

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม

โครงการวิจัยและ พัฒนาเตาเผา ถ่านไร่ควน

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2568

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเตาเผาถ่านที่สร้างจากถังน้ำมัน 200 ลิตร
ต้นแบบที่มีการทำชุด “ห้องเผาไหม้คู่” รูปทรงตัวแอล (L-SHAPED)



กลุ่มวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตร
สำนักพัฒนาพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน

คำนำ

โครงการวิจัยและพัฒนาเตาเผาถ่านไร้ควันเล่มนี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาและพัฒนารูปแบบเตาเผาถ่านที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตถ่าน ลดระยะเวลาในการเผาไหม้ และได้ปริมาณถ่านที่มีคุณภาพมากขึ้น โดยมีแนวคิดในการสร้างเตาเผาต้นแบบจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร พร้อมการออกแบบห้องเผาไหม้คู่ (L-shaped) เพื่อเปรียบเทียบผลการทำงานกับเตาเผาถ่านที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปการดำเนินงานวิจัยมุ่งเน้นการทดลองเชิงปฏิบัติจริง ด้วยการสร้างต้นแบบและนำวัสดุชีวมวลที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ได้แก่ ไม้ กะลามะพร้าว และแกลบ มาทำการทดสอบ เพื่อศึกษากระบวนการเกิดไพโรไลซิส การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ระยะเวลาในการเผาไหม้ และผลผลิตถ่านที่ได้ โดยใช้วิธีการบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเตาทั้งสองรูปแบบ

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า เตาเผาต้นแบบมีข้อได้เปรียบทั้งด้านการประหยัดเวลา การรักษาความร้อนภายในเตา และคุณภาพของถ่านที่ได้ดีกว่าเตาทั่วไป การพัฒนาต้นแบบในครั้งนี้จึงเป็นแนวทางสำคัญที่สามารถต่อยอดไปสู่การปรับปรุงและใช้ประโยชน์ในระดับครัวเรือนและชุมชน อันจะช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยควัน และเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจด้านการพัฒนาเตาเผาถ่านไร้ควัน นักวิชาการ หน่วยงานภาครัฐ และชุมชนที่ต้องการนำไปประยุกต์ใช้จริง เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมต่อไป

ด้วยความขอบคุณยิ่ง

คณะผู้วิจัย

สารบัญเนื้อหา

เรื่อง	หน้า
คำนำ.....	ก
สารบัญ	ข
บทคัดย่อ	1
บทที่ 1 บทนำ	3
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	4
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.4 ขอบเขตการวิจัย	5
1.5 นิยามศัพท์	6
1.6 แผนการดำเนินงาน	6
1.7 ผู้รับผิดชอบโครงการ	7
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 กระบวนการเผาถ่าน	8
2.2 ลักษณะการเผาถ่านในรูปแบบต่างๆ	14
2.3 การถ่ายเทความร้อน	18
2.4 การถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อวัสดุแข็งระหว่างการเผาไหม้	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	21
3.1 วางแผนงานวิจัย	21
3.2 ขั้นตอน / วิธีดำเนินงาน	22
3.3 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	23
3.3 ทดสอบและประเมินคุณภาพของเตาเผาถ่าน	29
3.5 งบประมาณ	20
บทที่ 4 ผลการวิจัย	31
4.1 ผลการทดสอบโดยวัสดุไม้	32
4.2 ผลการทดสอบโดยวัสดุกะลามะพร้าว	35
4.3 ผลการทดสอบโดยวัสดุเกลบ	38

สารบัญเนื้อหา(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	43
5.1 อภิปรายผล	43
5.2 สรุปผลการวิจัย	44
5.3 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม.....	48
ภาคผนวก	50

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าร้อยละของส่วนประกอบทางเคมีของไม้	8
ตารางที่ 2.2 ผลกระทบของอุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันต่อผลผลิต	9
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติไม้พื้กับถ่านไม้	12
ตารางที่ 2.4 อุณหภูมิและเวลาในการเผาไหม้ชีวมวลแต่ละชนิด	14
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงงบประมาณเครื่องต้นแบบ	30
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเผาไม้	33
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกะลามะพร้าว	37
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแกลบ	40
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวัสดุ 3 ชนิด	42

สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของไม้เมื่อได้รับความร้อน	11
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของเตาหลุมผีและเตาเกลบ	15
ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะของเตาดินเหนียวก่อ	16
ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะของเตาเผาถ่าน 200 ลิตรแบบแนวตั้งและแนวนอน	16
ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะเตาเผาถ่านแบบไร้ควัน	17
ภาพที่ 3.1 เตาเผาถ่านไร้ควันแบบใส่ L ที่ขายทั่วไป	24
ภาพที่ 3.2 เตาเผาถ่านไร้ควันแบบใส่ L แบบ สองใส่เตาที่ออกแบบ	25
ภาพที่ 3.3 ภายในเตาเผาถ่านไร้ควันแบบใส่ L แบบ สองใส่เตาที่ออกแบบ	26
ภาพที่ 3.4 ใส่เตาเผาถ่าน L แบบ	26
ภาพที่ 3.5 ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร แบบมีฝาเปิดปิด	27
ภาพที่ 3.6 การสร้างใส่เตาของเตาเผาถ่าน	27
ภาพที่ 3.7 ประกอบเตาและเชื่อมต่อห้องเผาไหม้หลักและรองเข้าด้วยกัน	27
ภาพที่ 3.8 หุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยเซรามิคไฟเบอร์	28
ภาพที่ 3.9 ติดตั้งเกจวัดอุณหภูมิเพื่อวัดอุณหภูมิภายในเตาเผา	28
ภาพที่ 3.10 ต้นแบบเตาเผาถ่านแบบสองใส่เตา	28
ภาพที่ 3.11 การทดสอบและปรับปรุงต้นแบบ	29
ภาพที่ 4.1 เตาอบถ่านไร้ควันรูปแบบแนวตั้งทั่วไป และ เตาอบถ่านไร้ควันรูปแบบ (ห้องเผาไหม้คู่)	31
ภาพที่ 4.2 เตรียมการเผาวัสดุไม้	32
ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในของเตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ และเตาแบบแนวตั้งทั่วไป กับเวลาในการผลิตถ่านจากวัสดุไม้	35
ภาพที่ 4.4 ผลผลิตถ่านจากวัสดุไม้	35
ภาพที่ 4.5 การเตรียมการเผาอะลามะพร้าว	37
ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในของเตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ และเตาแบบแนวตั้งทั่วไป กับ เวลาในการผลิตถ่านจากอะลามะพร้าว	38
ภาพที่ 4.7 ผลผลิตถ่านจากวัสดุอะลามะพร้าว	38
ภาพที่ 4.8 การเตรียมการเผาเกลบ	39
ภาพที่ 4.9 กราฟอุณหภูมิ-เวลา	41
ภาพที่ 4.10 ผลผลิตถ่านจากเกลบ	41

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยและพัฒนาเตาเผาถ่านไร้ควัน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเตาเผาถ่านที่สร้างจาก ถังน้ำมัน 200 ลิตร ต้นแบบที่มีการทำชุด “ห้องเผาไหม้คู่” รูปทรงตัวแอล (L-shaped) เปรียบเทียบกับ เตาเผา แบบที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปที่สร้างจากถังน้ำมัน 200 ลิตรเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการด้วยการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นมาทดสอบเก็บข้อมูล รูปแบบเตาเผาจะทำงานโดยมีห้องเก็บวัสดุที่มิดชิด มีช่องทาง ปล่องแก๊สออกเพียงช่องเดียวขนาด 1 นิ้ว การทำงานเป็นการอบให้ความร้อนกับห้องอบ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการคายแก๊สที่มีอุณหภูมิสูงมาจุดเป็นเชื้อเพลิงจุดติดไฟได้ง่าย (กระบวนการไพโรไลซิส) การวิจัยกำหนดวัสดุเผา 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ กะลามะพร้าว และแกลบ ในการทดลองมีการจับเวลาตามช่วงการเปลี่ยนแปลง บันทึกข้อมูลทุก 15 นาทีตั้งแต่เริ่มการเผา ในการเริ่มต้นการเผาใช้เชื้อเพลิงตั้งต้นใช้น้ำมันเครื่องเก่า จุดไฟให้ความร้อนกับเตาเผาไป จนกระทั่งมีการคายแก๊สออกมาจากเตาเผาเป็นเชื้อเพลิงเผาให้ความร้อนกับห้องอบ ทำการบันทึกอุณหภูมิที่ เปลี่ยนไปตลอดช่วงเวลาที่กำหนด ในการทดสอบจะดำเนินการพร้อมกันทั้ง 2 เตา เพื่อให้มีสภาพแวดล้อมเดียวกัน ผลการทดสอบสรุปว่า 1) การเผาวัสดุไม้ด้วยเตาต้นแบบ ใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที เริ่มมีการเกิด กระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตาฯ ที่ 340 องศาเซลเซียส โดยมี อุณหภูมิสูงสุด 440 องศาเซลเซียส สิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิสเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 30 นาที ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียสและเข้ากระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง 45 นาที การเผา สมบูรณ์แบบ ได้ปริมาณถ่านร้อยละ 73 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรไม้ก่อนการเผา ในขณะที่การเผาด้วยเตา ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที จึงเริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิภายในเตาฯ ที่ 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 320 องศาเซลเซียส และไฟดับในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตาฯ ที่ 290 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที รวมเป็นเวลาในการเผาทั้งสิ้น 5 ชั่วโมง 45 นาที และคิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 40 % สังเกตด้วยสายตาพบการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ไม้ กลายเป็นถ่านประมาณ ร้อยละ 40 2) การเผาวัสดุกะลามะพร้าว ด้วยเตาเผาต้นแบบใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที จนเริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส ที่ 320 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 460 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 45 นาที ไฟดับที่เมื่อมีอุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส และเข้ากระบวนการอบถ่านจน เสร็จสมบูรณ์ เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง โดยมีช่วงระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิส 1 ชั่วโมง 45 นาที ส่วน การเผากะลามะพร้าวด้วยเตาที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปผลปรากฏว่า ใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที จึงเริ่มมี การเกิดกระบวนการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิภายในเตาฯ 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 350 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที และสิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิส เมื่ออุณหภูมิภายในเตา 280 องศาเซลเซียส ถ่านจากกะลามะพร้าว คิดเป็นร้อยละ 65 โดยปริมาตร 3) การเผาแกลบด้วยเตาต้นแบบใช้ระยะเวลา 35 นาที

เกิดกระบวนการไพโรไลซิส ที่ 330 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 430 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง 45 นาที ที่มีอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ไฟดับ มีช่วงระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิส 2 ชั่วโมง 20 นาที และการเผาแกลบด้วยเตาที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจึงเริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไล ที่ 270 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 300 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที และสิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิส เมื่ออุณหภูมิภายในเตา 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง 55 นาที ถ่านจากแกลบที่ได้ ร้อยละ 50 โดยปริมาตร ผลการเผาสมบรูณ์ สรุปในภาพรวมได้ว่าการหุ้มนวนของถังอบถ่านมีส่วนสำคัญในการสะสมความร้อนและทำให้กระบวนการไพโรไลซิสเกิดประสิทธิภาพ ประหยัดเวลา การเป็นถ่านของวัสดุเผาสมบรูณ์ และเตาเผาต้นแบบยังเป็นต้นแบบที่นำไปสู่การต่อยอดการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม (ส.ป.ก.) มีภารกิจหลักในการบริหารจัดการที่ดินให้เกษตรกรได้เข้าถึงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยการปฏิรูปที่ดิน ซึ่งที่ดินที่นำมาปฏิรูปที่ดิน ประกอบด้วย ที่ดินของรัฐ ที่ดินจากการจัดซื้อ ที่ดินได้รับบริจาค ที่ดินแต่ละประเภทมีข้อจำกัดและหลักเกณฑ์ที่ต่างกัน แต่เป้าหมายหลักของงานจัดที่ดินต้องการให้เกษตรกรได้เข้าถึงที่ดินทำเกษตรและสามารถรักษาที่ดินให้อยู่ชั่วลูกชั่วหลาน ส.ป.ก. เป็นส่วนราชการที่ทำให้ประเทศไทยได้มีการคุ้มครองพื้นที่เกษตรกรรมได้ชัดเจนอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อในการปฏิรูปที่ดินให้เกษตรกรมีความมั่นคงในการประกอบอาชีพ ส.ป.ก. ยังมีหน้าที่ในการพัฒนาพื้นที่เพื่อเพิ่มศักยภาพในการใช้ประโยชน์ที่ดินรวมถึงการสนับสนุน ส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพเกษตรกรให้มีทักษะเพียงพอที่จะทำการเกษตรได้อย่างมั่นคงและยั่งยืน

การดำเนินงานปฏิรูปที่ดินที่ผ่านมาปรากฏพื้นที่ปฏิรูปที่ดินกระจายครอบคลุมทุกภูมิภาค เกษตรกรมีการใช้ประโยชน์ที่ดินได้อย่างหลากหลาย เช่น การทำนาข้าว ปลูกพืชไร่ ปลูกพืชสวน วนเกษตร การปศุสัตว์ ฯลฯ ในการผลิตทางการเกษตรทำให้มีเศษวัสดุทางการเกษตรเกิดขึ้นจำนวนมาก บางครั้งเป็นอุปสรรคในการทำงานของเกษตรกร เพิ่มภาระให้เกษตรกรต้องหาวิธีการจัดการเศษวัสดุเหล่านั้น โดยที่ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยจากภาคส่วนต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุการเกษตร ส่วนใหญ่สรุปได้ว่าเศษวัสดุเหล่านี้สามารถนำกลับมาทำให้เกิดประโยชน์ได้ดี เช่น การนำไปทำวัสดุบำรุงดิน เป็นพลังงานชีวมวล เชื้อเพลิง ฯลฯ แต่มีการนำกลับมาใช้ได้เพียงจำนวนเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากเกษตรกรซึ่งเป็นเจ้าของ หรือผู้มีส่วนได้เสียโดยตรง ไม่มีทุน หรือมีศักยภาพในการจัดการเศษวัสดุเกษตรของตนเองต่ำ ไม่สามารถเข้าถึงเครื่องมืออุปกรณ์ที่ดี หรือเทคโนโลยีที่เหมาะสม ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการเผาทิ้งทำลายเพราะทำได้ง่ายที่สุด แต่ผลที่ตามมาสร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง และเป็นการทำลายสิ่งมีค่าโดยไม่มีเหตุผล เช่น กิ่งไม้จากการตัดแต่งกิ่งไม้ ช้างข้าวโพด ฟางข้าว กะลามะพร้าว ไม้ไผ่ เป็นต้น

ดังนั้น เพื่อการแก้ปัญหาเศษวัสดุการเกษตรที่มีจำนวนมาก วิธีการเผาถ่านจากเศษวัสดุประเภทเศษกิ่งไม้ กะลา ไม้ไผ่ หรือ อื่น ๆ สำหรับนำมาผลิตถ่านเป็นเชื้อเพลิง เป็นวิธีการที่เกษตรกรมีศักยภาพสามารถจะดำเนินการได้เอง ในอดีตเกษตรกรมีการนำกิ่งไม้ ต้นไม้มาเผาถ่านใช้ในครัวเรือนด้วยการทำเตาเผาแบบง่าย ๆ อาจจะขุดดินเป็นหลุมและมีการนำดินมาปิดทับ หรือใช้แกลบมาปิดแล้วเผา ซึ่งการเผาถ่านแบบเดิม ๆ ยังก่อให้เกิดควันจำนวนมาก จึงมีการคิดพัฒนาวิธีการเผาถ่านอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบันมีการคิดวิธีการเผาถ่านแบบไร้ควันขึ้นมา มีนักวิจัย หรือประชาชนต่างคิดรูปแบบเตาเผาให้สามารถเผาถ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มากที่สุด และที่พบเห็นโดยทั่วไปคือการนำถังเหล็กขนาด 200 ลิตร มาประดิษฐ์เป็นเตาเผาถ่าน ทั้งแบบ ถังแนวตั้ง และถังแนวนอน ในช่วงต้นของการประดิษฐ์ การเผาวัสดุโดยตรงจนกลายเป็นถ่าน เมื่อเป็นถ่านแล้ว จึงดับไฟแล้วเก็บถ่านออกมา ต่อมามีการพัฒนามาเป็นการอบวัสดุไม่ให้วัสดุที่ต้องการสัมผัสกับไฟโดยตรง และมีการนำแก๊สที่เกิดจากกระบวนการอบมาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในเตาอบ จนกว่าแก๊สจะออกมาหมด ไฟที่จุดจะมอดดับ ถ่านที่ได้จากกระบวนการอบจะมีเปอร์เซ็นต์ถ่านค่อนข้างสูงและยังคงสภาพของวัสดุไว้ เช่นเดิม

จากข้อมูลการศึกษาการใช้ถังเหล็ก 200 ลิตร มาทำเตาเผาถ่านไว้ค้น พบว่าในการเผาถ่านยังมีวัน หลงเหลืออีกจำนวนหนึ่ง และกระบวนการเผายังใช้ระยะเวลานาน จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่ายังสามารถ พัฒนาเตาเผาถ่านแบบไร้ควันจากถังเหล็ก 200 ลิตร ให้มีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่าที่ผ่านมา คณะผู้วิจัย จึงมีแนวคิดที่จะทำการวิจัยและพัฒนาเตาเผาถ่านแบบไร้ควัน โดยคาดหวังให้เกษตรกรสามารถนำเทคนิค วิธีการ และความรู้ที่เกิดขึ้นไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นปัจจัยที่เอื้อให้เกษตรกรสามารถนำเศษวัสดุการเกษตรใน แปลงของตัวเอง มาสร้างมูลค่าที่สูง ช่วยเพิ่มรายได้อีกช่องทางหนึ่ง โดยการเผาถ่านแบบไร้ควัน ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างเตาเผาถ่านแบบไร้ควันจากถังเหล็กเก่า ขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ชุด ประกอบด้วย

- (1) เตาเผาถ่านแบบไร้ควันที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จำนวน 1 ชุด
- (2) สร้างเตาเผาถ่านที่ได้รับการออกแบบพัฒนาขึ้นใหม่ตามแนวคิด จำนวน 1 ชุด

1.2.2 เพื่อทดสอบเก็บข้อมูลเปรียบเทียบการเผาเศษวัสดุเกษตร จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ เศษกิ่งไม้ แคะลามาพร้าว จากเตาทั้ง 2 ชุด (ตามข้อ 1) เพื่อหาระยะเวลาการเผา สังเกตปริมาณควันที่ออกมา เปอร์เซ็นต์ถ่านที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อนเผา

