.9	78.9	82.0	78.6	28.7
39:30:00	72.0	76.5	78.7	75.8	27.9
40:30:00	68.9	72.9	75.7	72.5	26.5
41:30:00	63.6	57.3	70.6	63.8	27.4

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 3					
เวลา, (ชั่วโมง)	**หน้า**	**กลาง**	**ท้าย**	**เฉลี่ย**	**ปากปล่อง**
0:10:00	71.5	57.8	48.6	59.3	33.7
0:20:00	106.3	79.5	69.5	85.1	38.9
0:30:00	141.8	102.3	79.8	108.0	56.2
0:40:00	163.1	119.2	95.1	125.8	68.0
0:50:00	197.3	143.5	112.4	151.1	81.8
1:00:00	223.8	159.0	127.4	170.1	83.8
1:10:00	235.0	175.2	138.2	182.8	85.9
1:20:00	242.8	185.5	148.5	192.3	86.8
1:30:00	280.2	214.7	168.9	221.3	86.0
1:40:00	291.8	216.7	174.9	227.8	88.8
1:50:00	293.8	218.2	176.5	229.5	78.9
2:00:00	284.3	251.5	180.5	238.8	89.0
2:10:00	283.6	231.0	180.8	231.8	88.6
2:20:00	274.5	213.6	171.0	219.7	90.3
2:30:00	258.4	205.0	180.3	214.5	90.7
2:40:00	267.7	213.0	185.3	222.0	93.6
2:50:00	297.3	230.0	197.5	241.6	98.8
3:00:00	305.7	235.0	202.7	247.8	101.8
3:10:00	321.6	246.2	216.9	261.6	102.4
3:20:00	333.2	262.4	223.4	273.0	95.6
3:30:00	351.3	272.1	231.8	285.1	98.6
3:40:00	346.4	273.7	235.7	285.2	99.6

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 3					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
3:50:00	355.3	282.1	243.9	293.8	98.0
4:00:00	361.1	290.5	250.8	300.8	98.7
4:30:00	360.9	298.3	262.5	307.2	103.5
5:00:00	316.4	264.6	250.5	277.2	106.2
5:30:00	305.7	255.9	244.8	268.8	107.8
6:00:00	307.6	260.4	245.5	271.2	109.0
6:30:00	304.4	262.7	245.8	271.0	121.6
7:00:00	306.2	260.2	246.9	271.1	101.3
7:30:00	304.1	260.8	247.5	270.8	106.2
8:00:00	302.2	263.6	248.3	271.4	113.1
8:30:00	305.1	265.2	250.5	273.6	121.5
9:00:00	302.6	272.6	253.3	276.2	129.6
9:30:00	299.6	268.6	251.0	273.1	142.9
10:00:00	318.1	274.6	256.7	283.1	160.3
10:30:00	314.5	272.7	260.8	282.7	177.1
11:00:00	311.0	270.2	261.5	280.9	180.1
11:30:00	362.4	295.1	285.4	314.3	178.8
12:00:00	380.6	313.4	304.3	332.8	210.0
12:30:00	459.2	372.3	363.9	398.5	211.9
12:33:00	498.4	406.2	397.9	434.2	231.7
12:36:00	501.4	417.9	409.8	443.0	234.8
12:39:00	504.7	406.3	417.1	442.7	241.1

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 3					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
12:42:00	503.7	411.4	422.5	445.9	243.7
12:45:00	504.5	415.3	429.1	449.6	248.2
12:48:00	503.8	413.8	431.1	449.6	249.4
12:51:00	501.7	428.5	431.6	453.9	250.3
12:54:00	501.4	412.0	430.6	448.0	253.0
12:57:00	508.1	418.3	440.6	455.7	257.2
13:00:00	510.9	414.1	436.1	453.7	254.9
14:00:00	355.6	309.6	346.3	337.2	97.8
15:00:00	271.4	247.3	285.0	267.9	82.0
16:00:00	230.1	211.7	254.6	232.2	73.9
17:00:00	180.4	149.1	217.9	182.5	66.4
18:00:00	156.4	142.9	193.2	164.2	60.5
19:00:00	139.1	127.1	177.4	147.9	53.9
20:00:00	126.8	118.3	160.5	135.2	52.4
21:00:00	117.4	111.0	146.8	125.1	50.9
22:00:00	108.7	102.9	135.6	115.7	49.4
23:00:00	101.7	97.2	125.5	108.1	47.7
24:00:00	94.9	91.2	116.3	100.8	44.8
25:00:00	88.4	85.3	107.8	93.8	43.6
26:00:00	82.3	79.6	99.8	87.2	39.9
27:00:00	77.1	75.5	93.4	82.0	39.7
28:00:00	72.3	70.6	87.3	76.8	36.9

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 3					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
29:00:00	67.5	67.8	81.7	72.3	36.3
30:00:00	63.5	63.6	76.6	67.9	34.5
31:00:00	59.6	59.7	71.9	63.7	31.8
32:00:00	56.2	54.1	67.8	59.3	30.7
33:00:00	52.6	50.7	65.6	56.3	29.3
34:00:00	49.5	47.5	60.1	52.4	27.8
35:00:00	46.5	47.5	56.8	50.3	26.4
36:00:00	44.1	44.6	53.8	47.5	25.7
37:00:00	41.7	40.1	51.0	44.3	25.0

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 3					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
0:10:00	88.8	58.8	48.1	65.2	37.4
0:20:00	151.6	93.9	68.4	104.6	60.6
0:30:00	189.0	113.2	80.6	127.6	71.0
0:40:00	237.6	139.5	102.2	159.8	79.4
0:50:00	316.8	185.1	132.7	211.5	85.0
1:00:00	335.2	194.2	153.6	227.7	88.1
1:10:00	325.9	262.0	178.9	255.6	93.9
1:20:00	305.9	185.8	196.3	229.3	98.0

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 3					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
1:30:00	366.5	219.4	240.5	275.5	102.8
1:40:00	352.9	219.2	258.0	276.7	103.7
1:50:00	341.4	214.3	241.7	265.8	66.4
2:00:00	330.8	210.3	250.5	263.9	64.0
2:10:00	312.6	203.9	230.5	249.0	82.6
2:20:00	306.0	194.7	198.2	233.0	90.3
2:30:00	286.2	177.1	182.0	215.1	97.1
2:40:00	333.2	205.7	196.1	245.0	99.4
2:50:00	317.8	200.2	199.5	239.2	100.5
3:00:00	295.5	186.2	198.2	226.6	100.6
3:10:00	342.6	213.5	211.0	255.7	107.1
3:20:00	380.1	244.2	238.2	287.5	109.7
3:30:00	364.5	233.7	237.4	278.6	110.3
3:40:00	345.4	225.1	256.8	275.8	110.5
3:50:00	385.1	244.6	260.5	296.7	113.7
4:00:00	398.6	265.8	283.7	316.0	116.5
4:30:00	329.0	236.1	271.5	278.8	121.7
5:00:00	283.6	196.4	191.9	224.0	121.0
5:30:00	272.2	160.5	240.3	224.3	125.6
6:00:00	271.5	211.7	184.3	222.5	129.8
6:30:00	283.6	175.3	206.4	221.8	139.1
7:00:00	282.9	208.5	218.5	236.6	144.4

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 3					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
7:30:00	277.7	206.7	241.6	242.0	154.8
8:00:00	272.9	213.5	240.2	242.2	166.8
8:30:00	271.2	227.8	241.9	247.0	172.0
9:00:00	269.9	210.8	241.2	240.6	172.9
9:30:00	270.0	195.4	158.4	208.0	187.5
10:00:00	273.8	206.1	165.3	215.1	193.5
10:30:00	277.1	211.3	246.5	244.9	195.7
11:00:00	279.9	221.7	239.3	247.0	199.2
11:30:00	286.8	232.8	243.7	254.4	213.9
12:00:00	312.6	245.0	200.5	252.7	243.4
12:30:00	319.9	254.1	255.7	276.6	245.9
12:33:00	328.1	254.9	261.4	281.4	267.5
12:36:00	338.0	258.6	246.9	281.2	277.1
12:39:00	350.4	264.3	248.3	287.7	284.0
12:42:00	362.1	268.6	262.8	297.8	288.7
12:45:00	372.1	274.3	279.9	308.8	297.9
12:48:00	379.0	276.0	290.1	315.0	295.9
12:51:00	383.7	279.1	293.9	318.9	296.4
12:54:00	388.1	283.1	297.6	322.9	302.3
12:57:00	391.3	287.6	300.7	326.5	306.6
13:00:00	395.6	292.8	304.5	331.0	306.5
14:00:00	408.7	338.6	160.6	302.6	312.9

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 3					
เวลา, (ชั่วโมง)	**หน้า**	**กลาง**	**ท้าย**	**เฉลี่ย**	**ปากปล่อง**
15:00:00	298.9	251.0	166.5	238.8	118.9
16:00:00	244.0	211.6	143.7	199.8	96.5
17:00:00	227.3	199.9	141.6	189.6	90.1
18:00:00	199.4	183.5	129.0	170.6	81.7
19:00:00	178.4	179.8	104.4	154.2	74.3
20:00:00	160.6	157.7	165.7	161.3	70.9
21:00:00	147.0	156.9	149.0	151.0	67.8
22:00:00	136.1	136.8	82.6	118.5	64.4
23:00:00	127.1	128.1	88.1	114.4	62.6
24:00:00	119.1	116.6	94.5	110.1	59.2
25:00:00	110.7	112.9	98.7	107.4	56.8
26:00:00	103.5	112.7	73.2	96.5	49.4
27:00:00	97.0	101.3	83.3	93.9	51.4
28:00:00	91.4	91.6	96.3	93.1	48.4
29:00:00	86.5	86.3	73.9	82.2	46.4
30:00:00	82.5	83.8	70.3	78.9	43.8
31:00:00	78.4	80.4	66.4	75.0	41.9
32:00:00	74.7	76.5	62.9	71.4	40.6
33:00:00	71.1	74.3	60.8	68.7	38.5
34:00:00	67.5	70.3	58.2	65.3	36.7
35:00:00	64.1	69.7	56.4	63.4	35.0
36:00:00	60.9	67.7	58.0	62.2	33.4

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 3					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
37:00:00	57.6	62.3	53.2	57.7	32.3

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 4					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
0:10:00	108.4	72.4	62.1	81.0	43.1
0:20:00	172.7	112.0	89.6	124.8	66.8
0:30:00	205.2	135.2	108.1	149.5	70.3
0:40:00	228.2	158.7	130.5	172.5	84.7
0:50:00	191.3	140.0	119.7	150.3	72.4
1:00:00	181.7	136.5	120.4	146.2	71.5
1:10:00	178.9	134.5	118.8	144.1	69.8
1:20:00	177.5	136.1	119.9	144.5	69.4
1:30:00	169.8	135.7	119.1	141.5	68.2
1:40:00	170.6	136.1	120.0	142.3	68.2
1:50:00	187.8	147.0	128.6	154.5	70.4
2:00:00	180.3	142.3	126.7	149.8	70.7
2:10:00	182.2	142.5	128.8	151.1	70.6
2:20:00	176.8	135.7	127.3	146.6	71.1
2:30:00	194.4	148.4	136.3	159.7	75.4
2:40:00	214.8	159.2	147.1	173.7	79.4
2:50:00	224.3	163.0	151.6	179.6	81.9

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 4					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
3:00:00	230.8	163.9	154.8	183.1	80.6
3:30:00	185.0	139.4	138.4	154.3	74.5
4:00:00	198.4	145.1	143.5	162.4	76.0
4:30:00	184.7	136.3	140.6	153.9	75.0
5:00:00	191.2	139.0	143.6	158.0	75.6
5:30:00	200.4	156.9	148.1	168.4	76.3
6:00:00	204.8	162.3	152.3	173.1	76.3
6:30:00	209.2	170.9	156.7	178.9	75.5
7:00:00	217.3	174.9	160.7	184.3	75.4
7:30:00	222.1	178.5	163.9	188.2	75.5
8:00:00	244.9	192.6	168.2	201.9	78.9
8:30:00	263.0	205.0	178.0	215.3	81.6
9:00:00	270.6	212.7	186.5	223.2	81.9
9:30:00	280.1	226.2	192.7	233.0	87.1
10:00:00	289.6	235.0	203.5	242.7	89.0
10:30:00	294.3	240.5	212.2	249.0	90.9
11:00:00	300.6	240.9	220.6	254.0	92.0
11:30:00	304.6	247.8	229.4	260.6	97.0
12:00:00	310.1	253.4	237.5	267.0	102.5
12:30:00	316.1	271.5	245.8	277.8	109.7
13:00:00	308.6	279.0	245.8	277.8	111.9
13:30:00	315.6	284.9	252.1	284.2	116.8

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 4					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
14:00:00	321.6	291.1	257.9	290.2	125.7
14:30:00	320.2	291.7	261.1	291.0	132.8
15:00:00	310.7	290.0	263.8	288.2	143.1
15:30:00	308.1	290.4	264.6	287.7	150.7
16:00:00	312.0	293.9	268.1	291.3	159.3
16:30:00	324.9	300.8	274.3	300.0	167.2
17:00:00	336.7	305.6	279.5	307.2	170.1
17:30:00	334.5	314.8	287.9	312.4	177.8
18:00:00	486.9	412.3	360.1	419.8	211.2
18:30:00	525.4	446.3	401.7	457.8	240.3
19:00:00	513.6	447.4	422.7	461.3	251.5
19:03:00	534.8	457.6	432.1	474.9	274.8
19:06:00	538.9	463.4	435.2	479.2	278.5
19:09:00	538.5	465.7	438.3	480.9	283.3
19:12:00	544.5	470.6	441.0	485.4	287.4
19:15:00	551.0	479.7	446.3	492.3	293.6
19:18:00	553.5	504.6	452.2	503.4	294.2
19:21:00	561.1	485.9	456.9	501.3	295.0
19:24:00	565.3	487.6	457.3	503.4	296.9
19:27:00	564.3	488.6	459.9	504.3	300.1
19:30:00	566.9	488.7	461.3	505.6	300.4
20:30:00	413.8	397.5	397.1	402.8	105.2

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 4					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
21:30:00	315.6	299.2	308.2	307.6	79.9
22:30:00	269.0	254.0	262.4	261.8	74.6
23:30:00	236.6	221.0	240.3	232.6	69.7
24:30:00	214.9	201.9	214.1	210.3	68.2
25:30:00	194.9	184.7	197.3	192.3	64.8
26:30:00	177.1	171.9	180.8	176.6	61.2
27:30:00	166.3	157.6	169.0	164.3	59.3
28:30:00	155.5	150.4	159.1	155.0	56.7
29:30:00	146.4	141.9	149.7	146.0	53.6
30:30:00	138.3	134.9	140.5	137.9	51.9
31:30:00	130.1	127.8	132.3	130.1	49.3
32:30:00	123.8	122.7	124.7	123.8	47.4
33:30:00	117.0	116.4	118.2	117.2	44.5
34:30:00	111.0	111.8	112.2	111.6	43.1
35:30:00	105.1	105.8	106.3	105.7	43.1
36:30:00	99.2	99.3	100.7	99.7	41.4
37:30:00	95.4	94.3	94.4	94.7	39.0
38:30:00	92.0	94.6	89.4	92.0	36.2
39:30:00	88.6	92.4	85.8	88.9	35.2
40:30:00	85.8	93.1	82.7	87.2	34.0
41:30:00	83.8	90.1	80.8	84.9	33.4
42:30:00	81.4	88.3	78.5	82.7	34.6

