การศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สำหรับชุมชนที่มีศักยภาพ

ชูเดช เกตุชูรัตน์

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

การศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สำหรับชุมชนที่มีศักยภาพ

ชูเดช เกตุชูรัตน์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
สำหรับชุมชนที่มีศักยภาพ

ชูเดช เกตุชูรัตน์

การค้นคว้าอิสระนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สำหรับชุมชนที่มีศักยภาพ
ชื่อผู้เขียน นายชูเดช เกตุชูรัตน์
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง

บทคัดย่อ

อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ตั้งอยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย เกษตรกรในพื้นที่ได้มีการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปริมาณสูง ในปี พ.ศ. 2560 มีผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เท่ากับ 66,113.63 ตัน/ปี ส่งผลให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากการปลูกข้าวโพดในปริมาณสูงและส่วนใหญ่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม ที่สำคัญวัสดุเหลือทิ้งสามารถเป็นแหล่งพลังงานให้กับชุมชนได้ถ้ามีการบริหารจัดการที่ดี งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ด้วยการศึกษาและวิเคราะห์ศักยภาพชีวมวลและพลังงาน การศึกษาและการนำไปใช้งานด้วยเทคโนโลยีการเพิ่มความหนาแน่น การอัดแท่งและการอัดเม็ดเชื้อเพลิง การนำไปใช้งานและการวิเคราะห์สมรรถนะกับเตาชีวมวลประเภทต่าง ๆ การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตความร้อน การคัดเลือกเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเตาชีวมวล การนำไปทดลองใช้งานกับชุมชนและการประเมินความพึงพอใจของชุมชนต่อการใช้พลังงานทดแทนกับเตาชีวมวลที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง มีศักยภาพเชื้อเพลิงชีวมวลที่เกิดจากลำต้น ใบ และยอด 985.05 TJ หรือเทียบเท่าน้ำมันดิบ 23.32 ktoe ซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีศักยภาพถึง 964 TJ หรือเทียบเท่าน้ำมันดิบ 22.82 ktoe ซังข้าวโพดมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่งและมีอัตราส่วนถ่านต่อตัวประสาน (แป้งมัน) เท่ากับ 10:1 อัตราการผลิตสูงสุด 19.23 kg/h ลำต้น ใบ และยอดเหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้อัตราการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสูงสุด 369.62 kg/h การใช้ถ่านอัดแท่งเหมาะสมกับเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงและเตาเศรษฐกิจ โดยมีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด 33.94% และ 21.85% ตามลำดับ ในขณะที่เตาทั้งสองมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.34 kg/h และ 0.60 kg/h ตามลำดับ การใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีความเหมาะสมกับกับเตาชีวมวล โดยมีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด 16.27% และอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 2.11 kg/h เทคโนโลยีการเพิ่มความหนาแน่นชีวมวลสามารถแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งจากการปลูกข้าวโพดเป็นถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยใช้งานกับเตาชีวมวลชุมชนทดแทนก๊าซหุงต้ม ได้ 620.30-1,632.91 ถัง/ปี ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลกับเตาชีวมวลทั้งหมดมีความพึงพอใจ

81.43 - 84.29% ความพึงพอในด้านการลดค่าใช้จ่ายในระดับครัวเรือนและ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 82.14 - 92.50% และ 85.00 - 91.07% ตามลำดับ ดังนั้นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้จากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของอำเภอวังเหนือเป็นชีวมวลที่มีศักยภาพทางพลังงานสูง สามารถผลิตเป็นถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดได้ดี และเชื้อเพลิงทั้งสองสามารถนำไปใช้กับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงของชุมชนได้

คำสำคัญ : ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, เชื้อเพลิงอัดเม็ด, ถ่านอัดแท่ง, เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง

Title STUDY OF AGRICULTURAL WASTE UTILIZATION PROCESS FOR HIGH POTENTIAL COMMUNITY

Author Mr. Chudet Katechurut

Degree Master of Engineering in Renewable Energy Engineering

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Nigran Homdoung

ABSTRACT

Wang Nuea District, Lampang Province, is located in the north of Thailand. The farmers are cultivating high amounts of maize. In 2017, the production of maize was of 66,113.63 tons. Which resulted in a high amount of waste, most of which was substantial unusable the waste material can be a source of energy. It there is the objective of this research was to study the management of biomass from maize in Wang Nuea District, Lampang province. Studying and analyzing the potential of biomass and energy, the implementation using densification technology of briquetting and pelletizing fuels, application and performance analysis of various biomass stoves types, cost analysis of heat production and selection of biomass fuel suitable for biomass stove. The trial in cooperation with the community and community satisfaction surveys about the use of briquette and pellet fuel with appropriate biomass stove has been studied. The results were that Wang Nuea District obtained a potential biomass fuel from stems, leaves and tops maize of 985.05 TJ or equivalent to 23.32 ktoe. Corn cobs were suitable for the production of charcoal briquettes and with the ratio of corn cob charcoal to binder (cassava starch) being 10: 1 the maximum production rate was of 19.23 kg/h. The stems, leaves and tops maize were suitable for pellet fuel production. The highest biomass pellet fuel production rate was 369.62 kg/h. The use of corn cob charcoal briquette achieved a suitable high efficiency for the biomass stove and saving, stove in that case reached the highest thermal efficiency of 33.94 % and 21.85 % respectively. Both stoves obtained an average fuel consumption of 0.34 kg/h and 0.60 kg/h respectively. The

use of biomass pellet fuel achieved appropriate high efficiency biomass stove at 16.27% with the average fuel consumption of 2.11 kg/h. Densification technology can convert maize waste into charcoal briquette and biomass pellet fuel which then can be used with biomass stove and replace liquid petroleum gas of 620.30-1,632.91 tank/year. The results of the community satisfaction surveys when using high efficiency biomass stove in a range of 81.43 - 84.29%. the satisfaction in terms of reducing household expenses and environmental impact was between of 82.14 - 92.50% and 85.00 - 91.07% respectively. Therefore, agricultural waste from maize production in Wang Nuea district has a biomass with high energy potential. The waste being produced as charcoal briquette and pellet biomass fuel, both biomass fuel, can be used with high efficiency biomass stove in the community.

Keywords : maize, pellet fuel, charcoal briquette, high efficiency biomass stove

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง ที่ได้รับเป็นประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และให้คำปรึกษา ตลอดจนดูแลเอาใจใส่ในวิจัยการศึกษาค้นคว้าอิสระเล่มนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูรัตน์ ธารารักษ์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นที่ปรึกษาร่วมในการทำวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่การวิจัย รวมถึงตรวจแก้ไขรูปเล่มการศึกษาค้นคว้าอิสระให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานเกษตรอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ที่ได้อนุเคราะห์และช่วยเหลือในด้านการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในด้านการเกษตรเกี่ยวกับพื้นที่ในการเพาะปลูก ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทำให้รูปเล่มการศึกษาค้นคว้าอิสระให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคนในชุมชนอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ที่ให้ความร่วมมือและให้ช่วยเหลือในด้านการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในด้านการเกษตรเกี่ยวกับพื้นที่ในการเพาะปลูก ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และทดสอบการใช้เชื้อเพลิงกับเตาชีวมวลชุมชน รวมถึงประเมินความพึงพอใจในในการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งทำให้ข้อมูลในเล่มการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สมบูรณ์

ขอขอบคุณศูนย์บริการวิชาการที่ 7 กระทรวงพลังงาน (จังหวัดเชียงใหม่) ที่ได้อนุเคราะห์และให้ความช่วยเหลือในด้านเตาชีวมวลชุมชนเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน และบุคลากรวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่พร้อมให้คำแนะนำในหลาย ๆ ด้าน และเป็นกำลังใจจนทำให้สำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน พร้อมทั้งคำแนะนำ และเป็นกำลังจนทำให้สำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

ชูเดช เกตุชูรัตน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
สารบัญ ..... ซ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฎ
สารบัญตารางผนวก ..... ฑ
สัญลักษณ์และตัวห้อย ..... ฒ
บทที่ 1 บทนำ 1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
ขอบเขตของงานวิจัย 4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจสอบเอกสาร 5
พลังงานชีวมวล 5
ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย 6
เทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวลสำหรับเพิ่มความหนาแน่นชีวมวล 9
กระบวนการผลิตถ่าน 13
การประเมินประสิทธิภาพความร้อน 14
เทคโนโลยีเตาชีวมวล 15
การตรวจสอบเอกสาร 19

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย 24
พื้นที่ในการศึกษา 24
วัสดุ อุปกรณ์ที่ และเครื่องมือใช้ในงานวิจัย 26
วิธีการทดลอง 39
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการทดลอง 46
การประเมินศักยภาพชีวมวลและพลังงานในเขตพื้นที่ อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง 46
การวิเคราะห์สมรรถนะเตาชีวมวลชุมชน 55
การคัดเลือกเตาชีวมวลที่เหมาะสมกับชนิดเชื้อเพลิง 59
การทดสอบและวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดเม็ด และถ่านอัดแท่งกับเตาชีวมวลชุมชน 60
การประเมินความพึงพอใจทางด้านการใช้งาน การลดค่าใช้จ่าย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.. 61
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 65
สรุปผลการวิจัย 65
ข้อเสนอแนะ 66
บรรณานุกรม 67
ภาคผนวก 71
ภาคผนวก ก การเผยแพร่ผลงานวิจัย 72
ภาคผนวก ข การคำนวณศักยภาพชีวมวล 79
ภาคผนวก ค การคำนวณสมรรถนะเตาชุมชน 82
ภาคผนวก ง แบบประเมินความพึงพอใจ 85
ภาคผนวก จ ตารางอุณหภูมิการต้มน้ำ 88
ประวัติผู้วิจัย 104

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 พื้นที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตพืชในปี พ.ศ. 2559 และ 2560 6

ตารางที่ 2 ศักยภาพชีวมวลและการใช้ประโยชน์เชิงพลังงาน 7

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของถ่าน 13

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวล 27

ตารางที่ 5 พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อปี (สำนักงานเกษตรอำเภอวังเหนือ, 2560) 47

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์โดยประมาณ ค่าความร้อน และความหนาแน่น ของชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 50

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 50

ตารางที่ 8 คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ด 52

ตารางที่ 9 คุณสมบัติเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง 53

ตารางที่ 10 ความเหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดและถ่านอัดแท่ง กับเตาชีวมวลในชุมชน 60

ตารางที่ 11 การใช้เตาชีวมวลชุมชนกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดและถ่านอัดแท่ง ในชุมชนพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง 61

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ปัญหาการเผาและหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ 2
ภาพที่ 2 แผนที่พื้นที่เกษตรที่ถูกเผาไหม้ใน 8 จังหวัด ของภาคเหนือ 3
ภาพที่ 3 แหล่งพลังงานชีวมวล 6
ภาพที่ 4 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบกระบอกสูบ 9
ภาพที่ 5 เครื่องอัดแท่งด้วยสกรู 10
ภาพที่ 6 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบให้ความร้อนด้านนอก 11
ภาพที่ 7 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบกลิ้ง 11
ภาพที่ 8 เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม 12
ภาพที่ 9 เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์วงแหวน 12
ภาพที่ 10 เตามหาเศรษฐีหรือเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง 15
ภาพที่ 11 เตาเศรษฐกิจ 16
ภาพที่ 12 เตาชีวมวล 17
ภาพที่ 13 เตาชีวมวลแกลบ 18
ภาพที่ 14 แผนที่จังหวัดลำปาง 25
ภาพที่ 15 แผนที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง 25
ภาพที่ 16 ลำต้น ใบและยอดข้าวโพด 26
ภาพที่ 17 ซังข้าวโพด 27
ภาพที่ 18 เชื้อเพลิงอัดเม็ด 28
ภาพที่ 19 ถ่านอัดแท่ง 28
ภาพที่ 20 เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบหยาบ 29
ภาพที่ 21 เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบละเอียด 30

ภาพที่ 22 เครื่องอัดเม็ดชีวมวล 30
ภาพที่ 23 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร ไร้ควัน 31
ภาพที่ 24 เครื่องอัดแท่งถ่าน 32
ภาพที่ 25 เครื่องวัดอุณหภูมิและสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K 32
ภาพที่ 26 เครื่องชั่งน้ำหนัก 33
ภาพที่ 27 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 4 ตำแหน่ง 33
ภาพที่ 28 เตาอบควบคุมอุณหภูมิ 34
ภาพที่ 29 เตาเผาอุณหภูมิสูง 35
ภาพที่ 30 โถดูดความชื้น และซิลิกาเจล 35
ภาพที่ 31 ถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา 36
ภาพที่ 32 บอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ 36
ภาพที่ 33 เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง 37
ภาพที่ 34 เตาชีวมวล 37
ภาพที่ 35 เตาเศรษฐกิจ 38
ภาพที่ 36 เตาชีวมวลแกลบ 39
ภาพที่ 37 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 42
ภาพที่ 38 ไดอะแกรมวิธีการดำเนินงานวิจัย 45
ภาพที่ 39 พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และผลผลิตต่อปี ของอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง 47
ภาพที่ 40 สัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 48
ภาพที่ 41 ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 49
ภาพที่ 42 การวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงาน 51
ภาพที่ 43 การวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 51
ภาพที่ 44 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 52
ภาพที่ 45 การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานการอัดเม็ด 53

ภาพที่ 46 ลักษณะเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 54
ภาพที่ 47 การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานการอัดแท่ง 55
ภาพที่ 48 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อน 56
ภาพที่ 49 อุณหภูมิการต้มน้ำโดยใช้ถ่านอัดแท่ง..... 57
ภาพที่ 50 อุณหภูมิการต้มน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ด 57
ภาพที่ 51 การวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 58
ภาพที่ 52 ต้นทุนการผลิตความร้อน 59
ภาพที่ 53 ความพึงพอใจต่อการการใช้งานภายในชุมชน..... 62
ภาพที่ 54 ความพึงพอใจในด้านการลดค่าใช้จ่าย 63
ภาพที่ 55 ความพึงพอใจในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 64

สารบัญตารางผนวก

หน้า

ตารางผนวกที่ 1 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาชีวมวลกับถ่านอัดแท่ง 89

ตารางผนวกที่ 2 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาชีวมวลกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด 90

ตารางผนวกที่ 3 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับถ่านอัดแท่ง 92

ตารางผนวกที่ 4 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด 95

ตารางผนวกที่ 5 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาเศรษฐกิจกับถ่านอัดแท่ง .. 97

ตารางผนวกที่ 6 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาเศรษฐกิจกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด 99

ตารางผนวกที่ 7 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาชีวมวลแกลบกับถ่านอัดแท่ง 100

ตารางผนวกที่ 8 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาชีวมวลแกลบกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด 102

สัญลักษณ์และตัวห้อย

อักษรย่อ	ความหมาย	หน่วย
CH_4	แก๊สมีเทน	
CO	แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซค์	
C_{pw}	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ มีค่าเท่ากับ 4.186 kJ/kg•°C	
ENU	พลังงานที่ไม่มีการใช้ประโยชน์	J
H_2	แก๊สไฮโดรเจน	
h_{fg}	ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ มีค่าเท่ากับ 2,257 kJ/kg	
HHV_R	ค่าความร้อนสูงของวัสดุแต่ละชนิด	MJ/kg
HYP	ชั่วโมงการผลิตต่อปี	h
LHV_{Bio}	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวล	kJ/kg
m	มวลของชีวมวล	kg
m_{Fuel}	มวลของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ทั้งหมด	kg
m_{W1}	มวลน้ำเริ่มต้น	kg
m_{w2}	มวลน้ำระเหย	kg
PE_{hour}	กำลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง	Wh
POE	ศักยภาพพลังงานไฟฟ้า	Wh
Q_{fuel}	ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง	kJ
Q_U	ปริมาณความร้อนที่ใช้ประโยชน์	kJ
RNU_{ratio}	สัดส่วนวัสดุเหลือใช้ที่ไม่มีการใช้ประโยชน์	%
RTP_{ratio}	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	kg
SOBP	ขนาดไฟฟ้าพลังงานชีวมวล	W
TOE	พลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ	toe
T_{w1}	อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น	°C

อักษรย่อ	ความหมาย	หน่วย
T_{w2}	อุณหภูมิน้ำสุดท้าย	^oC
v	ปริมาตรของชีวมวล	m^3
VOP_{year}	ปริมาณผลผลิตทางการเกษตรในรอบปี	kg
VOR	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	kg
ρ	ความหนาแน่นของชีวมวล	kg/m^3
η_{th}	ประสิทธิภาพความร้อนเตาชีวมวล	%

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาประเทศทั้งทางด้านธุรกิจ อุตสาหกรรม คมนาคม เกษตรกรรม และอื่น ๆ ตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานที่เห็นได้อย่างชัดคือ จำนวนประชากร อัตราการเพิ่มของประชากรและระดับของการพัฒนา ซึ่งประเทศที่ยิ่งพัฒนามากเท่าไรจะยิ่งมีการบริโภคพลังงานมากขึ้นเป็นเท่าตัว แหล่งพลังงานพื้นฐานที่ใช้กันในชีวิตประจำวันส่วนใหญ่โดยทั่วไปคือ พลังงานจากฟอสซิล ซึ่งพลังงานประเภทนี้ปัจจุบันเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse effect) ปัจจุบันปัญหาหมอกควันและฝุ่นละอองขนาดเล็กถือว่าเป็นวิกฤติการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมของจังหวัดในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ดังภาพที่ 1 และ 2 ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคธุรกิจ การท่องเที่ยว และสภาพเศรษฐกิจในพื้นที่ ส่งผลกระทบต่อการลดลงของจำนวนนักท่องเที่ยวที่มีความกังวลด้านปัญหาสุขภาพที่จะตามมาจากการสูดดมฝุ่นละอองและก๊าซพิษต่าง ๆ เหล่านี้ สาเหตุหลักของปัญหาหมอกควันเกิดจากการเผาทำลายเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง หรือเศษไม้จากการตัดแต่งกิ่งลิ้นจี่ ลำไย เป็นต้น ซึ่งเป็นวิถีปฏิบัติของประชาชนในพื้นที่สำหรับเตรียมการเพาะปลูกในฤดูถัดไป

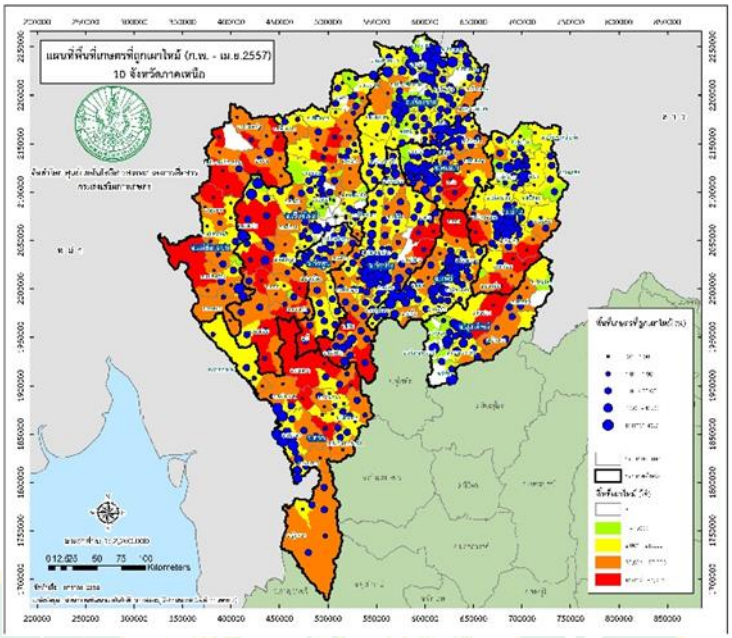
จังหวัดลำปางเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย มีสถานที่ท่องเที่ยวสำคัญหลายแห่ง และอยู่ติดกับแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดอื่น ๆ คือ จังหวัดลำพูน เชียงใหม่ เชียงราย พะเยา แพร่ และตาก ปัจจุบันจังหวัดลำปางเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่การปลูกพืชผลทางการเกษตรและเป็นแหล่งพื้นที่เกษตรที่ถูกเผาไหม้เป็นอันดับต้นของภาคเหนือ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) โดยในปี พ.ศ. 2560 อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งหมด 55,192.73 และมีผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อปีอยู่ที่ 66,113.63 ตัน/ปี มีปริมาณจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จาก ยอด ใบ ลำต้นอยู่ที่ 1.19 ตัน/ตันผลิต และซังข้าวโพดอยู่ที่ 0.21 ตัน/ตันผลผลิต (สำนักงานเกษตรอำเภอวังเหนือ, 2560) ทำให้ต้องมีแนวทางการจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของจังหวัด ซึ่งยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างเป็นรูปธรรม ทางจังหวัดจึงได้กำหนดวาระการงดการเผาทำลายเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร รวมทั้งขยะทุกชนิดเป็นวาระของจังหวัด โดยออกกฎระเบียบและวิธีปฏิบัติ เพื่อลดปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กและหมอกควันในพื้นที่ เช่น มาตรการการชิงเผาก่อน มาตรการห้ามเผา 60 วัน ในช่วงเวลาวิกฤติ หรือการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาทำเป็นปุ๋ยหมัก ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาเบื้องต้น อย่างไรก็ตามเพื่อความยั่งยืนของการบริหาร

จัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ไม่ให้ก่อให้เกิดปัญหา และมีการนำเอาไปใช้อย่างถูกต้อง ควรที่จะต้องมีการศึกษาแหล่งที่มาของชีวมวล ศักยภาพชีวมวล และแนวทางการนำชีวมวลเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ เทคโนโลยีการแปรรูปพลังงาน การขนส่ง การจัดเก็บ และต้นทุนการผลิตพลังงานในพื้นที่หรือถ้ามีการศึกษาที่ชัดเจนแบบนี้ จะส่งผลให้ชุมชนสามารถลดการเผาและมีการนำเอาชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเหมาะสมตามศักยภาพของพื้นที่นั้น ๆ

ดังนั้นเพื่อเป็นการวางแผนรูปแบบการนำเอาชีวมวลไปใช้และการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่ และการลดปัญหาหมอกควันในที่สุด โครงงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาศักยภาพของชีวมวลในท้องถิ่น การประเมินศักยภาพชีวมวล แนวทางการนำเอาชีวมวลที่เป็นปัญหาในเรื่องการเผาไปใช้ประโยชน์ในการอัดแท่งและการอัดเม็ดเชื้อเพลิง การศึกษาการนำเอาเชื้อเพลิงไปใช้กับเตาชีวมวลต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม การประเมินสมรรถนะเตาชีวมวล และต้นทุนการใช้เชื้อเพลิง การประเมินผลการใช้งานจริงจากชุมชน ทั้งในมุมมองด้านการใช้งานจริง และด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากชุมชน ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาจะส่งผลให้ได้แนวทางการจัดการพลังงานชุมชนในด้านข้อมูลศักยภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แนวทางการใช้ประโยชน์จากชีวมวลอย่างถูกต้องและเหมาะสมกับพื้นที่ นอกจากนี้ยังสามารถขยายผลการศึกษาไปสู่พื้นที่อื่น ๆ ในอนาคตได้

ภาพที่ 1 ปัญหาการเผาและหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ

ที่มา: มูลนิธิเกษตรกรรมยั่งยืน (ประเทศไทย) (2557)



ภาพที่ 2 แผนที่พื้นที่เกษตรที่ถูกเผาไหม้ใน 8 จังหวัด ของภาคเหนือ

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ม.ป.ป.)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการพลังงานในระดับชุมชน ในด้านการสำรวจ การประเมินศักยภาพการเพิ่มความหนาแน่นชีวมวล และการทดสอบเตาชีวมวลที่มีศักยภาพที่เหมาะสมสำหรับชุมชน
2. เพื่อศึกษาการใช้พลังงาน ต้นทุนการผลิตและประสิทธิภาพของการแปรรูปชีวมวล เป็นพลังงานสำหรับชุมชน
3. เพื่อศึกษาและประเมินความพึงพอใจของชุมชนที่มีต่อการใช้งานเทคโนโลยีเตาชีวมวล และแนวทางการแปรรูปชีวมวลในชุมชน

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เป็นต้นเหตุการเผา ได้แก่ ต้นข้าวโพด และซังข้าวโพด
2. ชุมชนต้นแบบในการศึกษาคืออำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง
3. เตาชีวมวลที่นำมาประเมินที่ได้รับการส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยีจากกระทรวงพลังงาน
4. การแปรรูปชีวมวลในท้องถิ่นที่จะศึกษาคือ การแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและอัดเม็ด
5. เทคโนโลยีเตาชีวมวลจากกระทรวงพลังงานที่นำมาทดสอบประกอบด้วย เตาชีวมวลแบบใช้ฟืน เตาชีวมวลแบบใช้แกลบ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง เตาเศรษฐกิจ และเตาอื่น ๆ ที่มีความเหมาะสมกับชุมชน
6. ประสิทธิภาพความร้อนและต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อนใช้วิธีการทดสอบโดยการต้มน้ำ (Water boiling test)
7. การประเมินการใช้งานเทคโนโลยีเตาชีวมวลจะประเมินกับชุมชนในเขตพื้นที่อำเภอวังเหนือ โดยมีการคัดเลือกเตาชีวมวลที่เหมาะสมที่สุด 3 ชนิด ให้ชุมชนได้นำไปใช้งาน
8. การประเมินการทดสอบการใช้งานของเตาชีวมวลของชุมชน จะประเมินหัวข้อครอบคลุมความพึงพอใจในการใช้งานด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อมในชุมชน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศักยภาพ วิธีการ และแนวทางการประเมินศักยภาพชีวมวลในระดับชุมชน
2. ได้แนวทางและข้อมูลกระบวนการเพิ่มความหนาแน่นของชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับชุมชน
3. ได้เทคโนโลยีเตาชีวมวลจากกระทรวงพลังงานที่เหมาะสมกับการใช้ชีวมวลในท้องถิ่นในระดับครัวเรือน
4. ได้ข้อมูลผลการประเมินด้านการใช้งานเทคโนโลยีด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อมจากชุมชน สำหรับเป็นแนวทางไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานระดับชุมชนให้สูงขึ้น
5. ได้แนวทางการจัดการชีวมวลในท้องถิ่นในภาพรวมที่เหมาะสมสำหรับชุมชน