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาถ่านจากเตาทั้ง 2 ชุด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้เตาเผาถ่าน 2 ชุด โดยเป็นเตาเผาถ่านแบบที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และเตาเผาถ่านที่ได้รับการ พัฒนาจากคณะผู้วิจัย อย่างละ 1 ชุด เพื่อใช้สำหรับการทดสอบการทำงาน

1.3.2 มีข้อมูลผลการทดสอบการทำงานของเตาเผาทั้ง 2 ชุด โดยเป็นการทดสอบวัสดุชนิด และน้ำหนัก เท่ากัน จำนวน 3 รายการวัสดุ คือ แกลบ เศษกิ่งไม้ และแคะลามาพร้าว

1.3.3 มีผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาถ่านแบบที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เปรียบเทียบกับเตาเผาที่ได้รับการพัฒนาขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

- 1) ศึกษาข้อมูลทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการเผาถ่านแบบไร้ควัน (Carbonization)
- 2) ศึกษาข้อมูลทฤษฎีเกี่ยวกับการประดิษฐ์เตาเผาแบบไร้ควัน

1.4.2 ขอบเขตในการสร้างชุดต้นแบบ ในการสร้างชุดต้นแบบ มีองค์ประกอบหลังประกอบด้วย

- 1) ชุดเตาเผาถ่านแบบถ่านน้ำมันขนาด 200 ลิตร โดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง
- 2) ฉนวนกันความร้อนเซรามิกส์ ไฟเบอร์ หนา 10 มม.
- 3) เครื่องวัดอุณหภูมิ สเตนเลส 50-500 องศาเซลเซียส

1.4.2 ขอบเขตการทดสอบและเก็บข้อมูล

- 1) เปอร์เซ็นต์ของถ่านที่ได้จากการเผา จากเตาเผาทั้ง 2 ชุด
- 2) เปรียบเทียบปริมาณควันไฟที่ลดลง (จากการสังเกต) โดยการทดสอบซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องเช่นเดียวกัน ทั้ง 2 ชุด
- 3) เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการเผา โดยการทดสอบในเวลาเดียวกัน ในสถานที่เดียวกัน วัสดุเผาชนิดเดียวกัน
- 4) เปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวนอกของเตาเผาถ่าน ทั้ง 2 ชุด

1.4.3 เงื่อนไขในการทดสอบ

- 1) ช่วงเวลาทดสอบเป็นเวลาเดียวกัน ทำพร้อมกันตามชนิดของวัสดุตามที่กำหนด
- 2) ทดสอบวัสดุชนิดเดียวกัน มีปริมาณเท่ากันโดยการชั่งน้ำหนัก
- 3) การทดสอบโดยการสังเกตจากการจุดติดไฟเมื่อมอดดับเป็นจุดสิ้นสุดการเผาไหม้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้เตาเผาถ่าน 2 ชุด โดยเป็นเตาเผาถ่านแบบที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และเตาเผาถ่านที่ได้รับการพัฒนาจากคณะผู้วิจัย อย่างละ 1 ชุด เพื่อใช้สำหรับการทดสอบการทำงาน

1.5.2 มีข้อมูลผลการทดสอบการทำงานของเตาเผาทั้ง 2 ชุด โดยเป็นการทดสอบวัสดุชนิด และน้ำหนักเท่ากัน จำนวน 3 รายการวัสดุ คือ แกลบ เศษกิ่งไม้ และกะลามะพร้าว

1.5.3 มีผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาถ่านแบบที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เปรียบเทียบกับเตาเผาที่ได้รับการพัฒนาขึ้น

1.6 นิยามศัพท์

1.7 ผู้รับผิดชอบโครงการ

- | | |
|------------------------------|--|
| 1) นายวุฒิชัย แพงคำรัก | วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ (หัวหน้าโครงการ) |
| 2) นางสาวโชติวรรณ พัฒนจันทร์ | วิศวกรการเกษตรชำนาญการ |
| 3) นางธันวมาส พะสีนาม | วิศวกรการเกษตรปฏิบัติการ |
| 4) นายสิทธิพันธ์ บานเย็น | วิศวกรการเกษตรชำนาญการพิเศษ |
| 5) นายวิสุทธิ เลิศไกร | ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาระบบการเกษตรในเขตปฏิรูปที่ดิน |
| ที่ปรึกษาโครงการ (ถ้ามี) | |
| 1) นายสรเพชร พูลศิริ | ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน |

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการเผาถ่าน

2.1.1 ความหมายของการเผาถ่าน

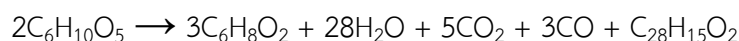
การเผาถ่าน (Carbonization) หมายถึง กระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนหรือถ่านหินของสารนั้น โดยอาศัยความร้อนในการสลายพันธะหรือการแยกตัวในภาวะอับอากาศ องค์ประกอบทางเคมีของไม้ส่วนประกอบหลัก ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประมาณร้อยละ 65 - 75 ลิกนิน (Lignin) ประมาณร้อยละ 18 - 25 น้ำ (Water moisture) และธาตุโลหะหนักอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ในส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตจะประกอบไปด้วยเซลลูโลส (Cellulose) ประมาณร้อยละ 40 - 50 และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ประมาณร้อยละ 25 - 35 คาร์โบไฮเดรตและลิกนินจะยึดกันด้วยพันธะที่แข็งแรง ในขณะที่น้ำจะจับตัวกับโมเลกุลของเซลลูโลสและลิกนินอย่างหลวม ๆ โดยไม้แห้งจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 - 18 ในขณะที่ไม้สดจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 40 - 100 เซลลูโลสส่วนใหญ่จะเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีโมเลกุลของกลูโคส (Glucose) จับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นโครงสร้างผลึกเชิงเส้น มีจำนวนของดีกรีโพลีเมอร์ตั้งแต่ $n = 3 - 10$ มีความต้านทานต่อกรดและด่าง ส่วนเฮมิเซลลูโลสจะเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่มีจำนวนดีกรีโพลีเมอร์มากกว่า ($n = 50 - 200$) สามารถละลายได้ในสารละลายเบส และลิกนินเป็นสารจำพวกยูนิตฟีนิลโพรเพน (Phenylpropane unit) และอนุพันธ์ที่เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน สัดส่วนของเซลลูโลสเฮมิเซลลูโลสและลิกนินต่างกันตามชนิดของไม้ ซึ่งไม้เนื้ออ่อนมีเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน มากกว่าไม้เนื้อแข็ง ยกเว้นไม้ยูคาลิปตัสจะมีเซลลูโลสน้อยกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าร้อยละของส่วนประกอบทางเคมีของไม้

ชนิดไม้	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
ไม้เนื้ออ่อน	45 - 50	25 - 50	25 - 35
ไม้เนื้อแข็ง	45 - 55	24 - 40	18 - 25
ยูคาลิปตัส	45	30	30

ที่มา: ดัดแปลงจาก Glazer และ Nikaido, 2007:435

การให้ความร้อนภายในได้สภาวะบรรยากาศ ที่เรียกว่า กระบวนการเผาถ่าน หรือ คาร์บอนไนเซชัน จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิตั้งแต่ 280 องศาเซลเซียสขึ้นไป อธิบายได้ด้วยสมการเคมี



นั่นคือความร้อนจะทำให้ไม้เป็นเซลลูโลส และเอมิเซลลูโลส กลายเป็นถ่าน พร้อมกับปลดปล่อยหรือแยกส่วนประกอบอื่น ๆ ออกมา ได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และน้ำมันดินหรือทาร์ (tars) โดยจะขับออกมาเป็นจำนวนมากในรูปของไอน้ำ ก่อนที่จะเกิดกระบวนการเผาถ่าน ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส จะมีน้ำเหลืออยู่ในเตาเพียงเล็กน้อย ซึ่งปริมาณน้ำที่อยู่ในถ่าน เป็นปัจจัยหนึ่งของการบอกคุณภาพของถ่าน

เมื่อไม้ที่ฟืนและถูกเผาจนมีอุณหภูมิประมาณ 280 องศาเซลเซียส ไม้จะเกิดการลุกไหม้ได้เองอย่างต่อเนื่องจนหยุด เมื่อได้ทาร์และส่วนประกอบอื่น ๆ ดังสมการข้างต้นโดยจะได้อุณหภูมิสูงสุด ประมาณ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิระดับนี้ยังทำให้ซี้เก้ออยู่ประมาณร้อยละ 3 - 5 และน้ำมันดิน ประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ในขณะที่มีถ่านอยู่ร้อยละ 65 - 70 เมื่ออุณหภูมิของการเผาถ่านสูงขึ้น หรืออุณหภูมิของการเกิดกระบวนการคาร์บอนไนเซชันสูงขึ้น จะทำให้ได้สัดส่วนของถ่านเพิ่มขึ้น ปริมาณเขม่าควัน และปริมาณไม้จะสูงขึ้นผลิตถ่านลดลง ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลกระทบของอุณหภูมิของกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ที่มีต่อร้อยละของผลผลิต (% Yield)

อุณหภูมิของการเผาถ่าน (องศาเซลเซียส)	ร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีของถ่านที่ได้		ร้อยละของผลผลิต (% Yield)
	คาร์บอน	เขม่าควัน	
300	68	31	42
500	86	13	33
700	92	7	30

ที่มา : ดัดแปลงจาก Glazer และ Nikaido, 2007: 435

จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลผลิตที่น้อยลงหรือขึ้น โดยพิจารณาจากปริมาณของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นและปริมาณเขม่าควันที่ลดลง สำหรับถ้ามีคุณภาพดีจะต้องการคาร์บอนจะมีปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ร้อยละ 45 ขึ้นไป นับแสดงว่าอุณหภูมิของการเผาถ่านจะต้องมากกว่า 500 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามค่าร้อยละของผลผลิตอาจจะเพิ่มขึ้นได้ ถ้าไม่มีปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นหรือเป็นไม้เนื้อแข็งที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่จะมี

ข้อเสียสำหรับถ่านจากไม้เนื้อแข็ง ก็คือ มักจะเปราะ เนื่องจากเกิดการหดตัวขณะเกิดถ่าน ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาถ่านให้ได้ทั้งร้อยละของผลผลิตและร้อยละคาร์บอนสูง ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 450 - 500 องศาเซลเซียสและหากต้องการถ่านที่ปราศจากน้ำมันดินจะต้องเผาที่อุณหภูมิมากกว่า 600 องศาเซลเซียส

2.1.2 ขั้นตอนของเผาถ่าน

การเผาถ่านเป็นกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ที่ความร้อนไปทำให้ไม้กลายเป็นถ่านจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ดังนั้นจะต้องทำให้เกิดการเผาไหม้ในเตาที่สามารถกักออกซิเจนเข้าไปในเตาได้จะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

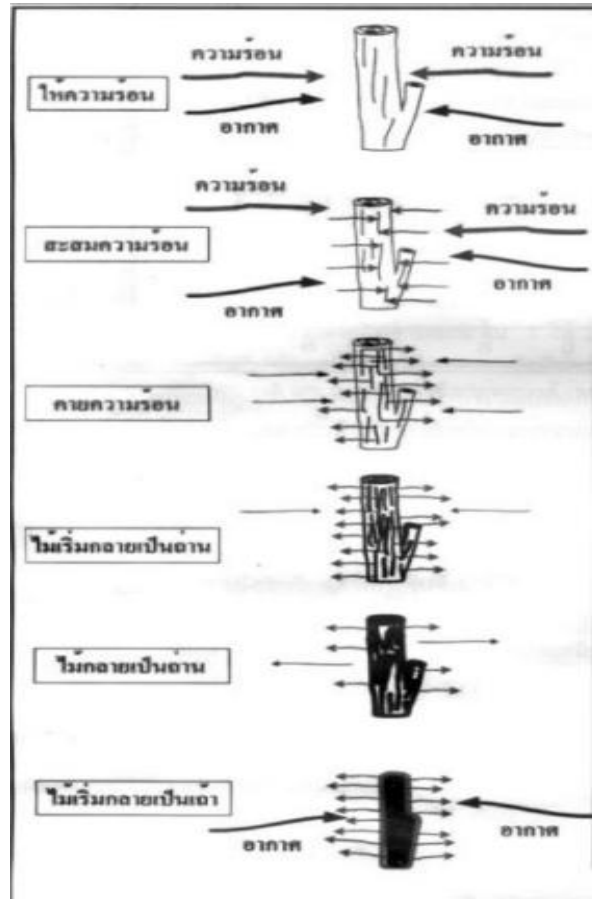
1) การไล่ความชื้นออกจากเตาถ่านให้มิดด้วยการจุดไฟบริเวณหน้าเตาโดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกระจายเข้าสู่เตาจะเป็นการไล่อากาศเย็นและความชื้นออกจากเตาและไล่ความชื้นออกจากไม้ในช่วงนี้ไฟจะคายน้ำออกมาสังเกตเห็นควันเป็นสีขาวและมีไอน้ำปนออกมาไม่มีกลิ่นฉุนและไม่แสบตา อุณหภูมิหน้าเตาจะค่อยเพิ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมไปจนถึง 180 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิภายในเตาจะสะสมเพิ่มขึ้นตามไปจนถึงประมาณ 300 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิที่ปากปล่องควันจะประมาณ 70 - 75 องศาเซลเซียส ควันสีขาวจะมีกลิ่นฉุน ซึ่งเป็นกลิ่นของกรดประเภทเมทานอลที่ถูกสลายออกมาจากเนื้อไม้

2) การทำให้ไม้กลายเป็นถ่าน เมื่อความชื้นในไม้ลดลงต่ำสุดในเตาจะคายความร้อนที่สะสมไว้เพียงพอทำให้อุณหภูมิค่อยๆ เพิ่มขึ้นจะต้องลดการให้ความร้อนที่ปากเตาจนกระทั่งหยุด สังเกตเห็นควันขาวจะจางลงจนอุณหภูมิในเตาจะต่ำประมาณ 300 - 400 องศาเซลเซียส บริเวณปล่องควันประมาณ 80 - 85 องศาเซลเซียส ช่วงนี้เหมาะจะเพิ่มในการเก็บน้ำมันควันไม่ให้อุณหภูมิปากปล่องควรจะมีค่าประมาณ 85 - 120 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กรดน้ำส้ม และเมทานอล จะถูกสลายออกมาพร้อมควัน จนกระทั่งควันเริ่มเปลี่ยนสีจากสีเทาขาวเป็นสีน้ำเงินให้หยุดเก็บน้ำส้มควันไม้ โดยอุณหภูมิภายในเตาจะมีค่าประมาณ 400 - 500 องศาเซลเซียสและปากปล่องควัน จะมีค่าประมาณ 100 - 200 องศาเซลเซียส

3) การทำให้ถ่านให้บริสุทธิ์ ขั้นตอนนี้ในช่วงที่ไม้จะสลายเป็นถ่านซึ่งต้องการอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการเปิดหน้าเตาเป็นปากเตาประมาณ 10 - 30 นาทีให้อากาศเข้าไปช่วยให้การลุกไหม้ อุณหภูมิภายในเตาจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 500 - 600 องศาเซลเซียส น้ำมันดินจะถูกสลายออกไปในช่วงนี้ จากนั้นจึงปิดช่องอากาศทุกจุดไม่ให้อากาศเข้าไปยังเตาได้

4) การทำให้ถ่านเย็นตัวจนหมด โดยการทำให้เตาคลายความร้อนออกไปสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบ แต่ไม่ให้อากาศผ่านเข้าไปในเตาจนกระทั่งเตาเย็นตัวลง และถ่านดับสนิทจึงค่อยเปิดเตาเพื่อนำถ่านออกจากเตาใช้ประโยชน์ต่อไป

ในทางปฏิบัติการเผาถ่านโดยทั่วไปจะมีขั้นตอนก่อนเผา ได้แก่ การนำไม้เข้าเตาซึ่งมาจากการศึกษาของการเรียงไม้พืน สำหรับการเผาถ่าน โดยการเรียงในแนวขนาน แนวตั้ง หรือแบบผสมพบว่าไม่มีข้อแตกต่างกัน ที่ส่งผลต่อร้อยละของผลผลิต หรือคุณภาพของถ่านแต่อย่างใด แต่การเรียงไม้พืนในเตาในแบบต่าง ๆ หากทำให้ห้องว่างปล่อยอากาศในเตามาก จะส่งผลต่อระยะเวลาในการเผาจะนานขึ้น



ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของไม้เมื่อได้รับความร้อนจนกลายเป็นถ่าน
ที่มา : (สำนักงานส่งเสริมการเรียนรู้ประจำจังหวัดมหาสารคาม, ปปม.)