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาแบบดั้งเดิม Test 4					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
43:30:00	78.0	76.0	70.4	74.8	37.8

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 4					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
0:10:00	152.8	171.6	62.9	129.1	45.3
0:20:00	343.3	279.4	114.8	245.8	71.0
0:30:00	360.3	289.0	143.3	264.2	79.0
0:40:00	302.5	279.5	158.8	246.9	84.1
0:50:00	235.9	141.7	262.4	213.3	72.7
1:00:00	263.0	189.8	148.4	200.4	75.0
1:10:00	235.7	186.2	144.1	188.6	72.9
1:20:00	243.0	192.1	145.7	193.6	73.9
1:30:00	252.2	195.3	148.4	198.6	73.4
1:40:00	241.6	190.5	150.1	194.1	74.2
1:50:00	273.3	207.8	154.3	211.8	78.4
2:00:00	251.3	189.4	151.3	197.4	76.3
2:10:00	275.2	213.3	158.3	215.6	79.3
2:20:00	265.8	206.6	161.3	211.2	79.2
2:30:00	280.5	188.4	165.4	211.4	81.5
3:00:00	256.8	193.8	153.6	201.4	77.0
3:30:00	264.1	184.4	261.6	236.7	78.2

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 4					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
4:00:00	262.3	181.9	156.6	200.3	80.6
4:30:00	272.5	179.3	161.9	204.5	82.6
5:00:00	282.2	181.4	167.7	210.4	84.4
5:30:00	292.9	178.8	176.2	216.0	85.3
6:00:00	303.2	195.1	186.2	228.1	88.1
6:30:00	300.6	201.6	196.1	232.8	91.7
7:00:00	308.8	207.9	206.2	241.0	96.9
7:30:00	316.0	204.0	217.0	245.7	103.0
8:00:00	327.5	210.5	226.5	254.8	109.4
8:30:00	333.4	210.8	235.1	259.8	117.5
9:00:00	342.0	216.6	245.3	268.0	125.0
9:30:00	350.3	219.4	255.4	275.0	136.9
10:00:00	353.0	224.6	262.7	280.1	151.0
10:30:00	349.4	224.8	268.9	281.0	161.3
11:00:00	352.9	224.5	274.1	283.8	171.8
11:30:00	351.3	225.4	279.4	285.4	188.5
12:00:00	345.5	223.9	285.5	285.0	202.4
12:30:00	337.1	226.8	293.4	285.8	214.5
13:00:00	359.9	230.6	298.3	296.3	223.2
13:30:00	358.4	233.7	305.3	299.1	230.5
14:00:00	467.6	279.8	340.3	362.6	240.7
14:30:00	475.9	295.1	366.9	379.3	243.7

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 4					
เวลา, (ชั่วโมง)	หน้า	กลาง	ท้าย	เฉลี่ย	ปากปล่อง
15:00:00	435.2	291.7	374.0	367.0	257.3
15:30:00	466.2	311.7	389.5	389.1	264.7
15:33:00	478.9	317.4	395.8	397.4	215.2
15:36:00	501.6	283.9	400.9	395.4	222.9
15:39:00	513.2	327.9	404.7	415.3	229.8
15:42:00	523.7	331.0	407.8	420.8	235.1
15:45:00	527.0	333.4	411.5	424.0	238.0
15:48:00	530.2	336.0	414.7	427.0	242.6
15:51:00	535.6	327.6	417.7	427.0	243.8
15:54:00	537.6	327.2	421.1	428.6	245.6
15:57:00	542.0	327.8	424.1	431.3	247.3
16:00:00	548.5	324.8	427.4	433.6	250.0
17:00:00	364.4	262.0	354.1	326.8	82.7
18:00:00	296.0	224.2	310.4	276.9	65.0
19:00:00	254.4	198.3	277.2	243.3	59.8
20:00:00	228.6	183.3	249.8	220.6	55.4
21:00:00	202.5	168.5	227.9	199.7	51.8
22:00:00	184.4	157.4	210.3	184.0	49.9
23:00:00	168.7	147.9	193.7	170.1	48.0
24:00:00	157.6	168.4	181.0	169.0	47.6
25:00:00	146.6	157.5	169.2	157.8	46.3
26:00:00	138.5	148.2	158.8	148.5	45.3

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิภายในเตาและปล่องควันที่ได้(ต่อ)

อุณหภูมิ, (องศาเซลเซียส)					
เตาต้นแบบ Test 4					
เวลา, (ชั่วโมง)	**หน้า**	**กลาง**	**ท้าย**	**เฉลี่ย**	**ปากปล่อง**
27:00:00	129.4	132.8	149.6	137.3	43.1
28:00:00	122.4	126.5	141.1	130.0	43.0
29:00:00	116.6	126.2	133.7	125.5	40.6
30:00:00	110.1	120.0	127.0	119.0	39.3
31:00:00	105.0	114.9	120.8	113.6	38.2
32:00:00	100.2	109.1	115.1	108.1	36.0
33:00:00	95.5	104.3	109.7	103.2	35.1
34:00:00	91.0	99.6	104.9	98.5	33.8
35:00:00	86.5	95.1	100.2	93.9	32.6
36:00:00	82.4	90.8	95.5	89.6	30.8
37:00:00	78.4	86.1	91.1	85.2	29.7
38:00:00	74.4	82.1	86.8	81.1	28.9
39:00:00	70.5	62.1	82.6	71.7	28.1
40:00:00	67.0	73.3	78.6	72.9	27.6

ตารางที่ ค.2 อัตราการหยดน้ำส้มควันไม้ที่ได้

อัตราการหยดของน้ำส้มควันไม้,(หยด/นาที) Test 2			
เวลา, (ชั่วโมง)	เตาแบบดั้งเดิม	เวลา, (ชั่วโมง)	เตาต้นแบบ
2:00:00	-	2:00:00	-
2:30:00	35	2:30:00	99
3:00:00	30	3:00:00	55
3:30:00	40	3:30:00	30
4:00:00	42	4:00:00	30
4:30:00	74	4:30:00	51
5:00:00	47	5:00:00	50
5:30:00	32	5:30:00	59
6:00:00	42	6:00:00	60
6:30:00	41	6:30:00	52
7:00:00	63	7:00:00	40
7:30:00	62	7:30:00	60
8:00:00	55	8:00:00	72
8:30:00	119	8:30:00	80
9:00:00	110	9:00:00	79
9:30:00	63	9:30:00	82
10:00:00	14	10:00:00	94
10:30:00	-	10:30:00	66
11:00:00	-	11:00:00	68
11:03:00	-	11:30	62
11:06:00	-	12:00:00	76
11:09:00	-	12:30:00	106
11:12:00	-	13:00:00	83

ตารางที่ ค.2 อัตราการหยดน้ำส้มควันไม้ที่ได้(ต่อ)

อัตราการหยดของน้ำส้มควันไม้,(หยด/นาที) Test 2			
เวลา, (ชั่วโมง)	**เตาแบบดั้งเดิม**	**เวลา, (ชั่วโมง)**	**เตาต้นแบบ**
11:15:00	-	**13:30:00**	90
11:18:00	-	**14:00:00**	120
11:21:00	-	**14:30:00**	146
11:24:00	-	**15:00:00**	120
11:27:00	-	15:30:00	76
11:30:00	-	16:00:00	90
12:30:00	-	16:30:00	36
13:30:00	-	17:00:00	18
14:30:00	-	17:30:00	-
15:30:00	-	18:00:00	-

อัตราการหยดของน้ำส้มควันไม้,(หยด/นาที) Test 3			
เวลา, (ชั่วโมง)	เตาแบบดั้งเดิม	เวลา, (ชั่วโมง)	เตา**ต้นแบบ**
4:00:00	-	4:00:00	-
4:30:00	40	4:30:00	23
5:00:00	48	**5:00:00**	38
5:30:00	38	**5:30:00**	49
6:00:00	46	**6:00:00**	68
6:30:00	57	**6:30:00**	72
7:00:00	66	**7:00:00**	78
7:30:00	73	**7:30:00**	56
8:00:00	82	**8:00:00**	59
8:30:00	92	**8:30:00**	25

ตารางที่ ค.2 อัตราการหยดน้ำส้มควันไม้ที่ได้(ต่อ)

อัตราการหยดของน้ำส้มควันไม้,(หยด/นาที) Test 3			
เวลา, (ชั่วโมง)	**เตาแบบดั้งเดิม**	**เวลา, (ชั่วโมง)**	**เตาต้นแบบ**
9:00:00	157	**9:00:00**	37
9:30:00	104	**9:30:00**	42
10:00:00	84	**10:00:00**	38
10:30:00	36	**10:30:00**	18
11:00:00	18	11:00:00	11
11:30:00	-	11:30:00	-
12:00:00	-	12:00:00	-

อัตราการหยดของน้ำส้มควันไม้,(หยด/นาที) Test 4			
เวลา, (ชั่วโมง)	เตาแบบดั้งเดิม	เวลา, (ชั่วโมง)	**เตาต้นแบบ**
2:20:00	-	2:20:00	-
2:30:00	-	2:30:00	-
2:40:00	-	3:00:00	61
2:50:00	-	3:30:00	74
3:00:00	-	4:00:00	100
3:30:00	38	**4:30:00**	110
4:00:00	43	**5:00:00**	110
4:30:00	40	**5:30:00**	92
5:00:00	44	**6:00:00**	133
5:30:00	51	**6:30:00**	96
6:00:00	61	**7:00:00**	124
6:30:00	52	**7:30:00**	127
7:00:00	61	**8:00:00**	114

ตารางที่ ค.2 อัตราการหยดน้ำส้มควันไม้ที่ได้(ต่อ)

อัตราการหยดของน้ำส้มควันไม้,(หยด/นาที) Test 4			
เวลา, (ชั่วโมง)	เตาแบบดั้งเดิม	เวลา, (ชั่วโมง)	เตาต้นแบบ
7:30:00	51	8:30:00	140
8:00:00	50	9:00:00	145
8:30:00	62	9:30:00	124
9:00:00	62	10:00:00	86
9:30:00	74	10:30:00	48
10:00:00	77	11:00:00	52
10:30:00	83	11:30:00	43
11:00:00	86	12:00:00	38
11:30:00	138	12:30:00	54
12:00:00	102	13:00:00	25
12:30:00	68	13:30:00	41
13:00:00	96	14:00:00	7
13:30:00	75	14:30:00	-
14:00:00	64	15:00:00	-
14:30:00	72	15:30:00	-
15:00:00	66	15:33:00	-
15:30:00	60	15:36:00	-
16:00:00	53	15:39:00	-
16:30:00	45	15:42:00	-
17:00:00	37	15:45:00	-
17:30:00	19	15:48:00	-
18:00:00	-	15:51:00	-
18:30:00	-	15:54:00	-

Test	เตา	ไม้ที่นำมาเผาเป็นถ่าน, (กิโลกรัม)	ไม้ที่นำมาเผาเป็นเชื้อเพลิง,(กิโลกรัม)	ปริมาณถ่านที่ได้จากการเผา, (กิโลกรัม)	ปริมาณไม้ที่เหลือจากการเผา, (กิโลกรัม)	ร้อยละของปริมาณถ่านที่ได้จากการเผา, (เปอร์เซ็นต์)	ร้อยละของปริมาณไม้ที่เหลือจากการเผา, (เปอร์เซ็นต์)
1	ดั้งเดิม	76	10.4	16	16	21.05	21.05
	ต้นแบบ	77	8.8	14.5	25	18.83	32.47
2	ดั้งเดิม	77	6	20	0	25.97	0.00
	ต้นแบบ	78	10	25	1.9	32.05	2.44
3	ดั้งเดิม	76.5	11.5	15	9	19.61	11.76
	ต้นแบบ	76.5	12.7	12.5	9	16.34	11.76
4	ดั้งเดิม	90	8	23	0	25.56	0.00
	ต้นแบบ	89	6.2	25	0	28.09	0.00
Pre-Test 1	ต้นแบบ	70	10	9	0	12.86	0.00
Pre-Test 2	ต้นแบบ	75	5	10	0	13.33	0.00

ตารางที่ ค.3 น้ำหนักไม้ฟืนและถ่านที่ได้

ตารางที่ ค.4 ชนิดไม้ที่ใช้ในการทดสอบและระยะเวลาในตัดทิ้งไว้ให้แห้ง

Test	เตาแบบดั้งเดิม		เตาต้นแบบ	
	ชนิดไม้	เวลา ,(เดือน)	ชนิดไม้	เวลา ,(เดือน)
1	ไม้สะเดา	5-7	ไม้สะเดา	5-7
2	ไม้สะเดา	5-7	ไม้สะเดา	5-7
3	ไม้คาง	2-3	ไม้คาง	2-3
4	ไม้สะเดา	5-7	ไม้สะเดา	5-7
Pre-Test 1	ไม้สะเดา	-	ไม้สะเดา	6
Pre-Test 2	ไม้สะเดา	-	ไม้สะเดา	5-7

ตารางที่ ค.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไม้ฟืนที่ใช้ในการทดสอบ

Test	ขนาด, (นิ้ว)	เตาแบบดั้งเดิม		เตาต้นแบบ	
		จำนวน, (ท่อน)	น้ำหนัก, (กิโลกรัม)	จำนวน, (ท่อน)	น้ำหนัก, (กิโลกรัม)
3	1-2	6	13	6	12
	3-4	8	25	8	27
	5-6	3	28.5	2	31.5
	10	1	10	1	3
4	4-5	2	18	2	17
	6-7	4	55	4	54
	8-9	1	17	1	18

ตารางที่ ค.6 ปริมาณดินที่ใช้

Test	เตา	ปริมาณ, (บุ้งกี๋)		
		ก่อนเริ่มจุดเตา	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 4
2	ดั้งเดิม	4	3	4
	ต้นแบบ	4	2	3
3	ดั้งเดิม	4	3	4
	ต้นแบบ	3	2	3
4	ดั้งเดิม	5	1	3
	ต้นแบบ	3	1	3

ตารางที่ ค.7 ค่าทดสอบค่าความร้อนของถ่านที่ได้

Test	เตา	ค่าความร้อนของถ่าน, (แคลอรี่/กรัม)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	ดั้งเดิม	9,113.4	7,956.7	8,353.9	8,474.7
	ต้นแบบ	8,342.1	8,165.0	8,240.8	8,249.3
2	ดั้งเดิม	8,198.6	7,965.5	8,016.7	8,060.3
	ต้นแบบ	8,041.4	7,647.5	7,753.6	7,814.2
3	ดั้งเดิม	8,270.2	8,544.4	8,290.3	8,368.3
	ต้นแบบ	8,273.5	8,193.3	7,908.8	8,125.2
4	ดั้งเดิม	8,251.1	8,113.8	7,890.8	8,085.2
	ต้นแบบ	8,524.2	8,269.2	8,175.2	8,322.9
Pre-test 1	ต้นแบบ	8,268.7	8,394.0	8,043.8	8,235.5
Pre-test 2	ต้นแบบ	8,231.0	8,308.7	7,989.0	8,176.2
หน้าเตา	ต้นแบบ	8,113.6	8,185.0	7,948.9	8,082.5

ตารางที่ ค.8 ปริมาณน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้

ปริมาณน้ำส้มควันดิบไม้, (ลิตร)		
Test	**เตาแบบดั้งเดิม**	**เตาต้นแบบ**
1	2.735	1.255
2	2.375	4.620
3	2.230	1.240
4	3.465	2.570
Pre-test 1	-	0.185
Pre-test 2	-	0.975