บทที่ 2
ทฤษฎีและการตรวจสอบเอกสาร

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงศักยภาพพลังงานชีวมวลในประเทศไทย เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล และการใช้เตาชีวมวลในระดับครัวเรือน รวมถึงการวิเคราะห์พลังงานของการใช้เชื้อเพลิงกับเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน ซึ่งแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

พลังงานชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) หมายถึงวัสดุหรือสารอินทรีย์ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานได้ ชีวมวลนับรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เศษไม้ ปลายไม้จากอุตสาหกรรมไม้ มูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร และของเสียจากชุมชน ดังภาพที่ 3 การใช้งานชีวมวลเพื่อทำให้ได้พลังงานอาจจะทำโดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล เช่น น้ำมัน ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลเป็นแหล่งทรัพยากรที่ล้ำค่าต่อการนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย นับตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์จนปัจจุบัน ชีวมวลเป็นวัสดุที่มีราคาถูก เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากวัสดุที่เกิดระหว่างการทำเกษตรกรรม ป่าไม้ เป็นของเหลือทิ้งจากอาหารและพืชประเภทเส้นใยหรือผลพลอยได้ที่ไม่มีค่าจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนการก่อสร้างหรือรื้อถอนสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น ชีวมวลสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาได้ดังนี้

- พืชผลทางการเกษตร (Agricultural crops) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หวาน ที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่าง ๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานได้
- เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (Agricultural residues) เช่น ฟางข้าว เศษลำต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง
- ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood residues) เช่น ไม้โตเร็ว ยูคาลิปตัส กระถินณรงค์ เศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือน และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น
- ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน (Waste streams) เช่น กากน้ำตาล และชานอ้อย จาก โรงงานน้ำตาล แกลบ ขี้เลื่อย เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม

ภาพที่ 3 แหล่งพลังงานชีวมวล

ที่มา: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 (ชลบุรี) (2561)

ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย

ประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรมประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตรก็คือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กาก ใย และทะลายปาล์ม เป็นต้น ปริมาณชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผลิตภายในประเทศจะแปรผันและขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ ดังตารางที่ 1 สำหรับศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศไทยจะประเมินจากผลคูณของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดชีวมวลนั้น ๆ กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตเป็นปริมาณชีวมวล ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 พื้นที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตพืชในปี พ.ศ. 2559 และ 2560

ชนิด	2559		2560	
	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)
อ้อย	10,278,028	94,064,270	9,864,668	92,989,093
ข้าว	56,545,773	25,236,345	55,050,535	24,074,355
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	6,444,886	4,390,185	6,526,475	4,700,374
ปาล์มน้ำมัน	4,383,752	11,420,070	4,773,615	13,513,884
มันสำปะหลัง	9,065,277	31,161,103	8,714,471	30,495,190
ไม้ยางพารา	18,466,489	4,342,935	19,221,945	3,904,505,182

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561)

ตารางที่ 2 ศักยภาพชีวมวลและการใช้ประโยชน์เชิงพลังงาน

ชนิด	ผลผลิต (ตัน)	ชีวมวล	ปริมาณชีวมวลเหลือใช้ (ตัน)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ศักยภาพพลังงาน (TJ)	ศักยภาพพลังงาน (ktoe)
อ้อย	66,816,446	ชานอ้อย	4,190,794.31	14.40	60,347.44	1,428.54
		ยอดและใบ	13,439,727.21	17.39	233,716.86	5,532.52
ข้าว	31,508,364	แกลบ	3,510,598.90	14.27	50,096.25	1,185.87
		ฟางข้าว	25,646,547.96	10.24	262,620.65	6,216.73
ถั่วเหลือง	190,480	ต้น/เปลือก/ใบ	170,383.17	19.44	3,312.35	78.41
ข้าวโพด	4,616,119	ซัง	584,539.15	18.04	10,545.09	249.62
		ลำต้น	2,758,777.36	18.04	49,768.34	1,178.11
ปาล์มน้ำมัน	8,162,379	ทะลายเปล่า	1,024,868.34	17.86	18,304.15	433.29
		ใย	162,970.06	17.62	2,871.53	67.97
		กะลา	38,959.04	18.46	719.18	17.02
		ก้าน	2,203,740	9.83	21,824.24	516.62
มันสำปะหลัง	30,088,025	ลำต้น	2,439,236.19	18.42	44,930.73	1,063.60
		เหง้า	1,834,466.88	18.42	33,790.88	799.89
มะพร้าว	1,380,980	ก้าน	628990.82	15.40	9686.46	229.30
		กาบ	464250.95	16.23	7534.79	178.36
		กะลา	128936.58	17.93	2311.83	54.73
ไม้ยางพารา	3,090,280	กิ่ง/ก้าน	312,118.28	14.98	4,675.53	110.68
รวม	**145,853,073**		**59,539,905.20**		**504,339.40**	**11,938.67**

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2562)

การประเมินศักยภาพชีวมวลสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (พงษ์ศักดิ์, 2556)

$$VOR = RTP_{ratio} \times VOP_{year} \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ VOR คือ ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Volume of residue agriculture) (10^6 kg)

RTP_{ratio} คือ ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Volume of residue agriculture) (10^6 kg)

VOP_{year} คือ ปริมาณผลผลิตทางการเกษตรในรอบปี (Volume of agricultural production per year) (10^6 kg)

$$ENU = VOR \times RNU_{ratio} \times HHV_R \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ ENU คือ พลังงานที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ (Energy not used) (10^{12} J)

RNU_{ratio} คือ สัดส่วนวัสดุเหลือใช้ที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ (Residue not used ratio) (%)

HHV_R คือ ค่าความร้อนสูงของวัสดุแต่ละชนิด (High heating value of residue) (10^6 MJ/kg)

$$TOE = \frac{ENU}{42.244 \times 10^9} \quad \text{สมการที่3}$$

เมื่อ TOE คือ พลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ (Tons of oil equivalents energy) (10^3 toe) โดยกำหนดให้ 1 toe = 42.244 × 109 J

$$POE = \frac{(ENU \times PE_{hour})}{3{,}600} \quad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ POE คือ ศักยภาพพลังงานไฟฟ้า (Potential of energy) (10^9 Wh)

PE_{hour} คือ กำลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง (Power of electric per hour) (Wh) โดยกำหนดให้ 1 Wh = 3,600 J

$$SOBP = \frac{POE}{HYP}$$ สมการที่ 5

เมื่อ SOBP คือ ขนาดไฟฟ้าพลังงานชีวมวล (Size of bio-electric plant) (10^3 W)

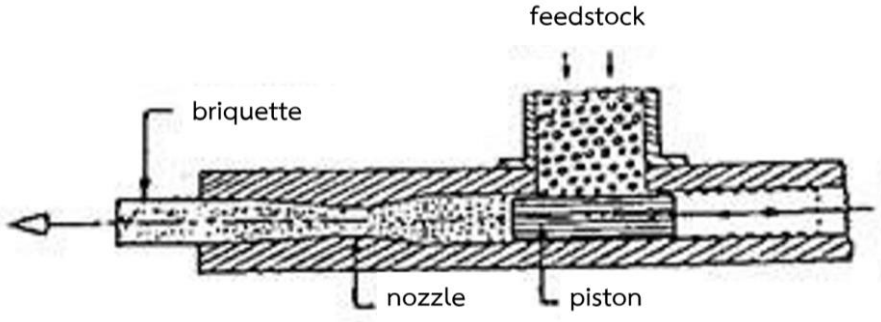
HYP คือ ชั่วโมงการผลิตต่อปี (Hour per year to production) (h)

เทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวลสำหรับเพิ่มความหนาแน่นชีวมวล

1. การอัดแท่งชีวมวล

1. การอัดแท่งด้วยกระบอกสูบ

เครื่องอัดแท่งแบบกระบอกสูบ ประกอบด้วย กลไกลูกสูบ และกระบอกสูบที่ออกแรงกดวัสดุจากช่องป้อนลงในเบ้า ลดขนาดพื้นที่หน้าตัดให้แน่นขึ้น (ภาพที่ 4) วัสดุที่ถูกอัดก็ร้อนขึ้นถึง 150-300 ºC ระหว่างกระบวนการ โดยปกติแล้วเครื่องจักรอัดแท่งจะถูกขับด้วยไฟฟ้าและต่อกับล้อสะสมพลังงาน (Flywheel) พัฒนาการต่อมาคือการขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอกลิค ซึ่งผู้ผลิตเครื่องจักรประเภทนี้จะมีในวงจำกัดเฉพาะพวกยุโรปตะวันตก เครื่องอัดแท่งแบบนี้จะมีช่องยาว ๆ ไว้ให้วัสดุผ่านและรักษารูปร่างที่ต้องการไว้ เมื่อถูกอัดแท่งผ่านเบ้าเครื่องจักรออกไปแล้ว วัสดุอัดแท่งจะเย็นลง ซึ่งจำเป็นต่อการควบคุมการควบแน่นของไอน้ำภายในเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ มิฉะนั้นแล้ว ความดันไอน้ำจะส่งผลให้เกิดการแตกที่ผิวและมีผลต่อความเปราะบางของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรประเภทนี้อยู่ที่ขนาดประมาณ 40-1000 kg/h เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จะมีรูปร่างปกติคล้ายทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-100 mm ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องอัดแท่งประเภทนี้ คือ การสึกหรอกของเบ้าแม่พิมพ์ และการแตกร้าวของกระบอกสูบ

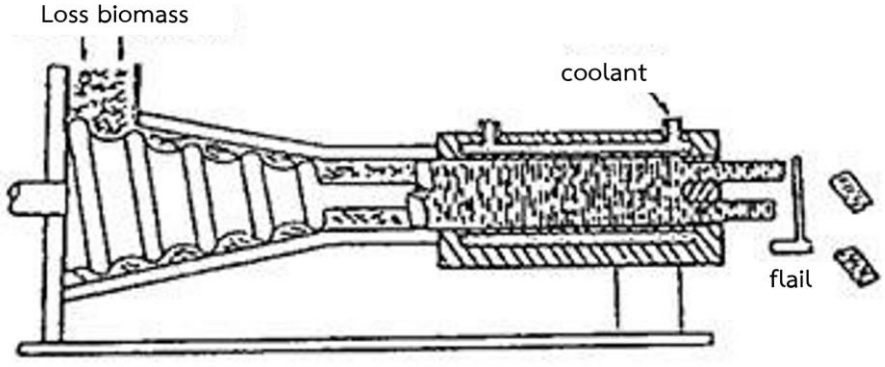


ภาพที่ 4 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบกระบอกสูบ

ที่มา: ภานุวัฒน์ (ม.ป.ป.)

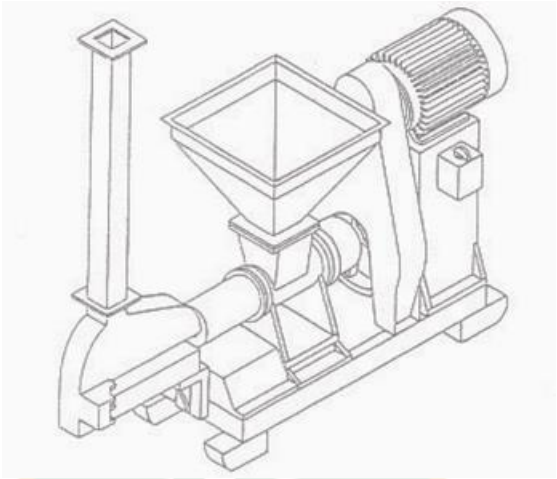
2. การอัดแท่งด้วยสกรู

เครื่องอัดแท่งด้วยสกรู (Screw press) วัสดุจะถูกอัดด้วยสกรู ซึ่งมีสกรูอยู่ 3 รูปแบบคือ สกรูทรงกรวย สกรูที่มีการให้ความร้อน และสกรูแฝด สำหรับสกรูทรงกรวยจะมีการอัดแท่งดังภาพที่ 5 หัวอัดสกรูจะหมุนส่งวัสดุผ่านช่องด้านหน้าให้ออกมาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ขนาดประมาณ 25 mm โดยมีใบมีดตัดเชื้อเพลิงอัดแท่งให้ได้ตามความยาวที่ต้องการ สกรูแบบที่มีการให้ความร้อนแสดงดังภาพที่ 5 มีการให้ความร้อนจากไฟฟ้าด้านนอก ส่วนด้านใน พื้นที่หน้าตัดจะไม่มีการลดขนาดในช่อง จะมีขอบคมเพื่อป้องกันไม่ให้เนื้อวัสดุหมุนตามติดไปกับร่องสกรู ขนาดเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีขนาดประมาณ 50-100 mm อุณหภูมิจะรักษาระดับไว้ที่ประมาณ 300 ºC ซึ่งจะส่งถ่ายความร้อนไปยังเนื้อวัสดุอุณหภูมิประมาณ 200 ºC ระหว่างกระบวนการความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากแรงเสียดทานด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จะถูกไพโรไลซิสไปบางส่วนบริเวณผิวด้านนอก ซึ่งทำให้เกิดมีควันขึ้นจนสังเกตได้ระหว่างกระบวนการอัดแท่ง การออกแบบสกรูและเบ้าแม่พิมพ์จะทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีช่องรูตรงกลาง ซึ่งทำเอาไว้เพื่อเป็นช่องทางให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นระบายออกมา สำหรับเครื่องอัดแท่งประเภทนี้มีปัญหาในการบำรุงรักษามาจากการสึกหรอของสกรูและเบ้าแม่พิมพ์ อาจจะมีอายุใช้งานตั้งแต่ 100-800 ชั่วโมงก่อนที่จะต้องเปลี่ยนเกลียวสกรู ส่วนสกรูแบบที่ 3 หรือสกรูแบบแฝด เครื่องอัดแท่งแบบสกรูแฝด (Twin screw) แกนหมุนสกรูสองอันที่อยู่ข้างกัน ถูกทำให้หมุนในทิศตรงข้ามกันในช่องกรอบรูปเลขแปด กรอบช่องรูปเลขแปดนี้ เป็นกล่องความดันที่มีการให้ความร้อนและมีช่องเปิดเพื่อระบายไอน้ำเนื่องจากความดันสูง และเกิดความร้อนจากแรงเสียดทาน อุณหภูมิของวัสดุที่ถูกอัดแท่งอาจเพิ่มขึ้นถึง 250 ºC เชื้อเพลิงอัดแท่งจะถูกดันออกตามแนวแกน วัสดุที่มีขนาด 30-80 mm และมีความชื้นถึง 25% สามารถใช้ได้กับเครื่องประเภทนี้โดยไม่ต้องไปทำให้แห้งก่อน



ภาพที่ 5 เครื่องอัดแท่งด้วยสกรู

ที่มา: ภานุวัฒน์ (ม.ป.ป.)

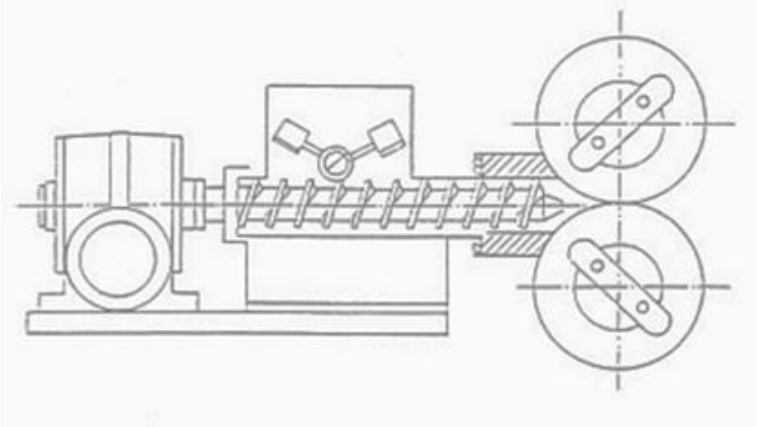


ภาพที่ 6 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบให้ความร้อนด้านนอก

ที่มา: ภานุวัฒน์ (ม.ป.ป.)

3. การอัดแท่งแบบกลิ้ง

การอัดแท่งแบบกลิ้ง วัสดุจะถูกบีบอัดระหว่างตัวหมุนสองตัว ซึ่งหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน มีช่องห่างระหว่างกันเล็กน้อยตามขนาดแท่งที่ต้องการ ดังภาพที่ 7 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงประเภทนี้ต้องใช้กับเชื้อเพลิงขนาดเล็กกว่าเครื่องประเภทอื่น การกลิ้งอัดแบบนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความคงทนน้อยกว่า แบบอัดผ่านช่องแคบ เนื่องจากมีช่วงเวลาการอัดน้อย ทำให้ยากต่อการสร้างสภาวะความดันสูง และอุณหภูมิสูงให้เกิดขึ้นเพื่อทำให้ลิกนินในเนื้อวัสดุชีวมวลเกิดการสลายตัว เกิดการประสานตัว ทำให้แน้อวัสดุชีวมวลจับตัวและอัดแท่งได้ดี เครื่องอัดแบบกลิ้งนี้จะใช้ได้ดีเมื่อมีตัวประสาน (Binder) ด้วย ซึ่งมีกระบวนการคล้ายกับการอัดแท่งถ่านหินหรือถ่านไม้ทั่วไป

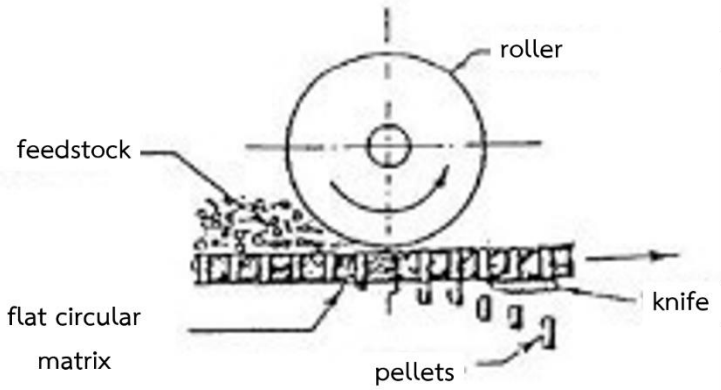


ภาพที่ 7 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบกลิ้ง

ที่มา: ภานุวัฒน์ (ม.ป.ป.)

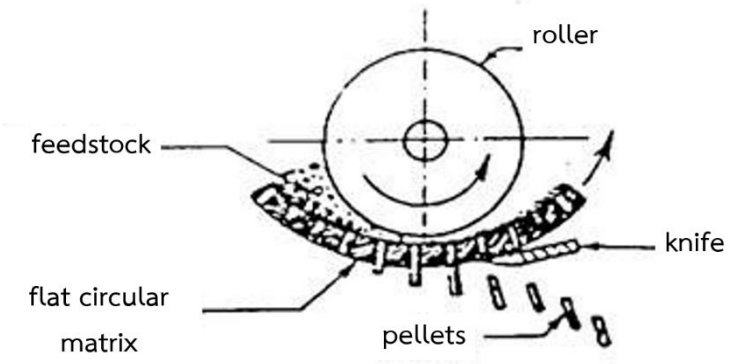
2. การอัดเม็ดชีวมวล

การอัดเป็นเม็ด (Pelletizing) เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงประเภทนี้ ประกอบด้วยช่องแบบแม่พิมพ์และเครื่องหมุน ความดันที่ได้ส่งผลให้เกิดการบังคับวัสดุผ่านช่องแบบแม่พิมพ์ และทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทาน ดังภาพที่ 8 และ 9 เครื่องอัดเม็ดมี 2 ชนิด คือ แบบแหวน และแบบแผ่นกลม เม็ดวัสดุที่ถูกอัดออกมาจะถูกตัดโดยใบมีดที่กำหนดไว้ ปกติเม็ดเชื้อเพลิงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-15 mm และความยาวไม่เกิน 30 mm เชื้อเพลิงอัดก้อนจากเครื่องจักรประเภทนี้อาจมีรูปร่างเป็นรูปลูกบาศก์หากมีขนาดใหญ่ขึ้น



ภาพที่ 8 เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม

ที่มา: ภานุวัฒน์ (ม.ป.ป.)



ภาพที่ 9 เครื่องอัดเม็ดแบบแม่พิมพ์วงแหวน

ที่มา: ภานุวัฒน์ (ม.ป.ป.)

กระบวนการผลิตถ่าน

กระบวนการผลิตถ่านด้วยกระบวนการคาร์บอไนเซชั่น (Carbonization) คือกระบวนการเผาไหม้ในสภาพอับอากาศ หรือจำกัดอากาศ ทำให้มีออกซิเจนน้อย ทำให้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านไม่สามารถลุกไหม้ได้ และกลายเป็นถ่านสีดำ โดยในช่วงแรกของการเผาเป็นการไล่ความชื้นหรือการดึงโมเลกุลของน้ำออกจากสาร เรียกว่า ดีไฮเดรชั่น (Dehydration) จะเป็นการอบ มีอุณหภูมิประมาณ 180 °C เมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มมากขึ้นจนถึง 270-400 °C องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านที่เรียกว่า เฮมิเซลลูโลส จะมีการสลายตัว ทำให้เกิดก๊าซ เมื่ออุณหภูมิการเผาเข้าสู่ช่วง 400-500 °C จะเกิดการสลายตัวของน้ำมันดินหรือทาร์ให้หมด โดยน้ำมันดินเหล่านี้เมื่อเกิดการเผาไหม้จะเกิดเป็นสารประกอบเบนโซไพรีน (Benzopyrene) และไดเบนซานทราซีน (Dibenzanthracene) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นหากมีการนำถ่านที่ยังมีน้ำมันดินสะสมอยู่ไปประกอบอาหารจะเกิดอันตรายต่อผู้บริโภค เพื่อทำให้ผู้บริโภคเกิดความปลอดภัยจึงต้องมีการทำให้ถ่านบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายเรียกว่า รีไฟน์เมนท์ (Refinement) โดยถ่านที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติต่างจากวัตถุดิบตั้งต้น ทำให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น (ฝ่ายชุมชนและผู้ด้อยโอกาส สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ม.ป.ป.) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของถ่าน

คุณสมบัติ	ไม้ฟืน	ถ่านไม้
น้ำหนัก	1 kg	0.25 kg
ค่าความร้อน	3,600 kcal/kg	7,400 kcal/kg
ปัญหาจากการเก็บรักษา	ผุพังจากราและแมลง	ไม่มีการสูญเสีย หรือสูญหาย
ระยะเวลาการใช้งาน	เร็ว	ช้า
มลพิษจากการเผาไหม้	สูงมาก	ต่ำกว่า

ที่มา: ฝ่ายชุมชนและผู้ด้อยโอกาส สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ม.ป.ป.)