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้พืนกับถ่านแล้ว พบว่า ในการใช้งานเชื้อเพลิงที่แปรรูปเป็นถ่านไม้แล้ว จะมีค่าความร้อนที่สูงกว่าและเกิดมลพิษน้อยกว่า ดังจะสามารถแสดงคุณสมบัติของไม้พืนกับถ่านไม้ได้ดังในตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างไม้พืนกับถ่านไม้

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างไม้พื้กับถ่านไม้

คุณสมบัติ	ไม้พื้	ถ่านไม้
น้ำหนัก	1 กิโลกรัม	0.25 กิโลกรัม
ค่าความร้อน	3,600 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม	7,400 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม
ปัญหาจากการเก็บรักษา	ผุพังจากเชื้อราและแมลง	ไม่มีการสูญเสีย
ระยะเวลาการเผาไหม้	เผาไหม้รวดเร็ว	เผาไหม้ได้นานกว่า
มลพิษจากการเผาไหม้	ก่อมลพิษมาก	มลพิษน้อยมาก

ที่มา : (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560)

2.1.3 คุณภาพของถ่านและผลพลอยได้

กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน จะทำให้ได้ถ่านและผลพลอยได้ คือ กรดเมทานอล ที่เรียกว่า น้ำส้มควันไม้ การวัดคุณภาพของถ่านจะใช้คุณสมบัติในการให้ความร้อน การดูดติดไฟ ปริมาณควัน หรือเขม่าควัน และปริมาณซีเถ้า แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนของถ่านในห้องปฏิบัติการ จะเป็นการวัดความความร้อนจำเพาะ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากค่าความจุความร้อนจำเพาะตามชนิดของไม้ที่เป็นวัตถุดิบในการเผาถ่าน จึงนิยมที่จะวัดความร้อนของถ่านในเตาที่ให้ความร้อนกับหม้อ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ และการให้ความร้อนของถ่านในเตาจะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่เป็นคุณลักษณะของเตาด้วยเช่นกัน ที่เตานั้นมีการถ่ายเทความร้อนดีหรือไม่อย่างไร และมีการสูญเสียความร้อนมากน้อยเพียงใด ดังนั้นการวัดคุณภาพของถ่านจึงขึ้นอยู่กับ 4 ตัวแปรสำคัญคือ

- 1) ชนิดของไม้ เนื่องจากความแข็งของเนื้อไม้จะส่งผลต่อปริมาณคาร์บอน
- 2) แหล่งวัตถุดิบ เนื่องจากการดูแลธาตุต่าง ๆ เพื่อการเจริญเติบโตของพืชจะทำให้มีแร่ธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะธาตุโลหะเจือปนอยู่ในถ่าน
- 3) กระบวนการเผาถ่าน เนื่องจากอุณหภูมิในช่วงการเปลี่ยนไม้ให้เป็นถ่าน และช่วงการทำถ่านให้บริสุทธิ์ ส่งผลต่อปริมาณคาร์บอน และปริมาณของสิ่งเจือปน โดยถ้าอุณหภูมิต่ำ จะทำให้ปริมาณคาร์บอนต่ำ และไม่สามารถขจัดสิ่งเจือปนทางเคมีออกไปได้
- 4) คุณลักษณะของอุปกรณ์และเตาสำหรับการลุกไหม้ของถ่าน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ฐานเกิดการลุกไหม้และนำความร้อนไปได้ใช้ประโยชน์ ถ้าเตามีคุณลักษณะที่ดี มีการสูญเสียความร้อนต่ำถ่ายเทความร้อนจากการลุกไหม้ไปสู่เป้าหมายได้ดีจะวัดคุณภาพของถ่านได้สูงตามไปด้วย

เกณฑ์โดยทั่วไปในการบ่งชี้คุณภาพของถ่าน จะประกอบไปด้วยค่าความชื้น ความแข็งของก้อนถ่าน การประทุปริมาณเขม่า ปริมาณน้ำมันดินและปริมาณขี้เถ้า

5) ความชื้นของการเกิดควันในเตานั้น จะมีความชื้นในถ่านดีมากปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนัก และเมื่อเปิดเตาถ่านจะดูดกลืนความชื้นได้อย่างรวดเร็วมากกว่าร้อยละ 15 ความชื้นที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดควัน (Smoke) เพิ่มขึ้น ถ่านคุณภาพดีจึงกำหนดความชื้นระหว่างร้อยละ 1 - 5 โดยน้ำหนัก

6) ความแข็งของก้อนถ่าน เกณฑ์ความแข็งของก้อนถ่านยังไม่มีข้อกำหนดเป็นมาตรฐานโดยทั่วไป ไม้เนื้อแข็งจะได้ถ่านที่มีความเปราะมากกว่าไม้เนื้ออ่อน การขนส่งจะทำให้ถ่านเกิดการแตกหักได้ง่าย ขนาดของก้อนถ่านจึงควรมีความเหมาะสมกับแต่ละประเภทของการใช้งานเนื่องจากถ่านก้อนเล็กจะถูกไหม้จนหมดได้เร็วกว่าถ่านก้อนใหญ่

7) การประทุของถ่านเมื่อจุดถ่านไฟจะกระจายเกิดการลุกไหม้ จะต้องไม่เกิดการประทุ

8) ปริมาณเขม่า (Volatile matter) โดยเขม่าเป็นอนุภาคนขนาดเล็กที่ไม่เกิดการลุกไหม้ เป็นผลมาจากอุณหภูมิการเผาถ่านไม่สูงพอที่จะทำให้ถ่านเกิดความบริสุทธิ์ ถ่านที่มีคุณภาพจะต้องไม่มีเขม่า

9) ปริมาณน้ำมันดิน อุณหภูมิในการเผาถ่านที่ต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส จะไม่สามารถขจัดน้ำมันดินออกจากถ่านได้หมด ซึ่งน้ำมันดินในถ่านเมื่อเกิดการลุกไหม้ จะทำให้อาหารเกิดสารประกอบแบบเบนโซปีเรน (Benzopyrene) และไดเบนแซนทราซีน (Dibenzanthracene) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นถ่านที่มีคุณภาพจะต้องไม่มีน้ำมันดิน

10) ปริมาณขี้เถ้า (Ash content) ชนิดของพืชที่นำมาเผาถ่านจะเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดขี้เถ้าที่ต่างกัน โดยขี้เถ้าได้แก่สิ่งที่ไม่สามารถเผาได้ จึงทำให้เกิดเป็นของเหลือได้แก่เถ้าเท่านั้นเอง ถ่านที่มีคุณภาพดีควรมีปริมาณขี้เถ้าต่ำกว่าร้อยละ 5 - 10 โดยน้ำหนัก

11) น้ำส้มควันไม้ เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านเป็นของเหลวมีสีน้ำตาลแดง กลิ่นคล้ายควันไฟ เป็นสารประกอบของฟีนอล ที่ได้จากการสลายตัวของลิกนิน มีส่วนประกอบเป็นร้อยละ 85 ที่เหลือเป็นกรดอินทรีย์อื่น ๆ มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 3

2.1.4 อุณหภูมิและเวลาในการเผาไหม้ชีวมวลแต่ละชนิด

อุณหภูมิและเวลาในการเผาไหม้ชีวมวลแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับประเภทของชีวมวลและกระบวนการที่ใช้ โดยทั่วไปการเผาไหม้ชีวมวลเพื่อผลิตความร้อนหรือแก๊สจะมีอุณหภูมิที่หลากหลายตั้งแต่ 120-200 องศาเซลเซียส ในช่วงอบแห้ง ไปจนถึง 800-1,100 องศาเซลเซียส สำหรับการแกสซิฟิเคชัน และอัตราการป้อนชีวมวลจะมีผลต่ออุณหภูมิที่ได้ เช่น ในกรณีของชีเลื่อยอัดเม็ด อัตราการป้อนชีวมวลที่ 300-700 กรัมต่อชั่วโมงสามารถให้ อุณหภูมิเปลวไฟได้ถึง 910-950 องศาเซลเซียส (วัชรกรร ใจตรง1* และมนตรี วงศ์ศิริวิทยา,2561)

ตารางที่ 2.4 อุณหภูมิและเวลาในการเผาไหม้ชีวมวลแต่ละชนิด

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิในการเผาถ่าน (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาในการเผาถ่าน (นาท)
กะลามะพร้าว	400	120
กิ่งไม้สะเดา	400	180
เปลือกมะม่วงหิมพานต์	600	60
ซังข้าวโพด	800	120
ต้นไธส	700	60

ที่มา : (ธราพงษ์ วิทิตสานต์, ม.ป.ป.)

2.2 ลักษณะการเผาถ่านในรูปแบบต่างๆ

2.2.1 เตาเผาถ่านแบบดั้งเดิม เตาหลุมกลบดิน ถือเป็นเตาชนิดแรกของโลกที่ยังคงมีใช้อยู่ถึงปัจจุบัน โดยจะมีขนาดรูปร่างและวัสดุที่ใช้กลบแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาค โดยทางภาคอีสานมักเรียกเตาชนิดนี้ว่าเตาหลุมผี ซึ่งเป็นเตาที่สามารถใช้เผาได้ทั้งไม้ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก คือจะขึ้นอยู่กับไม้ที่มีในแต่ละรอบของการเผา (7วัน/รอบ) เตาเผาประเภทนี้จะก่อสร้างง่าย มีราคาถูกและไม่ต้องดูแลรักษามาก เพราะใช้แค่การขุดดินให้เป็นหลุม แล้ววางไม้ลงในหลุมและใช้ดินกลบ แต่ก็จะมีข้อเสียคือผลผลิตและคุณภาพค่อนข้างต่ำเนื่องจากอากาศสามารถไหลผ่านวัสดุที่ใช้กลบได้ ซึ่งไม่นิยมใช้เตาชนิดนี้เผาถ่านในช่วงฤดูฝน เพราะส่วนใหญ่ชาวบ้านนิยมเผาถ่านจากเตาหลุมในที่โล่งแจ้ง จึงทำให้ต้องพักเตาในช่วงหน้าฝน ในภาคอีสานยังมีการใช้เตาอีกประเภทหนึ่งที่มีวัสดุและลักษณะวิธีการใช้งานคล้ายเตาหลุม หรือที่เรียกว่าเตาเหยียบแต่มีความแตกต่างกันที่เตาหลุมต้องขุดดินลึกประมาณ 0.5 เมตร ส่วนเตาเหยียบไม่ต้องขุดหลุมและยังมีเตาหลุมอีกประเภทที่ใช้วัสดุกลบเป็นตัวกลบ จึงเรียกเตาชนิดนี้ว่าเตากลบ การเผาถ่านแบบใช้กลบยังมีปัญหาเรื่องควันที่มีกลิ่นฉุนมากกว่าการเผา

แบบเตาหลุมผีหรือเตาเหยียบ อีกทั้งปัจจุบันเกลบมีปริมาณค่อนข้างน้อย เพราะถูกนำไปใช้ในกิจกรรมด้านการเกษตร เลี้ยงสัตว์และผลิตพลังงานชีววมวลมากขึ้น ทำให้เกลบขาดแคลนและน้อยลงลักษณะของเตาหลุมผีและเตาเกลบจะแสดงในภาพที่ 2.3 (พัชรินทร์ ฤชวรารักษ์, 2557)



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของเตาหลุมผีและเตาเกลบ

ที่มา : (พัชรินทร์ ฤชวรารักษ์, 2557)

2.2.2 เตาเผาถ่านดินเหนียวก่อ เตาดินเหนียวก่อจะมีรูปลักษณะคล้ายกับจอมปลวก โดยตัวของผนังเตาส่วนหนึ่งจะอยู่บนดิน และอีกส่วนหนึ่งจะขุดลึกลงไปต่ำกว่าระดับผิวดิน ทั้งนี้เพื่อต้องการลดปริมาณดินเหนียวที่ต้องนำมาใช้ทำผนังเตาและเพิ่มความแข็งแรงของฐานเตานั้นเอง เนื่องจากผนังฐานเตาอยู่ใต้ระดับผิวดิน โดยเตาเผาถ่านแบบดินเหนียวก่อนี้สามารถพบได้ทั่วไปในชนบทของประเทศไทย ผนังเตาที่ใช้ก่อขึ้นมาเหนือพื้นดินนั้นส่วนใหญ่จะก่อด้วยดินเหนียว แต่อาจไม่จำเป็นต้องใช้ดินเหนียวล้วน อาจใช้ดินลูกรังหรือทรายหยาบปนได้บ้างเล็กน้อย เพื่อป้องกันไม่ให้ผนังเตาแตกร้าวในระหว่างการเผาถ่าน ในกรณีที่ใช้ดินเหนียวล้วน ๆ เตาชนิดนี้จะมีการลงทุนก่อสร้างที่ต่ำมาก เพราะจะใช้ดินเหนียวที่หาได้ตามพื้นที่ทั่วไปแต่คุณภาพของถ่านที่ได้จะมีการสูญเสียมากกว่าเตาแบบอื่นและมีอายุการใช้งานไม่นานนักจะขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้างและการดูแลรักษา เช่น หากเตามีความหนาเกินไปก็จะทำให้ถ่านคายความร้อนได้ช้า และเสียเวลาในกระบวนการเผาถ่านนานขึ้น และทำให้เตาพังได้ง่าย เป็นต้น ลักษณะของเตาดินเหนียวก่อแสดงในภาพที่ 2.3 (จิระพงษ์ คูหากาญจน์, 2561)



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะของเตาดินเหนียวก่อ

ที่มา : (จิระพงษ์ คูหากาญจน์, 2561)

2.2.3 เตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร รูปแบบของเตาเผาถ่านชนิดนี้ได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมจากสำนักงานพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานพื้นที่ 7 จังหวัดอุบลราชธานี โดยนำรูปแบบและกรรมวิธีการผลิตมาจากเตาผลิตถ่านประสิทธิภาพสูง (เตาอิฐ) ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีผลผลิตถ่านประมาณ 32% มาประยุกต์ใช้กับถัง 200 ลิตร ให้ผลผลิตถ่านประมาณ 20% ต่ำกว่าเตาผลิตถ่านประสิทธิภาพสูง (เตาอิฐ) แต่จะสูงกว่าการผลิตถ่านแบบดินกลบหรือเกลบกลบ ซึ่งมีผลผลิต 18% เตาเผาถ่านประเภทนี้มีทั้งชนิดที่ใช้เผาถ่านในถังแนวดิ่งและเผาถ่านในถังที่วางแนวนอน โดยพบว่าเตาแนวดิ่งจะมีข้อดีคือสามารถเคลื่อนย้ายไปเผาถ่านในพื้นที่ต่าง ๆ ได้ ซึ่งขณะที่เตาแบบแนวนอนจะต้องหาการติดตั้งอยู่กับพื้นที่ ไม่สามารถโยกย้ายไปไหนได้ แต่เตาแนวนอนดังกล่าวนี้จะมีค่าความสามารถในการเผาและประสิทธิภาพของเตามากกว่าเตาแนวดิ่งประมาณ 1.2-1.4 เท่า และเตาแนวนอนยังมีต้นทุนถูกกว่าเตาแนวดิ่ง โดยมีต้นทุนอยู่ที่ประมาณ 600 บาท ในขณะที่เตาแนวดิ่งตามแบบมาตรฐานของกระทรวงพลังงานมีราคาสูง เริ่มต้นตั้งแต่ 2,200 บาทขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตามบางชุมชนได้มีการดัดแปลงทำเตาแนวดิ่งแบบง่าย ๆ ราคาถูกเพื่อให้ชุมชนในชนบทสามารถนำไปใช้ได้ (พัชรินทร์ ฤชวรารักษ์, 2557) ลักษณะของเตาแบบแนวดิ่งและแนวนอนจะแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะของเตาเผาถ่าน 200 ลิตรแบบแนวดิ่งและแนวนอน

ที่มา : (พัชรินทร์ ฤชวรารักษ์, 2557)

2.2.3 เตาเผาถ่านไร่คว้นชนิดแนวตั้ง คือเป็นการพัฒนาการเผาถ่านไม้ให้แปรสภาพเป็นถ่านไบโอชาร์ หรืออาจสามารถเผาให้ได้ถึงระดับถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นผลงานจากการพัฒนาของอาจารย์กมล พรหมมาก เป็นปราชญ์เกษตรกรนักคิดแห่งจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งการจัดสร้างเตาเผาถ่านของอาจารย์กมล พรหมมาก มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากและใช้วัสดุในการจัดสร้างที่ค่อนข้างน้อยมากโดยส่วนประกอบหลักๆของเตาเผาถ่านไร่คว้น จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆคือ ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร เพื่อใช้สำหรับเป็นถังชั้นนอกจำนวน 1 ถัง และถังเหล็กขนาด 100 ลิตร เพื่อใช้เป็นถังบรรจุวัตถุดิบหรือถังชั้นใน เพื่อให้ถูกอบด้วยความร้อนสูงและแปรสภาพเป็น ถ่าน จำนวน 1 ถัง เช่นกัน อีกทั้งมีการจัดสร้างปล่องควันขนาดใหญ่และความสูงมากกว่าเตาแบบชนิดตั้งทั่วไป และมีช่องสำหรับเติมเชื้อเพลิงขณะทำการเผา ถังชั้นนอกจะทำการเจาะรูทั้งด้านบนและด้านล่างบริเวณ โดยรอบของถังเพื่อให้นำอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ในส่วนของถังบรรจุวัตถุดิบจะทำการเจาะรูบริเวณก้นถัง เพื่อให้แก๊สที่เกิดจากวัตถุดิบระบายออกมาเป็นเชื้อไฟให้กับกระบวนการเผาไหม้อีกครั้งหนึ่ง เป็นลักษณะการเผา ไหม้จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ไม่จำเป็นต้องเฝ้าเตาหรือกระบวนการเผาตลอดเวลา เตาเผาถ่านมีเพียงถังเหล็ก 2 ใบเท่านั้น จึงทำให้มีต้นทุนในการจัดสร้างที่ต่ำมาก ลักษณะของเตาเผาถ่านแบบไร่คว้นจะแสดงดังใน ภาพที่ 2.5 (กมล พรหมมาก, 2560)



ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะเตาเผาถ่านแบบไร่คว้น

ที่มา : (กมล พรหมมาก, 2560)

2.3 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนมีความสำคัญกับงานทางวิศวกรรมอย่างมาก โดยเฉพาะวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมยานยนต์ และวิศวกรรมอากาศยาน ที่ลักษณะงานต้องเกี่ยวข้องกับระบบหรือชิ้นส่วนที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงต้องมีการออกแบบเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในระบบได้อย่างเหมาะสม อาทิ การออกแบบ Heat sink เพื่อถ่ายเทความร้อนบนชิ้นส่วนหรือวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ การถ่ายเทความร้อนจากเครื่องยนต์โดยอาศัยหม้อน้ำรถยนต์ซึ่งมีลักษณะคล้ายรังผึ้งระบายความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนหรือไอน้ำที่เรียกว่าหม้อไอน้ำ (boiler) การออกแบบหลังคาตัวอาคารและการเลือกใช้วัสดุที่ช่วยป้องกันความร้อน เป็นต้น โดยพื้นฐานแล้วการถ่ายเทความร้อนประกอบด้วย การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

2.3.1 การนำความร้อน คือการถ่ายเทความร้อนโดยที่ตัวกลางไม่เคลื่อนที่ เช่น ความร้อนจากกาแฟในถ้วยไหลผ่านช้อนโลหะทำมือที่จับที่ด้ามช้อนรูสีก้อน เป็นต้น การนำความร้อนเป็นปรากฏการณ์ระดับอนุภาคของสสาร เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสั่นและส่งต่อพลังงานกัน การนำความร้อนจึงเกิดขึ้นได้ในสสารทุกสถานะ ทั้งของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ความสามารถในการนำความร้อนของสสารแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกัน พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายความสามารถดังกล่าวเรียกว่า ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity: k) วัสดุที่มีค่า k สูงจะนำความร้อนได้ดี อาทิ เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม จึงนิยมนำเอามาใช้ทำภาชนะหุงต้ม หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ส่วนวัสดุที่มีค่า k ต่ำจะนำความร้อนได้น้อย อาทิ โยแก้ว ยิปซัม จึงนิยมนำมาใช้ทำฉนวนกันความร้อน เป็นต้น พื้นฐานการนำความร้อนอธิบายได้ด้วย กฎการนำความร้อนของฟูริเยร์ (Fourier law of heat conduction) ที่ว่า “อัตราการถ่ายนำความร้อนแปรผันตรงกับเกรเดียนต์ของอุณหภูมิและพื้นที่”

$$q = -kA_c \frac{dT}{dx}$$

ดังนั้น หากต้องการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำให้ได้มาก ทำได้โดยเลือกวัสดุตัวกลางที่มีค่าสภาพการนำความร้อนสูงๆ หรือเพิ่มพื้นที่หน้าสัมผัสของการนำความร้อนให้มากขึ้น