ตารางที่ ค.9 ค่าทดสอบค่า pH ของน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้

Test	**เตาแบบดั้งเดิม**				**เตาต้นแบบ**			
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**เฉลี่ย**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**เฉลี่ย**
1	2.48	2.48	2.48	2.48	2.84	2.88	2.89	2.87
2	2.60	2.58	2.58	2.59	2.41	2.41	2.40	2.41
3	2.77	2.83	2.91	2.84	3.13	3.14	3.15	3.14
4	2.95	2.96	2.96	2.96	2.93	2.93	2.93	2.93
Pre-test 1	-	-	-	-	2.70	2.67	2.68	2.68
Pre-test 2	-	-	-	-	2.31	2.3	2.33	2.31

ตารางที่ ค.10 ค่าทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำส้มควันไม้ดิบที่ได้

Test	เตาแบบดั้งเดิม	เตาต้นแบบ
1	1.020	1.015
2	1.025	1.006
3	1.024	1.030
4	1.008	1.017
Pre-Test 1	-	1.100
Pre-Test 2	-	1.035

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้มาตรฐานเลขที่ มผช.659/2553

1. **ขอบข่าย**

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนครอบคลุมเฉพาะน้ำส้มควันไม้ใช้ทั่วไปทาง**ด้านเกษตรกรรม ที่**บรรจุในภาชนะบรรจุ ไม่ครอบคลุมน้ำส้มควันไม้ ที่ใช้เป็นสารกำจัดศัตรูพืช ใช้**ในอุตสาหกรรม** เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมยา

2. **บทนิยาม**

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้**น้ำส้มควันไม้** หมายถึง ผลิตภัณฑ์**ที่มี**ลักษณะเป็นของเหลวใส มีสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล ซึ่ง**ได้จากการควบแน่น**ของควันไฟ**ที่เ**กิดจากการเผาไม้ดิบ ในช่วงอุณหภูมิเผา 300 องศาเซลเซียส ถึง 400 องศาเซลเซียส โดยใช้อุปกรณ์ควบแน่นที่ทาจากสเตนเลสหรือไม้เพื่อป้องกันการละลายของแคลเซียม

เหล็ก หรือสังกะสี ตั้งทิ้งไว้ให้ ตกตะกอนอย่างน้อย 45 วัน นำมากรอง อาจนำมากลั่นอีกครั้ง แล้วบรรจุในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านนเกษตรกรรม เช่น ปรับสภาพดิน ดับกลิ่นเหม็นในคอกสัตว์

3. **คุณลักษณะที่ต้องการ**

ลักษณะทั่วไปต้องเป็นของเหลวใสเนื้อเดียวกัน มีสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล ไม่แยกชั้น ไม่มีตะกอนหรือสารแขวนลอย ไม่มีสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

4. **กลิ่น**

ต้องมีกลิ่นเหมือนควันไฟ ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์เช่น กลิ่นเหม็นเปรี้ยว การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5. ความเป็นกรด ด่าง

ต้องอยู่ระหว่าง 2.0 - 3.0 การทดสอบให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

6. ความถ่วงจำเพาะ

ต้องอยู่ระหว่าง 1.010 – 1.025 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การทดสอบให้ใช้เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ

7. การบรรจุ

ให้บรรจุน้ำส้มควันไม้ในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ทึบแสง สะอาด แห้งปิดได้สนิท ไม่รั่ว ไม่แตก และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ[22]

ภาคผนวก ง

ขั้นตอนการใช้เครื่องทดสอบค่าความร้อนและค่า pH

ง.1 ขั้นตอนการทดสอบค่าความร้อนของถ่านด้วยเครื่อง Parr 1261 Bomb Calorimeter

ขั้นตอนที่ 1

1. นำถ่านที่ได้จากการเผามาทำการบดให้ละเอียด

ขั้นตอนที่ 2

1. กดที่ปุ่ม Power ด้านหลังเครื่องเพื่อทำการเปิดเครื่อง ตามลำดับ
    - เครื่อง PARR 1563 Water Handing System
    - เครื่อง PARR 1552EF Water Cooler
    - เครื่อง PARR 1261 Bomb Calorimeter
2. ที่หน้าจอของเครื่องจะแสดงค่าของ JACKET T , BUCKET T ให้กดปุ่ม F1
3. ทำการตวงน้ำใส่หลอดแก้วที่อยู่กับเครื่อง PARR 1563 Water Handing System ให้ได้ปริมาณ 2,000 มิลลิลิตรและทำการเติมน้ำที่ตวงไว้เติมลงใน Jacket และนำ Jacket ใส่ลงไปในเครื่อง และสังเกตอุณหภูที่หน้าจอของเครื่อง โดยที่ JACKET T อุณหภูมิต้องไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส BUCKET T อุณหภูมิเฉลี่ย 23 องศาเซลเซียส จะถือว่าเครื่องพร้อมใช้งาน

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียม Oxygen Combustion Bomb

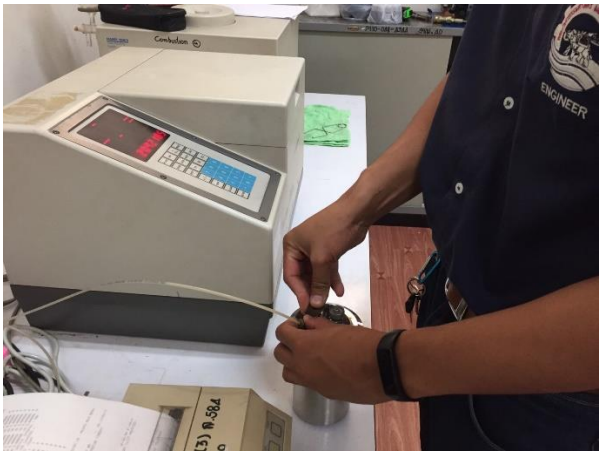
1. เตรียมอุปกรณ์ ประกอบด้วย
    - ส่วนหัวของ Bomb (Bomb Head)
    - ส่วนลูกของ Bomb
    - ที่จับ Bomb
    - ถ้วยตวงสารที่จะทำการทดสอบ
    - ลวด (Fuse) สำหรับเป็นตัวนำความร้อนไปที่สารที่จะทำการทดสอบ
    - ขาตั้งสำหรับใช้ประกอบ Bomb
2. ชั่งน้ำหนักของสารที่จะนำมาทำการทดสอบ (น้ำหนักประมาณ 0.5-1.0 กรัม) และตัดลวด (Fuse) ความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร

3. นำหัวของ Bomb มาวางที่ขาตั้งและนำถ้วยตวงที่ทำการชั่งสารมาประกอบเข้ากับหัวของ Bomb

4. นำลวด (Fuse) ที่เตรียมไว้คล้องเข้ากับรูบริเวณขาของหัว Bomb และให้ลวดสัมผัสกับสารที่จะทำการทดสอบ และลวดห้ามสัมผัสกับถ้วยตวงเด็ดขาด

5. นำส่วนหัวของ Bomb มาประกอบเข้ากับตัวของ Bomb และปิดให้สนิททั้งบริเวณที่หัวของ Bomb สัมผัสกับตัวของ Bomb และบริเวณหัวของ Bomb

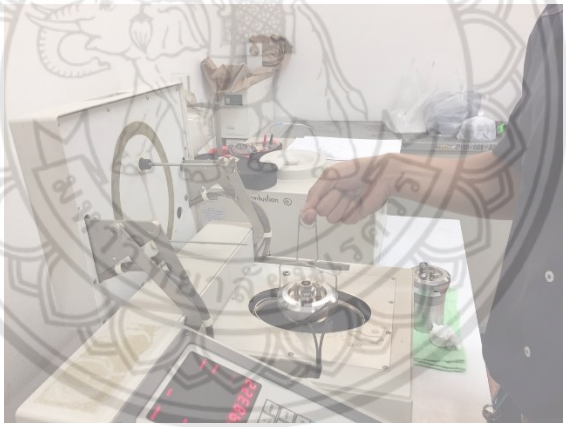
6. นำ Bomb มาทำการอัดออกซิเจน ที่ความดัน 450 Psi. โดยเสียบหัวเข้ากับวาล์วบรรจุที่ส่วนหัวของ Bomb แล้วกดปุ่ม O_2 FILL ที่เครื่อง และเมื่อเครื่องทำการอัดออกซิเจนเสร็จสมบูรณ์จะมีเสียงสัญญาณเตือนดังขึ้น



7. นำที่จับ Bomb มาจับที่ Bomb โดยจับที่จุดจับบริเวณส่วนหัวของ Bomb

ขั้นตอนที่ 4 การเผาไหม้สารตัวอย่าง

1. นำลูก Bomb วางลงใน Bucket ที่มีน้ำอยู่ 2,000 มิลลิลิตร โดยการวางให้จับที่ที่จับ Bomb และวางให้ตรงกับตำแหน่ง โดยที่ก้นของ Bucket จะมีจุดนูนขึ้นมาเพื่อเป็นจุดบอกตำแหน่ง (ตรวจสอบการรั่วของอากาศ)

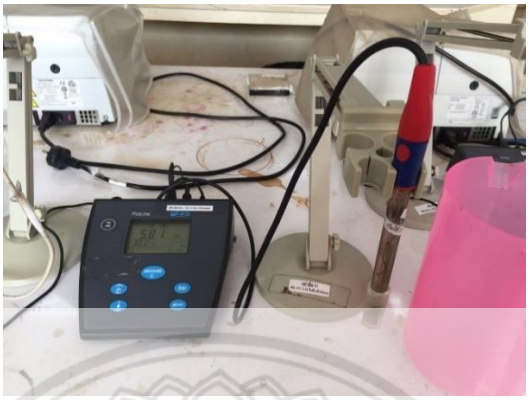


2. เสียบสาย Electrode ทั้ง 2 เส้นเข้าที่ลูก Bomb (เก็บสายให้เรียบร้อยระวังอย่าให้สายอยู่ใกล้ใบพัด) ปิดฝาเครื่องลง

3. ที่หน้าจอจะแสดง STANDBY
    - ต้องทำการทดสอบสารมาตรฐาน BENZOIC ACID เพื่อทำการหาค่า EE VALUE และกด Shift และกด Start เครื่องจะอยู่ในโหมด STD
4. กด Start เพื่อจะเริ่มทำการทดสอบค่าความร้อน
5. ใส่ค่า Sample ID โดยใส่เป็นค่าตัวเลข 3 หลัก เช่น 100 200 300 เป็นต้น และกดปุ่ม Enter
6. ใส่ค่า Weight โดยใส่ค่าน้ำหนักของสารที่ทำการทดสอบ เช่น ชั่งน้ำหนักของสารได้เท่ากับ 0.502 กรัม ใส่ค่า 0.502 และกดปุ่ม Enter เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบค่าความร้อนของสารที่ทำการทดสอบ
    - หน้าจอแสดงค่า PRE โดยเครื่องจะตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำที่ Jacket และ Bucket
    - หน้าจอแสดงค่า POST เครื่องทำการเผาไหม้สมบูรณ์แล้วและจะแสดงค่าความร้อนขึ้นมาที่หน้าจอของเครื่อง โดยหน่วยที่ได้เป็น Btu/lb

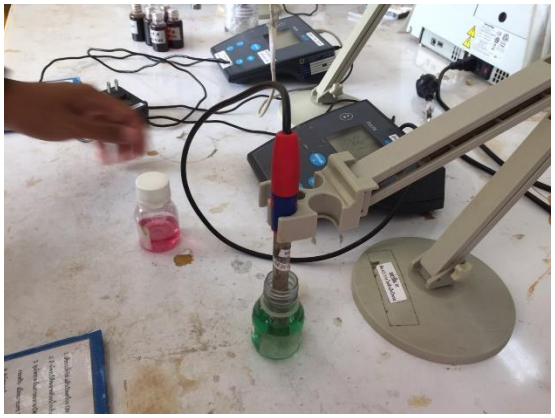
ง.2 ขั้นตอนการทดสอบวัดค่าความเป็นกรด ด่าง (ค่า pH)

1. เปิดเครื่องไว้ประมาณ 15-30 นาที ก่อนใช้งาน



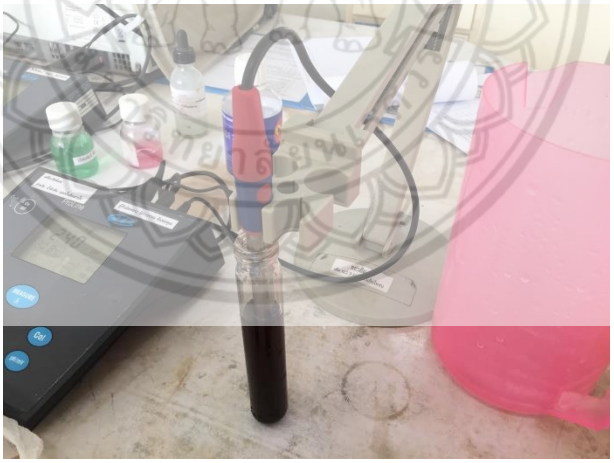
2. ล้างโพรบให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นแล้วเช็ดให้แห้งด้วยทิชชู

3. จุ่มโพรบลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH =7 รอให้ค่าตัวเลขหน้าจอนิ่งแล้วกดปุ่ม Cal หน้าจอจะแสดง Cal 1 กระพริบ เมื่อหมายเลข 1 หยุดกระพริบให้นำโพรบออกมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นและเช็ดให้แห้งด้วยทิชชู



4. จุ่มโพรบลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH = 4 รอให้ค่าตัวเลขหน้าจอนิ่งแล้วกดปุ่ม Cal หน้าจอจะแสดง Cal 2 กระพริบ เมื่อหมายเลข 2 หยุดกระพริบให้นำโพรบออกมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นและเช็ดให้แห้งด้วยทิชชู

5. จุ่มโพรบลงในตัวอย่างแล้วกดปุ่ม MEASURE รอให้ตัวเลขหน้าจอนิ่ง และหน้าจอมุมขวาแสดงสัญลักษณ์ √A จึงทำการอ่านค่า เสร็จแล้วล้างโพรบให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นและเช็ดให้แห้งด้วยทิชชู