การประเมินประสิทธิภาพความร้อน

การทดสอบประสิทธิภาพเตาชีวมวลจะใช้วิธีการทดสอบโดยการต้มน้ำ (Boiling test) จากพลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำต่อพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

$$\eta_{th} = \frac{Q_U}{Q_{Fuel}}$$ สมการที่ 6

เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพความร้อนเตาชีวมวล (%)

Q_U คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ประโยชน์ (kJ)

Q_{Fuel} คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (kJ)

ปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์หาได้ความร้อนที่ใช้ในการอุ่นและระเหยน้ำ

$$Q_U = [m_{w1}C_{pw}(T_{w2} - T_{w1})]+[m_{w2}h_{fg}]$$ สมการที่ 7

เมื่อ m_{W1} คือ มวลน้ำเริ่มต้น (kg)

m_{w2} คือ มวลน้ำระเหย (kg)

C_{pw} คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ มีค่าเท่ากับ 4.186 kJ/kg•ºC

T_{w1} คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (ºC)

T_{w2} คือ อุณหภูมิน้ำสุดท้าย (ºC)

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ มีค่าเท่ากับ 2,257 kJ/kg

ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงหาได้ตามสมการ

$$Q_{Fuel} = m_{Fuel} \times LHV_{Bio}$$ สมการที่ 8

เมื่อ m_{Fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ให้ทั้งหมด (kg)

LHV_{Bio} คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวล (kJ/kg)

เทคโนโลยีเตาชีวมวล

1. เตามหาเศรษฐีหรือเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง

เตามหาเศรษฐีหรือเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง ดังภาพที่ 10 เป็นเตาที่พัฒนาเพื่อทดแทนเตาอั้งโล่ตามท้องตลาดทั่วไป โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าเตาอั้งโล่ทั่วไปโดยเฉลี่ย 29% สามารถใช้ไม้ฟืนและถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง หากครัวเรือนใช้เตามหาเศรษฐีจะสามารถประหยัดไม้ฟืนและถ่านประมาณ 500-600 บาท/ครัวเรือน/ปี โดยเตามหาเศรษฐีมีลักษณะเพรียว น้ำหนักค่อนข้างเบา ถังเปลือกเตาใช้โลหะหนา ทำให้ผุกร่อนช้าและแข็งแรงทนทาน ปากเตาลาดเอียงลงด้านใน ทำให้สามารถวางภาชนะหุงต้ม (หม้อ) ได้ 9 ขนาด ตั้งแต่เบอร์ 16-32 เส้าเตาวางภาชนะหุงต้มต่ำกว่าขอบเตาเล็กน้อยและขอบเตาเสมอกันโดยรอบ ทำให้ความร้อนสูญเสียสู่บรรยากาศน้อย ส่วนช่องบรรจุถ่านสามารถบรรจุได้ 400-500 g ซึ่งเพียงพอต่อการหุงต้มอาหารแต่ละมื้อโดยไม่ต้องเติมถ่านอีก รังผึ้งของเตาหนาทำด้วยดินปั้นเตาคุณภาพดี ทนทาน รูรังผึ้งเล็กและเรียว สามารถดูดอากาศได้ดี ส่วนตัวเตาทำด้วยดินเหนียว มีฉนวนกันความร้อนระหว่างถังเปลือกเตากับตัวเตา ขณะหุงต้มอาหารไม่มีควันและก๊าซพิษเกิดขึ้น เนื่องจากเผาไหม้สมบูรณ์ และให้ความร้อนสูง ซึ่งอุณหภูมิกลางเตาประมาณ 1,000-1,200 ºC มีอายุการใช้งานมากว่า 2 ปี และยังประหยัดเชื้อเพลิงได้มากว่าเตาอั้งโล่ตามท้องตลาดถึง 30-40% สำหรับวิธีการดูแลรักษาเตามีข้อควรปฏิบัติดังนี้

1. อย่าให้น้ำหรืออาหารหก รดเตา เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และผุกกร่อนง่าย
2. เก็บรักษาเตาไว้ในที่ร่มไม่เปียกฝนหรือในที่ ๆ มีความชื้นสูง หากไม่ใช้เตาเป็นเวลานานควรใช้น้ำมันชโลมเพื่อป้องกันสนิม
3. ในการเคลื่อนย้ายเตา อย่าวางกระแทก เพราะจะทำให้ฉนวนบุเตาหลุดออกจากตัวถัง
4. ฉนวนบุที่ฉาบไว้โดยรอบผนังกรวยด้านใน หากมีการแตกร้าวหรือหลุดร่วน ให้ใช้ดินเหนียวผสมขี้เถ้าแกลบในอัตราส่วน 1:5 ยาทับรอยชำรุดนั้น

ภาพที่ 10 เตามหาเศรษฐีหรือเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง

ที่มา: องค์การบริหารส่วนตำบลวัดขวาง (2555)

2. เตาเศรษฐกิจ

เตาเศรษฐกิจ ดังภาพที่ 11 เป็นเตาหุงต้มประเภทหนึ่งที่ประยุกต์มาจากเตาอั้งโล่และเตาฟืนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในชนบท สามารถใช้ได้ทั้งฟืนและถ่านเป็นเชื้อเพลิง จุดเด่นของเตาชนิดนี้คือ สามารถนำเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ไม่ว่าจะเป็นแกลบ ซังข้าวโพด ชานอ้อย กะลามะพร้าว ลำต้นมันสำปะหลัง นอกจากนี้เตายังมีปล่องไฟทำหน้าที่ช่วยดูดเขม่าควันออกไป ทำให้การเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงผสมกับอากาศได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนประโยชน์ของเตาเศรษฐกิจคือ ช่วยประหยัดเงินสำหรับเชื้อเพลิงหุงต้มอาหาร เนื่องจากเตาสามารถใช้เชื้อเพลิงที่หาได้ง่ายและหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงพวกเศษหญ้า ฟางข้าว ใบไม้ แกลบ ขี้เลื้อย ต้นปอ ต้นอ้อย ซังข้าวโพด และต้นมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังประหยัดเวลาและแรงงานในการประกอบอาหารได้อย่างน้อยวันละ 1-2 h ส่วนบริเวณที่ใช้ประกอบอาหารและภาชนะมีความสะอาด เพราะปล่องจะดูดเขม่าต่าง ๆ ออกทางปล่อง ซึ่งอยู่พ้นจากหลังคาบ้าน ทำให้ปราศจากเขม่าที่เกิดจากการหุงต้ม เตาเศรษฐกิจยังให้ความร้อนสูง จุดติดไฟได้สะดวก โดยสามารถใช้เศษไม้สับหรือเศษกระดาษก่อเป็นเชื้อแล้วเอาวัสดุเชื้อเพลิงวางทับเพื่อให้เกิดการลุกไหม้ จากนั้นรีบเอาภาชนะวางบนเตาเพื่อที่จะดูดลมเองโดยผ่านช่องหน้าเตา โดยไม่ต้องพัดหน้าเตาเหมือนเตาถ่านทั่วไป ส่วนวิธีการบำรุงรักษาสามารถทำได้ดังนี้

1. ต้องฉาบฉนวนด้านในทุกปี โดยใช้ดินเหนียวผสมกับขี้เถ้าแกลบดำในอัตราส่วน 1:6 แล้วหมักทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อยืดอายุการใช้งาน
2. ผู้ใช้งานต้องทำการป้อนเชื้อเพลิงเข้าเตาอย่างสม่ำเสมอ
3. เตามีน้ำหนักมากไม่เหมาะแก่การขนย้ายไปมา
4. การป้อนเชื้อเพลิงมากเกินไปอาจทำให้เกิดการลุกติดไฟที่รุนแรง

ภาพที่ 11 เตาเศรษฐกิจ

ที่มา: บริษัท เอนคอส จำกัด (2557)

3. เตาชีวมวล

เตาชีวมวล ดังภาพที่ 12 เป็นเตาที่ออกแบบสำหรับการหุงต้มในครัวเรือน โดยการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาเผาไหม้ทำให้เกิดก๊าซ ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้ได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นเศษไม้ เปลือกเมล็ดปาล์ม กะลามะพร้าว เหง้ามันสำปะหลัง ซังข้าวโพด และชานอ้อย เป็นต้น เชื้อเพลิงจำนวน 1-1.2 kg สามารถใช้งานได้นานประมาณ 30-45 min และอุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 800-900 ºC ความร้อนที่ได้จะนำไปหุงต้มอาหารหรือใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ โดยหลักการทำงานเริ่มจากอากาศภายนอกไหลผ่านแผ่นปรับอากาศ และตะแกรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ส่วนที่ 1 เกิดปฏิกิริยาได้แก่ คาร์บอนไดออกไซค์กับน้ำ จากนั้นก๊าซอุณหภูมิสูงจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ส่วนที่ 2 และเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซค์ ได้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซค์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) สุดท้ายอากาศส่วนที่ 2 จะไหลเข้าผสมกับก๊าซที่เกิดขึ้นและลุกไหม้เป็นเปลวไฟให้ความร้อนออกมา ส่วนวิธีการบำรุงรักษาสามารถทำได้ดังนี้

1. หลังจากใช้งานเสร็จควรเก็บเตาไว้ในที่ร่ม ไม่เปียกฝน เพื่อป้องกันการเกิดสนิม
2. หลังจากใช้งานควรเขี่ยขี้เถ้าบริเวณด้านล่างของเตาออกทุกครั้ง
3. หมั่นทำความสะอาดเตาอย่างสม่ำเสมอ

ภาพที่ 12 เตาชีวมวล

ที่มา: บริษัท เอนคอส จำกัด (2557)

4. เตาชีวมวลแกลบ

เตาชีวมวลแกลบ ดังภาพที่ 13 เป็นเตาที่ออกแบบสำหรับการหุงต้มในครัวเรือน มีหลักการการเกิดแก๊สเช่นเดียวกับเตาชีวมวล คือการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาเผาไหม้ทำให้เกิดก๊าซ โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง มีหลักการทำงานโดยเริ่มจากด้านบนตัวเตา ด้วยการบรรจุแกลบลงในห้องเผาไหม้ และทำการจุดไฟที่ด้านบนของเชื้อเพลิง ภายในห้องเผาในเตาจะเกิดการลุกไหม้ลงสู่ด้านล่าง (Inverted Down-daft) โดยอากาศไหลขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งจะมีการควบคุมปริมาณอากาศให้เหมาะสมด้วยพัดลมขนาด 12V และก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะไหลออกด้านบนของตัวเตา เมื่อเปลวไฟลุกไหม้ลงสู่ด้านล่าง แก๊สที่ได้เป็นเชื้อเพลิงที่เรียกว่า Producer Gas ซึ่งเป็นการเผาไหม้เพื่อนำความร้อนมาใช้ในการหุงต้ม เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และสะอาก มีมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงปริมาณ 1.5 kg สามารถใช้ได้นานถึง 30-45 min มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 32% สำหรับวิธีการบำรุงรักษาสามารถทำได้ดังนี้

1. ไม่ควรนำเตาไปวางตากแดด ตากฝน เพราะจะทำให้เกิดสนิมได้ง่ายและชำรุดเร็ว
2. เมื่อใช้งานเสร็จควรเก็บขี้เถ้าแกลบ ออกจากห้องเผาไหม้ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสนิมเหล็ก
3. หมั่นทาน้ำมัน หรือสีป้องกันสนิม เพื่อยืดอายุการใช้งาน และชะลอการเกิดสนิม

ภาพที่ 13 เตาชีวมวลแกลบ

ที่มา: เตาแกลบเสาร์แก้ว (ม.ป.ป.)

การตรวจสอบเอกสาร

นิกราน และคณะ (2552) ได้ศึกษาศักยภาพชีวมวลที่เกิดขึ้นและชีวมวลที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ในพื้นที่ 8 จังหวัด ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน และอุตรดิตถ์ พบว่ามีปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นประกอบด้วย ฟางข้าว ตอซัง แกลบ ต้น และซังข้าวโพด ใบ และยอดอ้อย ต้น ใบ และเหง้ามันสำประหลัง ซึ่งเกิดขึ้นประมาณ 3,143,851 ton เป็นชีวมวลที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์หรือจัดการไม่ถูกต้อง 1,550,571 ton คิดเป็น 49.32% ของชีวมวลที่เกิดขึ้น ซึ่งประกอบด้วยชีวมวลจากข้าว 646,935 ton ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 356,582 ton อ้อย 341,142 ton และมันสำประหลัง 5,910 ton คิดเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นทั้งหมด 37,056,326 GJ/ป

อนุสรณ์ และคณะ (2557) ได้ศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลและชีวภาพในตำบลนาบอน จังหวัดกาฬสินธุ์ เพื่อวิเคราะห์และประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลและชีวภาพในพื้นที่ทั้งเชิงประมาณและความเหมาะสมของเทคโนโลยี ศึกษาความคุ้มค่าและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ รวมถึงผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยการสำรวจข้อมูลโดยการใช้แบบสอบถาม 1,300 ชุด จำนวน 11 หมู่บ้าน จากการสำรวจพบว่าปริมาณชีวมวลทั้งสิน 20,823 ton/ปี ส่วนปริมาณชีวภาพจากมูลสัตว์สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้เท่ากับ 5,000,000 MJ/ปี ปริมาณชีวภาพจากขยะมีค่าอยู่ในช่วง 450-1,253 ton/ปี คิดเป็นค่าพลังงานระหว่าง 4-12 ล้าน MJ/ปี และปริมาณชีวภาพจากน้ำเสีย 25,919 m^3/ปี คิดเป็นพลังงานเท่ากับ 185,000 MJ/ปี จากผลการศึกษาพบว่าพลังงานที่มีศักยภาพด้านพลังงานมากที่สุดคือ พลังงานชีวมวลที่ได้จากอ้อย ข้าว และมันสำปะหลัง ส่วนพลังงานชีวภาพที่ได้จากขยะและน้ำเสียมีศักยภาพต่ำ

พงษ์ศักดิ์ (2556) ได้รวบรวมข้อมูลปริมาณชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ของกลุ่มเกษตรกรในเขตอำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง และได้คำนวณหาศักยภาพพลังงานจากชีวมวลของกลุ่มเกษตรกรที่ควรส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานชีวมวลในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับนักวิจัย นักวิชาการและผู้สนใจในการศึกษา เพื่อพัฒนาการใช้พลังงานชีวมวลในเขตอำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง ซึ่งจากการลงพื้นที่พบว่ามีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพทางพลังงานทั้งหมด 13 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มันสำปะหลัง อ้อย ข้าว ลำไย กาแฟ ยางพารา ไผ่ กระเทียม หอมแดง และเห็ด ซึ่งในปี พ.ศ. 2554 - 2555 พบว่า ข้าวเป็นพืชที่มีพื้นที่การเพาะปลูกมากที่สุดคิดเป็น 47,393 ไร่ ทำให้ข้าวเป็นพืชที่มีปริมาณผลผลิตมากที่สุด คิดเป็น 35.37% ของผลผลิตทางการเกษตรทั้งหมด ซึ่งร้อยละการนำวัสดุเหลือใช้ไปใช้ประโยชน์ของเกษตรกรทั้งหมด โดยรวมแล้วคิดเป็น 36.67-43.81% ถือได้ว่าเป็นการใช้ประโยชน์ที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนการใช้ประโยชน์โดยรวม และเมื่อคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ คิดเป็นพลังงานมากกว่า 582.81 TJ หรือคิดเป็นปริมาณเทียบเท่าน้ำมันดิบได้มากกว่า 13.80 ktoe และสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการ

ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่า 32.38 GWh หรือเทียบเท่ากับโรงไฟฟ้าที่มีอัตราการผลิตไฟฟ้าขนาด 4,609.28 kW จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง มีศักยภาพในด้านการใช้พลังงานจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คิดเป็น 0.1% ของศักยภาพพลังงานในระดับประเทศที่สูงถึง 617,151 TJ

วิลาสินี และคณะ (2557) ได้ศึกษาสภาพการใช้พลังงานในปัจจุบันของชุมชนบ้านร่องปลายนา ต.บัวสลี อ.แม่ลาว จ.เชียงราย โดยการสำรวจ สัมภาษณ์ และสังเกตการเกี่ยวกับพลังงานทดแทนของชุมชน เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมในการจัดการพลังงานทดแทนของชุมชน จากผลการศึกษาพบว่า บริเวณทั่วไปของชุมชนมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ 829 W/m^2 ความเร็วลมเฉลี่ย 1.38 m/s มีอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่มอญเฉลี่ย 7.95 m^3/s และแม่น้ำร่องเฉลี่ย 3.57 m^3/s ด้านศักยภาพชีวมวล ขยะมูลฝอย และเชื้อเพลิงเหลือใช้จากการเกษตรที่มีมากที่สุดคือ ซังข้าวโพด 123 kg/ปี ชุมชนต้องมามีการส่งเสริมความรู้ความเข้าใจ เพื่อให้เกิดความตระหนักถึงเรื่องการใช้พลังงานทดแทนจะทำให้ชุมชนสามารถดำเนินงานด้านพลังงานทดแทนได้อย่างยั่งยืน

กิตติกร และคณะ (2551) ได้ศึกษาการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับลดต้นทุนด้านพลังงานของครัวเรือน โดยพัฒนาระบบผลิตแก๊สชีวมวลแบบ Inverted down draft โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงเตาแก๊สชีวมวล มีห้องเผาไหม้เป็นถังทรงกระบอก 2 ชั้น สูง 60 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm เติมแกลบได้ครั้งละ 1.5 kg การวิเคราะห์สมรรถนะจะประเมินจากประสิทธิภาพเชิงความร้อน อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมของเตาแก๊สชีวมวล อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และอัตราการเผาไหม้ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าครัวเรือนสามารถประหยัดเงินได้ 2,160 บาท/ปี มีจุดคุ้มทุนได้ภายใน 1.4 ปี เมื่อใช้เตาแก๊สชีวมวลทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มในครัวเรือน

วิรัตน์ (2560) ได้ศึกษาเตาชีวมวลแกลบต้นแบบ แบบอากาศไหลขึ้น และเผาไหมจากด้านล่าง โดยใช้แกลบเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง ได้ศึกษาประสิทธิภาพเตาและทดสอบการใช้งานจริง พบว่าสามารถบรรจุเชื้อเพลิงแกลบไดสูงสุด 1.659 kg มีประสิทธิภาพทางความร้อน 10.36% เตานี้ให้กำลังงานของเตาออกมา 1.28 kW เมื่อใสกำลังงานเชื้อเพลิงเข้าไป 12.50 kW สามารถสร้างแก๊สร้อนที่จุดไฟให้ลุกติดได้ภายในเวลา 2.87 นาที เปลวไฟสามารถลุกไหม้ได้นานมากถึง 27.59 min อุณหภูมิของเปลวไฟที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 416–684 ºC และมีค่า Fuel Consumption Rate (FCR) เฉลี่ยเท่ากับ 3.184 kg/h เตาชีวมวลแกลบสามารถให้ความร้อนสำหรับการทำอาหารได้หลากหลายรายการ

ธนาพล และคณะ (2558) ศึกษาความเหมาะสมในการจัดการเปลือกสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยวิธีอัดเย็น โดยใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชน การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การศึกษา

ความเหมาะสมทางเทคนิคซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM และการวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมในรูปของการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และ (2) การศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อประเมินความเป็นได้ในการบริหารจัดการโดยชุมชนในทางปฏิบัติ ผลการศึกษาพบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,235-3,389 kcal/kg และมีค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 12.7-20.5% 56.0-68.9% 3.1-3.6% และ 9.9-20.7% ตามลำดับ การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแทนฟืนไม้สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 13.13 kgCO_2eq/kg เปลือกสับปะรดแห้งที่ใช้ ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 9.4% มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 12,551 บาท และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 6 ปี 6 เดือน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน

เพ็ญจา (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาชีวมวลอัดเม็ดโดยใช้ฟางข้าวผสมกับกากน้ำตาลและดินเหนียวในอัตราส่วน 80:10:10 ขนาดชีวมวลอัดเม็ดที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.54 cm และความสูง 2 cm จากนั้นได้ทำการทดสอบค่าความร้อนภายใต้มาตรฐาน ASTM จากการทดสอบการแพร่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าพลังงานอัดเม็ดจากฟางข้าวมีปริมาณแค่ครึ่งหนึ่งของการเผาฟางข้าวในพื้นที่เปิดโล่ง ราคาของพลังงานอัดเม็ดจากฟางข้าวมีราคาเท่ากับ 7 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) มีราคาเพียงครึ่งเดียว จึงเป็นพลังงานราคาถูกที่เหมาะกับครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม

ธนาพล และคณะ (2558) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำทางมะพร้าวมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชน โดยศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิค คือ สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแท่งเชื้อเพลิง เพื่อประเมินความเป็นได้ในการบริหารจัดการโดยชุมชนในทางปฏิบัติ แท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ เป็นตัวประสาน อัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดเย็นและได้ทำการทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 2,865-4,185 kcal/g และมีประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 8.55-13.36% ส่วนค่าความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 7.25-23.40% 67.62-76.31% 3.33-5.28% และ 2.26-10.71% ตามลำดับ อัตราส่วนผสมที่ให้คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุด คือ ทางมะพร้าว 1 kg ต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 1.25 L การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าอัตราผลตอบแทนภายใน 15.6% มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 48,178 บาท และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5 ปี 1 เดือน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน

กันยาพร และคณะ (2560) ได้วิเคราะห์สมรรถนะของเตาแก๊สซิไฟเออร์ควบคู่กับการผลิตถ่านชีวภาพในโดยแสดงผลด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาที่ทำการออกแบบ เพื่อการพัฒนาเตาชีวมวลต้นแบบ ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการหุงต้มในระดับครัวเรือนควบคู่กับการผลิตเชื้อเพลิงในรูปแบบถ่านชีวภาพ ทั้งนี้เตาจะต้องอาศัยกระบวนการทางด้านเคมีความร้อน สำหรับการเปลี่ยนรูปชีวมวลใน 2 กระบวนการหลัก ได้แก่ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น สำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงและให้ความร้อน และกระบวนการไพโรไลซิส สำหรับผลิตถ่านชีวภาพ โดยจะอาศัยความร้อนที่สูญเสียผ่านผนังท่อในบริเวณที่เกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นเป็นตัวป้อนให้กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพในส่วนของการเกิดกระบวนการไพรโรไลซิส การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนผ่านกระบวนการต้มเดือดกับการเปลี่ยนวัตถุดิบทดสอบพบว่า การใช้งานเตากับซังข้าวโพดจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าการใช้แกลบ และถ่านไม้ ซึ่งจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน 24% 21% และ 13% ตามลำดับ หากมีการใช้เชื้อเพลิงในรูปแบบผสมระหว่างแกลบกับถ่านไม้ และแกลบกับซังข้าวโพด จะทำให้มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงขึ้น 27% และ 41% ตามลำดับ สำหรับถ่านชีวภาพที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสในเตามีคุณสมบัติ และองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 16.80 MJ/kg ซึ่งมีค่าต่ำกว่าถ่านชีวภาพที่ได้จากห้องปฏิบัติการ 11.20%

สมมาส และคณะ (2556) ศึกษาการเปรียบเทียบสมรรถนะของเตาชีวมวลขนาด 20 kW ที่ใช้ไมยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงกับเตาก๊าซหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพต่ำ (KB-5) และประสิทธิภาพสูง (SG5) ที่ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง เตาชีวมวลที่ใช้ทดสอบสมรรถนะประกอบด้วยตัวเตาที่มีผนัง 2 ชั้น (ห้องปฏิกิริยาและช่องอุ่นอากาศ) หองเผาไหมก๊าซชีวมวล ชองปากเตาสำหรับป้อนชีวมวล ช่องใต้เตาสำหรับถ่ายขี้เถ้าออก นอกจากนี้ยังมีวาลวควบคุมการป้อนอากาศส่วนที่ 1 เข้าสู่ห้องปฏิกิริยาและวาลว ควบคุมการป้อนอากาศส่วนที่ 2 เข้าสู่ช่องอุ่นอากาศด้วย จากการทดสอบต้มระเหยน้ำ 15 kg ในเวลา 100 min โดยใช้เตาชีวมวลและเตาก๊าซหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพต่ำ (KB-5) และประสิทธิภาพสูง (SG5) ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า เตาชีวมวลมีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำกว่าเตาก๊าซหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพต่ำ (KB-5) และต่ำกว่าเตาหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพสูง (SG5) ประมาณ 29% และ 41% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงต่ำกว่าเตาก๊าซหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพต่ำ (KB-5) และต่ำกว่าเตาก๊าซหุงต้มชนิดหัวเร่งประสิทธิภาพสูง (SG5) ประมาณ 67% และ 60% ตามลำดับ เมื่อคิดราคาก๊าซ LPG ที่ 18 บาท/kg หากราคาก๊าซ LPG ปรับตัวเพิ่มขึ้นเป็น 30 บาท/kg จะส่งผลให้การใช้เตาชีวมวลมีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้เตาแกสหุงต้มทั้งสองแบบ 80% และ 76% ตามลำดับ ดังนั้นการนำเตาชีวมวลมาใช้แทนเตาก๊าซหุงต้มจึงสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายให้ครัวเรือนได้อย่างมาก จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการนำเตาชีวมวลมาใช้เป็นเตาความร้อนสำหรับการประกอบอาหารในครัวเรือน

Belonio (2005) ได้ศึกษาออกแบบสร้างและประเมินเตาชีวมวลแบบ Inverted down draft โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง เตาที่ออกแบบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 cm ความยาวห้องเผาไหม้ 65 cm ส่วนประกอบหลักของเตาก๊าซชีวมวลประกอบด้วย หัวเตา ห้องเผาไหม้ ห้องเก็บขี้เถ้า และชุดป้อนอากาศ เติมเชื้อเพลิงได้ 1 ครั้งต่อการใช้งาน จากการทดสอบการต้มน้ำพบว่าเตาก๊าซชีวมวลมีประสิทธิภาพความร้อนเฉลี่ย 13.3% มีระยะเวลาเริ่มต้น 1.64 min ระยะเวลาใช้งานเฉลี่ย 50 นาที และอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.59 kg/h

Panwar and Ratthore (2008) ได้ออกแบบเตาชีวมวลขนาด 5 kW พร้อมการทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวล สำหรับการประกอบอาหาร โดยใช้วิธีการดูดอากาศธรรมชาติและสามารถใช้เชื้อเพลิงได้แบบหลากหลาย ผลการทดสอบพบว่าเตาชีวมวลมีประสิทธิภาพความร้อน 26.5% สามารถใช้งานได้ง่าย มีมลพิษต่ำ เปลวไฟที่ออกมาคล้ายกับเปลวไฟของก๊าซหุงต้ม มีอุณหภูมิเปลวไฟเฉลี่ย 736°C

Ojolo and Orisaleye (2012) ได้ศึกษาออกแบบ ทดสอบ และประเมินประสิทธิภาพเตาชีวมวลแบบ Inverted down draft โดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในชุมชนประเทศไนจีเรีย ผลการศึกษาพบว่า เตาที่ออกแบบสร้างสามารถนำไปใช้ในชุมชนได้มีระยะเวลาในการจุดติดไฟ ประมาณ 6 min และระยะเวลาการใช้งาน 23 min อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1.86 kg/h มีประสิทธิภาพจากการต้มน้ำให้เดือด 10.6% และต้นทุนในการผลิตอยู่ที่ 70 $

Vyas et al. (2014) ได้ออกแบบพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพเตาก๊าซชีวมวลแบบ Inverted down Draft สำหรับการประกอบอาหาร ส่วนประกอบของเตาชีวมวลประกอบด้วยห้องเผาไหม้ ระบบควบคุมอากาศ ช่องอากาศเข้า ตระแกรง ช่องอากาศผสม ผนังเตาด้านนอก และใช้ซังข้าวโพดและขี้เลื่อยอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง ทดสอบหาประสิทธิภาพเตาจากการต้มน้ำ ปริมาตรห้องเผาไหม้ 0.0109 m^3 เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.178 m และความสูงของห้องเผาไหม้ 0.441 m ผลการทดสอบประสิทธิภาพเตาก๊าซชีวมวลเมื่อใช้ซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 29.59-33.89% ขณะเดียวกันเมื่อใช้ขี้เลื่อยอัดแท่งมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 38.68-40.53%

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาศักยภาพชีวมวลที่เกิดจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง โดยได้สำรวจพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานชีวมวล อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลในระดับชุมชน และลดปัญหาหมอกควันจากการเผาทำลายชีวมวล ภาพรวมการศึกษาได้ศึกษาพื้นที่เก็บเกี่ยว พื้นที่เพาะปลูก ศักยภาพเชื้อเพลิงชีวมวล การประเมินการใช้งานชีวมวลกับชุมชน และประเมินความพึงพอใจในการใช้ชีวมวลกับเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน โดยรายละเอียดพื้นที่ในการศึกษา วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีการทดสอบ แสดงดังต่อไปนี้

พื้นที่ในการศึกษา

พื้นที่ในการศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลในระดับชุมชน ได้ทำการศึกษาในพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นอำเภอที่อยู่เหนือสุดของจังหวัดลำปาง มีพื้นที่ทั้งหมด 1,035 ตร.กม. ดังภาพที่ 14 มีจำนวนครัวเรือนทั้งหมด 11,562 ครัวเรือน และมีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 42,349 คน ประกอบไปด้วย 8 ตำบล ได้แก่ ตำบลวังเหนือ ตำบลวังทราย ตำบลวังใต้ ตำบลร่องเคาะ ตำบลวังซ้าย ตำบลวังทอง ตำบลวังแก้ว และตำบลทุ่งฮั้ว มีอาณาเขตทิศเหนือติดต่อกับ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ทิศตะวันออกติดต่อกับอำเภอแม่ใจ และอำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา ทิศใต้ติดต่อกับอำเภองาว อำเภอแจ้ห่ม และอำเภอปาน จังหวัดลำปาง และทิศตะวันตกติดต่อกับอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ดังภาพที่ 15 โดยประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญ ได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าว และมันสำปะหลัง (ศูนย์บริการอำเภอ, 2560) โดยเฉพาะข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอวังเหนือ มีการปลูกเป็นอันดับที่ 1 ของจังหวัดลำปาง (กลุ่มกำกับและพัฒนาเศรษฐกิจการค้า จังหวัดลำปาง, 2559) ในภาพรวมส่วนใหญ่ชีวมวลจะถูกทิ้งไว้ไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

ภาพที่ 14 แผนที่จังหวัดลำปาง

ที่มา: สถานีพัฒนาที่ดินลำปาง (ม.ป.ป.)