3.2.2 การพาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยที่ตัวกลางเคลื่อนที่หรือไหลไปด้วย การพาความร้อนจึงเกิดขึ้นเฉพาะกับของเหลวหรือก๊าซเท่านั้น ความสามารถในการพาความร้อนขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection heat transfer coefficient: h) ค่าอุณหภูมิแวดล้อม และขนาดพื้นที่ผิวของวัตถุที่มีการพาความร้อน โดยทั่วไปค่า h ขึ้นอยู่กับหลายพารามิเตอร์ อาทิ ความเร็วและสมบัติของตัวกลาง ซึ่งมักได้

จากการทดลองเป็นรายกรณี ค่า h มากหมายถึงการพาความร้อนได้ดี ในทางกลับกันค่า h น้อยหมายถึงพาความร้อนได้ไม่ดี พื้นฐานของการพาความร้อนอธิบายด้วย Newton's cooling law ดังนี้

$$q = hA_s(T - T_{\infty})$$

ดังนั้น หากต้องการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาให้ได้มาก ทำได้โดยเพิ่มค่า h อาจด้วยการติดตั้งพัดลมช่วยเป่า หรือเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับวัตถุที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน

3.2.3 การแผ่รังสีความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงไม่อาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อน เช่น การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก โดยทั่วไปวัตถุยิ่งมีอุณหภูมิสูงจะยิ่งแผ่รังสีความร้อนได้มาก หลักการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีอธิบายได้ด้วย Stefan-Boltzmann Law ดังนี้

$$q = \epsilon \sigma A_s T^4$$

เมื่อ σ เป็นค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ซึ่งเท่ากับ 5.6703×10^{-8} (W/m²K⁴) และ ϵ เป็นค่าสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) โดย $\epsilon=1$ สำหรับวัตถุดำ และ $\epsilon=0$ สำหรับวัตถุขาว

2.4 การถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อวัสดุแข็งระหว่างการเผาไหม้

เมื่อเกิดการติดไฟภายในเนื้อวัสดุ จะเกิดการถ่ายเทความร้อน ทั้งการนำความร้อน (Conduction) และการพาความร้อน (Convection) และ การแผ่รังสี (Radiation) หากแต่ว่าการนำความร้อนในเนื้อวัสดุจะมีความเด่นชัดมากกว่า ส่วนการนำความร้อน คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านวัตถุตัวกลาง การที่จะเกิดการนำความร้อนได้นั้น จะต้องเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิววัตถุทั้ง 2 ด้าน และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ คือ เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุล แบบสุ่ม ในการเผาไหม้ โดยใช้ถังหมุนเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนโดยใช้ทั้งเป็นตัวนำความร้อน (จักกริช กลิ่นเกษร, (2558))

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมมาส แก้วล้วน และคณะ (2564) ได้ศึกษาหาปริมาณและคุณภาพของถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไฟเลี้ยวที่มีความยาว 7.5 เซนติเมตร ความชื้นร้อยละ 27.78, 20.73 และ 13.33 โดยใช้เตาเผาถ่านแบบถังตั้งขนาด 200 ลิตร ส่วนฐานเชื่อมต่อกับชุดให้ความร้อนอุณหภูมิสูงจากเตาผลิตและหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ โดยสามารถป้อนแก๊สร้อนที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำที่ระดับอุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส ส่วนบนของ

เตาเผาเชื่อมต่อเข้ากับชุดควบแน่นแบบ Shell & Coil โดยมีอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนที่ 4 ลิตรต่อนาที แก๊สไอเสียที่ควบแน่นไม่ได้และน้ำส้มควันไม้ดิบถูกแยกออกจากกันด้วยไซโคลอน น้ำส้มควันไม้ดิบไหลเข้าสู่ถังเก็บในขณะที่แก๊สไอเสียที่ควบแน่นไม่ได้ถูกส่งไปเผาเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเตาชีวมวล การทดลองเสร็จสิ้นเมื่อไม่มีน้ำส้มควันไม้ไหลออกจากเครื่องควบแน่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ไม้ไผ่ที่มีความชื้นร้อยละ 27.78 กระบวนการคาร์บอไนเซชันจะเสร็จสิ้นในเวลา 350 นาที โดยให้มวลถ่านร้อยละ 22.38 และมวลน้ำส้มควันไม้ร้อยละ 59.25 ไม้ที่มีความชื้นสูงใช้เวลาในการเผานาน ให้ผลผลิตถ่านต่ำ แต่ให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่มาก ในทางตรงกันข้ามการผลิตถ่านด้วยไม้ที่มีความชื้นต่ำใช้เวลาน้อยกว่า ให้ผลผลิตถ่านมาก และให้น้ำส้มควันไม้ในปริมาณน้อย คุณภาพของถ่านและน้ำส้มควันไม้ที่ได้มีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) การผลิตถ่านจากไม้เลื่อยด้วยเทคโนโลยีนี้สามารถสร้างรายได้ให้เกษตรกรได้มากถึงครั้งละ 1,729 บาท

โกศล เรืองแสน และคณะ (2565) ได้วิจัยและพัฒนาเตาเผาถ่านไม้หุงต้มขนาดความจุ 750 ลิตร เพื่อให้ได้ถ่านไม้หุงต้มที่ได้มีสมบัติของปริมาณความชื้น สารระเหย เถ้า และค่าความร้อน ให้ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้ม (มผช. 657/2547) ซึ่งการทดลองแบ่งน้ำหนักของไม้พื้นจากยูคาลิปตัส ออกเป็น 3 ระดับ คือ 400, 600 และ 800 กิโลกรัม จากนั้นสุ่มวิเคราะห์แบบเจาะจงของถ่านไม้ที่ได้จากชั้นบน กลาง และล่าง พบว่า ถ่านไม้หุงต้มมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 5-11 โดยน้ำหนัก ปริมาณสารระเหยประมาณร้อยละ 20-26 โดยน้ำหนัก ปริมาณเถ้าประมาณร้อยละ 5-10 และค่าความร้อนสูงประมาณ 6243-6599 แคลอรีต่อกรัม โดยน้ำหนัก ซึ่งถ่านไม้หุงต้มที่ได้มีแนวโน้มเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้ม (มผช. 657/2547)

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเรื่อง “การศึกษาและพัฒนาเตาอบถ่านไร่คว้น” มีที่มาจากปัญหาการจัดการเศษวัสดุทางการเกษตรในพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน ซึ่งเกษตรกรจำนวนมากมักใช้วิธีเผาทำลายโดยตรง ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของคนในชุมชน อีกทั้งรัฐบาลมีนโยบายลดฝุ่น PM2.5 ซึ่งปัญหาส่วนหนึ่งมาจากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร แนวคิดในการนำเศษวัสดุมาใช้ประโยชน์ด้วยการเผาเป็นถ่านแบบไร่คว้นจึงเป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มมูลค่า ลดของเสีย และสร้างรายได้เสริมแก่เกษตรกร อย่างไรก็ตาม เตาเผาถ่านแบบดั้งเดิมยังคงมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น ใช้เวลาในการเผานาน มีควันจำนวนมาก และประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุเป็นถ่านต่ำ ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้จึงออกแบบการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาเผาถ่านไร่คว้น 2 ประเภท ได้แก่

1) เตาเผาถ่านไร่คว้นที่วางจำหน่ายโดยทั่วไป มักดัดแปลงมาจากถังเหล็กขนาด 200 ลิตร มีลักษณะการออกแบบให้ประกอบด้วยห้องเผาไหม้เพียง 1 ห้อง และใช้ไส้เตาที่มีรูปทรงตัวแอล (L-shaped) สำหรับการควบคุมทิศทางการเผาไหม้ อย่างไรก็ตาม โครงสร้างภายนอกของเตาไม่ได้มีการหุ้มฉนวนกันความร้อน ราคาจำหน่ายในท้องตลาดโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2,000 – 3,000 บาทต่อหน่วย

2) เตาเผาถ่านไร่คว้นที่พัฒนาขึ้นใหม่โดยคณะผู้วิจัย เตาเผาถ่านไร่คว้นต้นแบบที่คณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น มีแนวคิดหลักในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเผา โดยมุ่งเน้นให้สามารถสร้างอุณหภูมิภายในเตาได้สูงขึ้นภายในระยะเวลาที่สั้นลง เมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาถ่านไร่คว้นที่จำหน่ายทั่วไป มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของเตาต้นแบบมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่คณะผู้วิจัยได้ปรับปรุงการออกแบบโดยใช้โครงสร้างแบบ “ห้องเผาไหม้คู่” (dual combustion chambers) ซึ่งประกอบด้วยห้องอบ 2 ห้อง และห้องเผาไหม้ 2 ห้อง แต่มีปล่องไฟที่เล็กกว่า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและการควบคุมกระบวนการเผาไหม้ หวังผลให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพสูงขึ้นและใช้เวลาในการผลิตที่ลดลง

กำหนดวัสดุที่ใช้ในการทดสอบนั้นเป็นเชื้อใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ เศษกิ่งไม้ และกะลามะพร้าว สำหรับเป็นวัตถุดิบในการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบในด้าน ประสิทธิภาพการเผา ระยะเวลาที่ใช้ ซึ่งมีรายละเอียดกระบวนการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วางแผนกระบวนการงานวิจัย

3.1.1 วางแผนกำหนดแนวทางการดำเนินงานวิจัย

3.1.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

- 1) ศึกษาข้อมูลทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการเผาถ่านไร่คว้น (Carbonization)
- 2) ศึกษาข้อมูลทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเตาเผาแบบไร่คว้น

3.1.3 ขอบเขตในการสร้างชุดต้นแบบ ในการสร้างชุดต้นแบบ มีองค์ประกอบหลังประกอบด้วย

- 1) ประเภทของเตาเผาถ่าน โดยพัฒนาจากถังน้ำมัน ขนาด 200 ลิตร ทั้ง 2 ชุด ได้แก่ เตาเผาถ่านที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป และแบบพัฒนาขึ้นใหม่
- 2) ชุดอุปกรณ์ตัวจ่ายน้ำมันเครื่องเก่า สำหรับใช้เติมเชื้อเพลิงแก่ห้องเผาไหม้

3.1.4 ขอบเขตการทดสอบและเก็บข้อมูล

- 1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ เศษกิ่งไม้ และกะลามะพร้าว สำหรับใช้ในการทดสอบ
- 2) ปริมาณถ่าน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของถ่านที่ได้จากการเผาเปรียบเทียบโดยปริมาตร ก่อนและหลังจากเตาเผาถ่าน ทั้ง 2 ชุด
- 3) ปริมาณควันไฟที่ลดลง (จากการสังเกต) โดยการทดสอบซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องเช่นเดียวกัน จากเตาเผาถ่าน ทั้ง 2 ชุด ได้แก่แบบท้องตลาด และแบบพัฒนาขึ้นใหม่
- 4) ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา โดยการทดสอบในเวลาเดียวกัน ในสถานที่เดียวกัน วัสดุเผาชนิดเดียวกัน โดยการบันทึกเป็นช่วงเวลาและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะเมื่อห้องเผาคายแก๊สเผาไหม้ด้วยตัวเอง จนกระทั่งไฟมอดดับลง

3.2 ขั้นตอน / วิธีดำเนินงาน

3.2.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เป็นการศึกษาลักษณะองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลทฤษฎีเกี่ยวกับการกระบวนการเผาถ่านไร้ควัน (Carbonization) รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบ

3.2.3 วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาศึกษาและพัฒนาเตาอบถ่านไร้ควัน

3.2.3 ออกแบบและจัดทำแบบรูปของเครื่อง กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน สามารถตรวจสอบอุณหภูมิที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านภายในเตาเผาถ่านอย่างง่าย

3.2.4 จัดหา/จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ โดยประยุกต์ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ทั่วไป ไม่มีความซับซ้อน

3.2.5 สร้างเครื่องต้นแบบ โดยสร้างจากตามแบบรูปที่กำหนดไว้ แบบแนวคิดที่กำหนดเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการใช้ในการทดสอบเก็บข้อมูลการทำงาน

3.2.6 ทดสอบเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่เป็นการทำงานเสมือนจริงของเครื่อง เพื่อให้ทราบถึง สัดส่วนของการเกิดถ่าน หรือ ปริมาณถ่าน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของถ่านที่ได้จากการเผาจากเตาเผาถ่าน ทั้ง 2 ชุด โดยการเก็บข้อมูลจากความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาในการเผาไหม้ การควบคุมอุณหภูมิ การสูญเสียความร้อน และคุณภาพของถ่านที่ได้ เพื่อกำหนดวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาเตาต้นแบบ ได้แก่ การลดเวลาในการผลิตถ่าน เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และปรับปรุงคุณภาพถ่านให้สูงขึ้น

3.2.7 ปรับปรุงแก้ไข เป็นการปรับปรุงเครื่องต้นแบบภายหลังการทดสอบ หากมีจุดใดที่ควรปรับปรุงแก้ไข ให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

3.2.8 จัดทำเอกสารที่เกี่ยวข้อง เป็นการจัดทำเอกสารการวิจัย เพื่อเผยแพร่ผลการวิจัยในช่องทางต่าง ๆ ให้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจต่อไป

3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

3.3.1 การออกแบบเชิงวิศวกรรม

กระบวนการออกแบบเตาอบถ่านไร้ควันอาศัยหลักการ ไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่วัสดุอินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจำกัดหรือแทบไม่มีออกซิเจน ทำให้วัสดุไม่ติดไฟโดยตรง แต่เกิดการสลายตัวทางเคมีขององค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ส่งผลให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิง (combustible gases) และของแข็งที่เหลือคือถ่านคุณภาพสูง โดยมีตัวแปรในการออกแบบ ดังนี้

1) อุณหภูมิการเผาไหม้

1.1) ต้องสูงพอที่จะกระตุ้นกระบวนการไพโรไลซิส (โดยทั่วไป 350–600 °C)

1.2) ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เพื่อให้ถ่านมีคุณภาพสม่ำเสมอ

2) เวลาในการเผา

2.1) เวลาที่สั้นลงหมายถึงการถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพสูง การออกแบบระบบห้องเผาไหม้และการกระจายความร้อนเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระยะเวลา

3) การกระจายความร้อนในห้องเผาไหม้

3.1) แบบทั่วไปมีทั้ง ใส่เตาตรง และ ใส่เตาแบบตัว L เพื่อช่วยให้ความร้อนกระจายเข้าสู่ห้องอบได้ทั่วถึง

3.2) หากใช้ เตา 2 ช่องในห้องเผาไหม้เดียวกัน จะช่วยให้เกิดความร้อนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้กระบวนการไพโรไลซิสสั้นลงและใช้เวลาน้อยลง

4) โครงสร้างห้องอบและปล่อยระบายความร้อน

4.1) ต้องออกแบบให้สามารถกระจายความร้อนไปยังวัสดุเผาได้สูงสุด

4.2) ช่วยลดการสูญเสียพลังงานและควบคุมทิศทางการไหลของก๊าซเผาไหม้ได้อย่าง

มีประสิทธิภาพ

3.3.2 แนวคิดการพัฒนาเตาอบถ่านต้นแบบ

จากข้อจำกัดของเตาเผาถ่านไร้ควันที่มีจำหน่ายทั่วไป จึงได้มีการพัฒนา เตาอบถ่านแบบใส่เตาอยู่ในห้องเผาไหม้เดียว เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานความร้อนในระยะเวลาสั้น ลดการใช้เชื้อเพลิง และลดการปลดปล่อยควันสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งยังสามารถผลิตถ่านที่มีคุณภาพสูงกว่าในเวลาให้น้อยลง



ภาพที่ 3.1 เตาเผาถ่านไร้ควันแบบใส่ L ที่ขายทั่วไป

3.3.3 คำนวณขนาด ความจุ และมิติของเตาเพื่อให้เหมาะสมกับปริมาณไม้และเวลาการเผา

ตัวอย่าง การออกแบบเตาอบถ่านไร้ควัน (Dual Combustion Chambers)

ข้อมูลเริ่มต้น

- ความจุรวมเตา: 200 ลิตร $\approx 0.2 \text{ m}^3$
- ห้องเผาไหม้ 2 ห้อง ขนาดเท่ากัน $\rightarrow$ ห้องละ 0.1 m^3
- น้ำหนักไม้ต่อการเผา: 50 kg
- ความหนาแน่นของไม้: 600 kg/m^3
- ความชื้นไม้: 20% $\rightarrow$ ปัจจัย $f \approx 0.8$
- ค่าการนำความร้อนของฉนวน (เซรามิกไฟเบอร์) $k \approx 0.12 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- ความหนาฉนวน: $5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$
- พื้นที่ผิวถึงต่อห้อง (โดยประมาณ) $A \approx 1.2 \text{ m}^2$
- อุณหภูมิภายในเตา: $500 \text{ }^\circ\text{C}$
- อุณหภูมิภายนอก: $30 \text{ }^\circ\text{C}$

1) ปริมาตรห้องเผาไหม้แต่ละห้อง

$$V = \frac{W/2}{\rho \cdot f} = \frac{50/2}{600 \cdot 0.8} = \frac{25}{480} \approx 0.052 \text{ m}^3$$

2) การสูญเสียความร้อนผ่านฉนวน

$$Q_{\text{loss}} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{d} = \frac{0.12 \cdot 1.2 \cdot (500 - 30)}{0.05} \approx 1353.6 \text{ W ต่อห้อง ห้องสองห้องรวม} \approx 2.7 \text{ kW}$$

3) การไหลเวียนอากาศ

สมมติอัตราอากาศต่อเชื้อเพลิง

$$\alpha = 6 \frac{\text{kg}_{\text{air}}}{\text{kg}_{\text{wood}}}, \quad \rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{air}} = \frac{(W/2) \cdot \alpha}{\rho_{\text{air}}} = \frac{25.6}{1.2} = 125 \text{ m}^3$$