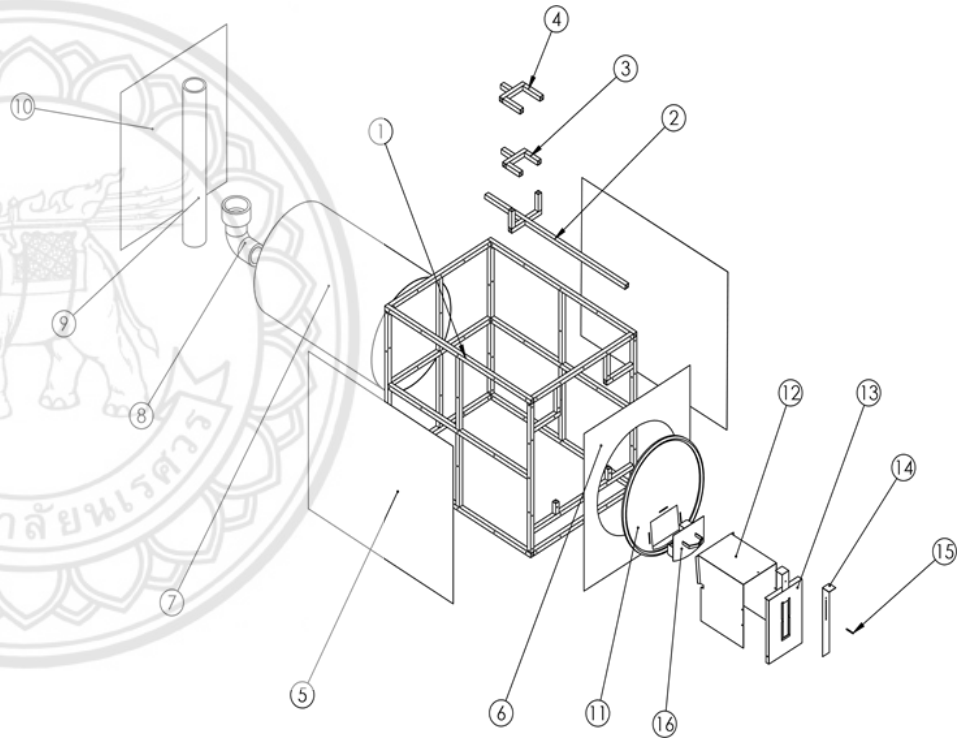


6. ปิดเครื่อง

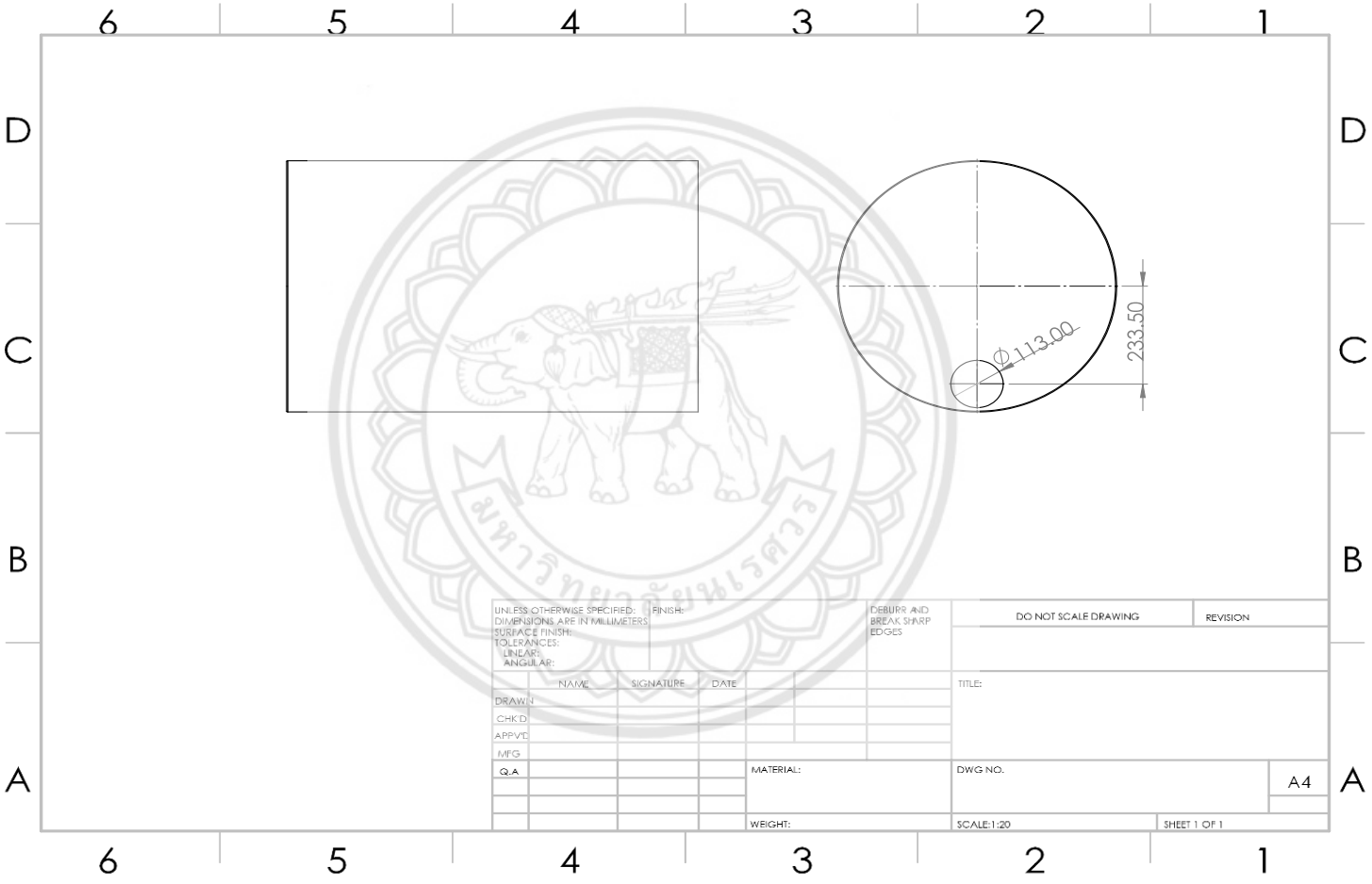
ภาคผนวก จ
แบบของเตาเผาถ่าน

จ.1 Working drawing

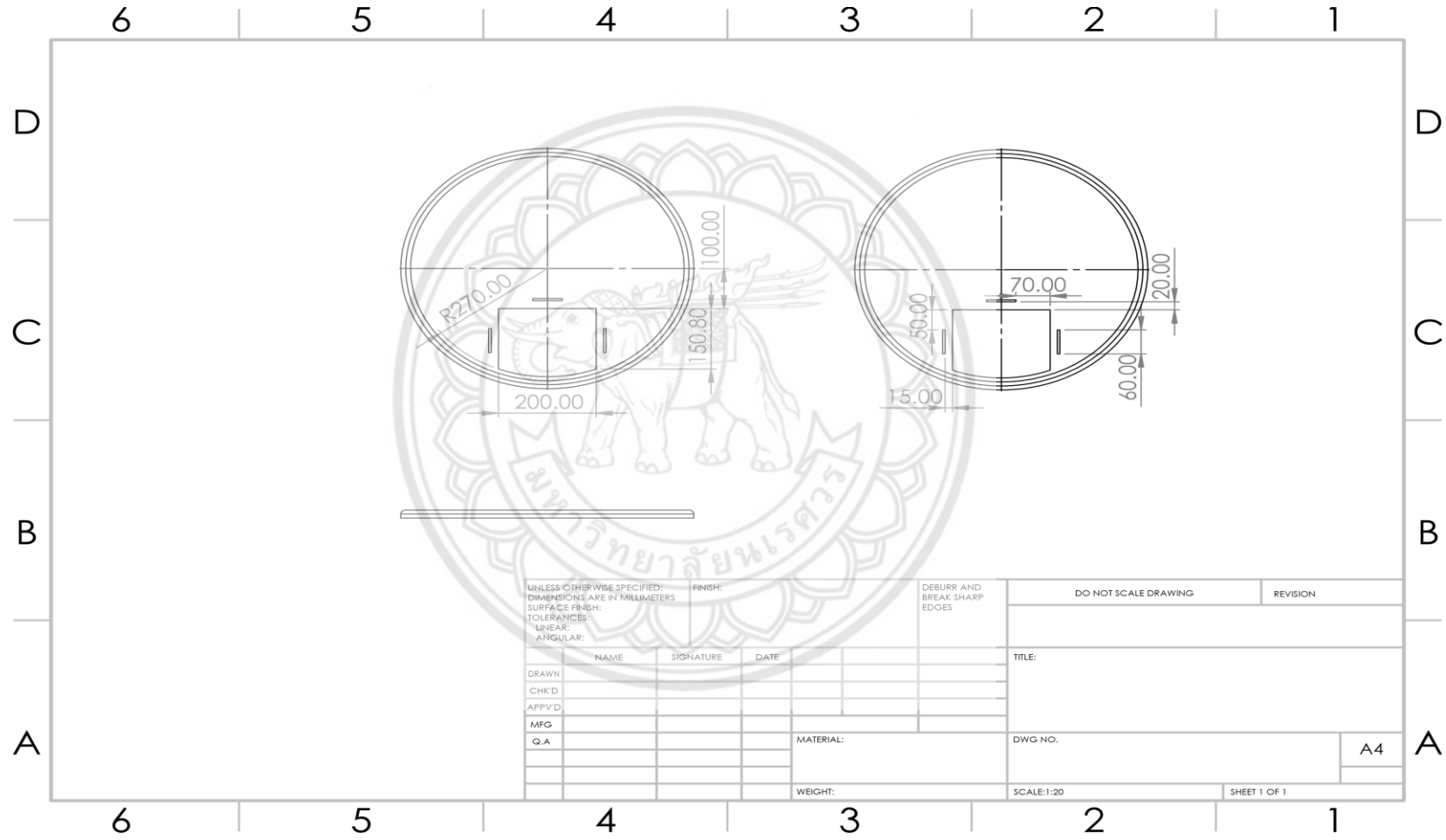
Item	Part Number	Material	QTY.
1	โครงเตา	Square Steel Tube	1
2	คานรองรับน้ำหนักถัง	Square Steel Tube	1
3	ที่ค้ำข้องอ	Square Steel Tube	1
4	ที่ค้ำท่อใยหิน	Square Steel Tube	1
5	แผ่นเมทัลชีทด้านข้าง	Aluminium Zinc	2
6	แผ่นเมทัลชีทด้านหน้า	Aluminium Zinc	1
7	ถังขนาด 200 ลิตร	Steel	1
8	ข้องอใยหิน	Mortar	1
9	ท่อใยหิน	Mortar	1
10	แผ่นเมทัลชีทด้านหลัง	Aluminium Zinc	1
11	ฝาถังขนาด 200 ลิตร	Steel	1
12	ช่องเชื้อเพลิง	Steel	1
13	ประตูปิด เปิด ช่องเชื้อเพลิง	Steel	1
14	สล็อตเลื่อนควบคุมอากาศ	Steel	1
15	สลัก	Steel	1
16	ฝาปิดหน้าเตา	Steel	1



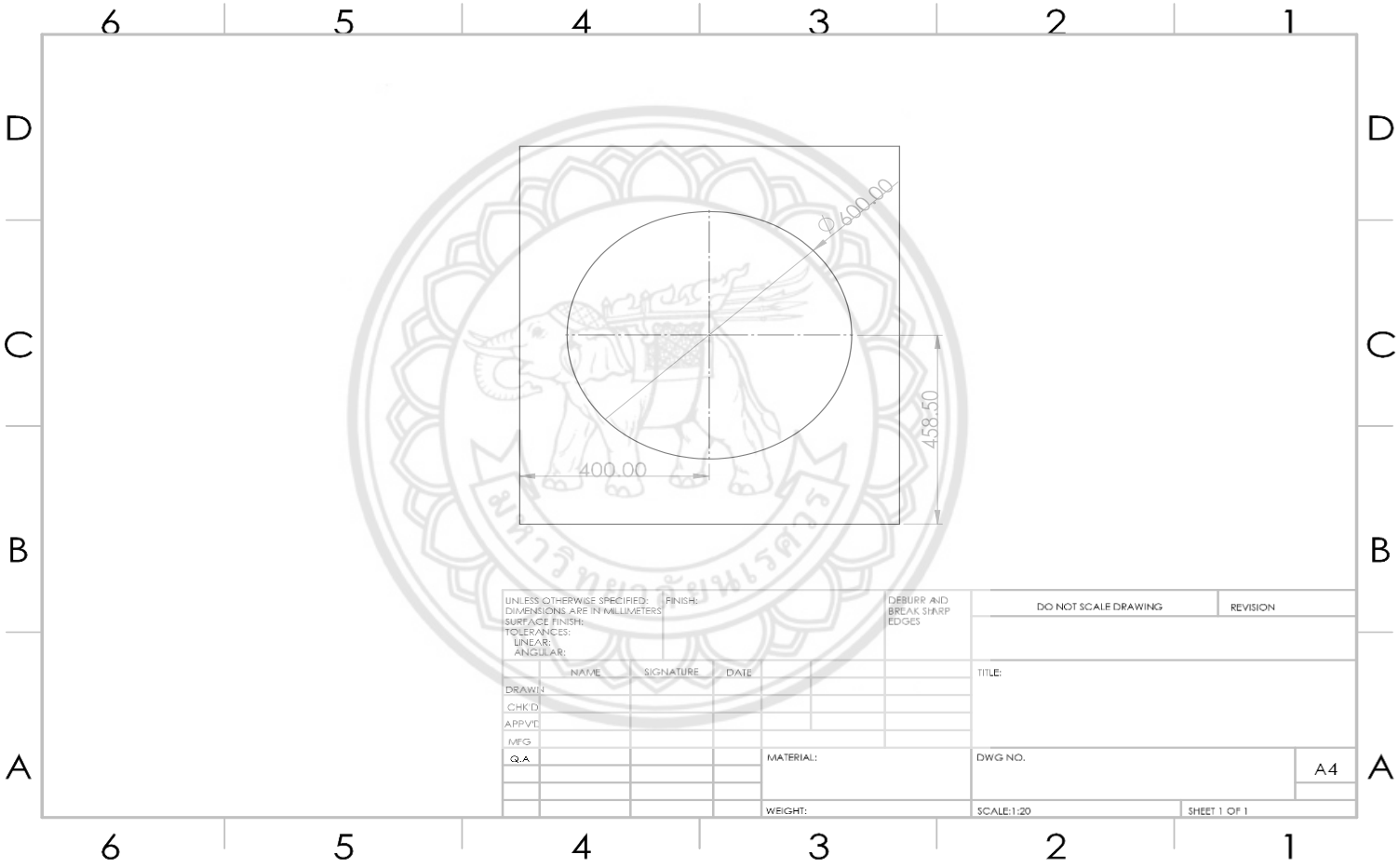
จ.2 ช่องระบายอากาศ



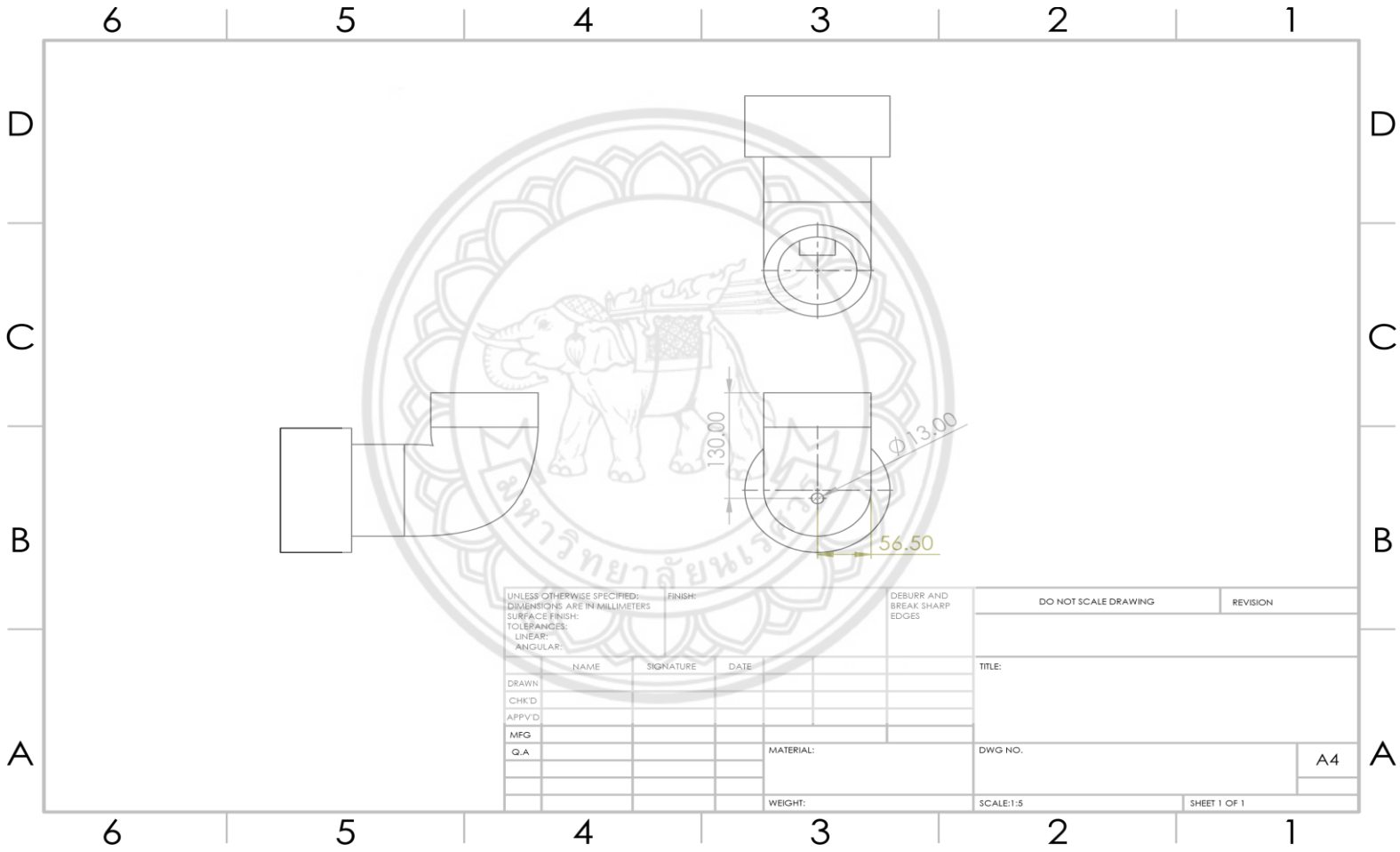
จ.3 ช่องอากาศเข้า(ฝาเตา)