ภาพที่ 15 แผนที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง

ที่มา: สถานีพัฒนาที่ดินลำปาง (ม.ป.ป.)

วัสดุ อุปกรณ์ที่ และเครื่องมือใช้ในงานวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ลำต้น ใบและยอด และซังข้าวโพด ด้านอุปกรณ์และเครื่องมือ ประกอบด้วย เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด เครื่องผลิตถ่าน เครื่องอัดแท่ง ชีวมวลอัดเม็ด ถ่านอัดแท่ง เตาชีวมวล เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง เตาเศรษฐกิจ และเตาชีวมวลแกลบ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องชั่งน้ำหนัก และอุปกรณ์วิเคราะห์คุณสมบัติชีวมวล รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

1. ชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

1.1 ลำต้น ใบ ยอด และซังข้าวโพด

ชีวมวลหลักที่นำมาใช้ในงานวิจัย คือ ชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง โดยการนำมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1. ลำต้น ใบ และยอดข้าวโพด 2. ซังข้าวโพด ดังภาพที่ 16 และ 17 มีคุณสมบัติเบื้องต้นของค่าความชื้นอยู่ในช่วง 7.22-9.2% ปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง 71.82-86.54% ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 5.75-5.79% และปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 0.29-13.2% สำหรับค่าความร้อนและความหนาแน่นชีวมวลมีค่าอยู่ในช่วง 15.94-16.16 MJ/kg และ 132.6-373.02 kg/m^3 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ภาพที่ 16 ลำต้น ใบและยอดข้าวโพด

ภาพที่ 17 ซังข้าวโพด

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวล

คุณสมบัติ	ยอด ใบ และลำต้น	ซังข้าวโพด
ความชื้น (%)	7.22	9.2
สารระเหย (%)	86.74	71.82
เถ้า (%)	0.29	13.2
คาร์บอนคงตัว (%)	5.75	5.79
ค่าความร้อน (MJ/kg)	15.94	16.16
ความหนาแน่น (kg/m^3)	373.02	132.6

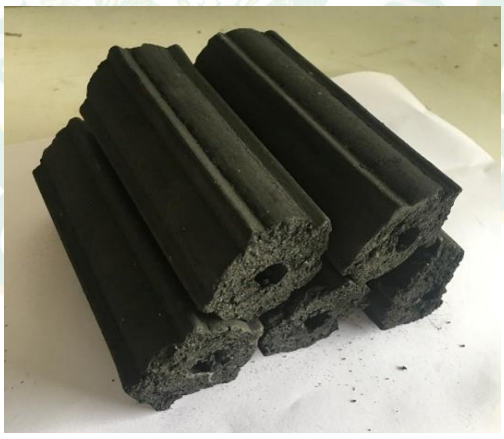
1.2 เชื้อเพลิงชีวมวลซังข้าวโพดอัดเม็ด

เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ในการทดสอบนี้ทำจากส่วนประกอบของ ลำต้น ใบ และยอด ของข้าวโพด มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 0.80 cm ความยาว 4.00 cm ความหนาแน่น 1,292.55 kg/m^3 และค่าความร้อนเฉลี่ย 17,572.80 kJ/kg ดังภาพที่ 18

ภาพที่ 18 เชื้อเพลิงอัดเม็ด

1.3 ถ่านอัดแท่ง

ถ่านอัดแท่ง ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำจากส่วนประกอบของซังข้าวโพด ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชั่นหรือการเผาถ่าน โดยการอัดแท่งจะนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง 1:10 และนำไปอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งแบบสกรูเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 4.00 cm มีรูตรงกลางขนาด 10.00 cm ความยาวของถ่านอัดแท่งประมาณ 10.00-12.00 cm ความหนาแน่นเฉลี่ย 896.78 kg/m^3 และค่าความร้อนเฉลี่ย 25,832.56 MJ/kg ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ถ่านอัดแท่ง

2. เครื่องมือสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดและอัดแท่ง

2.1 เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบหยาบ

เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบหยาบ เป็นเครื่องบดย่อยชีวมวลประเภทที่มีความแข็งและเป็นเส้นใย ประเภทซังข้าวโพด และต้นข้าวโพด ซึ่งรวมถึงยอดและใบของข้าวโพดด้วย โดยใช้ใบมีดสับผสมกับ

การตีชีวมวลให้เป็นชิ้นขนาดเล็กภายในมีใบมีดทั้งหมด 4 ใบ รับกำลังมาจากสายพานแบบร่องวีมีต้นแรงมาจากมอเตอร์ขนาด 1 hp แรงดันไฟฟ้า 200 V ภายในมีตะแกรงในการคัดกรองชีวมวลหลังจากการบดย่อยขนาด 10.00 mm ในขั้นตอนการบดย่อยชีวมวลจะถูกป้อนทางด้านบน จากนั้นชีวมวลจะถูกบดย่อย แล้วไหลผ่านตะแกรงลงสู่ด้านล่าง เครื่องบดย่อยแบบหยาบนี้จะใช้บดย่อยทุกส่วนของต้นข้าวโพด ดังภาพที่ 20

ภาพที่ 20 เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบหยาบ

2.2 เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบละเอียด

เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบละเอียด ใช้สำหรับบดย่อยชีวมวลที่มีขนาดเล็กกว่า 3.00 mm ซึ่งชีวมวลที่ผ่านการบดย่อยจะมีขนาด 0.50-3.00 mm โดยเครื่องนี้นำมาใช้เครื่องบดย่อย ยอด ใบ และลำต้นข้าวโพด โดยเครื่องบดย่อยนี้มีขนาดมอเตอร์ขนาด 3 hp แรงดันไฟฟ้า 220 V ใช้สายพรานในการส่งกำลังให้กับชุดบด ภายในมีชุดตีและบดชีวมวลทั้งหมด 4 ชุด ตะแกรงกรองขนาด 3.00 mm และ 1.00 mm ดังภาพที่ 21

ภาพที่ 21 เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบละเอียด

2.3 เครื่องอัดเม็ดชีวมวล

เครื่องอัดเม็ดชีวมวล มีมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 hp เป็นแหล่งต้นกำเนิดกำลังให้ผ่านคัปปลิ้ง ชุดเฟืองทด และชุดเครื่องอัดเม็ด ดังภาพที่ 22 มีแม่พิมพ์เป็นแบบแผ่นหมุน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 6.00 mm ความหนาน 20.00 mm และมีชุดอัดใช้ลูกกลิ้งที่ทำจากวัสดุเหล็กผสมสังกะสี คุณภาพสูงทดต่อการสึกหรอ มีกำลังการผลิตของเครื่องอยู่ในช่วง 100-250 kg/h วัสดุที่นำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงจะต้องมีลักษณะที่นุ่ม และมีขนาดเล็ก เช่น ขี้เลื่อย ฟางข้าว ต้นข้าวโพด แกลบ ซังข้าวโพด และวัสดุอื่น ๆ เป็นต้น

ภาพที่ 22 เครื่องอัดเม็ดชีวมวล

2.4 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร

เตาเผาถ่าน 200 ลิตร ไร้ควัน ประกอบด้วย ส่วนของเตา ฝาเตา และปล่องไฟ ดังภาพที่ 23 ขนาดของเตาคือ 200 ลิตร ด้านล่างของเตาเจาะรู จำนวน 37 รู ขนาดรู 150.00 mm ฝาเตารูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 230.00 mm และปล่องไฟมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 280.00 mm มีความสูง 795.00 mm อาศัยหลักการคาร์บอไนเซชั่น (Carbonization) คือการเผาไหม้ในสภาพอับอากาศหรือทำให้มีออกซิเจนน้อย ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถลุกหมดได้ จึงทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นถ่าน

ภาพที่ 23 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร ไร้ควัน

2.5 เครื่องผลิตอัดแท่ง

เครื่องอัดเม็ดแท่งถ่าน มีมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 hp เป็นแหล่งต้นกำเนิดกำลังจากสายพานให้สกรูเกลียวที่ทำหน้าที่ในการอัดแท่ง ดังภาพที่ 24 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกอัด 80.00 mm มีกำลังการผลิตของเครื่องอยู่ในช่วง 19-20 kg/h วัสดุที่นำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงจะต้องมีลักษณะที่นุ่มและมีขนาดเล็ก เช่น ขี้เลื่อย ฟางข้าว ต้นข้าวโพด แกลบ ซังข้าวโพด และวัสดุอื่น ๆ เป็นต้น

ภาพที่ 24 เครื่องอัดแท่งถ่าน

3. เครื่องมือวัด

3.1 เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล

เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ ADVANTECH รุ่น USB-4718 สามารวัดอุณหภูมิได้ 8 จุด ด้วยการเชื่อมต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ล โดยเทอร์คัปเปิ้ลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชนิด K มีช่วงการวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง (-270)-1,260 °C ค่าความคลาดเคลื่อน ±1.1 °C และสามารถบันทึกข้อมูลด้วยการเชื่อมต่อสาย USB 2.0 กับโน๊ตบุ๊ค หรือ SD card ดังภาพที่ 25

ภาพที่ 25 เครื่องวัดอุณหภูมิและสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K

3.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ CST รุ่น CDR-30 สามารถชั่งน้ำหนักสูงสุด 30 kg ความละเอียด 1 g อุณหภูมิที่ใช้งานที่ 5-40 °C ดังภาพที่ 26 ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักชีวมวลของต้นข้าวโพด อันได้แก่ ยอด ใบ ลำต้น และซังข้าวโพด เพื่อเตรียมตัวอย่างก่อนการอัดเม็ด และอัดแท่ง

ภาพที่ 26 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น Pa214 ทศนิยม 4 ตำแหน่ง สามารถชั่งน้ำหนักสูงสุด 210 g ความละเอียด 0.0001 g ภายในมีจานรองชั่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 mm ดังภาพที่ 27 ใช้สำหรับในการชั่งตัวอย่างในการทดสอบโดยประมาณ และค่าความร้อน ที่ต้องการความละเอียดสูง

ภาพที่ 27 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 4 ตำแหน่ง

4. เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

4.1 เครื่องอบวิเคราะห์ความชื้น

ความชื้นชีวมวลหาได้จากเครื่องอบวิเคราะห์ความชื้น ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น UFB500 มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2 kW สามารถควบคุมอุณหภูมิสูงสุดได้ 300 °C ตัวเตาอบทำจากสแตนเลส ขนาดภายนอกตู้อบกว้าง 710.00 mm ความสูง 760.00 mm และมีความลึก 550.00 mm ภายในเตาอบมีความกว้าง 560.00 mm ความสูง 480.00 mm และมีความลึก 400.00 mm มีน้ำหนัก 69 kg และมีปริมาตรทั้งหมด 108 L ดังภาพที่ 28

ภาพที่ 28 เตาอบควบคุมอุณหภูมิ

4.2 เตาเผาอุณหภูมิสูง

เตาเผาอุณหภูมิสูง ยี่ห้อ CHAVACHOTE ใช้สำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเป็นแบบชนิดปิด สามารถควบคุมอุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C มีขนาดภายนอก กว้าง 450 mm ความสูง 530 mm และมีความลึก 500 mm ส่วนภายใน มีความกว้าง 170 mm ความสูง 160 mm และมีความลึก 500 mm โดยมีขดลวดความร้อนเป็นแหล่งให้ความร้อน และมีเทอร์โมคัปเปิ้ลตรวจวัดอุณหภูมิอยู่ภายเตาเผา ดังภาพที่ 29

ภาพที่ 29 เตาเผาอุณหภูมิสูง

4.3 โถดูดความชื้น

โถดูดความชื้น ใช้สำหรับดูดความชื้นออกจากตัวอย่างทดสอบ ให้เหลือเฉพาะตัวอย่างทดสอบ ไม่ให้มีความชื้นหรือน้ำอยู่ในโมเลกุลของตัวอย่างทดสอบ โดยทำงานร่วมกับสารดูดความชื้นที่บรรจุไว้ภายในโถดูดความชื้นด้านล่างเรียกว่า ซิลิกาเจล โดยโถดูดความชื้นนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 mm ดังภาพที่ 30

ภาพที่ 30 โถดูดความชื้น และซิลิกาเจล

4.4 ถ้วยกระเบื้อง

ถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิด ใช้เป็นภาชนะใส่ตัวอย่างในการวิเคราะห์โดยประมาณ โดยภาชนะนี้ทำจากเซรามิกทรงสูง มีปริมาตร 40 ml ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm ความสูง 50 mm สามารถทนความร้อนได้ถึง 1,000 °C ดังภาพที่ 31

ภาพที่ 31 ถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา

4.5 บอมบ์แคลอรี่มิเตอร์

บอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ รุ่น ART.2060/2070 ประกอบด้วย Stainless steel bomb เทอร์โมมิเตอร์ ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในน้ำ พร้อมทั้งมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการกวนน้ำ (stirrer) ขนาด 24 V ดังภาพที่ 32 โดยเครื่องทดสอบค่าความร้อนนี้มีหลักการคือ การจุดติดไฟของลวดบอมบ์ เกิดการเผาไหม้ด้วยก๊าซออกซิเจนจะปล่อยความร้อนออกมา คลายความร้อนให้กับน้ำ เทอร์โมมิเตอร์จะทำการวัดอุณหภูมิของน้ำ และเครื่องจะทำการคำนวณค่าพลังงานความร้อนของสารนั้น ๆ

ภาพที่ 32 บอมบ์แคลอรี่มิเตอร์

5. เตาชีวมวลชุมชน

5.1 เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง

เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง เป็นเตาที่ถูกออกแบบโดยนักวิชาการจากกระทรวงพลังงาน โดยตัวเตาทำจากดินเหนียว มีรูปร่างทรงกรวย มีความกว้างของด้านบน 305 mm และเตามีความสูง 250 mm สามารถวางหม้อหรือภาชนะได้ถึง 9 ขนาด มีรังผึ้งที่หนา และทดทาน มีจำนวนรูของรังผึ้งทั้งหมด 61 รู สามารถถ่ายเทอากาศได้ดี เตาชนิดนี้เป็นเตาที่กระทรวงพลังงานพยายามส่งเสริมใช้กับชุมชนนำไปใช้งาน แต่เนื่องจากราคาที่สูง และใช้งานจำกัดจึงมีการใช้งานในบางพื้นที่ของชุมชนเท่านั้น ดังภาพที่ 33

ภาพที่ 33 เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง

5.2 เตาชีวมวล

เตาชีวมวล มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม มีเส้นผ่านศูนย์กลางหน้าเตา 380 mm และมีความสูง 550 mm เตามีผนัง 2 ชั้น ชั้นที่ 1 จะเป็นส่วนห้องเผาไหม้ ชั้นที่ 2 เป็นฉนวน และตรงระหว่างชั้นที่ 1 และ 2 เป็นส่วนของการอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ร่วมกับโปรดิวเซอร์ก๊าซ โดยก๊าซที่ผลิตได้จะไหลขึ้นสู่ด้านบนและเกิดการลุกไหม้บริเวณด้านบนของเตา ดังภาพที่ 34

ภาพที่ 34 เตาชีวมวล

5.3 เตาเศรษฐกิจ

เตาเศรษฐกิจ เป็นเตาที่สามารถใช้ได้ทั้งฟืนและถ่าน โดยมีความกว้าง 350.00 mm ความยาว 560.00 mm และสูง 260.00 mm จุดเด่นของเตาชนิดนี้อยู่ตรงที่สามารถนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่มีปริมาณสูง เช่น แกลบ ซังข้าวโพดชานอ้อย กะลามะพร้าว ลำต้นมัน สำปะหลัง และเศษใบไม้ กิ่งไม้ ที่ได้ จากการตัดแต่งกิ่ง ต้นไม้มาใช้ได้ จุดหลักของเตาอยู่ที่การมีปล่องไฟ ทำหน้าที่ช่วยดูดเขม่าควันออกไป ทำให้การเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงผสมกับอากาศได้อย่างต่อเนื่อง ดังภาพที่ 35

ภาพที่ 35 เตาเศรษฐกิจ

5.4 เตาชีวมวลแกลบ

เตาชีวมวลแกลบ ตัวเตาประกอบด้วย ท่อชั้นนอก ท่อชั้นในที่เป็นห้องเผาไหม้และบรรจุเชื้อเพลิง และพัดลมเพื่อควบคุมอากาศ เตาชีวมวลแกลบเป็นเตาที่ต้องจุดไฟที่ด้านบน โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ภายในห้องเผาไหม้ในเตาจะเกิดการลุกไหม้ลงสู่ด้านล่างโดยที่อากาศจะไหลผ่านตะแกรงจากด้านล่างสวน ขึ้นสู่ด้านบน แต่จะมีการควบคุมปริมาณอากาศ ให้พอเหมาะโดยใช้พัดลมหอยโข่ง ขนาด 12 โวลต์ โดยเตาชีวมวลแกลบนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 254.00 mm และมีความสูง 500.00 mm ดังภาพที่ 36

ภาพที่ 36 เตาชีวมวลแกลบ

วิธีการทดลอง

การศึกษาศักยภาพชีวมวลของอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง และการส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลในระดับชุมชน ประกอบด้วย การวิเคราะห์ข้อมูลด้านศักยภาพชีวมวล การวิเคราะห์สัดส่วนชีวมวล การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงาน การวิเคราะห์ความหนาแน่นชีวมวล การวิเคราะห์โดยประมาณ การวิเคราะห์ทางเคมี การวิเคราะห์ค่าความร้อน การวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อน และการวิเคราะห์และการเก็บข้อมูลชุมชน ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลด้านศักยภาพชีวมวล

การวิเคราะห์ศักยภาพชีวมวลในอำเภอวังเหนือ ได้ทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวพื้นที่การเพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และปริมาณชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จากข้อมูลสำนักงานเกษตรอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง นอกจากนี้ยังมีการสัมภาษณ์เกษตรกรรายบุลคล เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับผลผลิตต่อไร่ และการเพาะปลูก เพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง

2. การวิเคราะห์สัดส่วนชีวมวล

การวิเคราะห์สัดส่วนชีวมวล ได้สุ่มตรวจวัดหาค่าสัดส่วนของชีวมวลข้าวโพดลี้ยงสัตว์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ 1. ลำต้น ใบ และยอด และส่วนที่ 2 ซังข้าวโพด เมื่อทำการสุ่มตรวจวัดค่าแล้วก็มีการเปรียบเทียบกับค่าของกรมพัฒนาพลังงานละอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเปรียบเทียบ

และหาค่าเฉลี่ยกลางในการวิเคราะห์สัดส่วนชีวมวล โดยการวิเคราะห์ปริมาณการเกิดชีวมวลหาได้จากสมการที่ 9 และ 10

ปริมาณชีวมวลที่เกิด (ตัน/ปี) = ปริมาณผลผลิต (ตัน/ปี) x สัดส่วนชีวมวลต่อปริมาณผลผลิต (ตันชีวมวล/ตันผลผลิต) สมการที่ 9

ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น (ตัน/ปี) = ปริมาณที่โค่น (ไร่/ปี) x สัดส่วนชีวมวลต่อพื้นที่โค่น สมการที่ 10

3. การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงาน

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงาน สามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นกับค่าความร้อนของชีวมวล ดังสมการที่ 11 พร้อมทั้งนำค่าพลงงานที่ได้มาเทียบเท่าน้ำมันดิบดังสมการที่ 4

ศักยภาพพลังงาน (TJ/ปี) =ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น (ตัน/ปี) x ค่าความร้อนของชีวมวล (MJ/kg) สมการที่ 11

4. การวิเคราะห์ความหนาแน่นชีวมวล

การวิเคราะห์ความหนาแน่นชีวมวล สามารถวิเคราะห์ได้จากอัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรของชีวมวล มีหน่วยเป็น kg/m^3 ดังสมการที่ 12

$$\rho = \frac{m}{v}$$ สมการที่ 12

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของชีวมวล (kg/m^3)

m คือ มวลของชีวมวล (kg)

v คือ ปริมาตรของชีวมวล (m^3)

5. การวิเคราะห์โดยประมาณ

5.1 ความชื้น

การหาความชื้นตามมาตรฐาน ASTM 3173 เริ่มจากนำถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาไปเผาที่อุณหภูมิ 750 °C ระยะเวลา 30 min เพื่อทำความสะอาดถ้วย หลังจากนั้นเอาออกมาไว้ในโถดูดความชื้นรอให้เย็น แล้วจึงมาใส่ตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ 1 g นำเข้าไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 °C ระยะเวลา 1 h โดยเปิดฝาหลังจากเอาออกจากเตาอบให้ทำการใส่โถดูดความชื้น รอจนเย็นแล้วจึงทำการชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าความชื้นได้จากสมการที่ 13

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (g)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (g)}} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 13}$$

5.2 สารระเหย

การหาความชื้นตามมาตรฐาน ASTM 3175 เริ่มจากนำถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาไปเผาที่อุณหภูมิ 750 °C ระยะเวลา 30 min เพื่อทำความสะอาดถ้วย หลังจากนั้นเอาออกมาไว้ในโถดูดความชื้นรอให้เย็น แล้วจึงมาใส่ตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ 1 g นำเข้าไปอบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 °C ระยะเวลา 7 min โดยปิดฝาหลังจากเอาออกจากเตาเผาให้ทำการใส่โถดูดความชื้น รอจนเย็นแล้วจึงทำการชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าสารระเหยได้จากสมการที่ (14)

$$\% \text{ สารระเหย} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (g)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (g)}} \times 100 - \% \text{ ความชื้น} \qquad \text{สมการที่ 14}$$

5.3 เถ้า

การหาความชื้นตามมาตรฐาน ASTM 3174 เริ่มจากนำถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาไปเผาที่อุณหภูมิ 750 °C ระยะเวลา 30 min เพื่อทำความสะอาดถ้วย หลังจากนั้นเอาออกมาไว้ในโถดูดความชื้นรอให้เย็น แล้วจึงมาใส่ตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ 1 g นำเข้าไปอบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C ระยะเวลา 2 h โดยเปิดฝาหลังจากเอาออกจากเตาเผาให้ทำการใส่โถดูดความชื้น รอจนเย็นแล้วจึงทำการชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าเถ้าได้จากสมการที่ 15

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักที่เหลืออยู่ (g)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (g)}} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 15}$$

5.4 คาร์บอนคงตัว

คาร์บอนคงตัวของตัวอย่างสามารถหาได้จาก 100% ลบด้วยค่าความชื้น สารระเหย และเถ้า ดังสมการที่ 16

% คาร์บอนคงตัว = 100% - (% ความชื้น + % สารระเหย + % เถ้า) สมการที่ 16

6. การวิเคราะห์ทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สามารถวิเคราะห์ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Flash 2000 ดังภาพที่ 37 ซึ่งอาศัยหลักการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงให้กลายเป็นแก๊สผสม สามารถวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ซัลเฟอร์ และออกซิเจนได้ ซึ่งงานวิจัยได้วิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ภาพที่ 37 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

7. การวิเคราะห์ค่าความร้อน

การวิเคราะห์ค่าความร้อนของชีวมวล สามารถวิเคราะห์ได้ตามมมาตรฐาน ASTM D240 D4809 D2382 IP12 โดยใช้เครื่องทอสอบค่าความร้อน รุ่น ART.2060/2070 โดยทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 g ซึ่งตัวอย่างจะต้องมีลักษณะเป็นเม็ด แล้วนำไปใส่ใน Stainless steel bomb ทำการปิดฝาและอัดก๊าซออกซิเจนลงไป หลังจากนั้นนำไปใส่ในเครื่อง Bomb calorimeter กดปุ่มเริ่มทำงาน ซึ่งเครื่องจะทำการวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าความร้อนในหน่วย MJ/kg และ kcal/kg

8. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อน

การทดสอบประสิทธิภาพความร้อนทำได้โดย ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงและน้ำโดยใช้น้ำ 3/4 ของหม้อ เบอร์ 32 พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักของเชื้อเพลิง น้ำ และอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น ทำการจุดติดไฟและเริ่มจับเวลาในขณะที่เตาเริ่มติดไฟ จากนั้นบันทึกอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมทุก ๆ 5 min เมื่อไฟมอดแล้วทำการชั่งปริมาณน้ำหนักน้ำสุดท้ายเพื่อหาปริมาณน้ำที่ระเหย เพื่อใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนของเตา ดังสมการที่ 6

9. การวิเคราะห์และการเก็บข้อมูลชุมชน

การเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม ประกอบด้วย 4 มีรายละเอียดดังนี้

9.1 ข้อมูลส่วนบุคคล

ในการเก็บข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบด้วย ชื่อผู้ให้ข้อมูล เพศ จำแนกเป็น ชาย และหญิง อายุ จำแนกเป็น ต่ำกว่า 20 ปี 21-30 ปี 31-40 ปี 41-50 ปี 51-60 ปี และมากกว่า 60 ปี สถานภาพการทำงาน จำแนกเป็น เกษตรกร ลูกจ้างประจำ/ชั่วคราว ข้าราชการ รัฐวิสาหกิจ นักเรียน/นักศึกษา อื่น ๆ