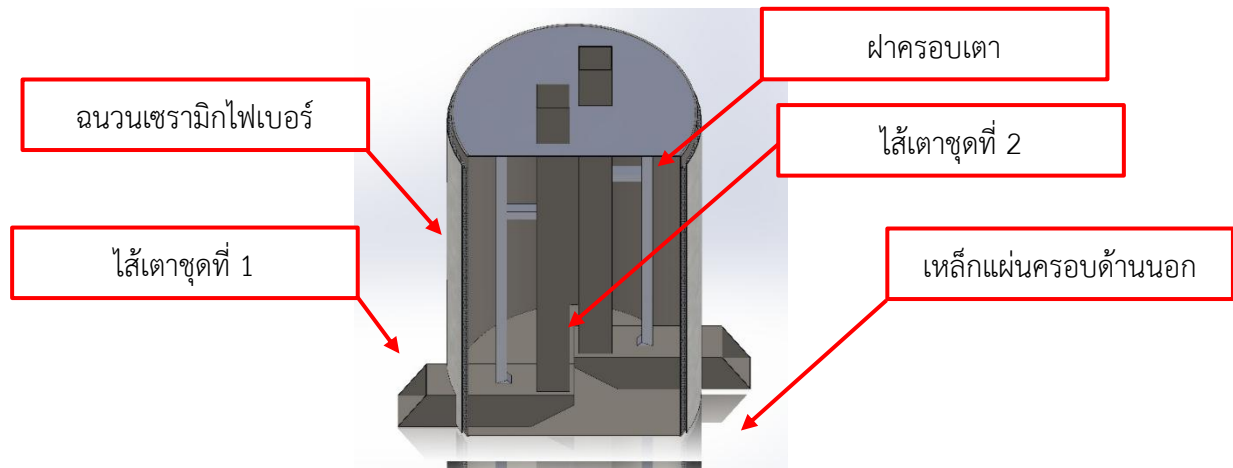
3.3.4 แนวทางการออกแบบของเตา

- 1) ใส่เตาแบบ L ใช้เหล็กกล่องขนาดท่อ 4 นิ้ว ปล่องระบายอากาศ ใช้เหล็กกล่องขนาด 3 นิ้ว
- 2) ใช้น้ำเครื่องเก่าหรือน้ำมันอื่นๆที่ใช้แล้ว เป็นเชื้อเพลิง
- 3) มีท่อสำหรับนำสารระเหยที่คลายออกจากวัสดุกลับมาเผาไหม้
- 4) ทั้งสองใส่เตามีขนาดและรูปแบบเหมือนกัน ทำให้การกระจายความร้อนสม่ำเสมอ
- 5) หุ้มฉนวนด้วยเซรามิกไฟเบอร์รอบถังและฝาถัง

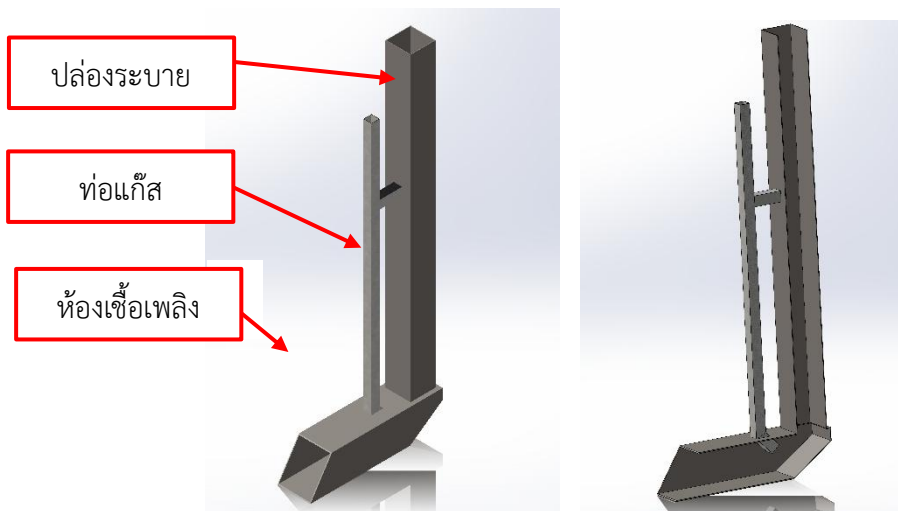
3.3.5 การออกแบบเตา



ภาพที่ 3.2 เตาเผาถ่านไร้ควันแบบใส่ L แบบ สองใส่เตาที่ออกแบบ



ภาพที่ 3.3 ภายในเตาเผาถ่านไร้ควันแบบสไลด์ L แบบ สองสไลด์ที่ออกแบบ



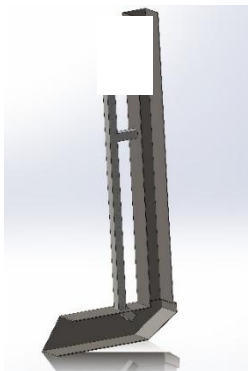
ภาพที่ 3.4 สไลด์เตาเผาถ่าน L แบบ

3.3.6 การสร้างต้นแบบ (Prototype Fabrication)

การเลือกใช้เตาเผาจากวัสดุที่หาได้ง่าย ถังน้ำมัน ขนาด 200 ลิตร เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการทดลองภาคสนามในระดับชุมชน เนื่องจากเป็นขนาดที่ สะดวกต่อการขนย้าย ใช้งาน และมีปริมาณการผลิตถ่านที่เพียงพอ ต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในครัวเรือนหรือเป็นรายได้เสริมแก่เกษตรกรในพื้นที่



ภาพที่ 3.5 ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร แบบมีฝาเปิดปิด



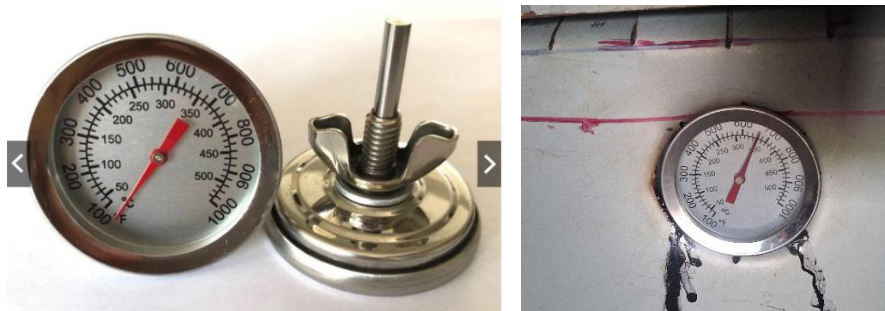
ภาพที่ 3.6 การสร้างใส่เตาของเตาเผาถ่าน



ภาพที่ 3.7 ประกอบเตาและเชื่อมต่อห้องเผาไหม้หลักและรองเข้าด้วยกัน



ภาพที่ 3.8 หุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยเซรามิกไฟเบอร์



ภาพที่ 3.9 ติดตั้งเกจวัดอุณหภูมิเพื่อวัดอุณหภูมิภายในเตาเผา



ภาพที่ 3.10 ต้นแบบเตาเผาถ่านแบบสองไส้เตา



ภาพที่ 3.11 การทดสอบและปรับปรุงต้นแบบ

3.4 ทดสอบและประเมินคุณภาพของเตาเผาถ่าน

3.4.1 อุปกรณ์และวัสดุเกษตรที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เศษไม้ เศษกิ่งไม้ กะลามะพร้าว และแกลบ ๆ
- 2) เตาเผาถ่านแบบที่ 1 (เตาเผาถ่านทั่วไป)
- 3) เตาเผาถ่านแบบที่ 2 (เตาเผาถ่านพัฒนา)
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล
- 5) อุปกรณ์บันทึกข้อมูล เช่น สมุดบันทึก กล้องถ่ายภาพ และนาฬิกาจับเวลา

3.4.2 วิธีการทดลอง

การเตรียมวัสดุ : ชั่งน้ำหนักวัสดุเกษตรแต่ละชนิดก่อนเผา โดยให้น้ำหนักเท่ากันทุกครั้ง

การทดลองเผา : นำวัสดุที่เตรียมไว้มาทดลองเผาในเตาเผาถ่านทั้งสองชุด พร้อมกัน เพื่อควบคุมเงื่อนไขให้เหมือนกัน ระหว่างการทดลองบันทึกข้อมูลดังนี้

- 1) เวลาเริ่มและเวลาสิ้นสุดการเผา
- 2) สังเกตและถ่ายภาพปริมาณควันที่ปล่อยออกมา
- 3) ปริมาณถ่านที่ได้หลังการเผา
- 4) การทำซ้ำการทดลอง
- 5) ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อวัสดุเกษตรแต่ละชนิด

3.4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ เวลาในการเผา ปริมาณควัน (สังเกต) และเปอร์เซ็นต์ถ่านที่ได้
- 2) ข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ ภาพถ่ายและการสังเกตลักษณะควันในระหว่างการเผา

3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองลงในตาราง วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการเผาระหว่างเตาเผาถ่านทั้งสองแบบ โดยพิจารณาเวลาที่ใช้ในการเผา ปริมาณควันที่เกิดขึ้น ปริมาณน้ำหนักถ่านที่ได้ นำผลการวิเคราะห์มาสรุปและจัดทำรายงานผลการวิจัย

3.5 งบประมาณ

งบประมาณนี้เป็นการกำหนดราคากลางในกรุงเทพมหานคร ราคาอาจขึ้นอยู่กับการณ์ส่งและเกรดของวัสดุ

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงงบประมาณเครื่องต้นแบบ

ลำดับที่	วัสดุที่ใช้	จำนวน	หน่วย	ราคา	ราคารวม
1	เหล็กกล่องขนาด 4 x 4 นิ้ว หนา 3.2 มม.	2	เมตร	250	500
2	เหล็กกล่องขนาด 3x 3 นิ้ว หนา 3.2 มม.	3	เมตร	220	660
3	ถังเหล็ก200 ลิตร	1	ถัง	450	450
4	เหล็กกล่องขนาด 1 x 1 นิ้ว หนา 2 มม.	3	เมตร	25	75
5	เหล็กแผ่นซิงค์	1	แผ่น	800	800
6	วาล์วเหล็ก ขนาด ¾	2	ตัว	80	160
7	เซรามิกไฟเบอร์	3	เมตร	180	540
	ราคารวม				3,185

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การศึกษาและพัฒนาเตาอบถ่านไร่คว้น มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างเตาเผาถ่านแบบไร่คว้นจากถังเหล็กเก่า ขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ชุด ประกอบด้วย (1) เตาเผาถ่านแบบไร่คว้นที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จำนวน 1 ชุด (2) สร้างเตาเผาถ่านที่ได้รับการออกแบบพัฒนาขึ้นใหม่ตามแนวคิด จำนวน 1 ชุด 2) เพื่อทดสอบเก็บข้อมูลเปรียบเทียบการเผาเศษวัสดุเกษตร จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ เศษกิ่งไม้ แกะลามะพร้าว จากเตาถึง 2 ชุด เพื่อหาระยะเวลาการเผา สังเกตปริมาณควันที่ออกมา เปอร์เซ็นต์ถ่านที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อนเผา 3) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาถ่านจากเตาทั้ง 2 ชุด เป็นการทดสอบเก็บข้อมูลการศึกษาลักษณะการกระจายอุณหภูมิในเตาอบถ่านไร่คว้น โดยใช้น้ำมันเครื่องเก่าเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะทำให้การบันทึกอุณหภูมิภายในเตาอบถ่านไร่คว้นพร้อมทั้งบันทึกความเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตเห็นได้ ตั้งแต่เริ่มจุดเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนแก่วัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตร ได้แก่ เศษกิ่งไม้ แกะลามะพร้าว และแกลบ ข้าวเปลือก จนกระทั่งการคาร์บอนไนเซชันเสร็จสมบูรณ์ โดยสามารถสังเกตได้จากก๊าซที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันเสร็จสมบูรณ์ โดยสามารถสังเกตได้จากก๊าซที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันที่ถูกวนกลับมาเผาไหม้ยังห้องเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของเตาอบถ่านไร่คว้นไม่สามารถติดไฟได้ วิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบผลการเผาทั้งสองแบบ โดยพิจารณาเวลาที่ใช้ในการเผา ปริมาณควันที่เกิดขึ้น ปริมาณน้ำหนัถ่านที่ได้ และนำผลการวิเคราะห์มาสรุปผลการศึกษาเป็นดังนี้



ภาพที่ 4.1 เตาอบถ่านไร่คว้นรูปแบบแนวตั้งทั่วไป และ เตาอบถ่านไร่คว้นรูปแบบ (ห้องเผาไหม้คู่)

4.1 ผลการทดสอบโดยวัสดุไม้

ผลการทดสอบเตาอบถ่านไร่คว้น ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไปตามท้องตลาด และ เตาอบถ่านไร่คว้นต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่) โดยการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตถ่านจากวัสดุไม้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 5-10 เซนติเมตร ดังนั้น เมื่อเริ่มให้ความร้อนที่ห้องเผาไหม้ อุณหภูมิที่ 32 องศาเซลเซียส พร้อมกันทั้ง 2 เตา พบว่า เตาอบถ่านไร่คว้นต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่) ซึ่งมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเสริม ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตา สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที จนวัสดุไม้ เริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตาที่ 340 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 440 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 30 นาที และเข้ากระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง 45 นาที ในขณะที่มีอุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิส 2 ชั่วโมง 30 นาที (ตั้งแต่แก๊สติดไฟจนจะดับไป) ระยะเวลารวมในกระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 225 นาที เมื่อปล่อยให้ถ่านคายความร้อนจนสามารถเปิดฝาเตาอบได้ พบว่า โดยมีเปอร์เซ็นต์การผลิตถ่านจากวัสดุไม้ คิดเป็นร้อยละ 73 โดยปริมาตร คิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 100 % ของไม้เต็มถึงก่อนเผา

เมื่อวิเคราะห์ผลการเก็บข้อมูลจากเตาอบถ่านไร่คว้น ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไป ไม่มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเสริม พบว่า อุณหภูมิภายในเตา สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยใช้ระยะเวลา 270 นาที หรือ 4 ชั่วโมง 30 นาที จึงเริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตา ที่ 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 320 องศาเซลเซียส และไฟดับในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตา ที่ 290 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที รวมเป็นเวลาในการเผาทั้งสิ้น 5 ชั่วโมง 45 นาที และคิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 40 % (การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ไม้กลายเป็นถ่านประมาณ ร้อยละ 40) สามารถแสดงดังตามตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบเผาวัสดุไม้ ของเตาเผาทั้ง 2 เตา



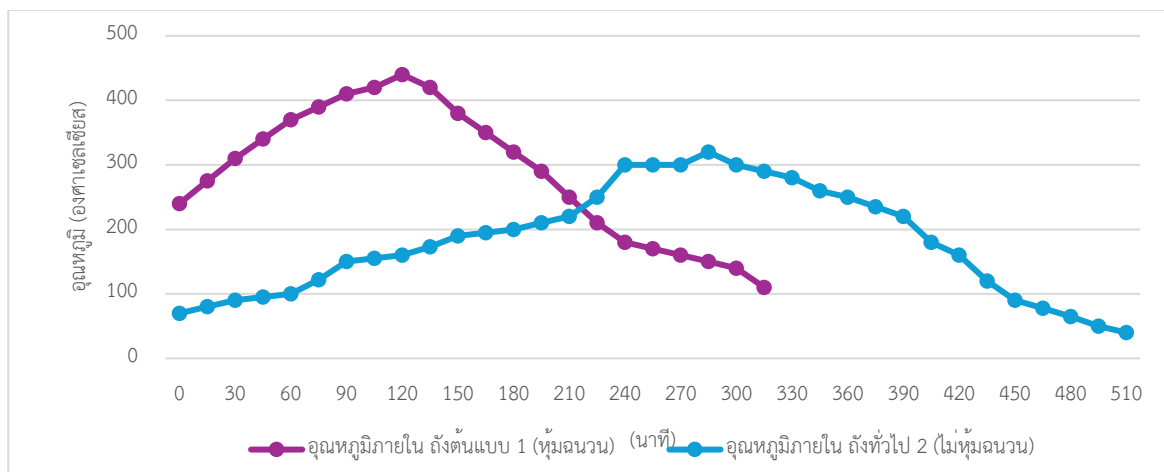
ภาพที่ 4.2 เตรียมการเผาวัสดุไม้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบเผาวัสดุไม้ ของเตาเผาทั้ง 2 เตา

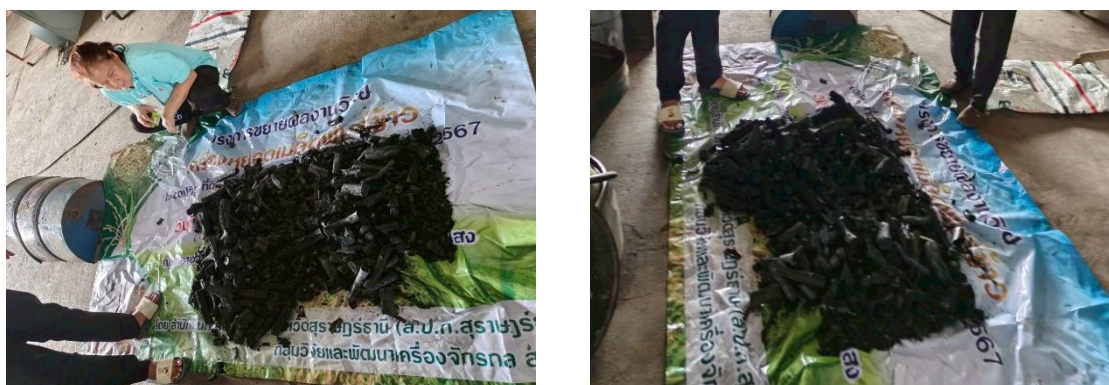
งานทดสอบเครื่องเผาถ่านไร่คว้น ปี 2568 วันที่ 15/8/2025								
ช่วงเวลา	เครื่องเผาถ่าน ถัง 1 (หุ้มฉนวน) ชนิดวัสดุ ไม้			เครื่องเผาถ่าน ถัง 2 (ไม่หุ้มฉนวน) ชนิดวัสดุ ไม้			การเปรียบเทียบ 2 ถัง	
	อุณหภูมิ (°C)		ความ ต่าง	อุณหภูมิ (°C)		ความ ต่าง	ความต่างอุณหภูมิ (°C)	
	ภายใน ถัง	ภายนอกถัง		ภายใน ถัง	ภายนอกถัง		ภายใน ถัง	ภายนอกถัง
9.00	32	31	1	32	31	1	0	0
9.15	180	40	140	55	42	13	125	-2
9.30	240	45	195	70	60	10	170	-15
9.45	275	46	229	80	72	8	195	-26
10.00	310	47	263	90	76	14	220	-29
10.15	340	51	289	95	81	14	245	-30
10.30	370	52	318	100	86	14	270	-34
10.45	390	63	327	122	92	30	268	-29
11.00	410	71	339	150	98	52	260	-27
11.15	420	77	343	155	100	55	265	-23
11.30	440	82	358	160	103	57	280	-21
11.45	420	90	330	173	104	69	247	-14
12.00	380	78	302	190	105	85	190	-27
12.15	350	70	280	195	109	86	155	-39
12.30	320	61	259	200	120	80	120	-59
12.45	290	53	237	210	125	85	80	-72
13.00	250	46	204	220	130	90	30	-84
13.15	210	43	167	250	140	110	-40	-97
13.30	180	39	141	300	150	150	-120	-111
13.45	170	38	132	300	144	156	-130	-106
14.00	160	38	122	300	140	160	-140	-102
14.15	150	37	113	320	133	187	-170	-96
14.30	140	36	104	300	130	170	-160	-94
14.45	110	34	76	290	120	170	-180	-86