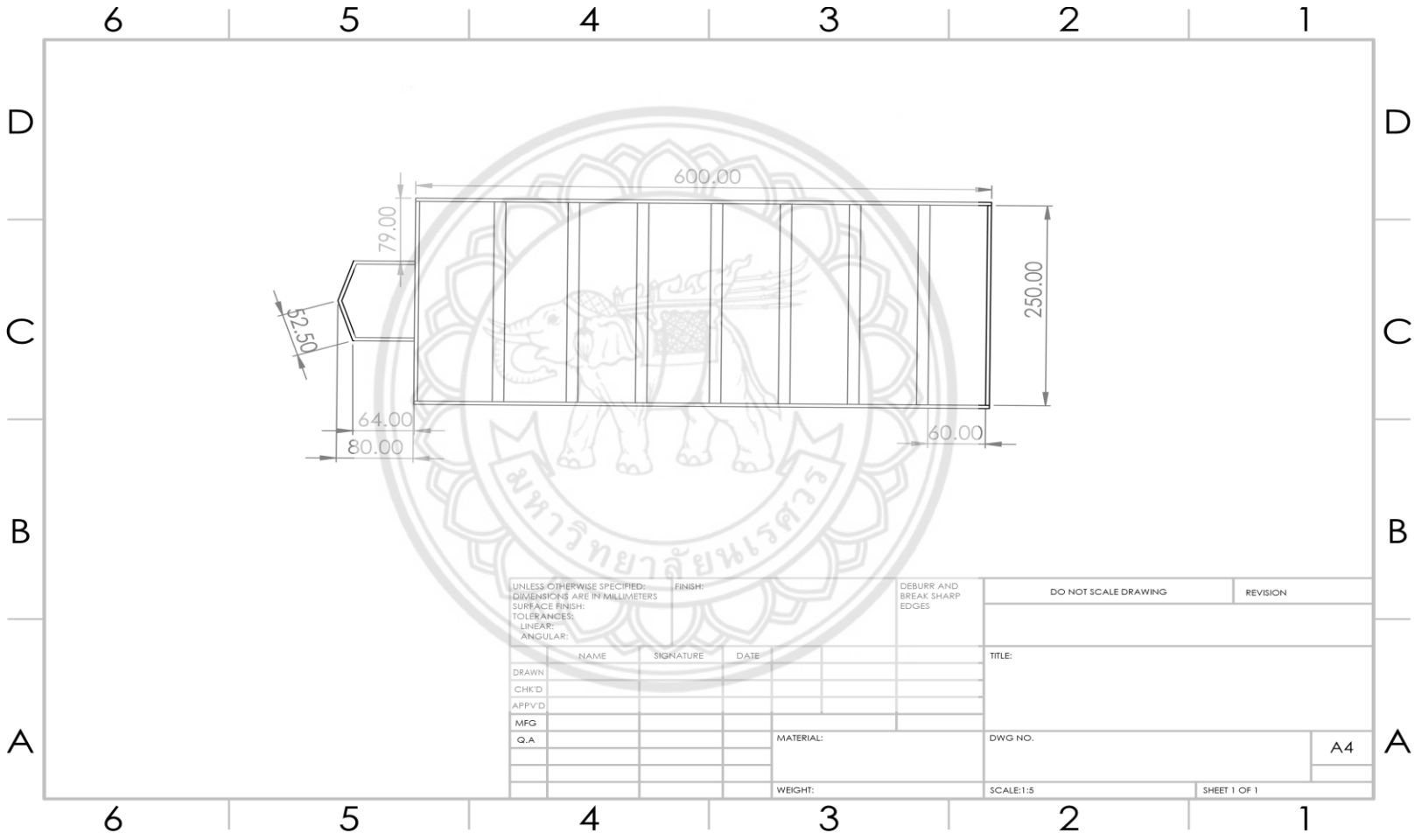
จ.4 แผ่นเมทัลชีทด้านหน้า



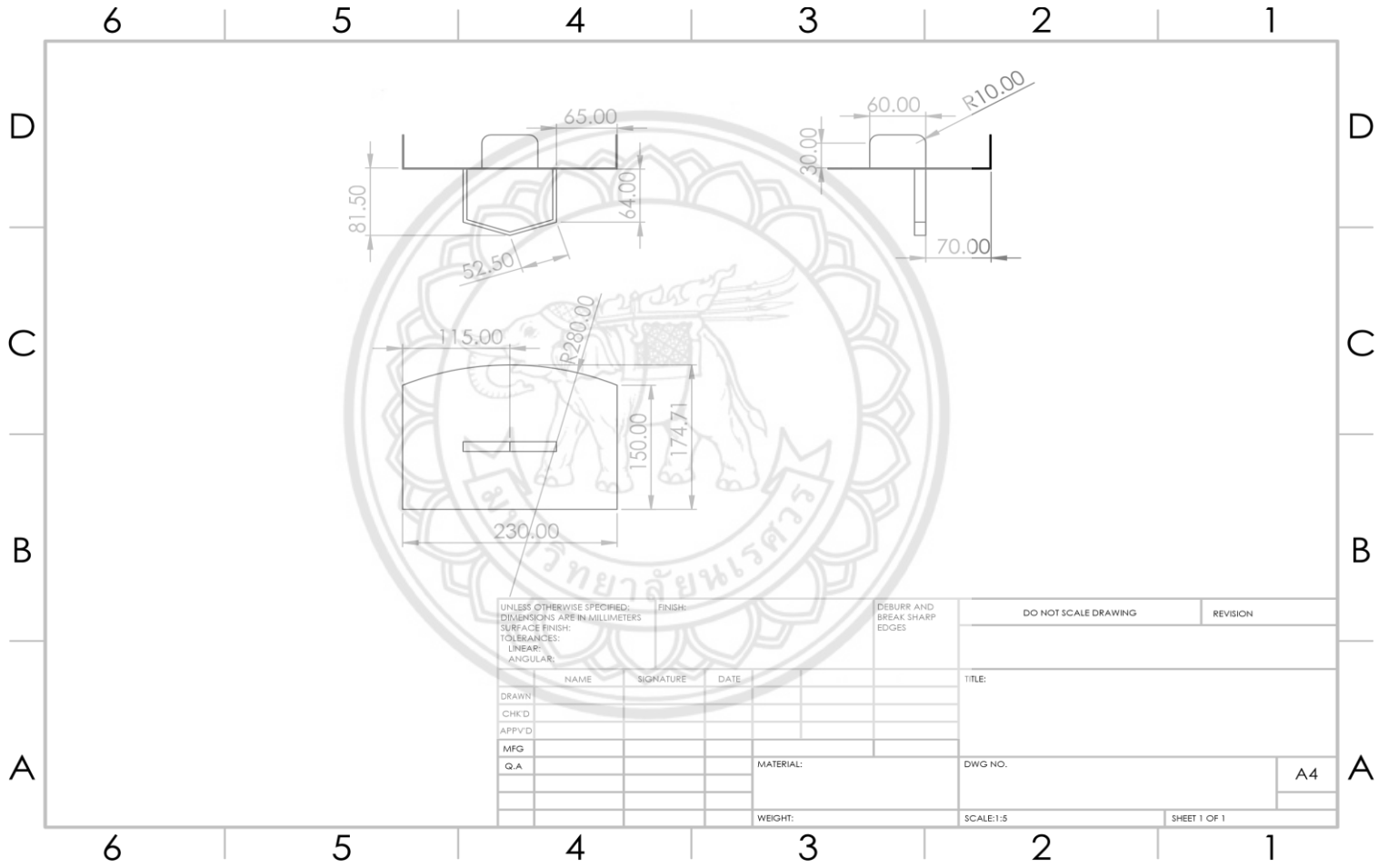
จ.5 ข้องอ


6
5
4
3
2
1
D
C
B
A
130.00
Ø13.00
56.50
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:
FINISH:
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES
DO NOT SCALE DRAWING
REVISION
NAME
SIGNATURE
DATE
DRAWN
CHK'D
APPV'D
MFG
Q.A
TITLE:
MATERIAL:
DWG NO.
A4
WEIGHT:
SCALE:1:5
SHEET 1 OF 1

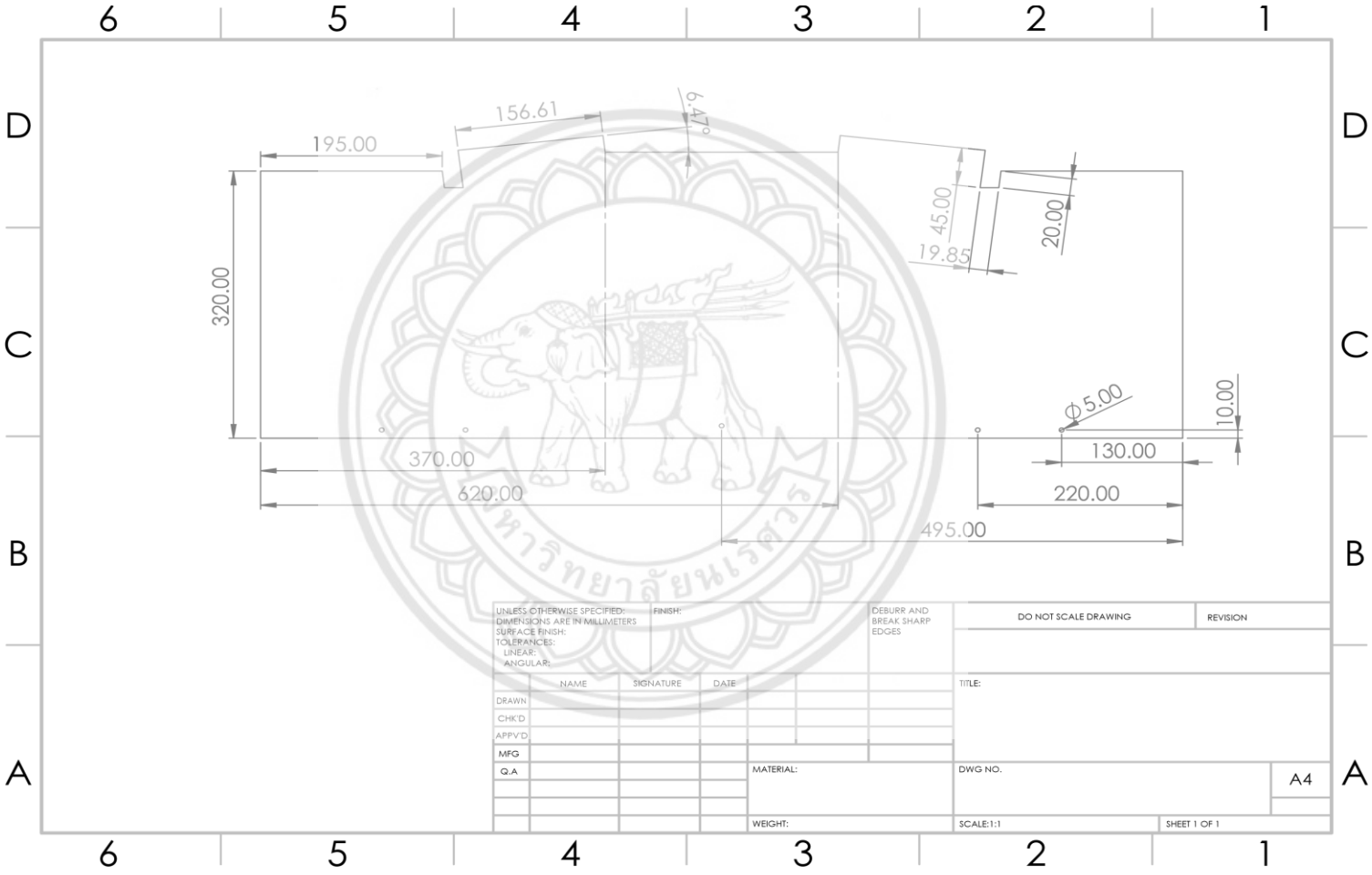
จ.6 ตะแกรง


600.00
79.00
250.00
52.50
64.00
80.00
60.00
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:
FINISH:
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES
DO NOT SCALE DRAWING
REVISION
NAME
SIGNATURE
DATE
DRAWN
CHK'D
APPV'D
MFG
Q.A
TITLE:
MATERIAL:
DWG NO.
A4
WEIGHT:
SCALE:1:5
SHEET 1 OF 1