9.2 ข้อมูลการใช้พลังงานและเตาในครัวเรือน

ข้อมูลการใช้พลังงานและเตาในครัวเรือน เป็นการสอบถามเกี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงและเตาในครัวเรือน ประกอบด้วย การใช้เชื้อเพลิงในครัวเรือน จำแนกเป็น แก๊สหุงต้ม (LPG) ไม้ฟืน ถ่าน ถ่านอัดแท่ง เชื้อเพลิงอัดเม็ด เชื้อเพลิงเขียว และอื่น ๆ การใช้เตาในครัวเรือน จำแนกเป็น เตาแก๊สหุงต้ม (LPG) เตาอั้งโล่ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง เตาชีวมวล เตาเศรษฐกิจ เตาแกลบ อื่น ๆ นอกจากนี้ยังได้มีการสำรวจค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงต่อเดือนในครัวเรือนอีกด้วย

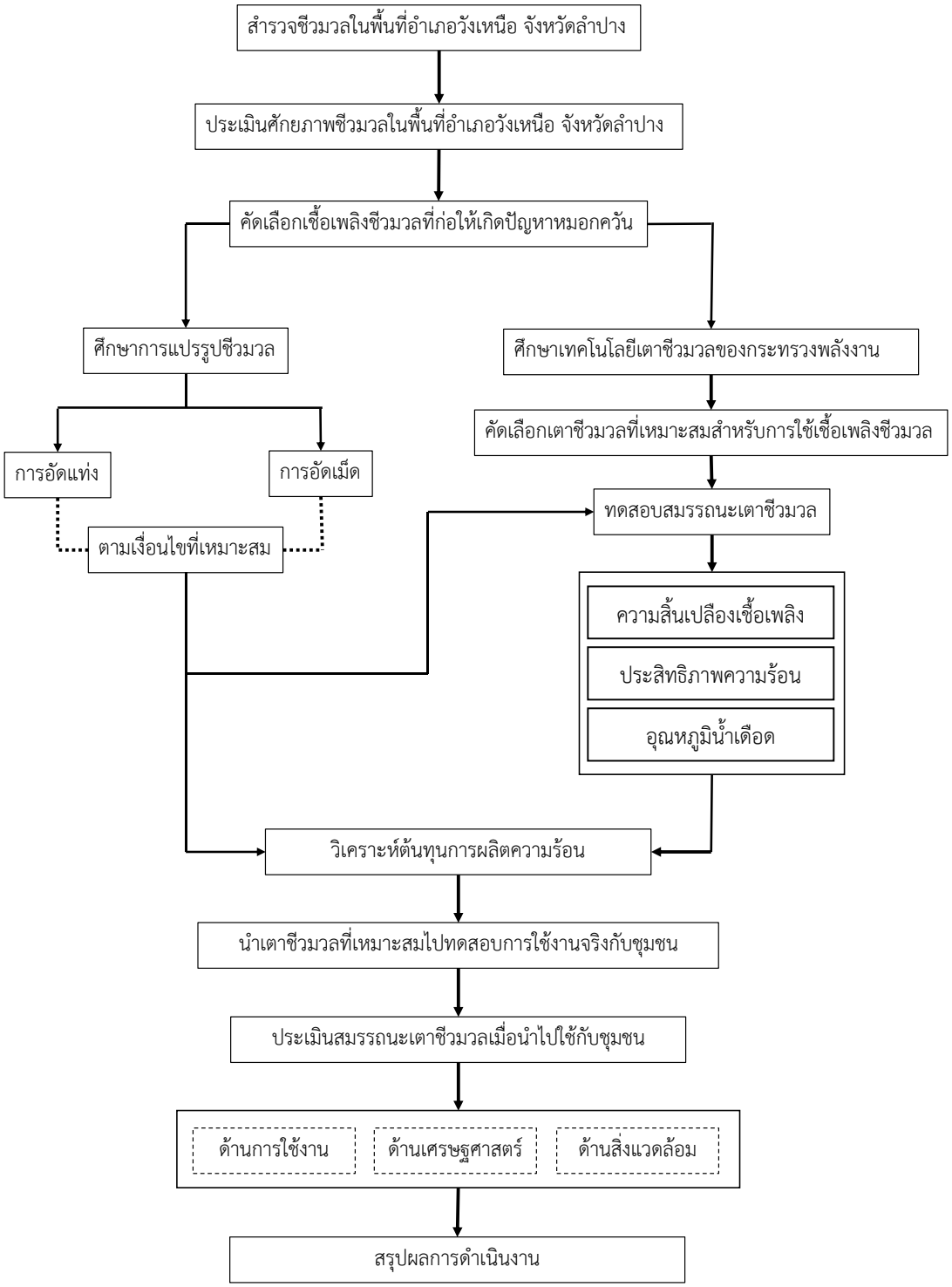
9.3 การประเมินความพึงพอใจการใช้เชื้อพลิงอัดเม็ดจากต้นข้าวโพด และถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดกับเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน

การสำรวจความพึงพอใจการใช้เชื้อพลิงอัดเม็ดจากต้นข้าวโพด และถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดกับเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ความพึงพอใจทางด้านการใช้งานและด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย การประหยัดต้นทุนเชื้อเพลิงการหุงต้ม การลดค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดั้งเดิม ต้นทุนราคาเตาชีวมวลที่ใช้ ความสะดวกในการใช้งาน ระยะเวลาการใช้เชื้อเพลิง และความพึงพอใจในภาพรวมการใช้งานและเศรษฐศาสตร์

2. การประเมินความพึงพอใจด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย การไม่เกิดมลพิษหรือควันเมื่อเปรียบเทียบกับเตาแบบดั้งเดิม ไม่เกิดกลิ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ การลดปริมาณขยะชีวมวลในชุมชน การลดการเผาชีวมวลในที่โล่งแจ้ง เกิดการจัดการชีวมวลในชุมชนในภาพรวม และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชุมชน

ภาพที่ 38 แสดงไดอะแกรมวิธีดำเนินงานวิจัย โครงการโดยเริ่มตั้งแต่การสำรวจชีวมวลประเภทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ประเมินศักยภาพชีวมวลในพื้นที่ ได้ใช้ข้อมูลจากสำนักงานเกษตรอำเภอวังเหนือ ร่วมกับการลงเก็บข้อมูลพื้นที่จริง จากนั้นนำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้มาแปรรูปเป็น 2 รูปแบบคือ การเชื้อเพลิงอัด และถ่านอัดแท่ง ในขณะที่อีกด้านมีการศึกษาเทคโนโลยีเตาชีวมวลของกระทรวงพลังงานทั้ง 4 แบบ ประกอบด้วย เตาชีวมวล เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง เตาเศรษฐกิจ และเตาชีวมวลแกลบ จากนั้นนำเอาชีวมวลที่ผลิตได้มาทดสอบสมรรถนะกับเตาทั้ง 4 แบบ และคัดเลือกชีวมวลกับเตาชีวมวลที่เหมาะสม จากนั้นวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ต้นทุนการผลิตความร้อน การนำไปใช้งานชุมชน และผลกระทบกับชุมชนด้านต่าง ๆ เช่น การใช้งาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม และการสรุปผล



ภาพที่ 38 ไดอะแกรมวิธีการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4
ผลและอภิปรายผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยและการอภิปรายผลจากการสำรวจศักยภาพของชีวมวลในเขตพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ในช่วงปี พ.ศ. 2560 จากการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งผลการศึกษาประกอบด้วย การวิเคราะห์ศักยภาพชีวมวล คุณสมบัติชีวมวล การทดสอบนำไปเพิ่มความหนาแน่น การทดสอบกับเตาชีวมวลที่มีอยู่ รวมถึงการนำไปใช้งานในชุมชนในพื้นที่อำเภอวังเหนือ ผลการศึกษาวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

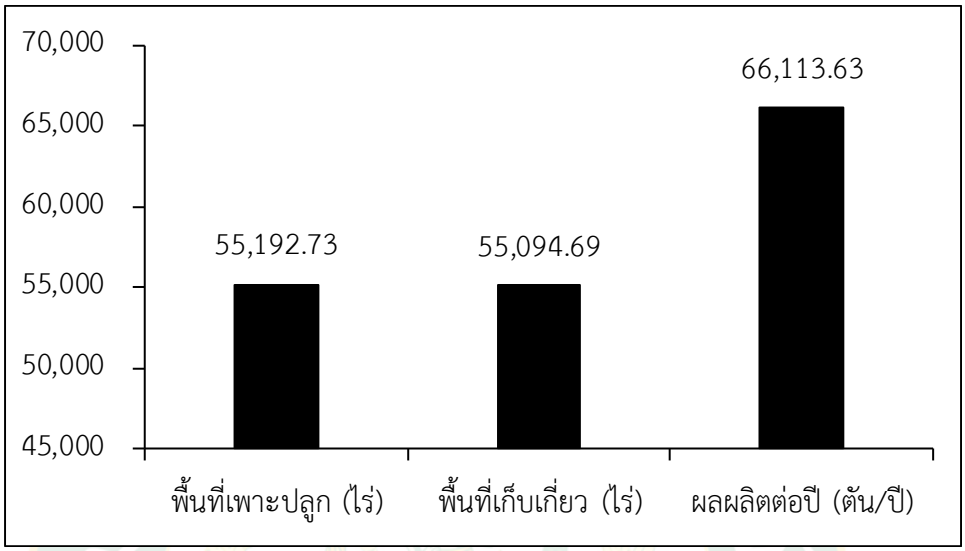
การประเมินศักยภาพชีวมวลและพลังงานในเขตพื้นที่ อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง

1. การประเมินศักยภาพชีวมวลในพื้นที่อำเภอวังเหนือ

อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง เป็นอำเภออยู่เหนือสุดของจังหวัดลำปาง มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดเชียงรายและพะเยา มีพื้นที่ทั้งหมด 1,035 ตร.กม. มีประชากรทั้งหมด 42,349 คน ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญ ได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าว และมันสำปะหลัง โดยมีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ที่ 55,192.73 ไร่ 20,449.75 ไร่ และ 557.75 ไร่ ตามลำดับ จากข้อมูล พบว่าอำเภอวังเหนือมีการเพาะปลูกข้าวโพดมากที่สุด ทำให้เกิดชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการนำชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มาใช้ให้เกิดประโยชน์จึงต้องมีการสำรวจ และเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับศักยภาพชีวมวลในชุมชน เพื่อลดปัญหาปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นในชุมชน และลดการเผาไหม้ชีวมวล อันก่อให้เกิดปัญหาหมอกควัน

การสำรวจและรวบรวมข้อมูลการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้ง 8 ตำบล ในอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ได้รวบรวมข้อมูลจากสำนักงานเกษตรอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง (สำนักงานเกษตรอำเภอวังเหนือ, 2560) พบว่าในปี พ.ศ. 2560 มีพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด 55,192.73 ไร่ พื้นที่ในการเก็บเกี่ยวทั้งหมด 55,094.69 ไร่ คิดเป็นสัดส่วนพื้นที่เก็บเกี่ยว 99% ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด และมีผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อปีอยู่ที่ 66,113.63 ตัน/ปี ดังภาพที่ 39 จากการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ตำบลวังทองมีพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และผลผลิตติอปีสูงที่สุด คือ 18,360.99 ไร่ 18,335.67 ไร่ และ 22,033.19 ตันต่อปี ตามลำดับ ดังตารางที่ 5 โดยมีสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกมากเนื่องจากเป็นพื้นที่ต้นน้ำ มีแม่น้ำ 3 สายไหลผ่านทำให้พื้นที่สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

(กรมการพัฒนาชุมชน กระทรวงมหาดไทย, 2561) ซึ่งในการเลือกพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะต้องเลือกพื้นที่ที่สามารถให้น้ำได้ตลอดระยะการปลูก (ศูนย์วิทยบริการเพื่อส่งเสริมการเกษตร สำนักงานเลขานุการ กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562)



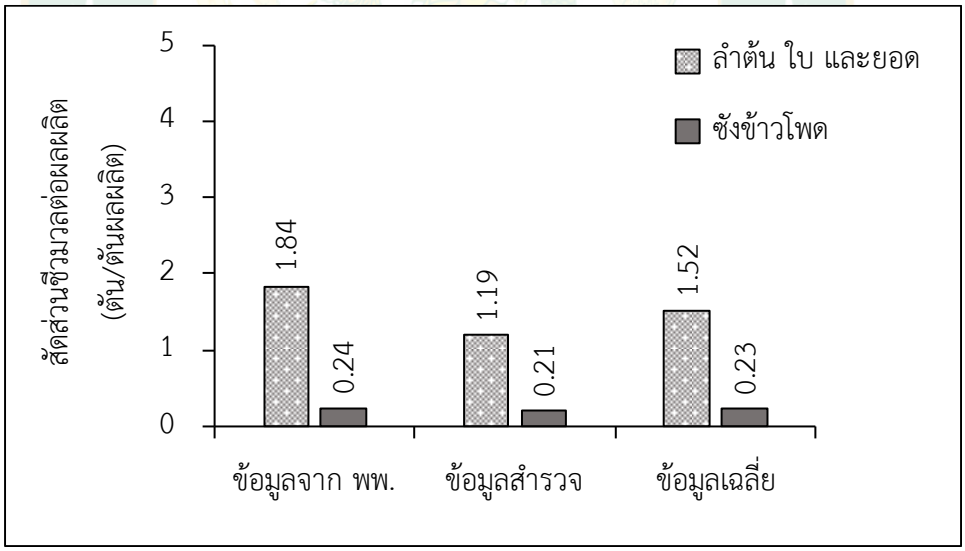
ภาพที่ 39 พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และผลผลิตต่อปี ของอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง

ตารางที่ 5 พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อปี (สำนักงานเกษตรอำเภอวังเหนือ, 2560)

ตำบล	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	สัดส่วน (%)	ผลผลิตต่อปี (ตัน/ปี)
ทุ่งฮั้ว	10,218.22	10,193.22	99.76	12,231.86
วังเหนือ	2,647.12	2,642.47	99.82	3,170.96
วังใต้	2,252.65	2,243.15	99.58	2,691.78
รองเคาะ	5,622.77	5,612.66	99.82	6,735.19
วังทอง	18,360.99	18,335.67	99.86	22,033.19
วังซ้าย	5,345.79	5,333.58	99.77	6,400.30
วังแก้ว	7,814.16	7,807.16	99.91	9,368.59
วังทรายคำ	2,931.03	2,926.78	99.85	3,512.14
รวมทั้งอำเภอ	**55,192.73**	**55,094.69**	**99.82**	**66,113.63**

2. สัดส่วนชีวมวลในพื้นที่ปลูก

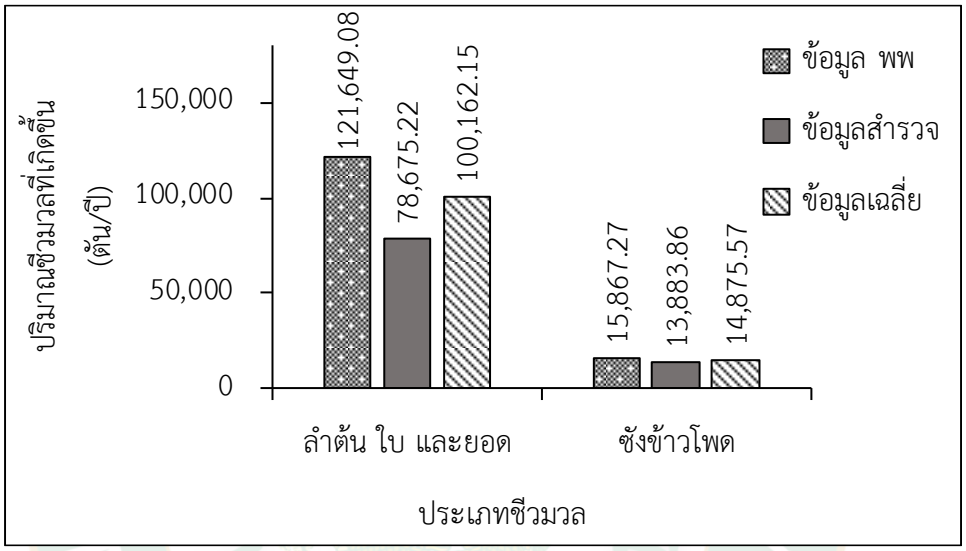
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่อำเภอวังเหนือ ประกอบด้วย ยอด ใบ ลำต้น และซังข้าวโพด ข้อมูลจากกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน มีสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต ยอด ใบ ลำต้น อยู่ที่ 1.84 ตัน/ตันผลผลิต และซังข้าวโพดมีค่าอยู่ที่ 0.24 ตัน/ตันผลผลิต (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562) ขณะเดียวกันเมื่อทำการสำรวจและเก็บข้อมูลจริงของพื้นที่อำเภอวังเหนือ พบว่ามีสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต ยอด ใบ ลำต้น อยู่ที่ 1.19 ตัน/ตันผลิต และซังข้าวโพดมีค่าอยู่ที่ 0.21 ตัน/ตันผลผลิต ซึ่งสัดส่วนที่ได้มีค่าน้อยกว่าข้อมูลของ พพ. เนื่องจากแต่ละพื้นที่ในการเพาะปลูกมีการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดไม่เท่ากันซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ซึ่งได้แก่ สภาพดิน แร่ธาตุอาหาร น้ำในดิน เป็นต้น (สังคม, ม.ป.ป.) อีกประการจากข้อมูลจาก พพ. เป็นข้อมูลที่ได้จากการเฉลี่ยสัดส่วนของทั้งประเทศ ดังนั้นทุกค่าสัดส่วนการผลิตจะต้องมีค่าไม่เท่ากัน เมื่อนำมาทำการหาค่าเฉลี่ยของสัดส่วนชีวมวลที่เกิดขึ้น จะได้สัดส่วนของยอด ใบ ลำต้น คือ 1.52 ตัน/ตันผลผลิต และซังข้าวโพด 0.23 ตัน/ตันผลผลิต ดังภาพที่ 40 ซึ่งสัดส่วนชีวมวลที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นในพื้นที่อำเภอวังเหนือได้ โดยมีรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 40 สัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

3. การวิเคราะห์ชีวมวลที่เกิดขึ้นในพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง

จากการสำรวจปริมาณชีวมวลที่เกิดจากการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง พบว่ามีชีวมวลที่เป็น ลำต้น ใบ และยอด 78,675.22 ตัน/ปี ในขณะที่ซังข้าวโพดมีข้อมูลมีค่าอยู่ที่ 13,883.56 ตัน/ปี ดังนั้นจึงได้ทำการเฉลี่ยข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นใหม่นี้ ลำต้น ใบ และยอดมีปริมาณ 100,162.15 ตัน/ปี และซังข้าวโพดมีค่าอยู่ที่ 14,875.57 ตัน/ปี ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

4. การวิเคราะห์คุณสมบัติชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การวิเคราะห์คุณสมบัติชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทางเคมี ใช้วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) การวิเคราะห์โดยประมาณจะประกอบด้วยการหาค่า ความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัว และเถ้า ส่วนการวิเคราะห์แบบแยกธาตุจะวิเคราะห์หาค่า คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน กำมะถัน ค่าความร้อน และความหนาแน่นของเชื้อเพลิง รายละเอียดดังตารางที่ 6 และ 7 พบว่า ลำต้น ใบ และยอด รวมถึงซังข้าวโพดมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 7.22 และ 9.20% สารระเหยมีค่าเฉลี่ย 71.82% โดยลำต้น ใบ และยอดมีสารระเหยสูงกว่าซังข้าวโพด 14% ปริมาณคาร์บอนคงตัวของชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีค่าอยู่ในช่วง 0.29-13.20% โดยซังข้าวโพดมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุด 13.20% ในส่วนของปริมาณเถ้ามีค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5.75-5.79% ส่วนการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ พบว่า ลำต้น ใบ และยอด รวมถึงซังข้าวโพดมีค่าคาร์บอนอยู่ในช่วง 42.10-42.12% ไฮโดรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 6.52-38.66% ไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.45-0.53% ออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 5.37-45.11%

ในส่วนของค่าความร้อนของลำต้น ใบ และยอด และซังข้าวโพดมีค่าเฉลี่ย 15.94 MJ/kg และ 16.16 MJ/kg ตามลำดับ โดยซังข้าวโพดให้ค่าความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับลำต้น ใบ และยอด เนื่องจากมีสัดส่วนคาร์บอนสูงกว่า (เอกลักษณ์ และคณะ, 2556) ความหนาแน่นของ ลำต้น ใบ และยอด มีความหนาแน่นสูงสุด 373.02 kg/m^3 และซังข้าวโพดมีค่าความหนานแน่น 132.6 kg/m^3 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์โดยประมาณ ค่าความร้อน และความหนาแน่น ของชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Proximate analysis (%)	ลำต้น ใบ และยอด	ซังข้าวโพด
ความชื้น	7.22	9.20
สารระเหย	86.74	71.82
คาร์บอนคงตัว	0.29	13.20
เถ้า	5.75	5.79
ค่าความร้อน (MJ/kg)	15.94	16.16
ความหนาแน่น (kg/m^3)	373.02	132.60

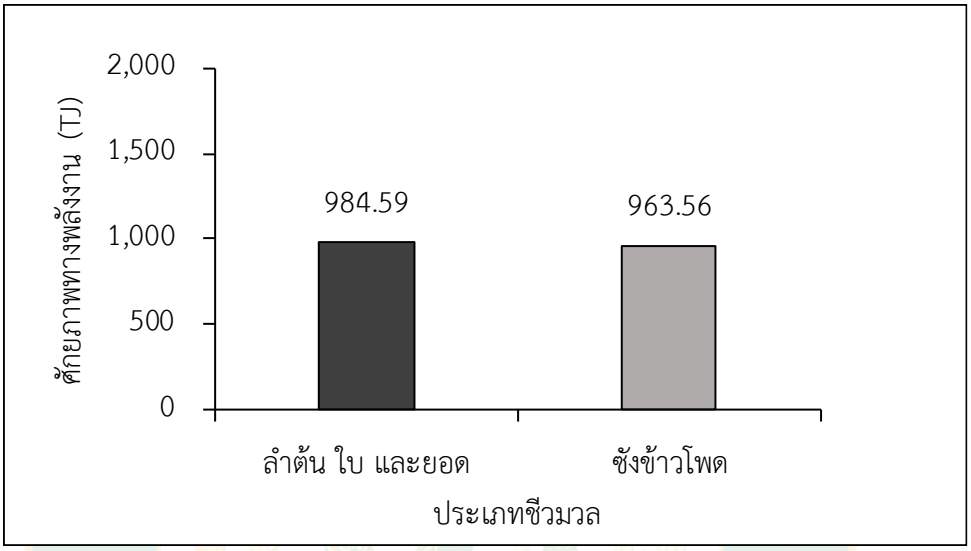
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Ultimate analysis (%)	ลำต้น ใบ และยอด	ซังข้าวโพด
คาร์บอน	42.10	42.12
ไฮโดรเจน	38.66	6.52
ไนโตรเจน	0.53	0.45
ออกซิเจน	5.37	45.11

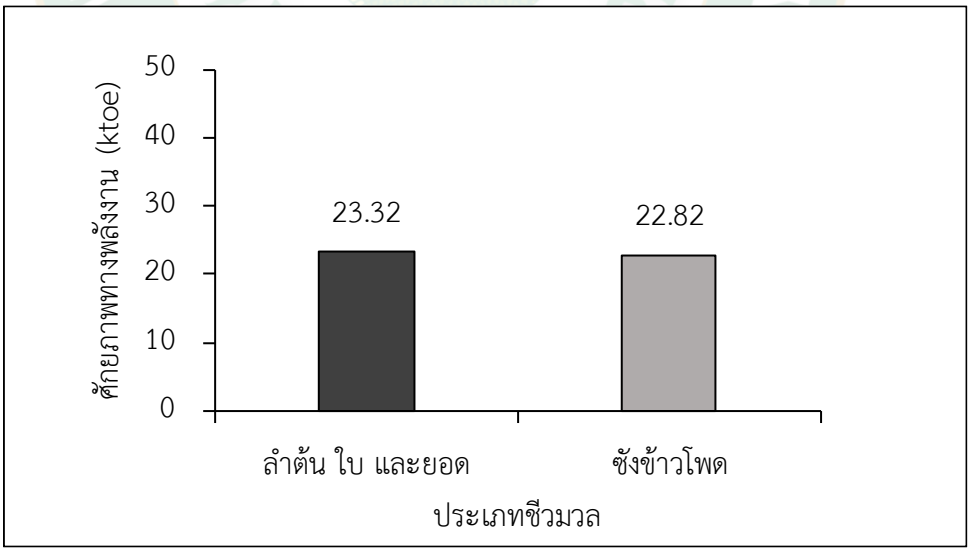
5. การวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงาน

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนชีวมวลและปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นในพื้นที่อำเภอวังเหนือทั้ง 8 อำเภอ ในจังหวัดลำปาง ทำให้ทราบถึงศักยภาพด้านพลังงาน โดยในส่วนของลำต้น ใบ และยอดมีศักยภาพทางพลังงานถึง 984.59 TJ หรือเทียบเท่าน้ำมันดิบ 23.32 ktoe ในขณะที่ซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีศักยภาพถึง 963.56 TJ หรือเทียบเท่าน้ำมันดิบ 22.82 ktoe ดังภาพที่ 42 และ 43 ผลการเปรียบเทียบภาพรวมเทียบกับศักยภาพพลังงานจังหวัดลำปาง พบว่าอำเภอวังเหนือมีศักยภาพทางด้านชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์คิดเป็น 3.22% ของจังหวัดลำปาง (คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2557) และเมื่อเปรียบเทียบพลังงานกับภาคเหนือคิดเป็น 0.98% (ภัทราณี และคณะ, 2558) หากมีการนำชีวมวลเหล่านี้มาใช้เป็นพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง จะส่งให้ชุมชนลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนได้บางส่วน ในการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนแก๊สหุงต้ม (วราภรณ์, 2557)