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบเผาไม้ ของเตาเผาทั้ง 2 เตา (ต่อ)

งานทดสอบเครื่องเผาถ่านไร่คว้น ปี 2568 วันที่ 15/8/2025								
ช่วงเวลา	เครื่องเผาถ่าน ถัง 1 (หุ้มฉนวน) ชนิดวัสดุ ไม้			เครื่องเผาถ่าน ถัง 2 (ไม่หุ้มฉนวน) ชนิดวัสดุ ไม้			การเปรียบเทียบ 2 ถัง	
	อุณหภูมิ (°C)		ความ ต่าง	อุณหภูมิ (°C)		ความ ต่าง	ความต่างอุณหภูมิ (°C)	
	ภายใน ถัง	ภายนอกถัง		ภายใน ถัง	ภายนอกถัง		ภายใน ถัง	ภายนอกถัง
15.00	100	35		280	110	170		
15.15	85	34		260	95	165		
15.30	70	34		250	80	170		
15.45	65	34		235	70	165		
16.00	50	34		220	60	160		
16.15	25	34		180	55	125		
16.30	0	34		160	50	110		
16.45				120	49	71		
17.00				90	48	42		
17.15				78	46	32		
17.30				65	44	21		
17.45				50	41	9		
18.00				40	38	2		



ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในของเตาอบถ่านไร่คว้นต้นแบบ และเตาแบบแนวตั้งทั่วไป กับเวลาในการผลิตถ่านจากวัสดุไม้



ภาพที่ 4.4 ผลผลิตถ่านจากวัสดุไม้

4.2 ผลการทดสอบโดยวัสดุกะลามะพร้าว

ผลการทดสอบเตาอบถ่านไร่คว้น ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไปตามท้องตลาด และ เตาอบถ่านไร่คว้นต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่) โดยการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตถ่านจาก กะลามะพร้าว ดังนั้น เมื่อเริ่มให้ความร้อนที่ห้องเผา ณ อุณหภูมิที่ 32 องศาเซลเซียส พร้อมกันทั้ง 2 เตาฯ พบว่า เตาอบถ่านไร่คว้นต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่) ซึ่งมีการหมุนวนกันความร้อนเสริม ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาฯ สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที จนกะลามะพร้าวเริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตา ที่ 320 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 460 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 45 นาที และเข้ากระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เมื่อเวลาผ่านไป

3 ชั่วโมง ในขณะที่มีอุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิส 1 ชั่วโมง 45 นาที (ตั้งแต่แก๊สติดไฟจนจะดับไป) ระยะเวลารวมในกระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 180 นาที และปล่อยให้ถ่านคายความร้อนจนสามารถเปิดฝาเตาอบได้ (ที่ 50 องศาเซลเซียส) ใช้ระยะเวลาอีก 3 ชั่วโมง พบว่า โดยมีเปอร์เซ็นต์การผลิตถ่านจากกะลามะพร้าว คิดเป็นร้อยละ 65 โดยปริมาตร คิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 100 % ของกะลามะพร้าวเต็มถึงก่อนเผา

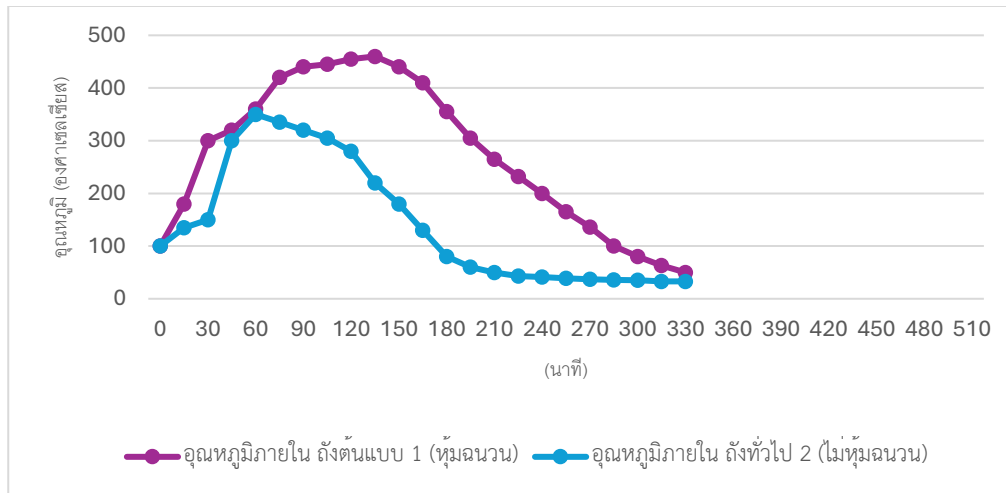
สำหรับผลทดสอบการเผากะลามะพร้าวจากเตาอบถ่านไร้ควัน ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไปขาย ตามท้องตลาด ไม่มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเสริม พบว่า อุณหภูมิภายในเตาฯ สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที จึงเริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตาฯ ที่ 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 350 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที และสิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิส เมื่ออุณหภูมิภายในเตา 280 องศาเซลเซียส ระยะเวลาจากเริ่มเผา 2 ชั่วโมง 30 นาที และคายความร้อนในเตาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง และคิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 30 % (การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ กะลามะพร้าวกลายเป็นถ่านประมาณ ร้อยละ 30) แสดงดังตามตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบเผาวัสดุกะลามะพร้าว ของเตาเผาทั้ง 2 เตา



ภาพที่ 4.5 เตรียมการเผากะลามะพร้าว

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบเผาวัสดุกะลามะพร้าว ของเตาเผาทั้ง 2 เตา

งานทดสอบเครื่องเผาถ่านไร่คว้น ปี 2568 วันที่ 15/8/2025								
ช่วงเวลา	เครื่องเผาถ่าน ถัง 1 (หุ้มฉนวน) ชนิดวัสดุ กะลามะพร้าว			เครื่องเผาถ่าน ถัง 2 (ไม่หุ้มฉนวน) ชนิดวัสดุ กะลามะพร้าว			การเปรียบเทียบ 2 ถัง	
	อุณหภูมิ (°C)		ความ ต่าง	อุณหภูมิ (°C)		ความ ต่าง	ความต่างอุณหภูมิ (°C)	
	ในถัง	นอกถัง		ในถัง	นอกถัง		ในถัง	นอกถัง
9.00	33	30	3	32	30	2	1	0
9.15	65	32	33	80	30	50	-15	2
9.30	100	55	45	100	34	66	0	21
9.45	180	63	117	135	90	45	45	-27
10.00	300	64	236	150	100	50	150	-36
10.15	320	67	253	300	150	150	20	-83
10.30	360	68	292	350	280	70	10	-212
10.45	420	70	350	335	240	95	85	-170
11.00	440	73	367	320	215	105	120	-142
11.15	445	78	367	305	190	115	140	-112
11.30	455	95	360	280	150	130	175	-55
11.45	460	97	363	220	120	100	240	-23
12.00	440	82	358	180	80	100	260	2
12.15	410	79	331	130	55	75	280	24
12.30	355	76	279	80	48	32	275	28
12.45	305	72	233	60	44	16	245	28
13.00	265	67	198	50	40	5	220	27
13.15	232	63	169	43	35	8	189	28
13.30	200	57	143	41	34	7	159	23
13.45	165	53	112	39	33	6	126	20
14.00	136	49	87	37	33	4	99	16
14.15	100	46	54	36	33	3	64	13
14.30	80	42	38	35	33	2	45	9
14.45	63	37	26	33	33	0	30	4
15.00	50	35	15	33	32	1	17	3



ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในของเตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ และเตาแบบแนวตั้งทั่วไป กับเวลาในการผลิตถ่านจากกะลามะพร้าว



ภาพที่ 4.7 ผลผลิตถ่านจากวัสดุกะลามะพร้าว

4.3 ผลการทดสอบโดยวัสดุแกลบ

ผลการทดสอบเตาอบถ่านไร้ควัน ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไป และ เตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่) โดยการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตถ่านจาก แกลบ ดังนั้น เมื่อเริ่มให้ความร้อนที่ห้องเผา ณ อุณหภูมิที่ 32 องศาเซลเซียส พร้อมกันทั้ง 2 เตาฯ พบว่า เตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่) ซึ่งมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเสริม ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาฯ สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยใช้ระยะเวลา 35 นาที จนแกลบเริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตา ที่ 330 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 430 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง 45 นาที และเข้ากระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง ในขณะที่มีอุณหภูมิ

300 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิส 2 ชั่วโมง 20 นาที องศาเซลเซียส (ตั้งแต่แก๊สติดไฟจนจะดับไป) ระยะเวลารวมในกระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 55 นาที และปล่อยให้ถ่านคายความร้อนจนสามารถเปิดฝาเตาอบได้ (ที่ 50 องศาเซลเซียส) ใช้ระยะเวลาอีก 3 ชั่วโมง พบว่า โดยมีเปอร์เซ็นต์การผลิตถ่านจากแกลบ คิดเป็นร้อยละ 75 โดยปริมาตร คิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 100 % ของวัสดุแกลบเต็มถึงก่อนเผา

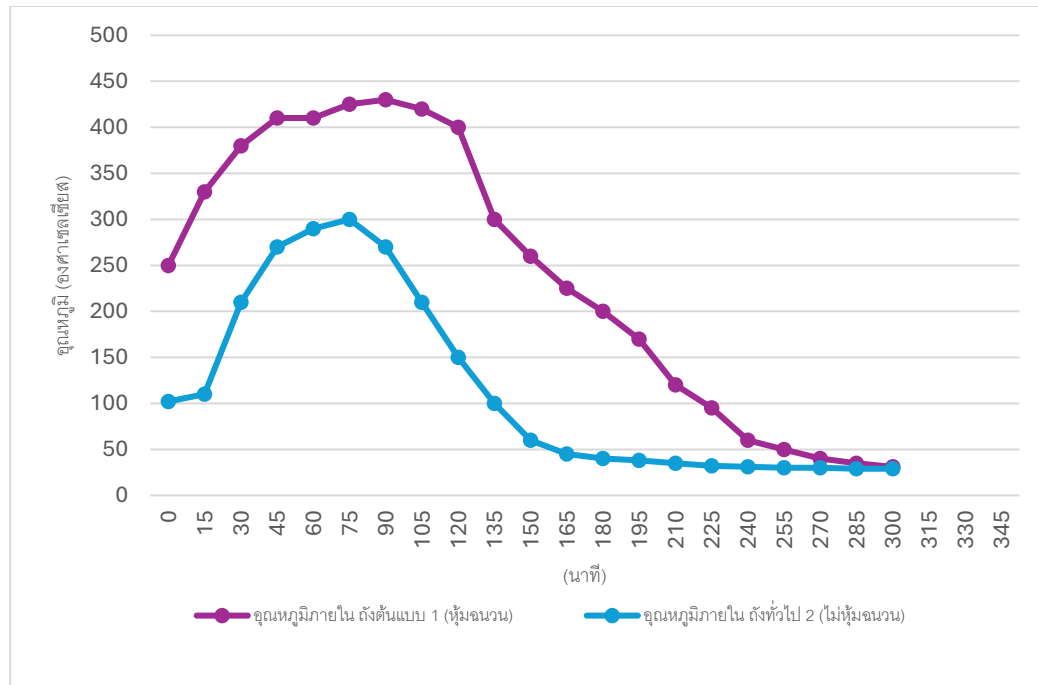
สำหรับผลทดสอบการเผาแกลบจากเตาอบถ่านไร้ควัน ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไปขายตามท้องตลาด ไม่มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเสริม พบว่า อุณหภูมิภายในเตา สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง จึงเริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตา ที่ 270 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 300 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที และสิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิส เมื่ออุณหภูมิภายในเตา 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลาจากเริ่มเผา 2 ชั่วโมง 55 นาที และคายความร้อนในเตาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และคิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 50 % (การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ แกลบกลายเป็นถ่านประมาณ ร้อยละ 50) แสดงดังตามตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.8 เตรียมการเผาแกลบ

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบเผาวัสดุแกลบ ของเตาเผาทั้ง 2 เตา

งานทดสอบเครื่องเผาถ่านไร่คว้น ปี 2568 วันที่ 15/8/2025								
ช่วงเวลา	เครื่องเผาถ่าน ถัง 1 (หุ้มฉนวน) ชนิดวัสดุ แกลบ			เครื่องเผาถ่าน ถัง 2 (ไม่หุ้มฉนวน) ชนิดวัสดุ แกลบ			การเปรียบเทียบ 2 ถัง	
	อุณหภูมิ (°C)		ความต่าง	อุณหภูมิ (°C)		ความต่าง	ความต่างอุณหภูมิ (°C)	
	ในถัง	นอกถัง		ในถัง	นอกถัง		ในถัง	นอกถัง
9.45	30	29	1	30	29	1	0	0
10.00	130	54	76	51	30	21	79	24
10.15	250	58	192	102	34	68	148	24
10.20	330	66	264	110	90	20	220	-24
10.30	380	69	311	210	100	110	170	-31
10.45	410	75	335	270	150	120	140	-75
11.00	410	76	334	290	190	100	120	-114
11.15	425	77	348	300	210	90	125	-133
11.30	430	80	350	270	150	120	160	-70
11.45	420	78	342	210	130	80	210	-52
12.00	400	75	325	150	100	50	250	-25
12.15	380	72	308	130	95	35	250	-23
12.30	340	69	271	120	80	40	220	-11
12.40	300	67	233	100	70	30	200	-3
13.00	260	65	195	60	40	20	200	25
13.15	260	65	195	55	35	20	205	30
13.30	225	63	162	45	34	11	180	29
13.45	200	57	143	40	33	7	160	24
14.00	170	53	117	38	33	5	132	20
14.15	120	49	71	35	33	2	85	16
14.30	95	46	49	32	33	-1	63	13
14.45	60	42	18	31	27	4	29	15
15.00	50	37	13	30	27	3	20	10
15.15	40	35	5	30	27	3	10	8
15.30	35	33	2	29	27	2	6	6



ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในของเตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ และเตาแบบแนวตั้งทั่วไป กับเวลาในการผลิตถ่านจากวัสดุแกลบ



ภาพที่ 4.10 ผลผลิตถ่านจากวัสดุแกลบ

ตารางที่ 4.4 ตารางสรุปผลการทดลองของเตาอบถ่านไร้ควันทั้งสองรูปแบบกับวัสดุ 3 ชนิด

ชีวมวล	เตาอบถ่านฯ	ระยะเวลาเริ่มต้น ถึงจุดไฟโรไลซิส ณ ที่อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ สูงสุด (°C)	เวลารวมในเผา เป็นถ่าน (ชม.)	ผลผลิตถ่าน (% โดย ปริมาตร)	ความสมบูรณ์ ของถ่าน
ไม้	เตาฯ ดันแบบ (มีฉนวน)	1 ชม. 15 นาที (340 °C)	440	3 ชม. 45 นาที	73	100%
	เตาฯ ทั่วไป (ไม่มีฉนวน)	4 ชม. 30 นาที (300 °C)	320	5 ชม. 45 นาที	40	ไม่สมบูรณ์ (40%)
กะลา	เตาฯ ดันแบบ (มีฉนวน)	1 ชม. 15 นาที (320 °C)	460	3 ชม. 0 นาที	65	100%
	เตาฯ ทั่วไป (ไม่มีฉนวน)	1 ชม. 15 นาที (300 °C)	350	2 ชม. 30 นาที	30	ไม่สมบูรณ์ (30%)
แกลบ	เตาฯ ดันแบบ (มีฉนวน)	35 นาที (330 °C)	440	2 ชม. 55 นาที	75	100%
	เตาฯ ทั่วไป (ไม่มีฉนวน)	1 ชม. (300 °C)	350	2 ชม. 55 นาที	50	ไม่สมบูรณ์ (50%)

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผล

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเตาอบถ่านไร้ควัน (ต้นแบบ) โดยการพัฒนาแบบ “ห้องเผาไหม้คู่” รูปทรงตัวแอล (L-shaped) 2 ห้อง พร้อมมีฉนวนหุ้มกันความร้อนรอบเตาอบถ่านฯ เทียบกับถ่านไร้ควัน ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไปขายตามท้องตลาด (ไม่มีฉนวนหุ้ม) โดยการใช้น้ำมันเครื่องเก่าเป็นเชื้อเพลิง เพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาอบถ่าน และผลผลิตของถ่านที่ได้จากการอบของเตาอบถ่านไร้ควันฯ ทั้ง 2 รูปแบบ ดังนี้

5.1.1 ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาต้นแบบ

การออกแบบเตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่และมีฉนวนเสริม) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตถ่านได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะการหุ้มฉนวนกันความร้อน ส่งผลให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพภายในเตา มีรายละเอียดดังนี้

1) อัตราการสะสมความร้อนสูง ฉนวนช่วยลดการคายความร้อน ทำให้ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (น้ำมันเครื่องใช้แล้ว) สามารถสะสมความร้อนภายในเตาจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นได้รวดเร็ว โดยในการเผาไม้พบว่าเตาต้นแบบใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมง 15 นาที จะเริ่มกระบวนการไพโรไลซิส (340°C) เทียบกับเตาทั่วไปที่ใช้เวลาถึง 3 ชั่วโมง 30 นาที ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่าอุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีผลต่อระยะเวลาที่ทำให้เกิดกระบวนการไพโรไลซิส

2) วัสดุที่ทำการเผาไหม้ผลให้อุณหภูมิไพโรไลซิสแตกต่างกัน เตาต้นแบบสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้สูงกว่าเตาทั่วไปอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะการเผากะลามะพร้าวที่ทำได้สูงถึง 460°C) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับ Hardwood Pyrolysis อุณหภูมิที่สูงและคงที่นี้เป็นกุญแจสำคัญที่ทำให้ปฏิกิริยาการสลายตัวเป็นคาร์บอน (Carbonization) ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

3) การลดเวลารวมในการผลิต สำหรับวัสดุไม้ การลดเวลารวมในการเผาไหม้ได้เกือบ 2 ชั่วโมง (5 ชม. 45 นาที เหลือ 3 ชม. 45 นาที) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการประหยัดพลังงานและการเพิ่มกำลังการผลิตของเตาต้นแบบฯ