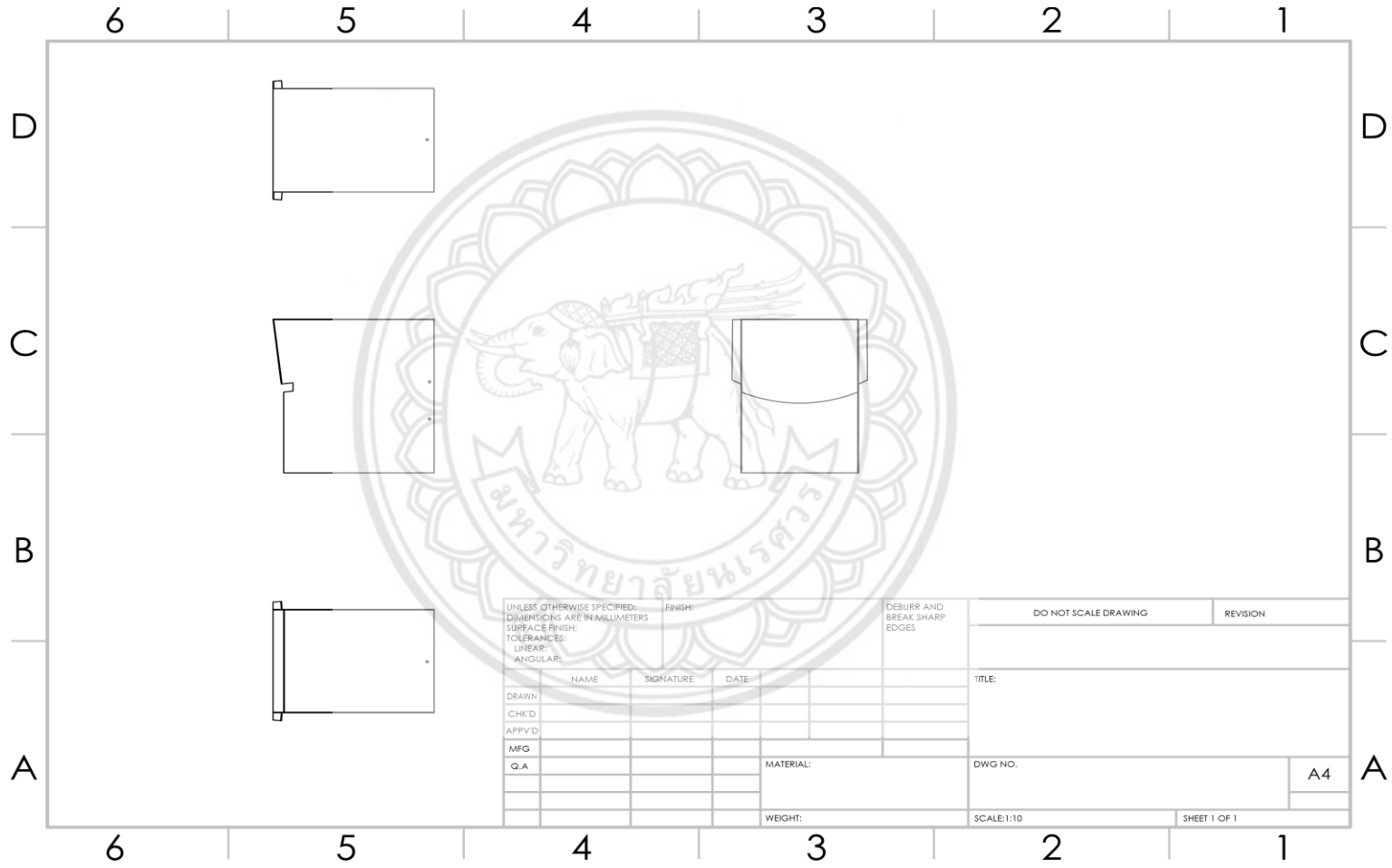
จ.7 ฝาปิดหน้าเตา



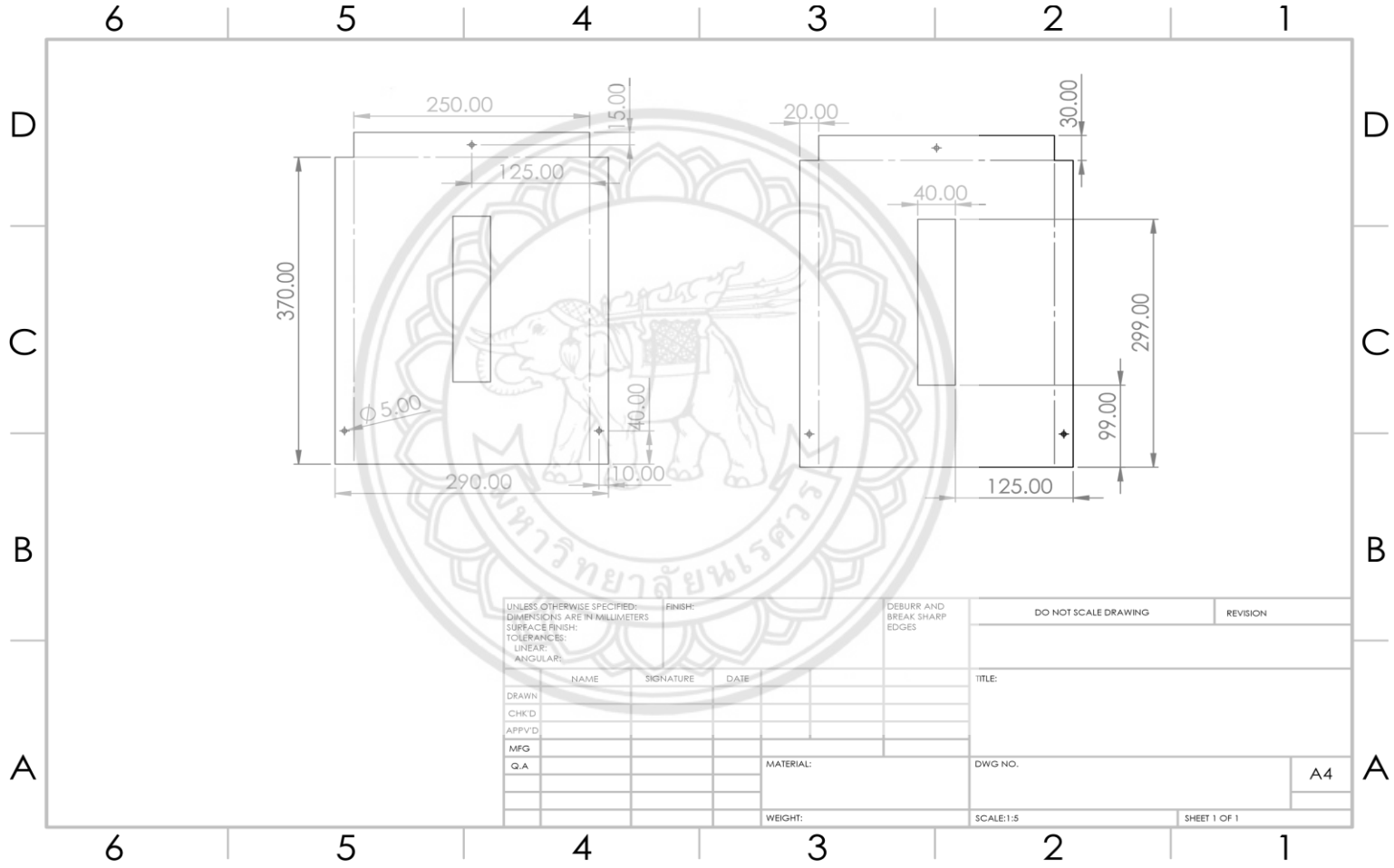
จ.8 ช่องเชื้อเพลิงยังไม่พับ



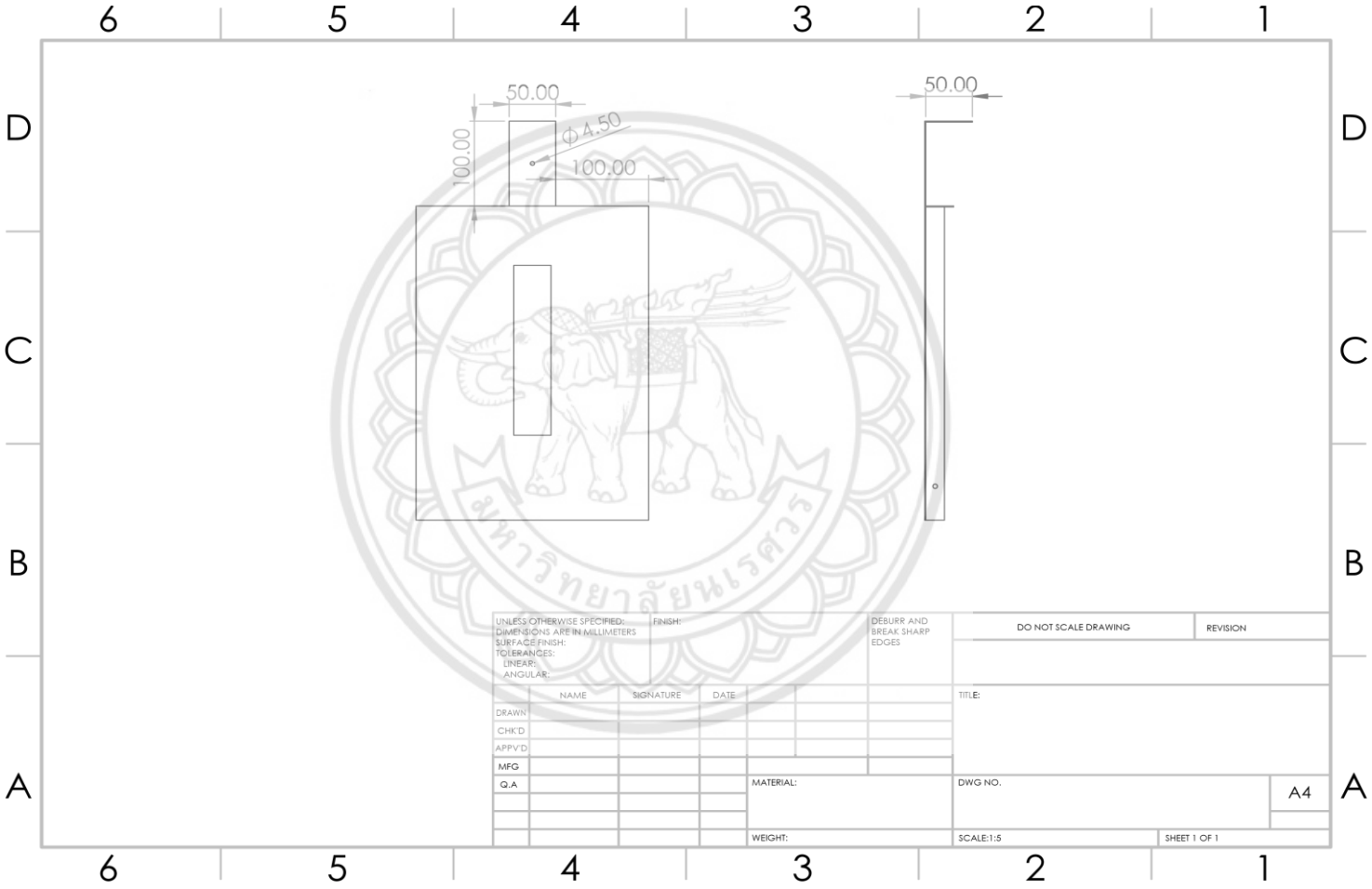
จ.9 ช่องเชื้อเพลิงพับแล้ว



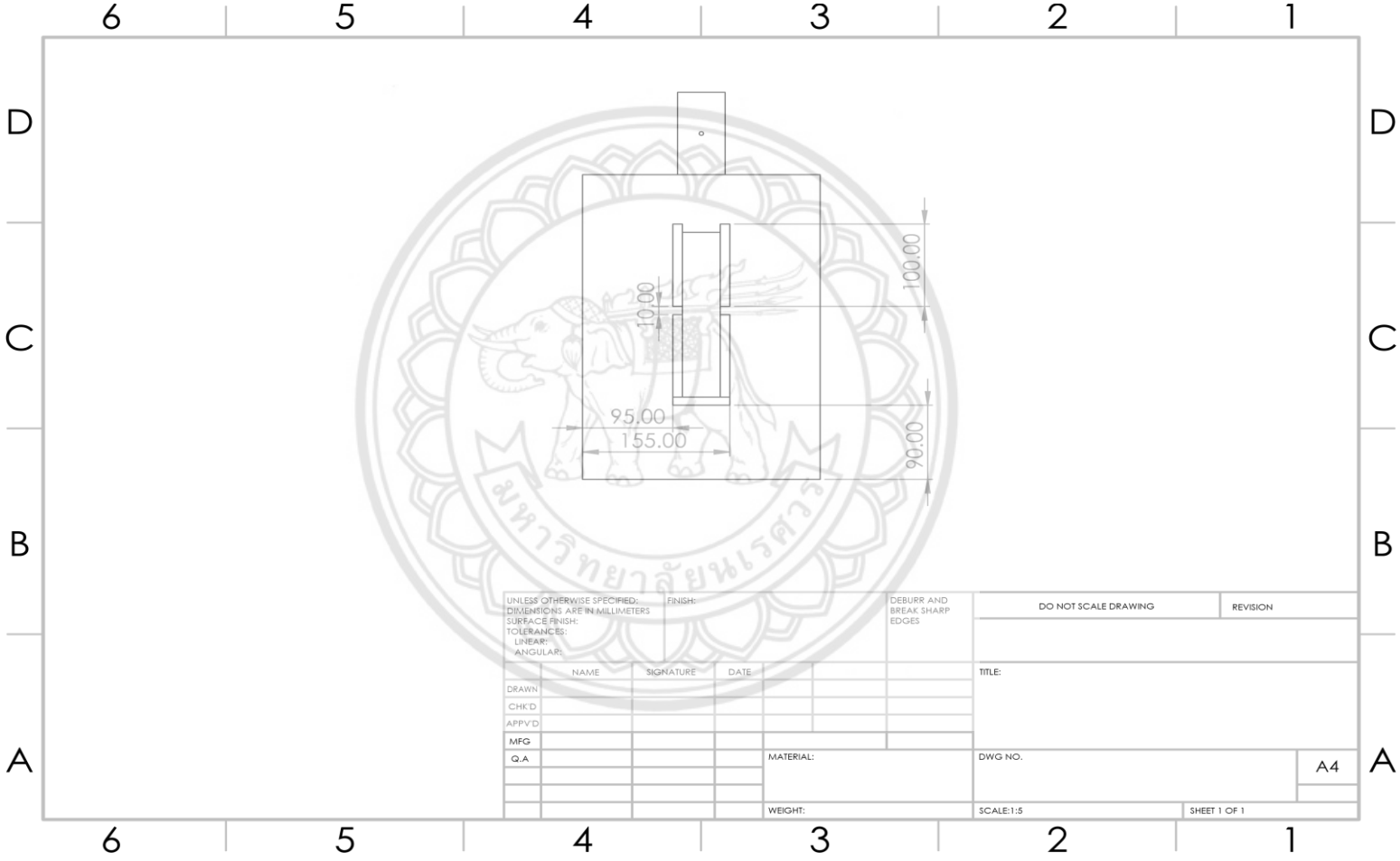
จ.10 ประตูปิด เปิด ช่องเชื้อเพลิง



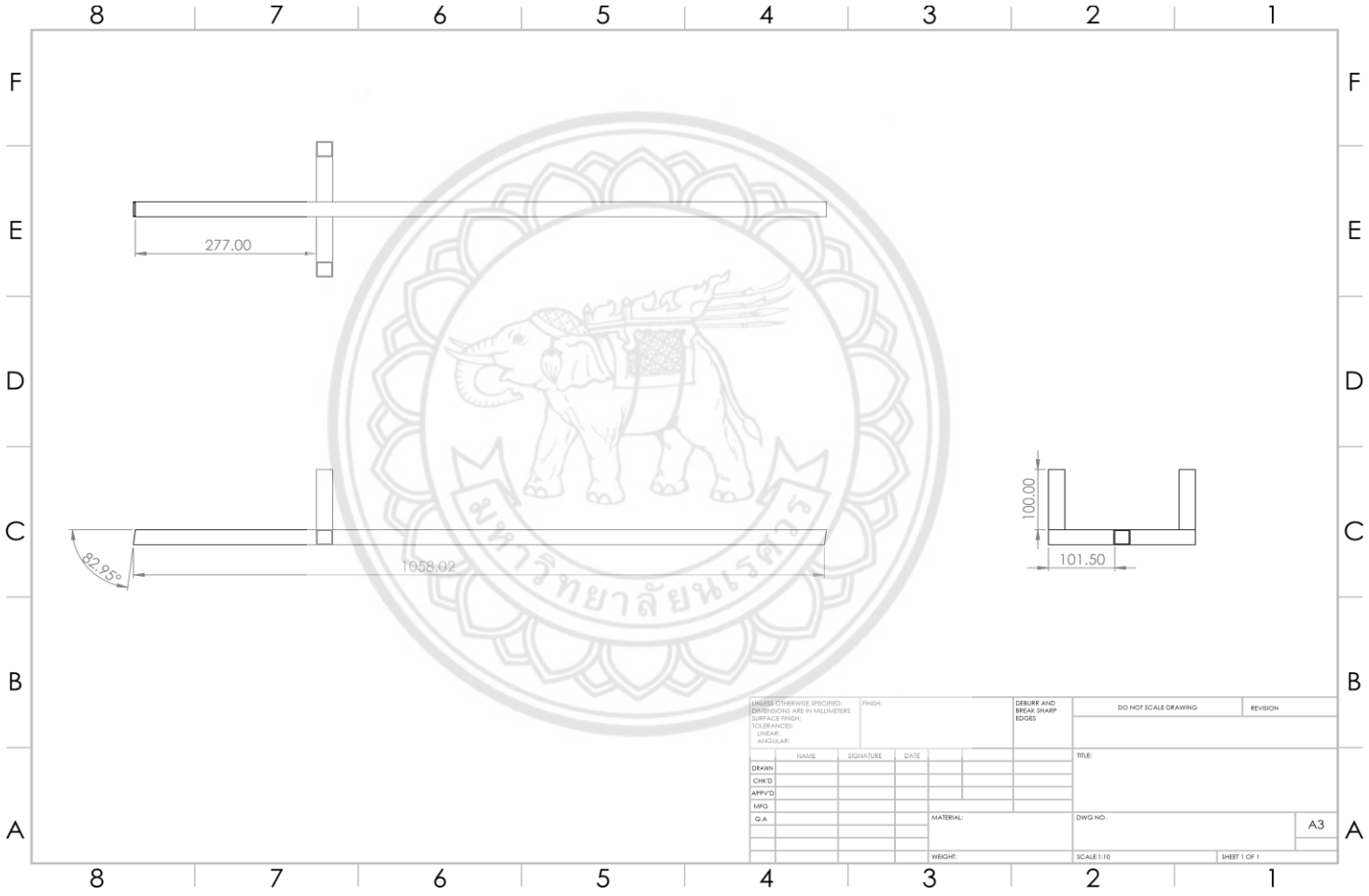
จ.11 ประตูปิด เปิด ช่องเชื้อเพลิงที่มีหู



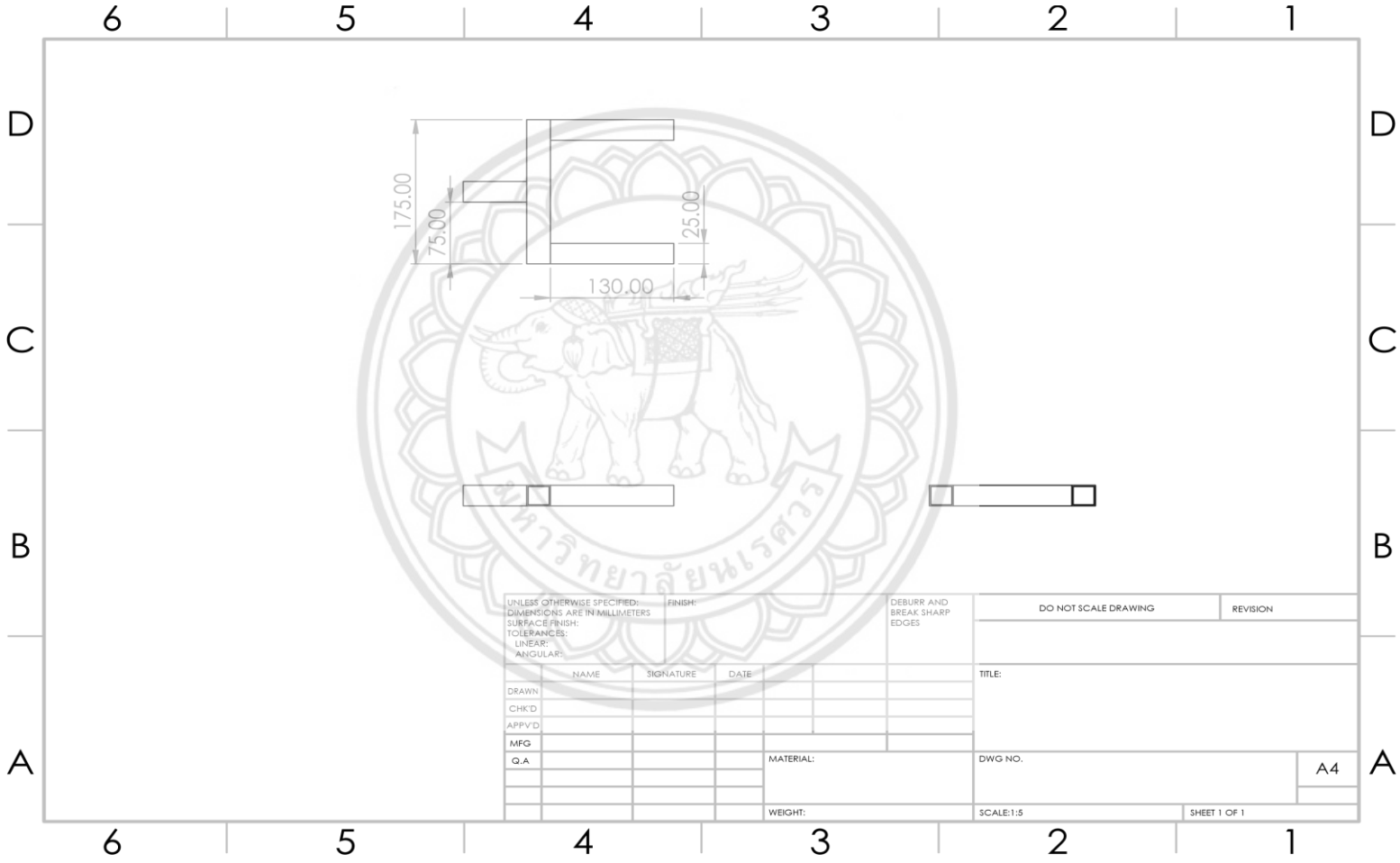
จ.12 ประตูปิด เปิด ช่องเชื้อเพลิงที่มีสล็อต