ภาพที่ 42 การวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงาน



ภาพที่ 43 การวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ

6. การวิเคราะห์การเพิ่มความหนาแน่นชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การเพิ่มความหนาแน่นของ ลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้วิธีการเพิ่มความหนาแน่นโดยวิธีการอัดเม็ด ในขณะที่ซังข้าวโพดใช้วิธีการผลิตถ่านอัดแท่ง ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดใช้สัดส่วน ลำต้น ใบ และยอด 1:1:1 โดยการผลิตถ่านอัดแท่งใช้ถ่านผสมแป้งมันในอัตราส่วน 10:1 ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดเม็ด

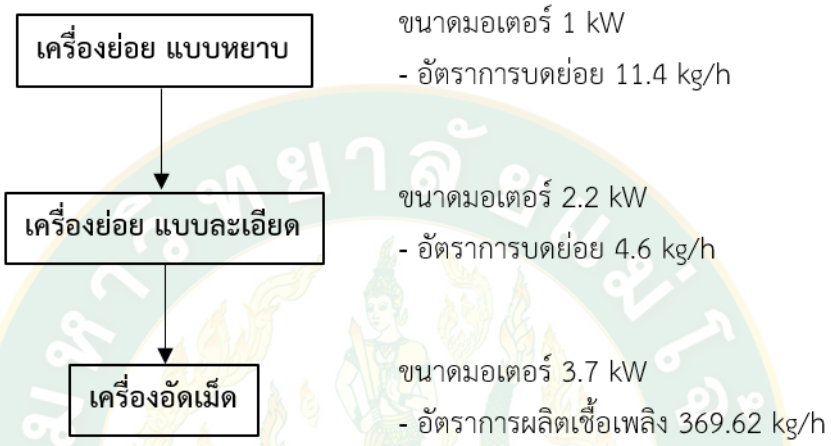
ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผลิตได้ มีความยาว 4.00 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 cm ความหนาแน่น 1,292.55 kg/m^3 ค่าความร้อน 17,572.80 kJ/kg ดังตารางที่ 8 และภาพที่ 44

ตารางที่ 8 คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ด

คุณสมบัติ	เชื้อเพลิงอัดเม็ด
ความยาว (cm)	4.00
เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	0.80
ความหนาแน่น (kg/m^3)	1,292.55
ค่าความร้อน (kJ/kg)	17,572.80

ภาพที่ 44 ลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด ดังภาพที่ 45 ซึ่งจะมี 3 ขั้นตอน ได้แก่ การบดย่อยแบบหยาบ การบดย่อยแบบละเอียด และการอัดเม็ด โดยเครื่องบดย่อยแบบหยาบ เครื่องบดย่อยแบบละเอียด และเครื่องอัดเม็ด มีขนาดมอเตอร์ 1, 2.2 และ 3.7 kW ตามลำดับ อัตราการใช้พลังงานของเครื่องบดย่อยแบบหยาบ เครื่องบดย่อยแบบละเอียด และเครื่องอัดเม็ดคือ 87.72, 478.26 และ 10.01 kWh/Ton ตามลำดับ



ภาพที่ 45 การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานการอัดเม็ด

การวิเคราะห์เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

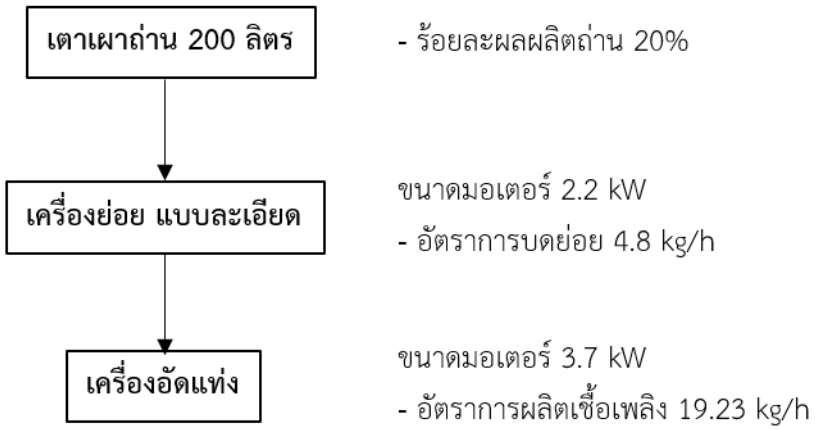
ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผลิตได้ มีความยาว 11.00 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.00 cm ความหนาแน่น 896.78 kg/m^3 ค่าความร้อน 25,832.56kJ/kg ดังตารางที่ 9 และภาพที่ 46

ตารางที่ 9 คุณสมบัติเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

คุณสมบัติ	เชื้อเพลิงอัดเม็ด
ความยาว (cm)	11.00
เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	4.00
ความหนาแน่น (kg/m^3)	896.78
ค่าความร้อน (kJ/kg)	25,832.56

ภาพที่ 46 ลักษณะเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง ดังภาพที่ 47 ซึ่งจะมี 3 ขั้นตอน ได้แก่ การผลิตถ่าน การบดย่อยแบบละเอียด และการอัดแท่ง ในขั้นตอนการผลิตถ่านมีร้อยละผลผลิตถ่านอยู่ที่ 20% เมื่อนำมาผ่านกระบวนการบดย่อยและการอัดแท่ง โดยใช้เครื่องบดย่อยแบบละเอียด และเครื่องอัดแท่ง ที่มีขนาดมอเตอร์ 2.2 kW และ 3.7 kW ตามลำดับ มีอัตราการใช้พลังงานของ เครื่องบดย่อยแบบละเอียด และเครื่องอัดแท่ง คือ 458.33 และ 192.41 kWh/Ton ตามลำดับ



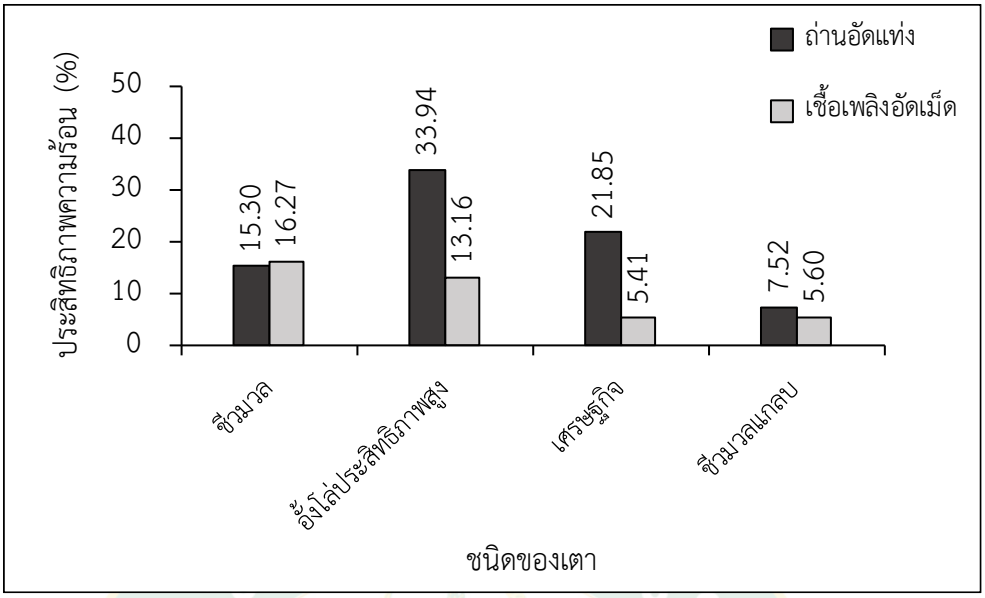
ภาพที่ 47 การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานการอัดแท่ง

การวิเคราะห์สมรรถนะเตาชีวมวลชุมชน

หลังจากได้ผลิตและวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดเม็ดและอัดแท่ง ได้นำชีวมวลทั้ง 2 ชนิดมาทดสอบการใช้งานกับเตาชีวมวลชุมชน 4 รูปแบบ คือ เตาชีวมวล เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง เตาเศรษฐกิจ และเตาชีวมวลแกลบ การวิเคราะห์การใช้งานประกอบด้วย การวิเคราะห์อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อุณหภูมิการต้มน้ำ ประสิทธิภาพความร้อน และต้นทุนการผลิตความร้อน รายละเอียดผลการทดสอบและการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อน พบว่าการใช้ใช้ถ่านอัดแท่งกับเตาชีวมวลชุมชนจะให้ประสิทธิภาพความร้อนค่อนข้างสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ด เนื่องจากถ่านมีคุณสมบัติทางด้านค่าความร้อนที่สูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ด ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงตามไปด้วย (กันยาพร และคณะ, 2560) ในขณะที่การใช้เตาชีวมวลจะให้ประสิทธิภาพความร้อนที่ใกล้เคียงกันเมื่อใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดและถ่านอัดแท่ง คือ 16.27% และ 15.30% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใช้เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง การใช้ถ่านอัดแท่งจะให้มีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุดคือ 33.94% เนื่องจากเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงถูกออกแบบมาใช้กับไม้ฟืน หรือถ่าน อีกทั้งเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงยังมีฉนวนที่หนาทำให้การสูญเสียความร้อนต่ำ (วิสาขา, 2557) ประกอบกับระยะห่างของการออกแบบหม้อต้มน้ำกับเตามีความเหมาะสม ทำให้มีความร้อนไหลออกจากเตามีความเหมาะสม อีกทั้งในด้านการออกแบบอากาศของห้องเผาไหม้มีปริมาณเหมาะสมจึงเป็นสาเหตุให้เมื่อใช้ถ่านอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงจึงทำให้มีประสิทธิภาพความร้อนสูง จากภาพที่ 48 สังเกตได้ว่าการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งจะให้ประสิทธิภาพความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีคุณสมบัติในด้านของความชื้นและลักษณะของเนื้อผิวของชีวมวลที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพความร้อนลดลงและเป็นสาเหตุการเกิดควันเมื่อใช้งาน (นคร, 2558) การใช้เตาชีวมวลแกลบมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด เนื่องจากเตาชีวมวลแกลบเป็นเตาที่ใช้สำหรับชีวมวลที่มีขนาดเล็ก และต้องมีการป้อนอากาศเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นการใช้ถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งมีขนาดใหญ่จึงทำให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่เพียงพอ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพความร้อนต่ำคือ 7.52% และ 5.60%



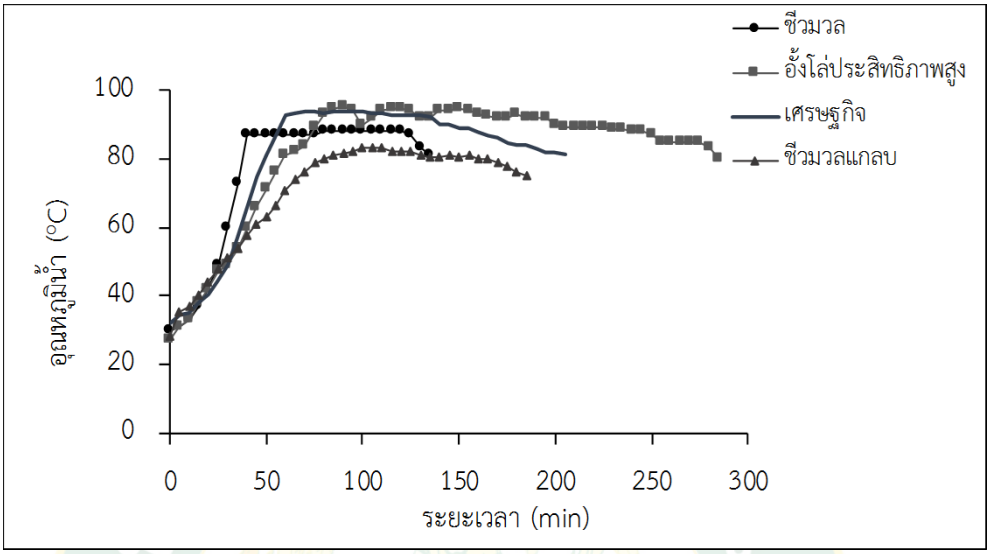
ภาพที่ 48 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อน

2. การวิเคราะห์อุณหภูมิการต้มน้ำ

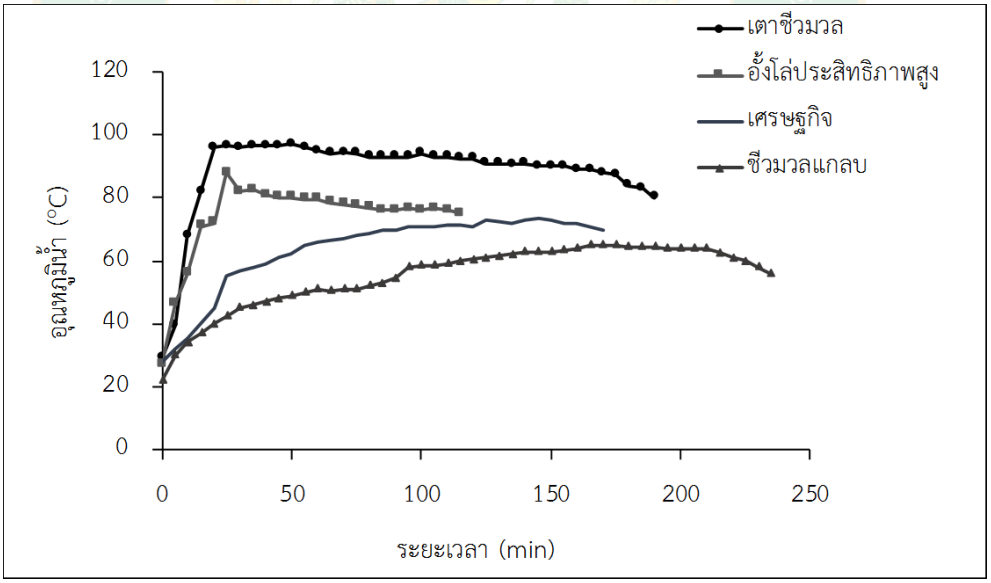
การวิเคราะห์อุณหภูมิและเวลาการเดือดของน้ำของถ่านอัดแท่ง โดยในการทดสอบนี้มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 29-35 °C พบว่าอุณหภูมิน้ำเดือดของเตาทั้ง 4 เตา กับถ่านอัดแท่งมีอุณหภูมิการเดือดสูงสุด 96 °C โดยใช้กับเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง ในขณะที่เตาชีวมวลแกลบมีอุณหภูมิในการเดือดต่ำที่สุดคือ 83 °C ซึ่งเกิดจากภายห้องเผาไหม้มีอากาศน้อย ทำให้เกิดการเผาไหม้ภายในเตาไม่ดีพอ จึงทำให้อุณหภูมิการต้มน้ำต่ำและระยะเวลาในการต้มน้ำสั้น จากภาพที่ 49 เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงสามารถใช้งานได้นานที่สุดในการเดือดของน้ำโดยมีระยะเวลา 200 นาที รองลงมาได้แก่ เตาเศรษฐกิจ เตาชีวมวล และเตาชีวมวลแกลบ โดยใช้ระยะเวลา 115 นาที 100 นาที และ 90 นาที

การวิเคราะห์อุณหภูมิและเวลาการเดือดของน้ำของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ในการทดสอบนี้มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเดียวกับเงื่อนไขการใช้ถ่านอัดแท่ง พบว่าอุณหภูมิน้ำเดือดของเตาทั้ง 4 เตา กับเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีอุณหภูมิการเดือดสูงสุด 97 °C เมื่อใช้กับเตาชีวมวล ในขณะที่เตาชีวมวลแกลบ เตาเศรษฐกิจ และเตาอั้งโล่ปประสิทธิภาพสูง สามารถทำให้อุณหภูมิน้ำสูงสุดได้เพียง 65, 73.5 และ 82.5 °C ซึ่งไม่ถือว่าเป็นอุณหภูมิที่ทำให้น้ำเดือด เนื่องจากมีอากาศในห้องเผาไหม้ไม่เพียงพอ และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงในด้านความชื้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ภายในเตาไม่ดีพอ นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดกับเตาอั้งโล่และเตาเศรษฐกิจยังทำให้เกิดควันเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดผลเสียต่อผู้ใช้งาน และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดเม็ดจึงไม่เหมาะสมต่อการใช้งานกับเตาอั้งโล่ และ

เตาเศรษฐกิจ จากภาพที่ 50 สังเกตได้ว่าเตาชีวมวลเป็นเตาที่สามารถใช้งานได้ดีกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยสามารถใช้งานได้ 160 นาที



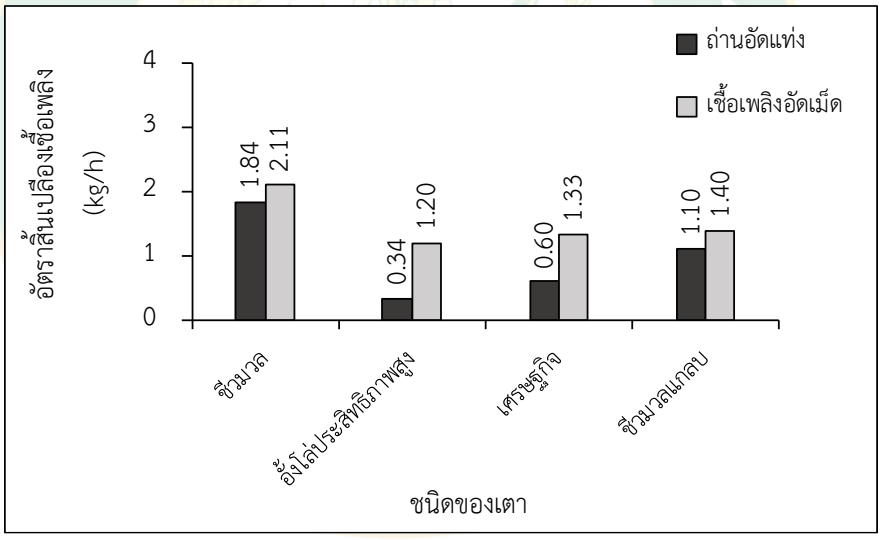
ภาพที่ 49 อุณหภูมิการต้มน้ำโดยใช้ถ่านอัดแท่ง



ภาพที่ 50 อุณหภูมิการต้มน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ด

3. การวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ด้านการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่าเตาชีวมวลมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูง เนื่องจากลักษณะของเตามีขนาดใหญ่ต้องใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมาก รวมถึงมีการสูญเสียความร้อนบริเวณหัวเตา จึงทำให้มีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานที่สูง โดยเมื่อใช้ถ่านอัดแท่ง และเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงคือ 1.84 และ 2.11 kg/h ในขณะที่เตาอั้งโล่มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำที่สุด คือ 0.34 และ 1.20 kg/h เนื่องจากเป็นเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงถูกออกแบบมาให้มีการสูญเสียความร้อนได้น้อย เนื่องจากมีผนังเตาที่หนา รูของรังผึ้งมีขนาดเล็กสามารถถ่ายเทอากาศได้ดี และสามารถเก็บความร้อนได้ดี จากรูปจะเห็นได้ว่าเตาทั้ง 4 ชนิด เมื่อใช้ถ่านอัดแท่งนั้นจะให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยกว่าการใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ด เนื่องจากถ่านอัดแท่งมีคุณสมบัติมีคุณสมบัติที่สามารถใช้งานได้นาน และค่าความร้อนที่สูงจึงทำให้มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสามารถใช้งานค่อนข้างนาน (เอกลักษณ์ และคณะ, 2556) ส่งผลให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งต่ำกว่าซังข้าวโพดอัดเม็ด ดังภาพที่ 51

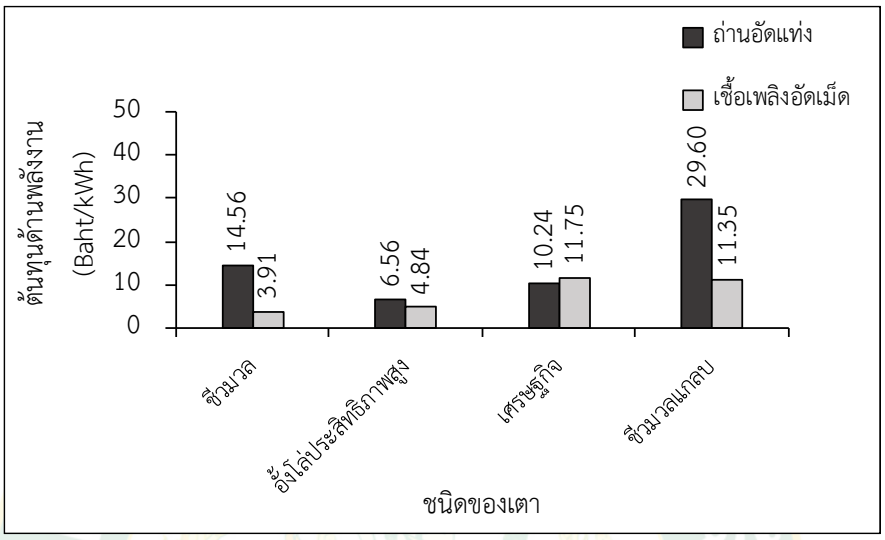


ภาพที่ 51 การวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตความร้อน

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อน แสดงในภาพที่ 52 พบว่าการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดกับเตาชีวมวลมีต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อนต่ำที่สุด โดยมีต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อนคือ 3.91 บาท/kWh จากรูปสังเกตได้ว่าการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีต้นทุนการผลิตความร้อนที่ค่อนข้างต่ำกว่าการใช้ถ่านอัดเม็ด เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีต้นทุนของเชื้อเพลิงต่ำกว่าถ่าน โดยเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีต้นทุนการผลิตความร้อนอยู่ที่ 3.10 บาท/กก. ในขณะที่ถ่านอัดแท่งมีต้นทุนอยู่ที่ 16

บาท/กก. เมื่อพิจารณาการใช้ถ่านอัดแท่งกับเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง พบว่ามีต้นทุนผลิตความร้อนต่ำกว่าเตาชนิดอื่น ๆ เนื่องจากถ่านอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ประสิทธิภาพความร้อนที่สูง และสามารถใช้งานได้นาน จึงทำให้ต้นทุนการผลิตความร้อนที่ต่ำ



ภาพที่ 52 ต้นทุนการผลิตความร้อน

การคัดเลือกเตาชีวมวลที่เหมาะสมกับชนิดเชื้อเพลิง

การคัดเลือกเตาชีวมวลที่เหมาะสมกับชนิดเชื้อเพลิงจากการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงอัดเม็ด ร่วมกับเตา 4 ประเภท ได้แก่ เตาชีวมวล เตาอั้งโล่ เตาเศรษฐกิจ และเตาแกลบ พบว่าการใช้ถ่านอัดแท่งมีความเหมาะสมกับเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง และเตาเศรษฐกิจ เนื่องจากมีประสิทธิภาพความร้อนค่อนข้างสูง มีอุณหภูมิของน้ำเดือนที่สูงถึง 96 °C มีระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนาน อีกทั้งยังมีต้นทุนทางด้านพลังงานที่ต่ำอีกด้วย สำหรับเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีความเหมาะสมที่ใช้จะกับเตาชีวมวล เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดควันในการใช้งาน มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูง มีอุณหภูมิในการทำให้น้ำเดือดสูงถึง 97 °C และสามารถใช้งานได้นาน ฉะนั้นการใช้ถ่านอัดแท่งจึงเหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงและเตาเศรษฐกิจ สำหรับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจึงเหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับเตาชีวมวล ดังตารางที่ 10 ดังนั้นในการวิจัยเพื่อนนำไปส่งเสริมให้กับชุมชน จึงได้นำเอาเตาทั้ง 3 ชนิดไปใช้งานกับชุมชนในเขตพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง

ตารางที่ 10 ความเหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดและถ่านอัดแท่ง กับเตาชีวมวลในชุมชน

ชนิดเตา	เชื้อเพลิงอัดเม็ด	ถ่านอัดแท่ง
ชีวมวล	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
อั้งโล่ประสิทธิภาพสูง	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม
เศรษฐกิจ	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม
ชีวมวลแกลบ	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสม

การทดสอบและวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดเม็ด และถ่านอัดแท่งกับเตาชีวมวลชุมชน

ภายหลังการคัดเลือกเตาชีวมวลชุมชนและกับชนิดเชื้อเพลิงแล้ว จึงได้นำไปเชื้องเพลิงอัดเม็ดและถ่านอัดแท่งไปทดสอบกับเตาชีวมวลชุมชน และวิเคราะห์ผลในด้านประสิทธิภาพความร้อน อุณหภูมิการต้มน้ำ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อน พบว่ามีประสิทธิภาพความร้อนที่ใกล้เคียงและมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับห้องปฏิบัติการ โดยเตาชีวมวลกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีประสิทธิภาพความร้อนอยู่ที่ 14.34% เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับถ่านอัดแท่งมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 33.90% และเตาเศรษฐกิจกับถ่านอัดแท่งมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 22.47% ดังตารางที่ 11

2. การวิเคราะห์อุณหภูมิการต้มอาหาร

การวิเคราะห์อุณหภูมิและเวลาการเดือดของน้ำของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดกับเตาชีวมวล พบว่ามีอุณหภูมิน้ำเดือดเช่นเดียวกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการถ่านอัดแท่งกับเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงมีอุณหภูมิการเดือดสูงสุด 96 °C สามารถใช้งานได้นานถึง 3-4 ชั่วโมง สำหรับการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดกับเตาชีวมวลมีอุณหภูมิน้ำเดือดสูงสุด 97 °C สามารถใช้ได้นานถึง 1-2 และการใช้ถ่านอัดแท่งกับเตาเศรษฐกิจมีอุณหภูมิน้ำเดือดสูงสุดที่ 93 °C สามารถใช้งานได้นานถึง 1-2 ชั่วโมง ดังตารางที่ 11

3. การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 11 พบว่ามีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบในระดับปฏิบัติการ โดยเตาชีวมวลกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าเตาชนิดอื่น ๆ คือ 1.96 kg/h ในขณะที่เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับถ่านอัดแท่งมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำที่สุดคือ 0.38 kg/h และเตาเศรษฐกิจกับถ่านอัดแท่งมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงคือ 0.60 kg/h