5.1.2 ความสมบูรณ์และผลผลิตถ่าน

ผลผลิตถ่านจากเตาดันแบบดีกว่าเตาทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

1) คุณภาพถ่านสมบูรณ์: การเผาวัสดุไม้ในเตาดันแบบให้ถ่านที่สมบูรณ์ทั้งหมด ผลผลิตถ่านที่ได้คิดเป็นร้อยละ 73 โดยปริมาตร เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณวัสดุก่อนเผา ในขณะที่เตาทั่วไปเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (incomplete carbonization) ได้ถ่านเพียงร้อยละ 40 นี้เป็นผลมาจากการคายความร้อนสูงเกินไป รักษาอุณหภูมิสูงสุดในเตาทั่วไปทำได้เพียง 320 °C ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้เซลลูโลสและลิกนิน กลายเป็นคาร์บอนได้อย่างสมบูรณ์ก่อนที่แก๊สจะดับไป

2) ชีวมวลที่ให้ผลผลิตสูงสุด: การเผา แกลบ ในเตาดันแบบให้ผลผลิตสูงสุดที่ ร้อยละ 75 โดยปริมาตร และใช้เวลาเริ่มต้นไพโรไลซิสสั้นที่สุดเพียง 35 นาที เนื่องจากแกลบมีขนาดเล็กและมีความพรุนสูงทำให้เซลลูโลสและลิกนินกลายเป็นคาร์บอนได้รวดเร็ว

5.1.3 การตอบสนองตามคุณสมบัติของชีวมวล

1) ผลกระทบของขนาดวัสดุ โดยการเผาวัสดุไม้ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5–10 ซม.) ใช้เวลาเริ่มต้นกระบวนการไพโรไลซิสนานที่สุดในเตาทั้งสองรูปแบบ เนื่องจากต้องใช้เวลาทำความร้อนเข้าสู่แกนกลางของวัสดุที่หนาแน่น

2) กะลามะพร้าวและแกลบ เป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าอย่างกะลามะพร้าวและแกลบ ตอบสนองต่อความร้อนได้เร็วกว่าไม้ โดยเฉพาะแกลบที่เริ่มไพโรไลซิส ได้เร็วที่สุด ชี้ให้เห็นว่า พื้นที่ผิวจำเพาะ มีบทบาทสำคัญต่ออัตราการนำความร้อนและการเริ่มต้นปฏิกิริยา

สรุปได้ว่ายิ่งวัสดุเผามีขนาดเล็กจะทำให้ระยะเวลาการเผาลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ

5.2 สรุปผลการวิจัย

(1) เตาเผาถ่านแบบไร้ควันที่มีจำหน่ายในท้องตลาด มีลักษณะการออกแบบให้ประกอบด้วยห้องเผาไหม้เพียง 1 ห้อง ใช้ไส้เตาที่มีรูปทรงตัวแอล (L-shaped) โดยไม่มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนจำนวน 1 ชุด

(2) สร้างเตาเผาถ่านที่ได้รับการออกแบบพัฒนาขึ้นใหม่ตามแนวคิด โดยการพัฒนารูปแบบ “ห้องเผาไหม้คู่” เป็นลักษณะห้องเผาไหม้รูปทรงตัวแอล (L-shaped) 2 ห้อง พร้อมหุ้มฉนวนกันความร้อนหุ้มด้วยเซรามิกไฟเบอร์ หนา 10 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชุด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเผาถ่านทั้ง 2 เตา โดยการใช้ น้ำมันเครื่องใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตถ่านจากวัสดุทางการเกษตร จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ กะลามะพร้าว และ แกลบ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า

5.2.1 ผลการทดสอบโดยวัสดุไม้ เตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่และหุ้มฉนวน) ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาฯ สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที จนวัสดุไม้ เริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตาฯ ที่ 340 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 440 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 30 นาที และเข้ากระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง 45 นาที ในขณะที่มีอุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิส 2 ชั่วโมง 30 นาที (ตั้งแต่แก๊สติดไฟจนจะดับไป) ระยะเวลารวมในกระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 3 ชั่วโมง 45 นาที โดยมีเปอร์เซ็นต์การผลิตถ่านจากวัสดุไม้ คิดเป็นร้อยละ 73 โดยปริมาตร สัดส่วนของการเป็นถ่าน 100 % ของไม้เดิมตั้งก่อนเผา สำหรับเตาอบถ่านไร้ควัน ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไป (ไม่หุ้มฉนวน) อุณหภูมิภายในเตาฯ สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยใช้ระยะเวลา 270 นาที หรือ 4 ชั่วโมง 30 นาที จึงเริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตาฯ ที่ 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 320 องศาเซลเซียส และไฟดับในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตาฯ ที่ 290 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที รวมเป็นเวลาในการเผาทั้งสิ้น 5 ชั่วโมง 45 นาที และคิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 40 % (การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ไม่กลายเป็นถ่านประมาณ ร้อยละ 40) สรุปได้ว่าเตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่และหุ้มฉนวน) จะมีประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตถ่านจากวัสดุไม้สามารถลดเวลารวมการเผาถ่านฯ เป็นเวลารวมได้ 2 ชั่วโมง และคิดสัดส่วนการเป็นถ่านได้ 100 % เนื่องจากเตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ สามารถสร้างอุณหภูมิสูงสุดได้สูงกว่า 400 องศาเซลเซียสเสมอ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่จำเป็นสำหรับการเกิด ปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่สมบูรณ์ เมื่อเทียบกับ เตาอบถ่านไร้ควัน ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไป (ไม่หุ้มฉนวน) คิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 40 % (การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์)

5.2.2 ผลการทดสอบโดยวัสดุกะลามะพร้าว เตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่และหุ้มฉนวน) ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาฯ สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยใช้ระยะเวลาเพียง 1 ชั่วโมง 15 นาที จนวัสดุกะลามะพร้าว เริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตาฯ ที่ 320 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 460 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 45 นาที และเข้ากระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง ในขณะที่มีอุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิส 1 ชั่วโมง 45 นาที (ตั้งแต่แก๊สติดไฟจนจะดับไป) ระยะเวลารวมในกระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 3 ชั่วโมง โดยมีเปอร์เซ็นต์การผลิตถ่านจากวัสดุกะลามะพร้าว คิดเป็นร้อยละ 65 โดยปริมาตร สัดส่วนของการเป็นถ่าน 100 % ของกะลามะพร้าวเดิมเตาก่อนเผา สำหรับเตาอบถ่านไร้ควัน ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไป (ไม่หุ้มฉนวน) อุณหภูมิภายในเตาฯ สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกันคือ 1 ชั่วโมง 15 นาที ก็เริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตาฯ ที่ 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 350 องศาเซลเซียสที่เวลา 1

ชั่วโมง 45 นาที และสิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิส เมื่ออุณหภูมิภายในเตา 280 องศาเซลเซียส ระยะเวลาจากเริ่มเผา 2 ชั่วโมง 30 นาที และคายความร้อนในเตาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง และคิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 30 % (การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ กะลามะพร้าวกลายเป็นถ่านประมาณ ร้อยละ 30) สรุปได้ว่า เตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่และหุ้มฉนวน) จะมีประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตถ่านจากวัสดุกะลามะพร้าว คิดสัดส่วนการเป็นถ่านได้ 100 % เมื่อเทียบกับเตาอบถ่านไร้ควันทั่วไปเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ได้ถ่านเพียงร้อยละ 30 นี่เป็นผลมาจากอุณหภูมิสูงสุดในเตาทั่วไปที่ทำได้ต่ำเพียง 350 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้เซลลูโลสและลิกนินกลายเป็นคาร์บอนได้อย่างสมบูรณ์ก่อนที่แก๊สจะดับไป ดังนั้น แม้ว่าเวลาเริ่มต้นจะเท่ากันในเตาทั้งสอง แต่เตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้สูงถึง 460 องศาเซลเซียส และให้ผลผลิตถ่านสูงกว่าเตาอบถ่านไร้ควันทั่วไป มากกว่าสองเท่า (ร้อยละ 65 เทียบกับร้อยละ 30)

5.2.3 ผลการทดสอบโดยวัสดุกลบ เตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่และหุ้มฉนวน) ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตา สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยใช้ระยะเวลา 35 นาที จนวัสดุกลบ เริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตา ที่ 330 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 430 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง 30 นาที และเข้ากระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 20 นาที ในขณะที่มีอุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิส 1 ชั่วโมง 45 นาที (ตั้งแต่แก๊สติดไฟจนจะดับไป) ระยะเวลารวมในกระบวนการอบถ่านจนเสร็จสมบูรณ์ เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 55 นาที โดยมีเปอร์เซ็นต์การผลิตถ่านจากวัสดุกลบ คิดเป็นร้อยละ 70 โดยปริมาตร คิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 100 % ของไม้เต็มถังก่อนเผา สำหรับเตาอบถ่านไร้ควัน ขนาด 200 ลิตร แบบแนวตั้งทั่วไป (ไม่หุ้มฉนวน) อุณหภูมิภายในเตา สะสมความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง จึงเริ่มมีการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส และเกิดแก๊สติดไฟในห้องเผาไหม้ ณ อุณหภูมิภายในเตา ที่ 270 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 300 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที และสิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิส เมื่ออุณหภูมิภายในเตา 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลาจากเริ่มเผา 2 ชั่วโมง 55 นาที และคายความร้อนในเตาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และคิดสัดส่วนของการเป็นถ่าน 30 % (การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ วัสดุกลบกลายเป็นถ่านประมาณ ร้อยละ 30) สรุปได้ว่า เตาอบถ่านไร้ควันต้นแบบ (ห้องเผาไหม้คู่และหุ้มฉนวน) จะมีประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตถ่านจากวัสดุกลบ คิดสัดส่วนการเป็นถ่านได้ 100 % เนื่องจากวัสดุกลบ เป็นชีวมวลที่แสดงประสิทธิภาพสูงสุดในเตาต้นแบบ โดยใช้เวลาเริ่มต้นสั้นที่สุดเพียง 35 นาที และให้ผลผลิตถ่านสูงสุดที่ ร้อยละ 75 แสดงถึงการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงในวัสดุที่มีพื้นที่ผิวมากเมื่อเทียบกับเตาอบถ่านไร้ควันทั่วไปเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ได้ถ่านเพียงร้อยละ 30 นี่เป็นผลมาจากอุณหภูมิสูงสุดในเตาทั่วไปที่ทำได้ต่ำเพียง 300 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้เซลลูโลสและลิกนินกลายเป็นคาร์บอนได้อย่างสมบูรณ์ก่อนที่แก๊สจะดับไป

ดังนั้น เตอบถ่านไร้ควันต้นแบบ จึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าทั้งในด้าน ความเร็ว และ คุณภาพ/ปริมาณ ของถ่านที่ผลิตได้ มีคุณภาพสมบูรณ์ 100% ซึ่งช่วยเพิ่มมูลค่าการตลาด ทั้งนี้วิเคราะห์ปริมาณ การใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้วที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง การลดระยะเวลาเริ่มต้นไฟโรไลซิส โดยเฉพาะในกรณีของไม้ (จาก 3 ชม. 30 นาที เหลือ 1 ชม. 15 นาที) แต่บ่งชี้ว่าเตาต้นแบบมีการใช้เชื้อเพลิงเริ่มต้นน้อยกว่า และเมื่อวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและความคุ้มค่าในการผลิตถ่าน พบว่า ความคุ้มค่าด้านแรงงาน แม้ว่าเวลารวมในการเผาขยะและแกลบจะใกล้เคียงกัน แต่การเผาวัสดุไม้ ซึ่งเป็นชีวมวลหลักนั้น เตาต้นแบบ ลดเวลาได้ถึง 2 ชั่วโมง 45 นาที ต่อรอบ ซึ่งหมายถึง ลดค่าแรงงานต่อรอบการผลิตถ่านลงได้อย่างมาก และเป็นสามารถเพิ่มกำลังการผลิตถ่าน สูงขึ้น 50%–116% ต่อรอบ การลดเวลาต่อรอบทำให้สามารถ เพิ่มจำนวนรอบการผลิตต่อวันหรือต่อสัปดาห์ได้ ส่งผลให้กำลังการผลิตรวมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) การเผาถ่านนั้นควรเผาในพื้นที่โล่งแจ้ง ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกและไม่เป็นการรบกวนผู้ที่อาศัยในพื้นที่ใกล้เคียง
- 2) การนำน้ำมันเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วมาเป็นเชื้อเพลิง บางครั้งการอัดอากาศเข้าเตาเผาไม่เพียงพออาจจะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพได้ ควรมีการรอบคอบในการนำมาใช้งาน และการใช้พัดลมอัดอากาศช่วยยังทำให้ลดเขม่าควันจากการใช้เชื้อเพลิงตั้งต้น
- 3) ควรมีการซ่อมแซมบำรุงรักษาเป็นประจำเพื่อให้มีการใช้งานได้นานยิ่งขึ้น
- 4) เป็นเตาต้นแบบที่สามารถก่อให้เกิดพัฒนาต่อยอดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเตาให้มากขึ้นในอนาคต
- 5) ควรติดตั้งชุดกลั่นน้ำส้มควันไม้เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มรายรับของการเผาต่อรอบอีกทาง

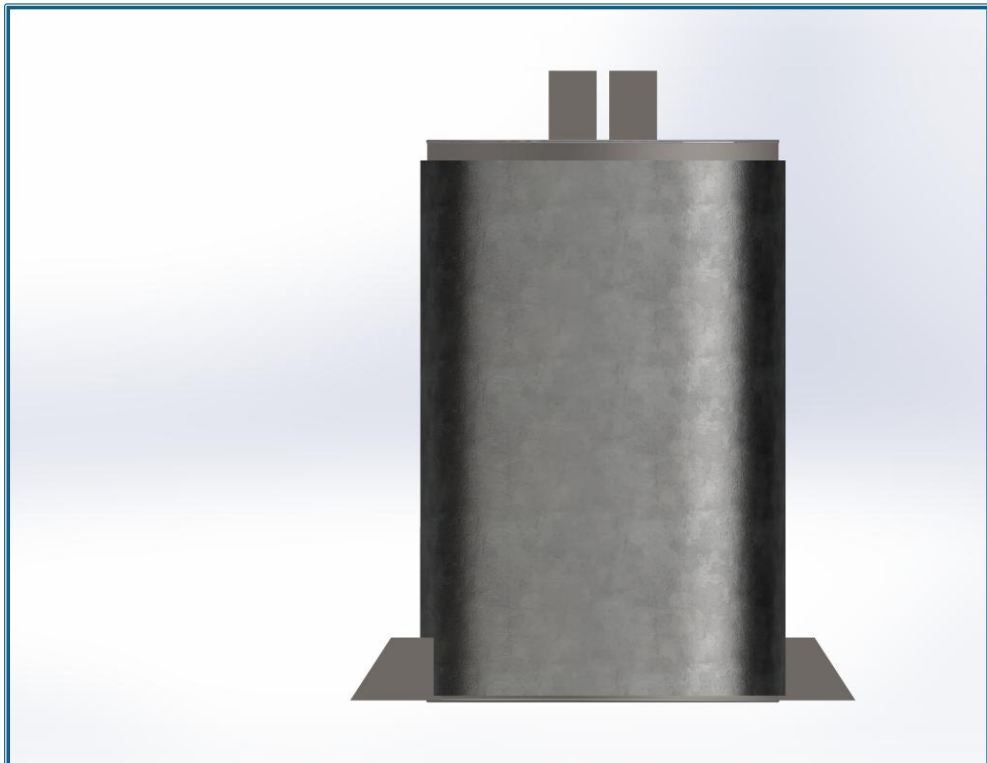
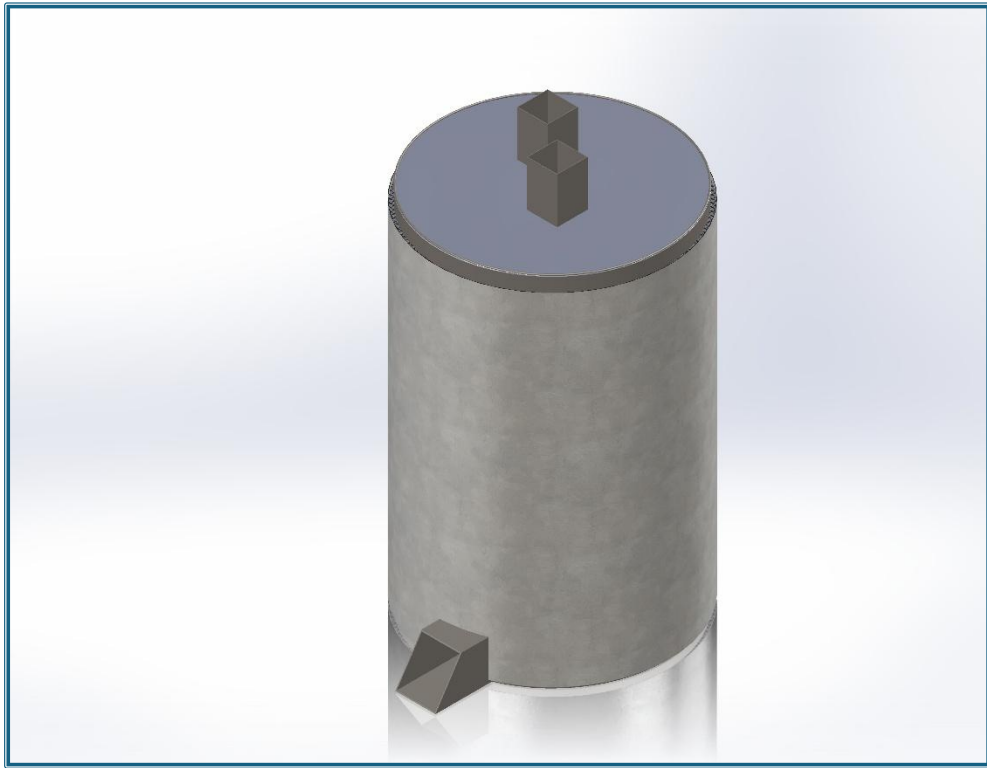
บรรณานุกรม