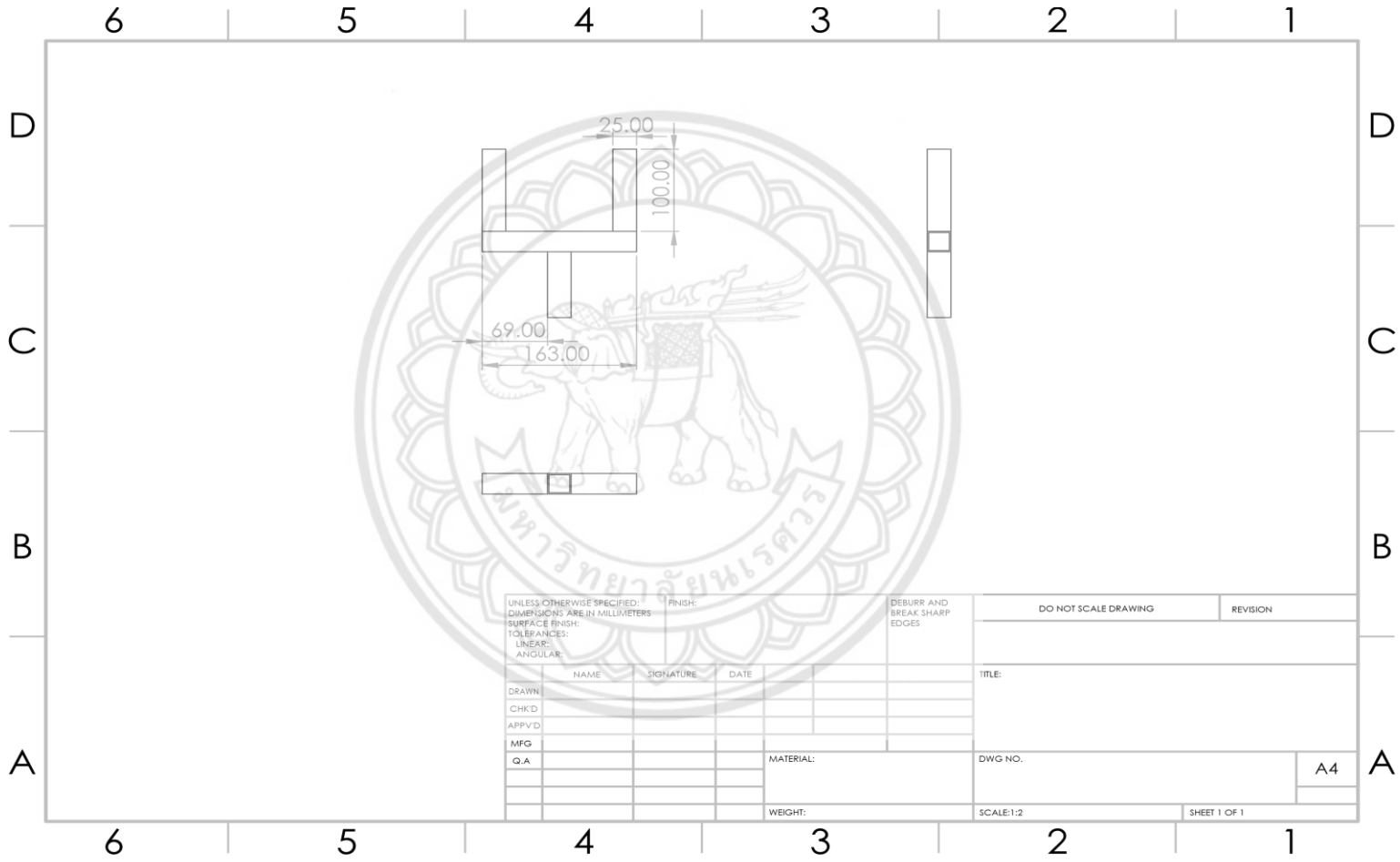
จ.13 คานรองรับถังน้ำมัน 200 ลิตร



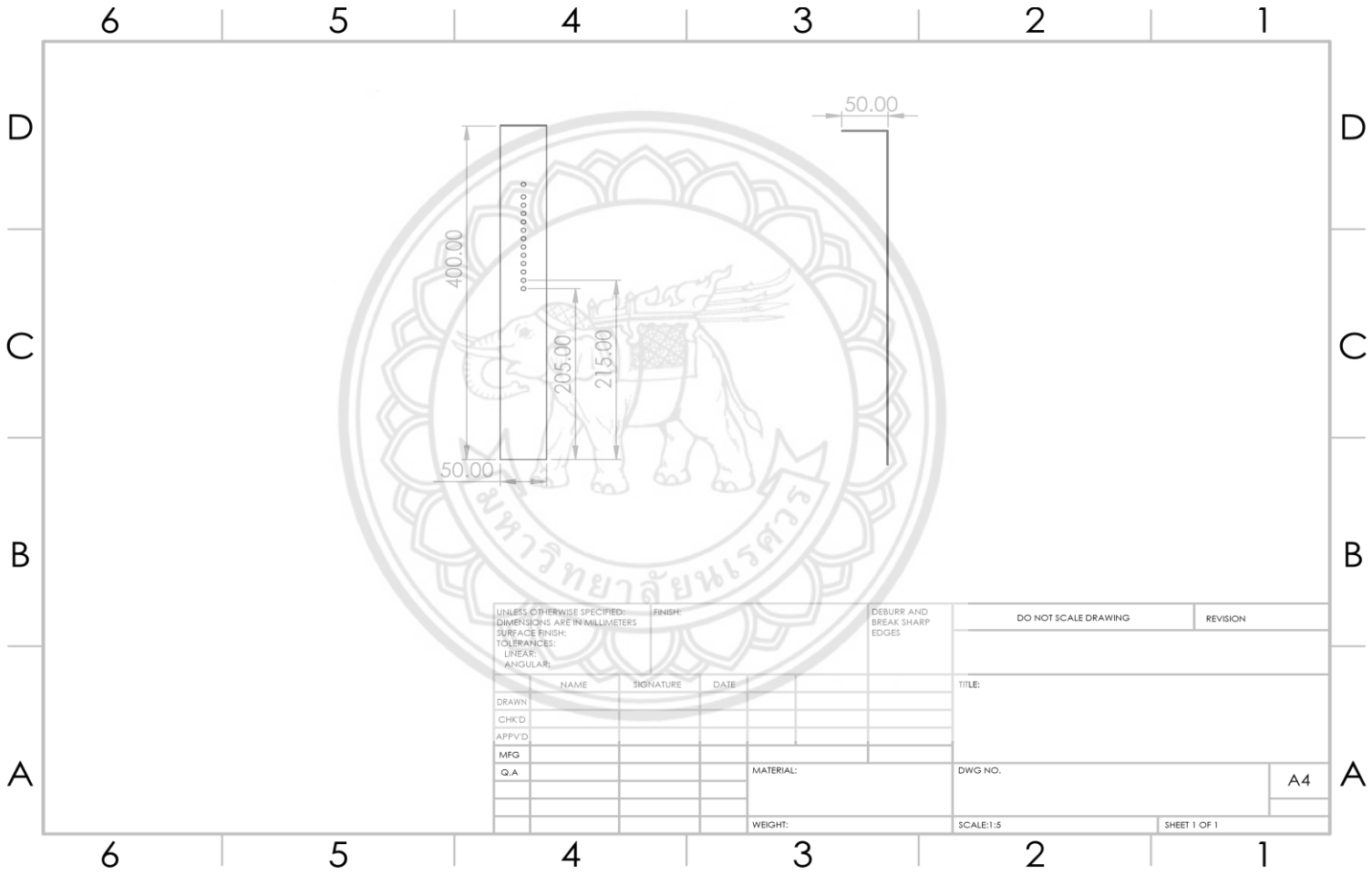
จ.14 ที่ค้ำท่อใยหินด้านบน



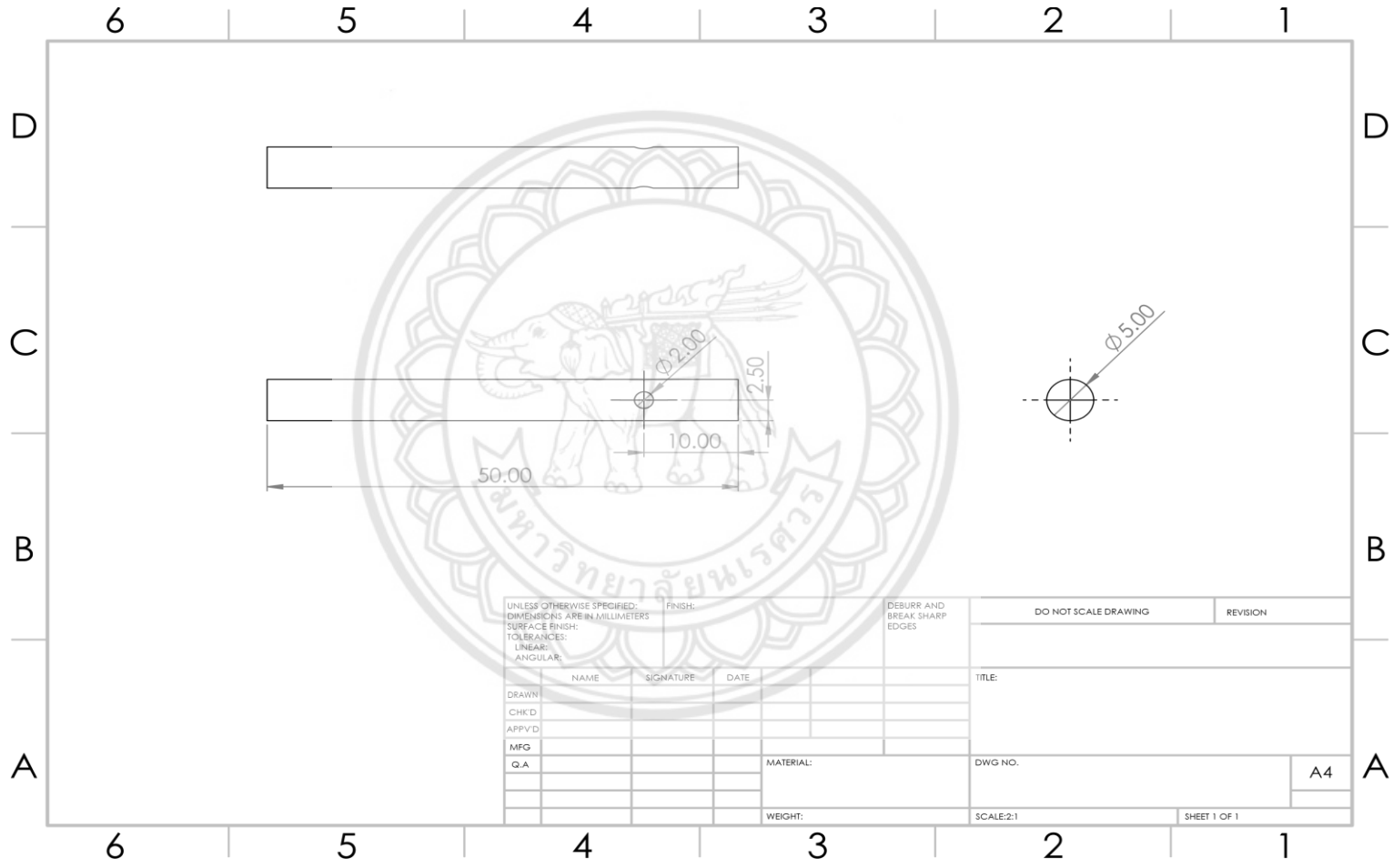
จ.15 ที่ค้ำท่อใยหินด้านล่าง



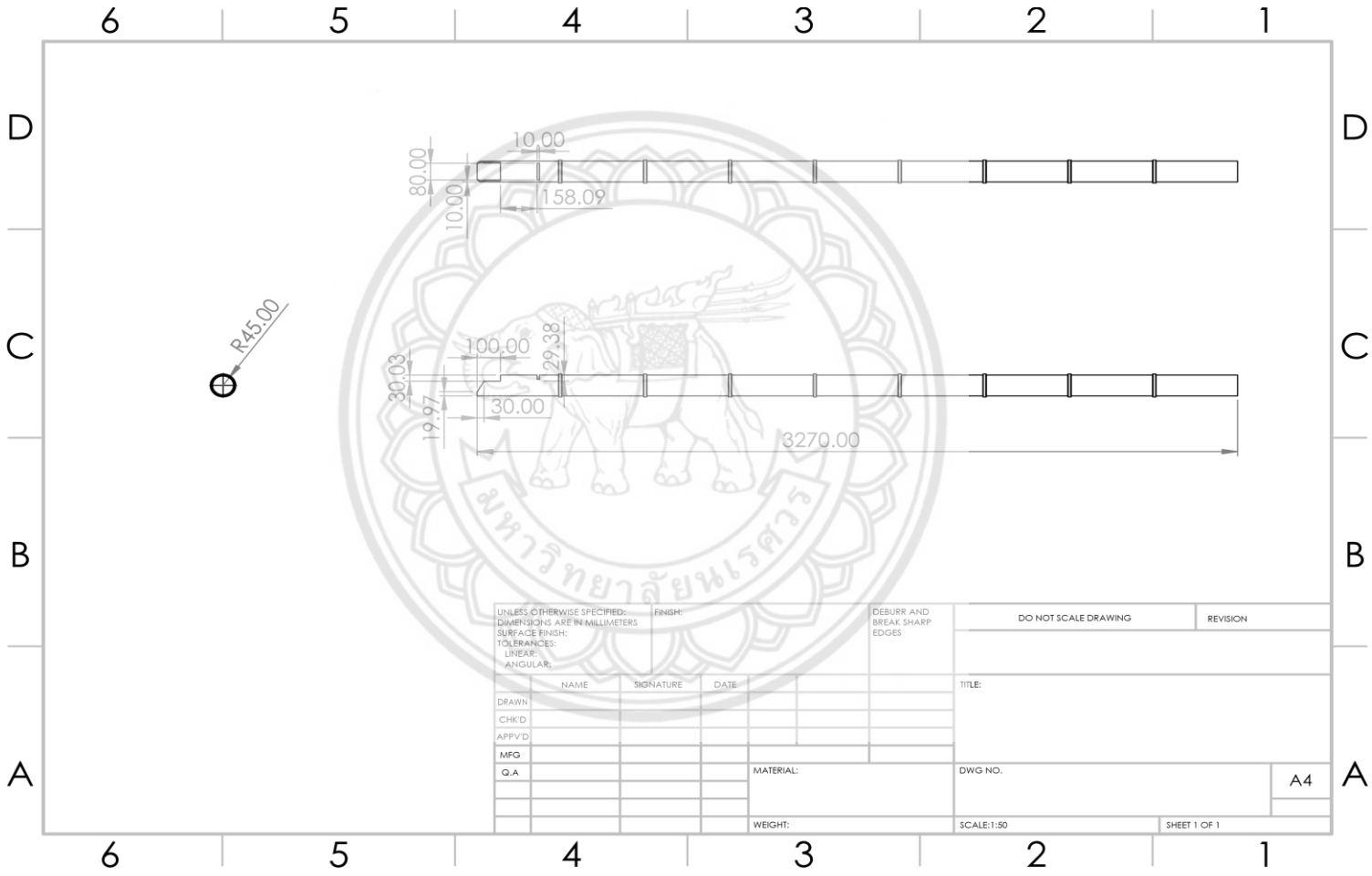
จ.16 สล็อตเลื่อน



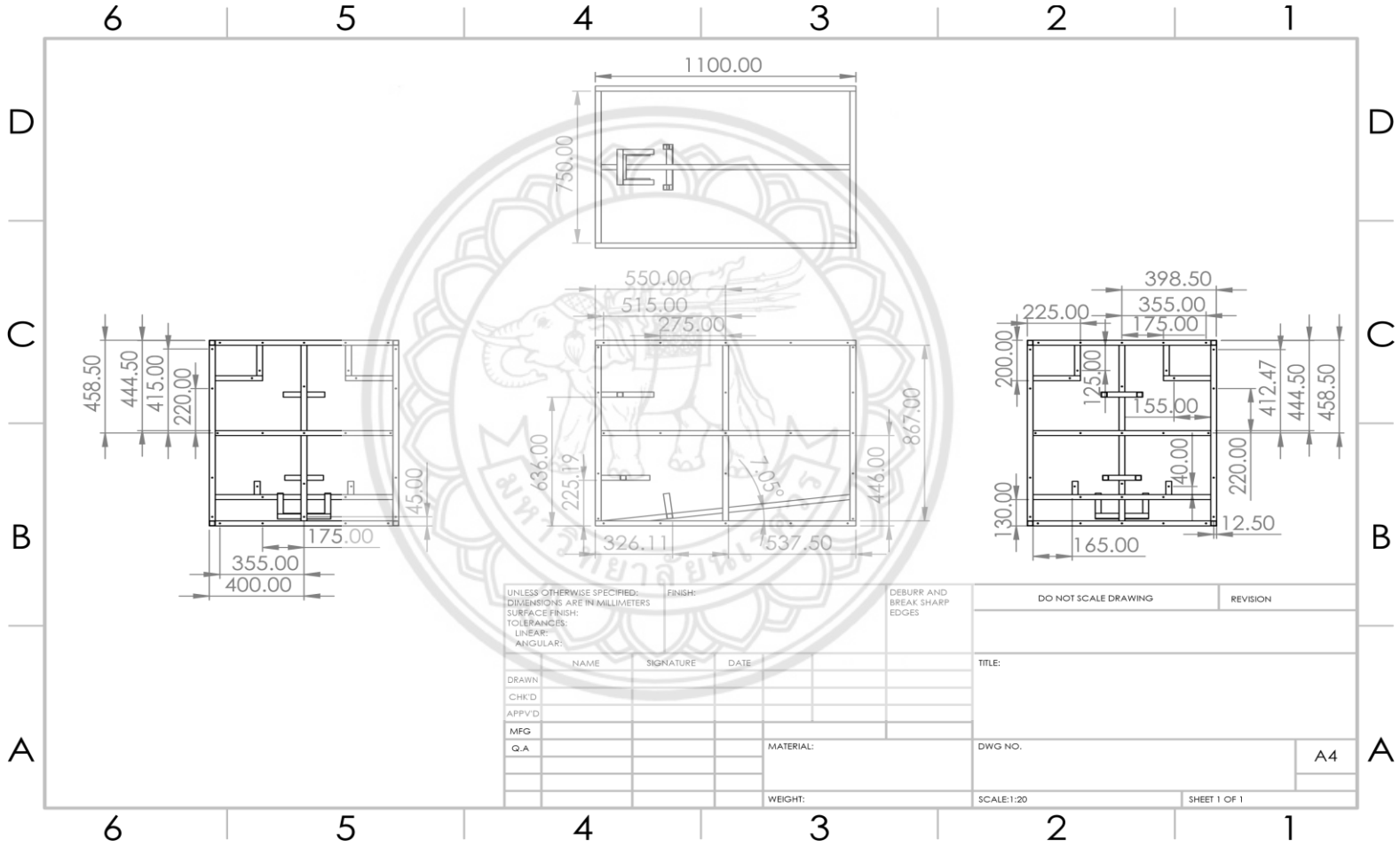
จ.17 สลัก


6
5
4
3
2
1
D
C
B
A
Ø2.00
2.50
10.00
50.00
Ø5.00
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:
FINISH:
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES
DO NOT SCALE DRAWING
REVISION
NAME
SIGNATURE
DATE
DRAWN