ตารางที่ 11 การใช้เตาชีวมวลชุมชนกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดและถ่านอัดแท่ง ในชุมชนพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง

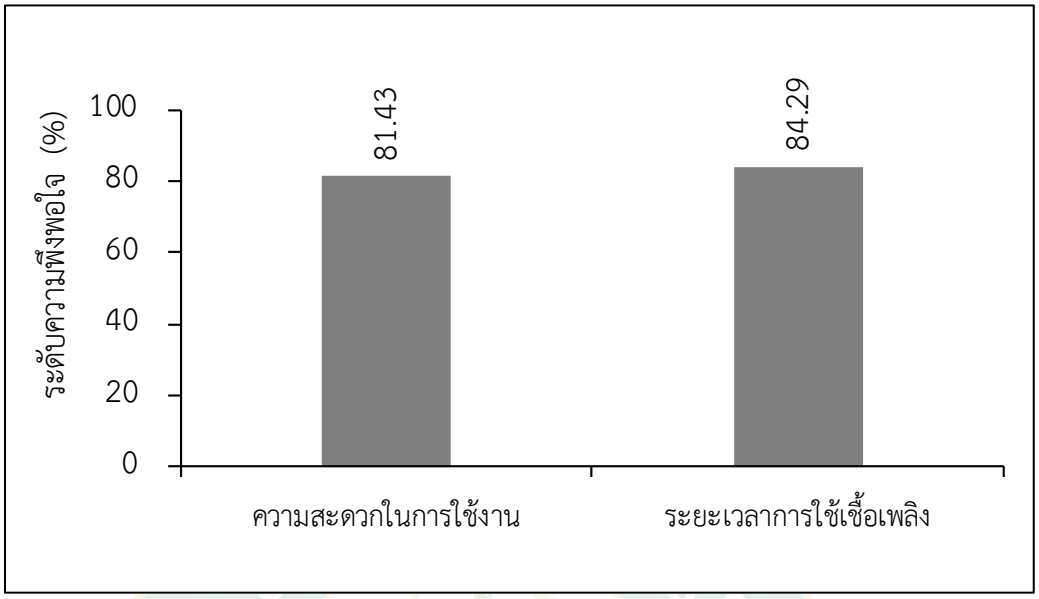
ชนิดเตา	เชื้อเพลิง	ประสิทธิภาพความร้อน (%)	อุณหภูมิการต้มน้ำ (°C)	อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)
ชีวมวล	เชื้อเพลิงอัดเม็ด	14.34	96	1.96
อั้งโล่ประสิทธิภาพสูง	ถ่านอัดแท่ง	33.90	95	0.38
เศรษฐกิจ	ถ่านอัดแท่ง	22.47	93	0.60

การประเมินความพึงพอใจทางด้านการใช้งาน การลดค่าใช้จ่าย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1. ความพึงพอใจต่อการการใช้งานภายในชุมชน

การประเมินความพึงพอใจทางด้านการใช้งาน จากแบบสอบถามรายบุคคลจำนวน 28 คน พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ในครัวเรือนเป็นส่วนใหญ่คิดเป็น 36.11% มีค่าใช้จ่ายแก๊ส LPG เฉลี่ย 373.33 บาท/เดือน นอกจากนี้ยังมีการใช้ไม้ฟืน ถ่าน และถ่านอัดแท่ง คิดเป็น 33.33% 29.17% และ 1.39% ตามลำดับ โดยในครัวเรือนมีการใช้เตาแก๊ส LPG 49.06% เตาอั้งโล่ 43.39% และเตาเศรษฐกิจ 7.55% ตามลำดับ

เมื่อนำเตาชีวมวล เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง และเตาเศรษฐกิจ โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงอัดเม็ด มีความพึงพอใจต่อการใช้งานในด้านความสะดวกในการใช้งาน และระยะเวลาการใช้เชื้อเพลิงมีคะแนนความพึงพอใจอยู่ในระดับมากคิดเป็น 81.43% และ 84.29% ดังภาพที่ 53

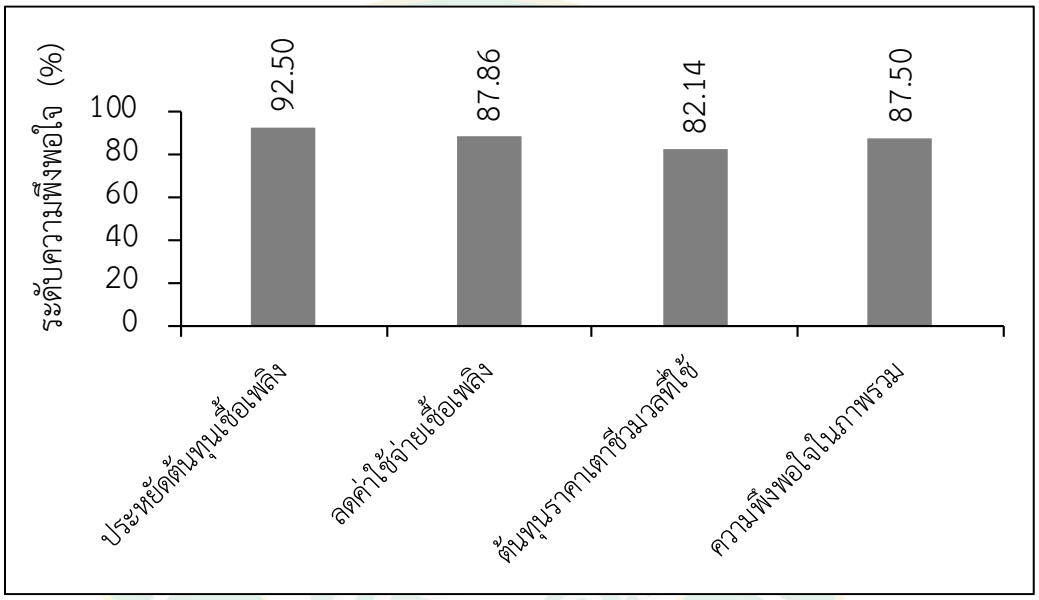


ภาพที่ 53 ความพึงพอใจต่อการการใช้งานภายในชุมชน

2. ความพึงพอใจในด้านการลดค่าใช้จ่าย

จากการสำรวจปริมาณชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปี พ.ศ. 2560 ชีวมวลจากลำต้น ใบ และยอดในปริมาณ 78,675.22 ตัน/ปี สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้ 78,675 ตัน/ปี คิดเป็นพลังงานคือ 1.38 TJ สำหรับซังข้าวโพดในปริมาณ 13,883.56 ตัน/ปี ผลิตเป็นถ่านอัดแท่งได้ 2,776 ตัน/ปี คิดเป็นพลังงาน 71.71 GJ ซึ่งมีศักยภาพทางพลังงานสูง โดยปกติครัวเรือนในอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปางมีการใช้ก๊าซ LPG 0.5 kg/วัน ที่พิกัดถัง 15 kg ทำให้ใน 1 ปี มีการใช้ก๊าซ LPG 182.50 kg/ปี หรือ 12 ถัง/ปี คิดเป็นพลังงานคือ 9.17 MJ เมื่อนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากลำต้น ใบ และยอดในปริมาณ 78,675 ตัน/ปี มาใช้กับเตาชีวมวลที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 4.22 kg/วัน คิดเป็นปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้ 26.70 GJ/ปี ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณก๊าซ LPG 12 ถัง/ปี เมื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนของก๊าซ LPG ที่ใช้ใน 1 ปี คือ 753.3 MJ/ปี พบว่าการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดสามารถทดแทนก๊าซ LPG ได้ 620.30 ถัง/ปี ในขณะที่การใช้ถ่านอัดแท่งกับเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง และเตาเศรษฐกิจที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ 0.34 kg/วัน และ 0.60 kg/วัน ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่งได้ 6.32 MJ/ปี และ 11.16 MJ/ปี ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณความร้อนเทียบเท่ากับปริมาณก๊าซ LPG 12 ถัง/ปี ดังนั้นการใช้ถ่านอัดแท่งจึงสามารถทดแทนก๊าซ LPG ได้ 1,632.91 ถัง/ปี และ 925.32 ถัง/ปี ตามลำดับ จากการประเมินศักยภาพชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทำให้ครัวเรือนในอำเภอวังเหนือสามารถใช้ชื้อเพลิงอัดเม็ดและอัดแท่งเพื่อทดแทนก๊าซ LPG ได้ถึง 98.07%-99.27%

การประเมินความพึงพอใจในด้านการลดค่าใช้จ่าย พบว่าประชากรมีความพึงพอใจในการประหยัดเชื้อเพลิงหุงต้มอยู่ในระดับมากที่สุดคิดเป็น 92.50% ดังนั้นการใช้ถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงอัดเม็ดสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดั้งเดิมมีคะแนนความพึงพอใจอยู่ในระดับมากคิดเป็น 87.86% นอกจากนี้ประชากรยังมีความพึงพอใจต่อราคาเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงอัดเม็ดอยู่ในระดับมากคิดเป็น 82.14% ซึ่งในภาพรวมพบว่ามีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากคิดเป็น 87.50% ถือได้ว่าประชากรมีความพึงพอใจเป็นอย่างมากในด้านการลดค่าใช้จ่ายการใช้ถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงอัดเม็ด ดังภาพที่ 55

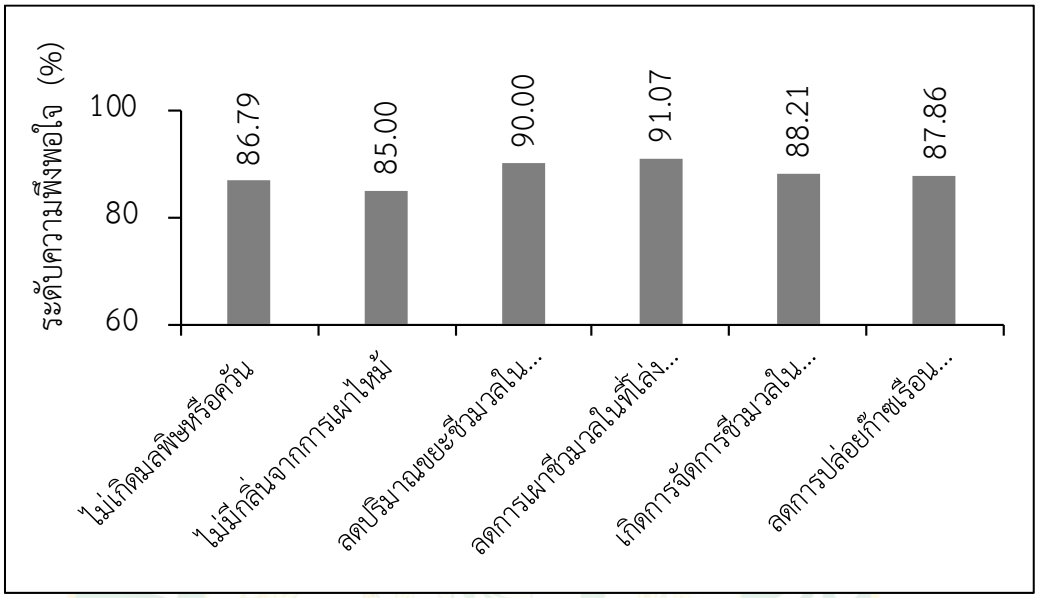


ภาพที่ 54 ความพึงพอใจในด้านการลดค่าใช้จ่าย

3. ความพึงพอใจในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การประเมินความพึงพอใจทางด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าประชากรมีความพึงพอใจต่อสิ่งแวดล้อมต่อการใช้งาน เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดควันเมื่อเปรียบเทียบกับเตาดั้งเดิมอยู่ในระดับมากคิดเป็น 86.79% อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดกลิ่นจากการเผาไหม้มีคะแนนอยู่ในระดับมากคิดเป็น 85% สามารถลดปริมาณขยะชีวมวลได้มีคะแนนอยู่ในระดับมากที่สุดคิดเป็น 90% นอกจากนี้การนำชีวมวลจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ยังสามารถลดการเผาชีวมวลในที่โล่งแจ้งได้โดยมีคะแนนอยู่ในระดับมากที่สุดคิดเป็น 91.07% ดังนั้นการใช้ถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลที่เกิดจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทำให้เกิดการจัดการชีวมวลในชุมชนมีคะแนนอยู่ในระดับมากคิดเป็น 88.21% นอกจากนี้ยังสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในชุมชนโดยมีคะแนนอยู่ในระดับมากคิดเป็น 87.86% ซึ่งจากการประเมินผลสังเกตได้ว่าประชากรมีความพึงพอใจเป็นอย่างมากในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดย

ในภาพรวมทำให้ชุมชนสามารถลดชีวมวลที่เกิดจากชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สามารถลดการเผาในที่โล่งแจ้งเกิดการจัดการสิ่งแวดล้อมของชุมชนได้เป็นอย่างดี ดังภาพที่ 56



ภาพที่ 55 ความพึงพอใจในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากเป็นพื้นที่มีการเพาะปลูกข้าวโพดเป็นส่วนใหญ่ โดยมีพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด 55,192.73 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 55,094.69 ไร่ และมีผลผลิตต่อปี 66,144.01 ตัน/ปี ทำให้เกิดชีวมวลประเภทลำต้น ใบ และยอด รวมถึงซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เกิดในพื้นที่อำเภอวังเหนือคือ 78,711.37 ตัน/ปี และ 13,890.24 ตัน/ปี เมื่อคิดเป็นศักยภาพพลังงาน ลำต้น ใบ และยอดมีศักยภาพทางพลังงานถึง 984.56 TJ หรือเทียบเท่าน้ำมันดิบ 23.32 ktoe และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีศักยภาพถึง 963.56 TJ หรือเทียบเท่าน้ำมันดิบ 22.82 ktoe

ภายหลังการสำรวจศักยภาพชีวมวลในพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปางแล้ว ได้นำชีวมวลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แปรสภาพเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด และถ่านอัดแท่ง นำมาทดสอบในด้านสมรรถนะของเตาชุมชน พบว่าการใช้ถ่านอัดแท่งกับเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงมีประสิทธิภาพความร้อนถึง 33.94% มีอุณหภูมิน้ำเดือนสูงสุด 96 °C และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.34 kg/h เมื่อใช้กับเตาเศรษฐกิจมีประสิทธิภาพความร้อน 21.85% มีอุณภูมิน้ำเดือดสูงสุด 93 °C และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.60 kg/h ในขณะที่การใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดกับเตาชีวมวลมีประสิทธิภาพความร้อน 16.27% มีอุณหภูมิน้ำเดือนสูงสุด 97 °C และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.11 kg/h

ความพึงพอใจทางด้านการใช้งาน การลดค่าใช้จ่าย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของคนในพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง พบว่ามีความพึงพอใจในการใช้งานเป็นอย่างมากคิดเป็น 81.43%-84.29% มีความพึงพอในในด้านการลดค่าใช้จ่ายในด้านเชื้อเพลิงคิดเป็น 82.14%-92.50% อีกทั้งยังมีความพึงพอใจเป็นอย่างมากในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยมีระดับความพึงพอใจคิดเป็น 85.00%-91.07%

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากในอำเภอวังเหนือยังมีพืชเศรษฐกิจอีก คือ ข้าว และมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นแหล่งชีวมวล ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพชีวมวลของพืชเศรษฐกิจอื่น ๆ เพิ่มเติม รวมถึงการแปรสภาพชีวมวล เพื่อนำมาเป็นพลังงานให้กับพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง

2. ควรมีการสนับสนุนให้คนในพื้นที่อำเภอวังเหนือมีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อลดชีวมวลในชุมชน และส่งเสริมให้มีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อสร้างเป็นอาชีพและเป็นแหล่งรายได้อีกทางหนึ่งของคนในพื้นที่อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง

บรรณานุกรม

กรมการพัฒนาชุมชน กระทรวงมหาดไทย. 2561. **อารยธรรมล้านนา หมู่บ้านปงถ้ำ/จ.ลำปาง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.otop-village.com/th/places_detail/11930 (8 มิถุนายน 2562).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2562. **ฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปีเพาะปลูก พ.ศ. 2556**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2450 (15 พฤษภาคม 2562).

กลุ่มกำกับและพัฒนาเศรษฐกิจการค้า จังหวัดลำปาง. 2559. **พืชเศรษฐกิจในจังหวัดลำปาง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.dit.go.th/region/LAMPANG/ Content?id=911 (1 มิถุนายน 2562).

กันยาพร ไชยวงศ์, ณัฐพล วิชาญ, อริยะ แสนทวีสุข, วิโรจน์ ไชยสมทิพย์, สมศักดิ์ ตั้งวิไล และ อภินันท์ เสริมสิริตระกูล. 2560. การวิเคราะห์สมรรถนะของเตาแก๊สซิไฟเออร์ควบคู่กับการผลิตถ่านชีวภาพระดับครัวเรือน. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 24(1), 100-109.

กิตติกร สาสุจิตต์ และและคณะ. 2551. **การประเมินสมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลสำหรับครัวเรือนโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2557. **รายงานสถานการณ์พลังงาน จังหวัดลำปาง**. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เตาแกลบเสาร์แก้ว. ม.ป.ป. **เตาแกลบ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.facebook.com/pg/Prechaphayao/about/?ref=page_internal (25 เมษายน 2562).

ธนาพล ตันติสัตยกุล, สุริฉาย พงษ์เกษม, ปรีย์ปวีณ ภูหญ้า และ ภานุวัฒน์ ไถ้บ้านกวย. 2558. พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 23(3), 418-431.

ธนาพล ตันติสัตยากุล, กะขามาศ สายดำ, สุจิตรา ภูส่งสี และ ศิวพร เงินเรืองโรจน์. 2558. การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง จากเปลือกสับปะรด. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 23(5), 754-773.

นคร วรสุวรรณรักษ์. 2558. **การอบรมเชิงปฏิบัติการ "เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลสำหรับภาคอุตสาหกรรม" ประเภทและคุณสมบัติของชีวมวล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.jgsee.kmutt.ac.th/v2/uploads/images/files/Biomass%20Workshop_Dr_Nakorn.pdf (20 พฤษภาคม 2562).

นิกราน หอมดวง, ณัฐวุฒิ ดุษฎี, กิตติกร สาสุจิตต์ และ ธเนศ ไชยชนะ. 2552. **ศั**กยภาพชีวมวลภาคการเกษตรและชีวมวลที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์ในภาคเหนือ. น. EP 04. ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5**. วันที่ 29 เมษายน-1 พฤษภาคม. คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยพลังงานทดแทน และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก.

บริษัท เอนคอส จำกัด. 2557. **เทคโนโลยีพลังงานชีวมวล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.encos.co.th/articles/details/3 (23 เมษายน 2562).

ฝ่ายชุมชนและผู้ด้อยโอกาส สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ม.ป.ป. **"ไม้" กลายเป็น "ถ่าน"**. กรุงเทพฯ: สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลลี ภายใต้กิจกรรมการพัฒนาศูนย์ความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น. 2556. การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ในจังหวัดลำปาง กรณีศึกษา : อำเภอแม่ทะ. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**, 6(2), 35-45.

เพ็ญจา จิตจำรูญโชคไชย. ม.ป.ป. การศึกษาฟางข้าวเพื่อเป็นพลังงานชีวมวลอัดเม็ด. น. 72-80. ใน **วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร ฉบับพิเศษ**. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5.

ภัทราณี นาคคงคำ, พิสิษฎ์ มณีโชติ และ ศิรินุช จินดารักษ์. 2558. การศึกษาศักยภาพชีวมวลในพื้นที่ตำบลข่อยสูง อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์. **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8**, 8(1), 139-142.

ภานุวัฒน์ ไถ้บ้านกวย. ม.ป.ป. **การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลจากทางมะพร้าว**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://sarew1313.wordpress.com/ประสบการณ์จากการฝึกงาน/บทที่-2-ทบทวนเอกสาร/ (20 เมษายน 2562).

มูลนิธิเกษตรกรรมยั่งยืน (ประเทศไทย). 2557. **หนองจอกนำร่องใช้สารอินทรีย์ ลดการเผาตอซังข้าวต้นเหตุไฟไหม้หญ้า**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sathai.org/autopagev4/show_page.php?topic_id=1234&auto_id=20&TopicPk= (5 พฤษภาคม 2562).

วราภรณ์ ทุมชาติ. 2557. การผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง. **วารสาริชาการคณะเทคโนโลยีอึตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**, 7(1), 26-39.

วิรัตน์ เจริญบุญ. 2560. เตาชีวมวลแกลบพลังงานเพื่อเกษตรกรไทย. **วารสารวิทยาศาสตร์ มข.**, 45(1), 163-174.

วิลาสินี ศรีสุวรรณ, วุฒิชัย เสริฐผส, ไกรพล ขันทะบุตร และ สิทธิชัย สะสาง. 2557. การสำรวจศักยภาพพลังงานทดแทนของชุมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย. น. 789-793. ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 7**. 12-14 พฤศจิกายน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

วิสาขา ภู่จินดา. 2557. **ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและผลตอบแทนทางสังคมของการใช้พลังงานชีวมวลในระดับชุมชนและครัวเรือน**. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนบริหารศาสตร์.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. ม.ป.ป. **แผนที่พื้นที่เกษตรที่ถูกเผาไหม้ 8 จังหวัดภาคเหนือ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.ictc.doae.go.th/?page_id=934 (5 พฤษภาคม 2562).

ศูนย์บริการอำเภอ. 2560. **อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.amphoe.com/menu.php?am=552&pv=51&mid=1 (7 มิถุนายน 2562).

ศูนย์วิทยบริการเพื่อส่งเสริมการเกษตร สำนักงานเลขานุการ กรมส่งเสริมการเกษตร. 2562. **การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ฤดูแล้งหลังนา**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://esc.doae.go.th/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%B7%E0%B8%AD-e-book/ (8 มิถุนายน 2562).

สถานีพัฒนาที่ดินลำปาง. ม.ป.ป. **พื้นที่รับผิดชอบของหน่วยพัฒนาที่ดอนที่ 4**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.ldslpg.org/structure/wangnua.htm (1 มิถุนายน 2562).

สมมาส แก้วล้วน, ดำรงศักดิ์ จันโทสี, สุรชัย จันทร์ศรี และ เวคิน ปิยรัตน์. 2556. การทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลขนาด 20 kW. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ**, 8(1), 24-33.

สังคม เตชะวงศ์เสถียร. ม.ป.ป.. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช. น. 1-37. ใน **สรีรวิทยาการผลิตพืช**. ขอนแก่น: สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงานเกษตรอำเภอวังเหนือ. 2560. **ข้อมูลด้านการเกษตร**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://wangnuea.lampang.doae.go.th/ (17 พฤษภาคม 2562).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2558**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐจการเกษตร. 2561. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี ๒๕๖๐**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 (ชลบุรี). 2561. **พลังงานชีวมวล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.mnre.go.th/reo13/th/news/detail/9529 (13 พฤษภาคม 2562).

องค์การบริหารส่วนตำบลวัดขวาง. 2555. **เตามหาเศรษฐี**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://watkwang.go.th/otop/detail/106 (8 มกราคม 2562).

อนุสรณ์ แสงประจักษ์, สกุลรัตน์ ในชื่น, ณัฐจารี เสือโคร่ง, มราภรณ์ สารปรัง และ อานนท์ เหนือเกษ. 2557. การสำรวจศักยภาพพลังงานชีวมวลและชีวภาพในตำบลนาบอน จังหวัดกาฬสินธุ์. น. 231-235. ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 7**. 12-14 พฤศจิกายน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร, ปะเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และ วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม. 2556. เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมของตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล. **วารสารวิจัยพลังงาน**, 10(3), 43-56.

Belonio, A.T. 2005. **Rice Husk Gas Stove Handbook**. Philippine: College of Agriculture Central, Philippine University.

Ojolo, S.J. & Orisaleye, J.I. 2012. Development of an Inverted Downdraft Biomass Gasifier Cookstove. **Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)**, 3(3), 513-516.

Panwar, N.L. & Ratthore, N.s. 2008. Design and Perfomance Evaluation of 5 kW Producer Gas Stove. **Biomass and Bioenergy**, 32(1349-1352.