- จิระพงษ์ คูหากาญจน์. (2550). **ศักยภาพทางด้านพลังงานของถ่านต๋อราก**. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผล ป่าไม้สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ ฯ. เอกสารเผยแพร่เตาเผาถ่าน.pdf.
- อภิรักษ์ สวัสดิกิจ, ทิพย์กร คุณาพรวิวัฒน์, พิสุทธิ์รัตน์ แสนวงษ์,จักรพันธ์ กันหาพรพจน์ พันธุ์คง.(2551). **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมขี้ข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิค เอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน**. การประชุมวิชาการ เครือข่ายการวิจัยของ สถาบันอุดมศึกษา 17 – 19 มกราคม 2551. จังหวัดขอนแก่น.
- วิรัตน์ เจริญบุญ.(2560).**เตาชีวมวลแกลบพลังงานเพื่อเกษตรกรไทย**.วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 45 เล่มที่ 1/2560, 163-174.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.(2558).**โครงการติดตามประเมินผลการใช้ “เตาเผาขยะชีวมวลไร้ควัน” แทนการเผาในที่โล่ง ในการปฏิบัติงานการป้องกันปัญหาหมอกควันในภาคเหนือ**. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมเสนอ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.(2556). **คู่มือ เกษตรกรรมทางเลือกใหม่ปลอดการเผา**.พิมพ์ครั้งที่ ๑. ส่วนงานรณรงค์ กองส่งเสริมและเผยแพร่ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- บริษัท คลื่น วิชั่น จำกัด (2557).**เตาเผาขยะไร้ควันรุ่น JT200**. [ออนไลน์].สืบค้นเมื่อ 25 เมษายน 2568 เข้าถึงได้จาก : <http://drfire2000.blogspot.com>.
- ชัยพร มณีขัติย์ และคณะ.(2565).**คุณลักษณะทางความร้อนของเตาเผาถ่านชีวภาพแบบแอนิลาและปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตถ่านชีวภาพ**.วารสารวิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- กฤษณะ จันทสิทธิ์ และคณะ.(2562). **การสร้างเตาเผาถ่าน เพื่อผลิตถ่านสวยงามจากของเสียภาคเกษตรกรรมสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านท่าศาลา อำเภอนาทม จังหวัดจันทบุรี** คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
- กมล พรหมมาก. (2560). **เตาเผาถ่านไร้ควันชนิดแนวตั้ง**. (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 25 เมษายน 2568 แหล่งที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=Hs62rf1QwEI>.
- แจ่มสุตา ชุมสงค์.(2556). **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเตาเผาถ่านแบบถังขนาด 200 ลิตร**. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

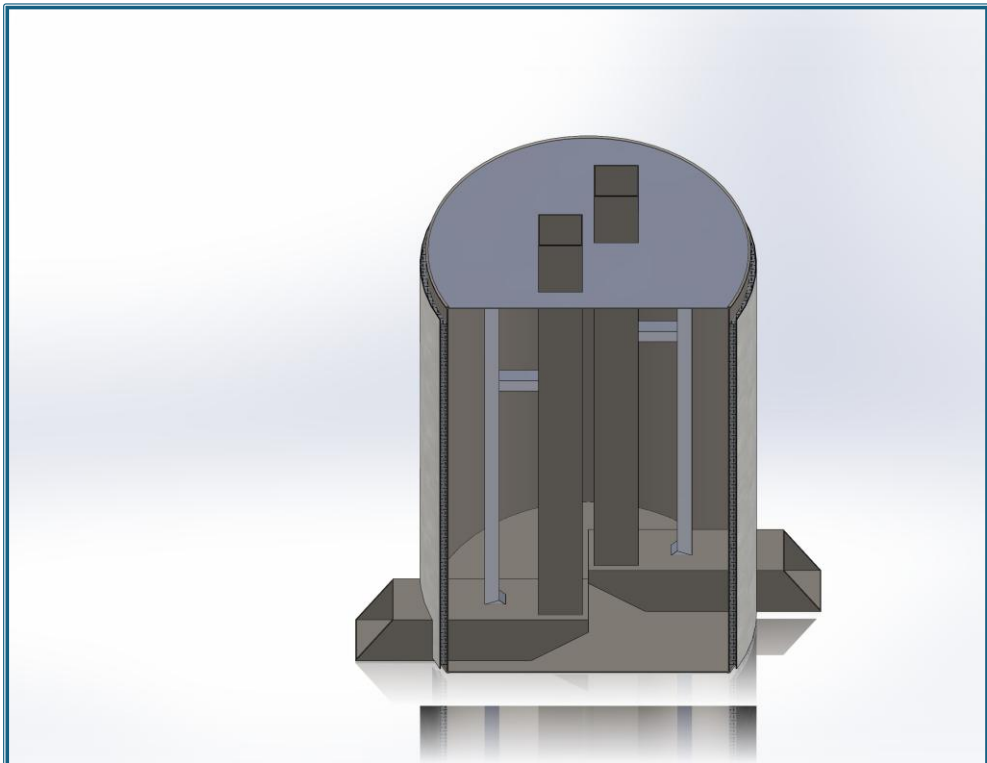
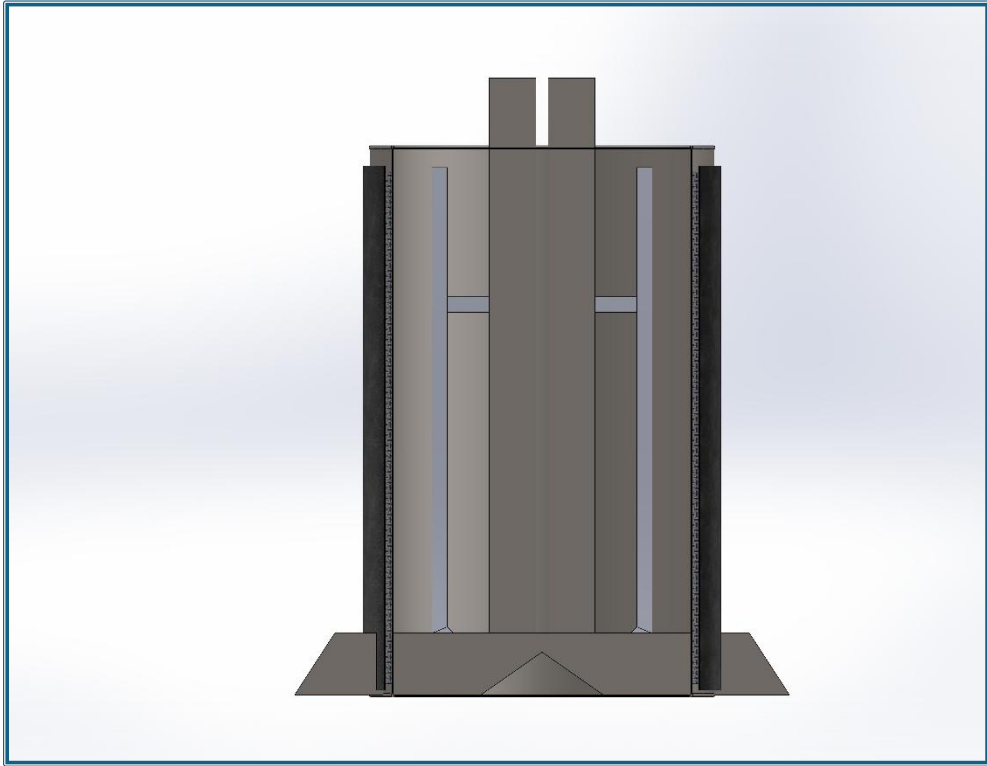
- จิรพันธ์ โชติรัตนศักดิ์ และคณะ.(2567). การศึกษาการคาร์บอนเซชันของเปลือกมะพร้าวอ่อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตโดยใช้เตาเผาถ่านไร่คว้น.วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
- นฤมล ภาณุณา.(2553). การหาค่าความร้อนของไม้และถ่าน. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้
- อับดุลรอมนัน โต๊ะฮีเล และคณะ.(2561). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ พ.ศ. 2561 ประลอง ดำรงค์ไทย. (2540). การศึกษาทดลองเปรียบเทียบวิธีการผลิตและคุณภาพของถ่าน กรมป่าไม้.
- พัชรินทร์ ฤชวรารักษ์.(2557) การเผาถ่านวิถีดั้งเดิมของชุมชนท้องถิ่น สู่เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์,ฉบับธันวาคม 2557.
- นายวุฒิชัย โมฬีชาติและลิขิต พิณโพธิ์. การศึกษาประสิทธิภาพการเผาถ่านแบบ แนวนอนและแนวตั้ง. รายงานโครงการหมายเลข AE12-16. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม. (2549). คู่มือเตาเผาถ่าน 200 ลิตร. บริษัท พิชเนศ พรินท์ติ้ง เซนเตอร์ จำกัด. กรุงเทพฯ.
- สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. (2549). การสร้างเตาเผาถ่านแบบประหยัดของชุมชนคนเอา ถ่าน. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภาคผนวก

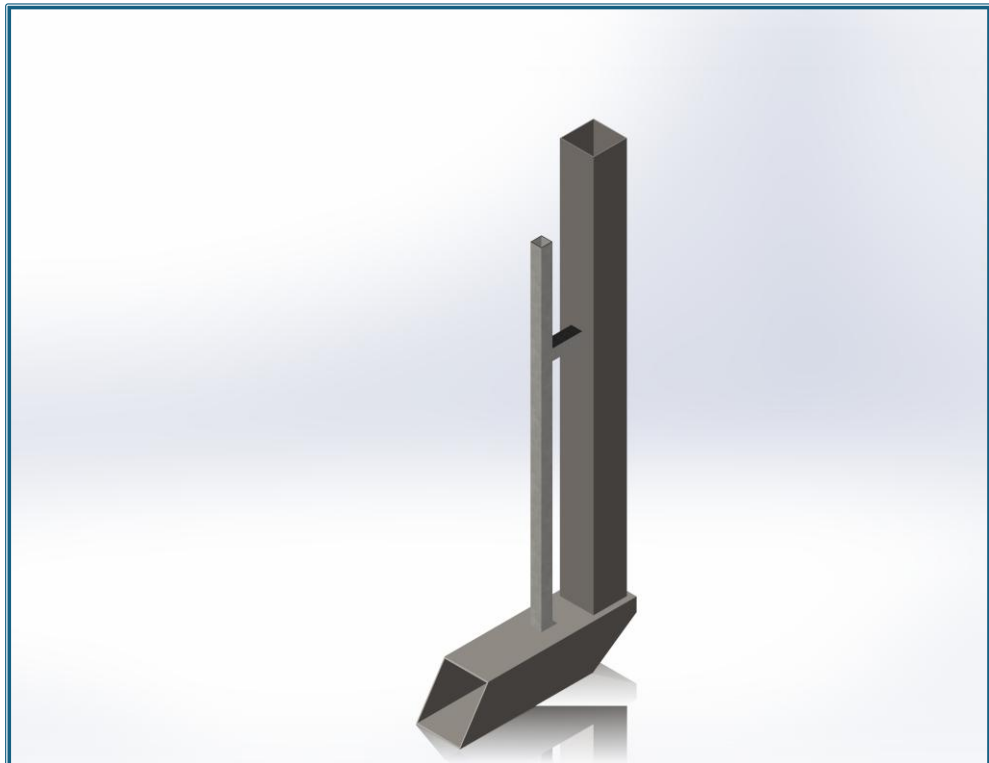
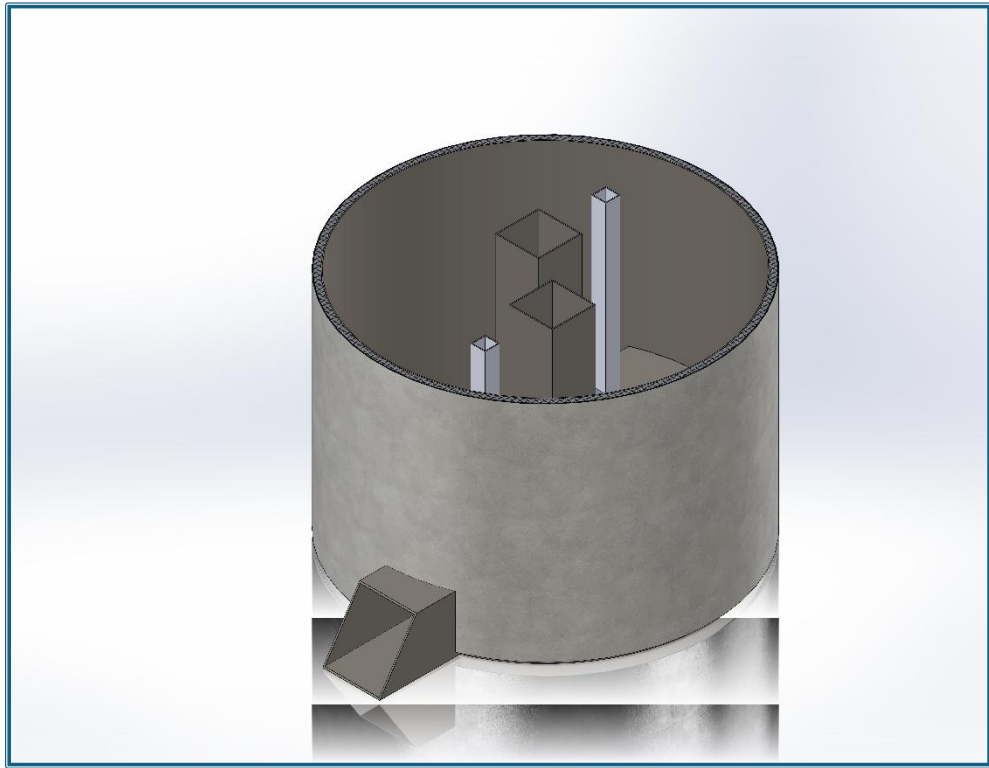
รูปการออกแบบต้นแบบ



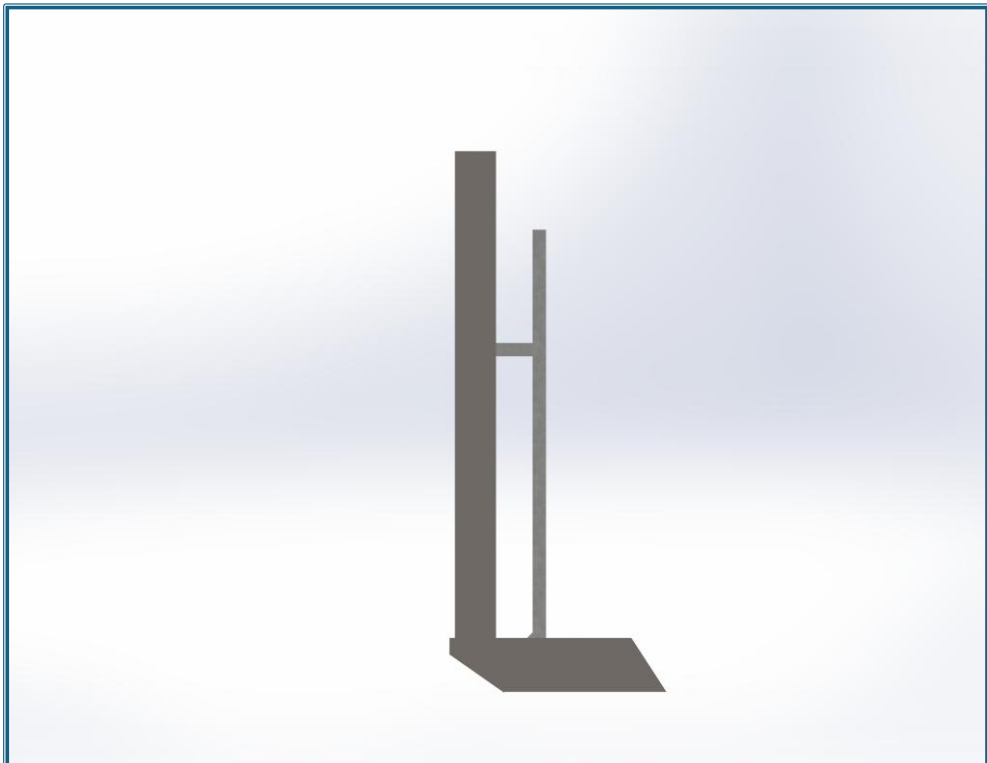
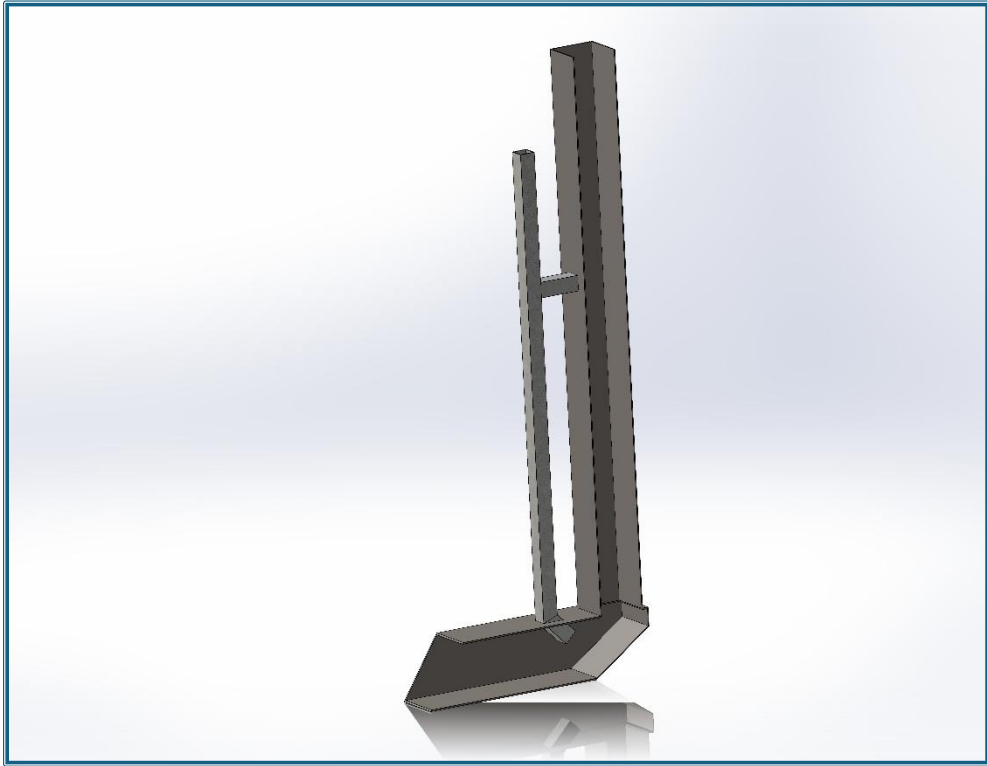
รูปการออกแบบต้นแบบ



รูปการออกแบบต้นแบบ



รูปการออกแบบต้นแบบ



รูปต้นแบบ



รูปต้นแบบ



รูปต้นแบบ



■ สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม



กลุ่มวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตร
สำนักพัฒนาพื้นที่ปฏิรูปที่ดิน
เลขที่ 68 /1 หมู่ 1 ต. บ้านกลาง
อ. เมือง จ. ปทุมธานี 12000
โทร 02-5672677