CHK'D
APPV'D
MFG
Q.A
TITLE:
MATERIAL:
DWG NO.
A4
WEIGHT:
SCALE:2:1
SHEET 1 OF 1

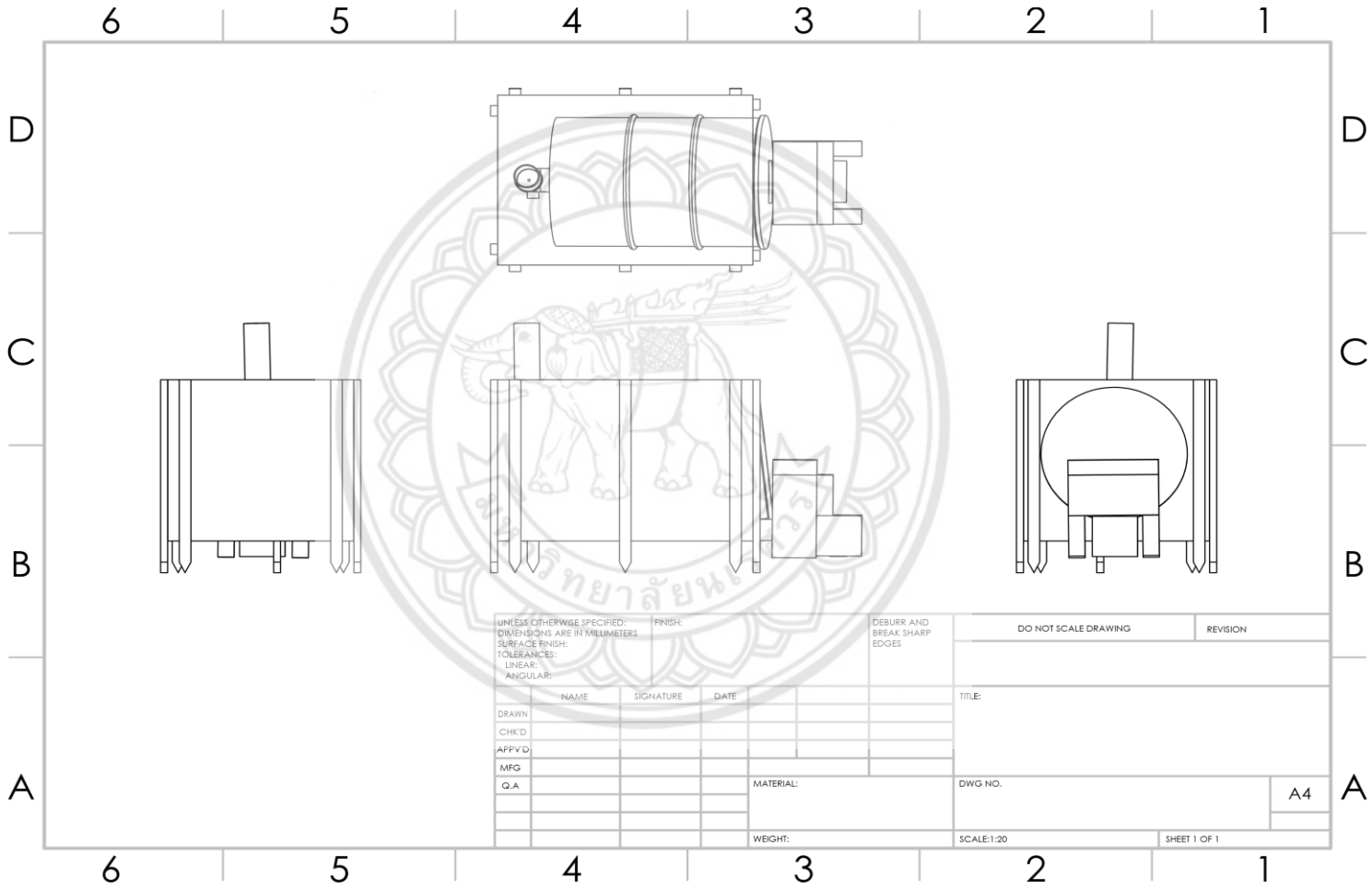
จ.18 ไม้ไผ่


6
5
4
3
2
1
D
C
B
A
10.00
80.00
10.00
158.09
R45.00
100.00
29.38
30.03
19.97
30.00
3270.00
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:
FINISH:
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES
DO NOT SCALE DRAWING
REVISION
NAME
SIGNATURE
DATE
DRAWN
CHK'D
APPV'D
MFG
Q.A
TITLE:
MATERIAL:
DWG NO.
A4
WEIGHT:
SCALE:1:50
SHEET 1 OF 1

จ.19 โครงสร้างเจาะรูเตาต้นแบบ



จ.20 3 D เตาแบบดั้งเดิม



จ.21 3 D เตาต้นแบบ