Vyas, D.k., Dipak, T., Viral, M. & Akbari, S.H. 2014. Design and Development of Inverted Down Draft Gasifier for Cooking Purpose. **Engineering and Technology**, 2(2), 113-122.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

ENERGY NETWORK OF THAILAND 14th

RMUTT 40th Anniversary ENGINEERING RMUTT

ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

RSEC-RMUTT Research and Service Energy Center, RMUTT

14th Conference on Energy Network of Thailand

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14

13 - 15 มิถุนายน 2561 ณ โนโวเทล ระยอง

Proceeding

ผู้สนับสนุน

EGAT การไฟฟ้านครหลวง PEA NAMHENG GROUP IRPC ptt NIA aapa กระทรวงพลังงาน วช. NRCT FT ENERGY EQ

หน่วยงานในเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

SERT MAHASARAKHAM

การผลิตซินแก๊สด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กเพื่อผลิตไฟฟ้า 634
การประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวาและแกลบ 642
Preliminary Prediction of Small Wind Turbines Power Output in a Building-Obstructed Wind-Flow Area Using Anemometer Measuring Technique 646
การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการผลิตเอทานอลจากซานอ้อย 653
กระบวนการสอบเทียบเพื่อหาค่าการตอบสนองและคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องวัดรังสีรวมภาคสนาม 661
ผลของอัตราส่วนของเปลือกทุเรียนโดยหมักร่วมกับมูลนกกระทาเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ 665
การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดมที่ติดตั้งอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานความร้อนแบบ ใช้สารเปลี่ยนเฟส 671
การปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพจากมูลโคโดยการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 676
การศึกษาความคุ้มค่าของการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า 683
การผลิตแก๊สโดยเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบเบดหยุดนิ่งอากาศไหลลง ขนาด 10 kW จากวัสดุเหลือทิ้งจากต้นตาลโตนด 689
ศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวมวลจากชิ้นเลื่อยอัดเม็ด 695
การผลิตถ่านอัดแท่งจากกงวงตาลโตนดผสมแกลบโดยมีกากน้ำตาลเป็นตัวประสาน 703
การทดสอบประสิทธิภาพพลังงานในเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตจากอ้อยและฟางข้าว 707
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของใบพัดชนิดกังหันลมแบบดาร์ริอัสที่ใช้ NACA0021 โปรไฟล์ 712
การประเมินค่าความร้อนของกระบวนการทอรีแฟคชั่นจากวิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ 718
การเพิ่มประสิทธิภาพระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยฝังวัตถุกลืนความร้อน 724
สมรรถนะเตาชีวมวลระดับครัวเรือนเมื่อใช้ชีวมวลอัดเม็ดและอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง 729
กระบวนการทอร์รีไฟด์วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยเทคนิคคลื่นไมโครเวฟ 734
การปลดปล่อยก๊าซไอเสียและอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงอิมัลชัน (ดีเซล-น้ำ-ไบโอดีเซล) ในเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร 740
การลดมลพิษจากเครื่องยนต์อัดระเบิดโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลปาล์มผสมกับสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 745
ผลการปรับอัตราส่วนสมมูลที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของระบบฟลูอิไดซ์เบดแก๊สซิไฟเออร์ 751
การใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมในการผลิตเชื้อเพลิงอิมัลชันเพื่อทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร 756
สมรรถนะเครื่องยนต์และมลพิษของเชื้อเพลิงทดแทนจากกระบวนการอิมัลชั่นของน้ำมันขยะพลาสติกและเอทานอลความบริสุทธิ์ต่ำ 762
คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดผลิตจากกากตะกอนพลาสติกผสมชีวมวล 769
การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตเอทานอลจากน้ำอ้อยและกากน้ำตาล 773
การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร โดยใช้ตัวกลางประเภทไนลอน 779
ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาทอร์รีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 785
การสร้างชั้น Local Back Surface Field (LBSF) ที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนโดยวิธีการประทับลายด้วย Flash foam 791
การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันสัตว์โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 795
การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์จากเถ้าแกลบข้าวรวมกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 800

สมรรถนะเตาชีวมวลระดับครัวเรือนเมื่อใช้ชีวมวลอัดเม็ดและอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง

Performance of Household Biomass Stove with Using Pellet and Briquette Biomass as Fueled

ชูเดช เกตุชูรัตน์[1], ประภัสสร รัตนไพบูลย์[1], ชูรัตน์ ธารารักษ์[1], ณัฐวุฒิ คุษฎี[1] และ นิกราน หอมดวง[1*]
[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
*ผู้ติดต่อ: E-mail: nigranghd@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 084-1773632, โทรสาร 053-875599

RE-01-101

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเหมาะสมการใช้เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดและซังข้าวโพดอัดเม็ด กับเตาแก๊สชีวมวลและเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงสำหรับครัวเรือน ซึ่งเตาชีวมวลทั้ง 2 ชนิด ที่ใช้ทดสอบได้มาจากเตาในชุมชนอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง โดยปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในสภาวะเหมาะสมสูงสุด ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดกับซังข้าวโพดอัดเม็ดโดยมีความหนาแน่นและค่าความร้อนเฉลี่ย 896.78 kg/m^3 25,815 kJ/kg 1,292.55 kg/m^3 และ 17,573 kJ/kg ตามลำดับ ผลการศึกษาการใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดกับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงให้ประสิทธิภาพสูงสุด 33.94% ในขณะที่การใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด 29.78% การใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดกับเตาแก๊สชีวมวลให้ประสิทธิภาพสูงสุด 16.27% ต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อน เมื่อใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดมีต้นทุนต่ำสุดคือ 2.13-14.58 Baht/kWh อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดและถ่านอัดแท่งกับเตาชีวมวลทั้ง 2 แบบ มีศักยภาพในการผลิตความร้อนในระดับชุมชนได้

คำหลัก: ซังข้าวโพดอัดเม็ด, ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด, เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง, เตาแก๊สชีวมวล

Abstract

The objective of this research was to study the appropriateness of using corn cob charcoal briquettes, corn cob pellet with producer gas stoves and high efficiency biomass stoves for households. The both biomass stoves used in the test was derived from the Wang Nua district, Lampang province and tuned air-fuel ratio at maximum suitability. The corn cob charcoal briquettes and corn cob pellet were average densities and heating value of 896.78 kg/m^3, 25,815 kJ/kg, 1,292.55 kg/m^3 and 17,573 kJ/kg, respectively. The results found that, the using of corn cob charcoal briquettes with high efficiency biomass stove was obtained highest thermal efficiency of 33.94% while the use of corn cob pellets was obtained of 29.78%. The operation of corn cob pellets fueled with the producer gas stoves was obtained highest thermal efficiency of 16.27%. The cost of use of corn cob pellets fueled was obtained between 2.13-14.58 Baht/kWh. However, the use of corn cob pellets and corn cob charcoal briquettes on both biomass stove has the potential to generate heat at households in the community.

Keywords: corn con pellets, corn cob charcoal briquettes, High efficiency biomass stove, Producer gas stove

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ พลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากฟอสซิล ปัจจุบันพลังงานมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ จากสถานการณ์พลังงานปี พ.ศ. 2560 มีการใช้พลังงาน 80,752 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และมีการนำเข้าพลังงานคิดเป็นมูลค่ากว่า 862,797 ล้านบาท ซึ่งการนำเข้าพลังงานนี้ก่อให้เกิดความไม่เสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ ดังนั้นรัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มขึ้น โดยประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 11,698 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.9 จากปี พ.ศ. 2559 [1] ทั้งนี้การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนของรัฐบาลก็มีการสนับสนุนให้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม รวมถึงพลังงานชีวมวลที่มีศักยภาพเป็นอย่างมาก เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งเหมาะกับการใช้ในครัวเรือนหรือชุมชน [2]

โดยทั่วไปในการประกอบอาหารสำหรับครัวเรือนส่วนใหญ่มักใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลกระทบต่อรายได้ของครัวเรือน [3] จากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้มีชีวมวลเหลือเป็นอย่างมาก หากมีการส่งเสริมการนำชีวมวลนี้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงก็จะสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งปัญหาหนึ่งของการนำชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงนั้นก็มีข้อจำกัดทางด้านความชื้น ทำให้จุดติดไฟได้ยาก เกิดควันมากเมื่อใช้งาน และทำให้มีค่าความร้อนต่ำ อีกทั้งความหนาแน่นต่ำทำให้เกิดการลุกไหม้ได้ยาก [4] ดังนั้นจึงต้องมีแปรสภาพชีวมวลด้วยการอัดเม็ดเพื่อเพิ่มความหนาแน่น หรือการเพิ่มค่าความร้อนด้วยการทำเป็นถ่านอัดแท่ง การคำนึงถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเพื่อใช้กับเตาต่างๆ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากเตาแต่ละชนิดไม่ได้ถูกออกแบบมาใช้กับเชื้อเพลิงทุกชนิด การเลือกเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับเตาจะทำให้เกิดการใช้ชีวมวลอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ต้องการทดสอบเชื้อเพลิงชีวมวล อันได้แก่ ถ่านซังข้าวโพดอัดแท่ง (Corn Cob Charcoal Briquettes, CCB) และ ซังข้าวโพดอัดเม็ด (Corn Cob Pellets, CCP) โดยใช้กับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Biomass Stove, HBS) และเตาแก๊สชีวมวล Producer Gas Stove, PS) ทั้งนี้เพื่อดูความเหมาะสมของชนิดเชื้อเพลิงว่ามีความเหมาะสมกับเตาที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันหรือไม่ หรือในอนาคตอาจจะต้องมีการออกแบบเตาเพื่อรองรับเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

2. เครื่องมือและวิธีการวิจัย

2.1 เครื่องมืออุปกรณ์ และวัสดุทดสอบ

เตาแก๊สชีวมวล เป็นเตาที่ใช้หลักการเผาไหม้แบบเผาไหม้โดยตรงร่วมกับการเผาแบบกำจัดอากาศ (Gasification) ปัจจุบันเตาชนิดนี้มีการใช้งานในชุมชนทั่วไปโดยส่วนใหญ่จะใช้เชื้อเพลิงประเภทแกลบ หรือขี้เลื่อย เป็นต้น ดังรูปที่ 1 (ก) โดยเตามีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม เตามีผนัง 2 ชั้น ชั้นที่ 1 จะเป็นส่วนห้องเผาไหม้ ชั้นที่ 2 เป็นอนวน และตรงระหว่างชั้นที่ 1 และ 2 เป็นส่วนของการอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊ส โดยแก๊สที่ผลิตได้จะไหลขึ้นสู่ด้านบนและเกิดการลุกไหม้บริเวณด้านบนของเตา [5]

เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง เป็นเตาที่ถูกออกแบบโดยนักวิชาการกระทรวงพลังงาน ดังรูปที่ 1 (ข) โดยตัวเตาทำจากดินเหนียว มีรูปร่างทรงกรวย สามารถวางหม้อหรือภาชนะได้ถึง 9 ขนาด มีรังผึ้งที่หนา และทดทาน รูของรังผึ้งมีขนาดเล็กสามารถถ่ายเทอากาศได้ดี เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงเป็นเตาที่สูญเสียความร้อนได้น้อยเมื่อใช้งาน เนื่องจากเก็บความร้อนได้ดีมีอายุการใช้งานยาวนาน [6] สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่าร้อยละ 30 [7]

(ก) (ข)
รูปที่ 1 (ก) เตาแก๊สชีวมวล และ
(ข) เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง

2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

ถ่านอัดแท่ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ซังข้าวโพด มาเผาจนเป็นถ่าน อาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ดแล้วนำมาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ [8] ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้ถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพด มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 cm ความยาว 11 cm ความหนาแน่น 896.78 kg/m^3 และค่าความร้อนเฉลี่ย 25,815 kJ/kg [9] ดังรูปที่ 2 (ก)

ชีวมวลอัดเม็ด หมายถึงเชื้อเพลิงที่แปรสภาพมาจากการอัดชีวมวลให้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก [10] ซึ่งชีวมวลอัดเม็ดที่ใช้ในการทดสอบนี้ทำจากซังข้าวโพด มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 cm ความยาว 4 cm ความหนาแน่น 1,292.55 kg/m^3 และค่าความร้อนเฉลี่ย 17,572 kJ/kg [11] ดังรูปที่ 2 (ข)

(ก) (ข)

รูปที่ 2 (ก) ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด (ข) ซังข้าวโพดอัดเม็ด

3. วิธีการวิจัย

ในการทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลทั้ง 2 ชนิด มีเงื่อนไขการทดสอบดังนี้ การทดสอบได้ทำการทดสอบภายใต้ความดันปกติในพื้นที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน สามารถเติมเชื้อเพลิงได้ต่อเนื่องระยะเวลาการทดสอบอยู่ในช่วง 120 และ 300 min วัดประสิทธิภาพความร้อนโดยใช้วิธีการต้มน้ำ (Water Boiling Test) ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม มีการบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก่อนและหลังการทดสอบเทียบกับระยะเวลา การวิเคราะห์ข้อมูลได้วิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (FCR) อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) อุณหภูมิและระยะเวลาการเดือดของน้ำ รวมถึงต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อน

โดยขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลทั้ง 2 ชนิด ประกอบด้วย [2] การเตรียมเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด 4 kg และ ซังข้าวโพดอัดเม็ด 8 kg สำหรับเตาแก๊สชีวมวล ในกรณีการทดสอบเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงจะใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดและซังข้าวโพดอัดเม็ด 2 kg สำหรับการใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดกับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงนั้นจะต้องมีการใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด 0.5 kg เพื่อเป็นให้เกิดการลุกไหม้ของเชื้อเพลิง เริ่มต้นการทดสอบโดยชั่งน้ำหนักของน้ำ 9 kg โดยใช้หม้อเบอร์ 32 พร้อมทั้งบันทึกอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น ทำการจุดติดไฟและเริ่มจับเวลาในขณะที่เตาเริ่มติดไฟ บันทึกอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมทุกๆ 5 min เมื่อไฟมอดแล้วทำการชั่งปริมาณน้ำหนักน้ำสุดท้ายเพื่อหาปริมาณน้ำที่ระเหย เพื่อใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนของเตา อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดสมการสามารถวิเคราะห์ มีดังนี้

การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลทั้ง 2 ชนิด สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1-3 [2-3]

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{fuel}} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพความร้อนของเตา (%), Q_u คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (kJ) และ Q_{fuel} คือปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ (kJ)

ปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ หาได้จากความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำและการระเหยน้ำ ดังสมการที่ 2

$$Q_u = [m_{w,1} C_{p,w} (T_{w,b} - T_{w,i})] + [m_{w,2} h_{fg}] \quad (2)$$

เมื่อ $m_{w,1}$ คือ มวลน้ำเริ่มต้น (kg), $m_{w,2}$ คือ มวลน้ำที่ระเหย (kg), $C_{p,w}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่า 4.186 kJ/kg °C, $T_{w,i}$ คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (°C), $T_{w,b}$ คือ อุณหภูมิน้ำขณะเดือด (°C) และ h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ 2,257 kJ/kg

ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง [12] หาได้จากสมการที่ 3

$$Q_{fuel} = m_{fuel} \times HVF \quad (3)$$

เมื่อ m_{fuel} คือ มวลเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg) และ HVF คือ ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel Consumption Rate, FCR) เป็นสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อระยะเวลาใช้งาน [2] ดังสมการที่ 4

$$FCR = \frac{m_{fuel}}{t} \quad (4)$$

เมื่อ t คือ ระยะเวลาที่ใช้งาน (h)

อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption) เป็นอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ออัตราความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังสมการที่ 5

$$SFC = \frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{Q}_u} \quad (5)$$

เมื่อ $\dot{m}_{fuel}$ คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/h) และ $\dot{Q}_u$ คือ อัตราความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (kW)

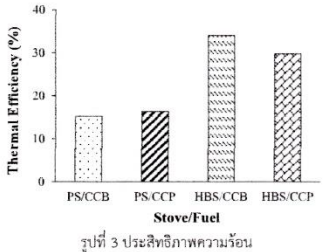
อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) เป็นสัดส่วนของอัตราความร้อนจากเชื้อเพลิงต่ออัตราความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ [13] ดังสมการที่ 6

$$SEC = \frac{\dot{m}_{fuel} HVF}{\dot{Q}_u} \quad (6)$$

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การประเมินประสิทธิภาพความร้อน

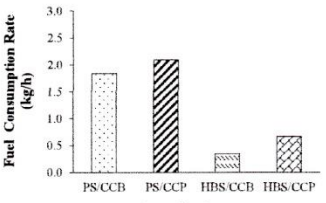
จากรูปที่ 3 แสดงประสิทธิภาพความร้อน พบว่าการใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดกับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงมีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุดคือ 33.94% รองลงมาได้แก่ ซังข้าวโพดอัดเม็ดที่ใช้กับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง 29.78% ซังข้าวโพดอัดเม็ดกับเตาแก๊สชีวมวล 16.27% และถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดกับเตาแก๊สชีวมวล 15.30% ตามลำดับ สาเหตุที่ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงกับการใช้ถ่านซังข้าวโพดอัดแท่งสูงที่สุดเกิดจากเตามีประสิทธิภาพสูง มีการสูญเสียความร้อนที่ต่ำ เนื่องจากมีผนังเตาค่อนข้างหนา ระยะห่างของการออกแบบหม้อต้มน้ำกับเตามีความเหมาะสม อีกทั้งในด้านการออกแบบอากาศของห้องเผาไหม้มีปริมาณเหมาะสมจึงเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามในส่วนการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ประสิทธิภาพความร้อนลดลงเกิดจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำกว่าถ่านถึง 47% ความชื้นและลักษณะของเนื้อผิวของชีวมวลก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพความร้อนลดลงและเป็นสาเหตุการเกิดควันเมื่อใช้งาน ในส่วนของการใช้เตาแก๊สชีวมวลมีประสิทธิภาพความร้อนต่ำนี้เกิดจากการสูญเสียความร้อนของเตาที่ค่อนข้างสูง ซึ่งเกิดจากลักษณะรูปแบบเตาที่ถูกออกแบบไว้ และลักษณะการเผาไหม้ของเตา เป็นต้น อย่างไรก็ตามถ้าสามารถปรับปรุงให้มีการสูญเสียความร้อนต่ำกว่านี้ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงขึ้น



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพความร้อน

4.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (FCR)

รูปที่ 4 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่าเตาแก๊สชีวมวลมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง เนื่องจากลักษณะของเตาแก๊สชีวมวลมีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนสูง ประกอบกับความหนาของผนังที่บางจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียความร้อนและทำให้ประสิทธิภาพความร้อนต่ำ อีกทั้งทางด้านการเติมอากาศแบบบังคับ ยังส่งผลให้ความร้อนบางส่วนสูญเสียและความร้อนไหลออกบริเวณหัวเตา จากรูปจะเห็นได้ว่าเตาทั้ง 2 ชนิด เมื่อใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดนั้นจะให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยกว่าการใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ด ซึ่งเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด และซังข้าวโพดอัดเม็ดจะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงคือ 1.84 และ 2.11 kg/h และเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงจะมีค่าอยู่ที่ 0.34 และ 0.67 kg/h ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิง พบว่าถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ด เนื่องจากถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดมีค่าความร้อนที่สูง ทำให้มีระยะเวลาการใช้งานค่อนข้างนาน [14] ส่งผลให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดต่ำกว่าซังข้าวโพดอัดเม็ด

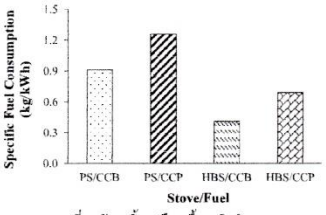


รูปที่ 4 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.3 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC)

จากรูปที่ 5 แสดงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ พบว่าเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดและซังข้าวโพดอัดเม็ดมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด และซังข้าวโพดอัดเม็ดมีค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ คือ 0.91 และ 1.26 kg/kWh ในขณะที่เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงที่ใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าการใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิงนั้นทำให้เกิด

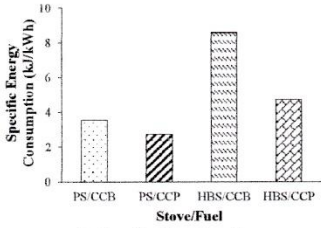
การระเหยของน้ำได้น้อยกว่าถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดจึงทำให้มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่าการใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด โดยเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงที่ใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด และซังข้าวโพดอัดเม็ดมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ คือ 0.41 และ 0.69 kg/kWh ตามลำดับ



รูปที่ 5 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

4.4 อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC)

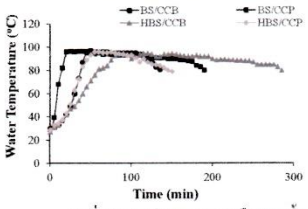
รูปที่ 6 แสดงอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ จะเห็นได้ว่าเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดและซังข้าวโพดอัดเม็ดจะมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง ในขณะเดียวกันการใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดกับเตาแก๊สชีวมวลมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าการใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดของเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด และซังข้าวโพดอัดแท่งคือ 8.58 และ 4.73 kJ/kWh ในขณะที่เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดและซังข้าวโพดอัดเม็ดมีอัตราสิ้นเปลืองจำเพาะพลังงานสูงสุดคือ 3.54 และ 2.74 kJ/kWh ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเตาแก๊ส LPG ซึ่งมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 150 kJ/kWh [15] จะเห็นได้ว่าเตาแก๊สชีวมวลและเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าเตาแก๊ส LPG เนื่องจากเตาแก๊สชีวมวลและเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงมีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่าเตาแก๊ส LPG จึงทำให้มีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อย



รูปที่ 6 อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

4.5 อุณหภูมิและระยะเวลาการเดือดของน้ำ

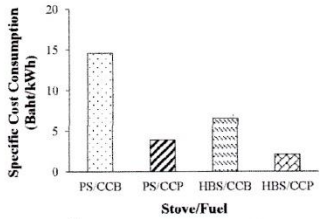
จากรูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิและเวลาการเดือดของน้ำ จะสังเกตได้ว่าคุณหภูมิน้ำเดือดของเตาทั้ง 2 เตา กับเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด มีอุณหภูมิการเดือดสูงสุด 96 °C ในการทดสอบนี้มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 29-35 °C สำหรับระยะเวลาในการทำให้น้ำเดือดของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดใช้เวลาเพียง 20 min ขณะที่เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด รวมถึงเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงที่ใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดและถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดใช้เวลาในการทำให้น้ำเดือด 45, 55 และ 85 min ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากรูปจะเห็นได้ว่าเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงที่ใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดนั้นจะสามารถใช้งานได้นานที่สุดในการเดือดของน้ำโดยมีระยะเวลา 200 min รองลงมาได้แก่ เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ซังข้าวโพดัดเม็ด 160 min โดยที่เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงที่ใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดและเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ถ่านซังข้าวโพดมีระยะเวลา ในการเดือดเท่ากันคือ 85 min



รูปที่ 7 อุณหภูมิและเวลาการเดือดของน้ำ

4.6 ต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อน

จากรูปที่ 8 แสดงต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อน จะเห็นได้ว่าเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงที่ใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดมีต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อนต่ำที่สุด โดยมีต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อนคือ 2.13 Baht/kWh การใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดกับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงนั้นมีควันเยอะในขณะใช้งานและต้องใช้ถ่านร่วมด้วยจึงจะทำให้น้ำเดือด ดังนั้นการใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดจึงไม่เหมาะกับการใช้กับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง ในขณะเดียวกันเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดมีต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อนคือ 3.90 Baht/kWh ในขณะที่การใช้เตาแก๊สชีวมวลและเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงกับถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดมีต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อนสูงคือ 14.58 และ 6.57 Baht/kWh จากรูปจะสังเกตได้ว่าการใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดมีต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อนสูงกว่าซังข้าวโพดอัดเม็ด เนื่องจากถ่านซังข้าวโพดมีต้นทุนของเชื้อเพลิงสูงกว่าซังข้าวโพดอัดเม็ด โดยถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดมีต้นทุนอยู่ที่ 16 Baht/kg ขณะที่ซังข้าวโพดอัดเม็ดมีต้นทุนอยู่ที่ 3.10 Baht/kg



รูปที่ 8 ต้นทุนการผลิตพลังงานความร้อน

5. สรุปผลการวิจัย

- การนำเอาซังข้าวโพดอัดเม็ดและถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดไปใช้กับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงมีความเหมาะสมที่สุด โดยให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ 30% และ 34% ตามลำดับ

- การใช้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพด มีความเหมาะสมกับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีประสิทธิภาพความร้อนที่สูง มี

ภาคผนวก ข

การคำนวณศักยภาพชีวมวล

1. ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อปี

กำหนดให้ พื้นที่เก็บเกี่ยว 55,094.69 ไร่

ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1,200 kg/ไร่/ปี

การคำนวณผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อปี = พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่) x ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (kg/ไร่/ปี)

จะได้ = 55,094.69 ไร่ x 1,200 kg/ไร่/ปี

= 66113628 kg/ปี หรือ 66,113.63 ตันผลผลิต/ปี

ดังนั้น ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อปี คือ 66,113.63 ตันผลผลิต/ปี

2. ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น

กรณี ลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

กำหนดให้ ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อปี 66,113.63 ตัน/ปี

สัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิตของ ลำต้น ใบ และยอด 1.19 ตัน/ตันผลผลิต

การคำนวณปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น

ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น = ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อปี (ตันผลผลิต/ปี) x สัดส่วนชีวมวลต่อ ผลผลิต (ตัน/ตันผลผลิต)

จะได้ = 66,113.63 ตันผลผลิต/ปี x 1.19 ตัน/ตันผลผลิต

= 78,675.22 ตัน/ปี

ดังนั้น ปริมาณชีวมวลลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เกิดขึ้น คือ 78,675.22 ตัน/ปี

3. ศักยภาพทางพลังงาน

กรณี ลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

กำหนดให้ ปริมาณชีวมวลลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 100,162.15 ตัน/ปี

ค่าความร้อนของลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 9.83 MJ/kg

การคำนวณศักยภาพทางพลังงาน

ศักยภาพพลังงาน = ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น (ตัน/ปี) x ค่าความร้อน (MJ/kg)

= 100,162.15 ตัน/ปี x 9.83 MJ/kg x 1,000 kg/ตัน

จะได้ = 98,4593,934.5 MJ หรือ 984.59 TJ

ดังนั้น ศักยภาพทางพลังงานลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ 984.59 TJ

4. ศักยภาพทางพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ

กำหนดให้ ศักยภาพทางพลังงานลำต้น ใบ และยอดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 984.59 TJ
พลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 1 toe เท่ากับ 42.244×10^9 J

การคำนวณศักยภาพทางพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ

$$\text{ศักยภาพทางพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ} = \frac{984.59 \times 10^{12} \text{ J}}{42.244 \times 10^9 \text{ J/toe}}$$

$$= 23{,}318.25 \text{ toe หรือ } 23.32 \text{ ktoe}$$

ดังนั้น ศักยภาพทางพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบศักยภาพทางพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 23.32 ktoe

ภาคผนวก ค

การคำนวณสมรรถนะเตาชุมชน

1. ประสิทธิภาพความร้อน

กรณี เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับการใช้ถ่านอัดแท่ง

กำหนดให้		
	น้ำหนักน้ำเริ่มต้น $m_{w,1}$	9 kg
	มวลน้ำที่ระเหย $m_{w,2}$	6.64 kg
	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ $C_{p,w}$	4.19 kJ/kg ^{o}C
	อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น $T_{w,I}$	27 ^{o}C
	อุณหภูมิน้ำขณะเดือด $T_{w,b}$	94.5 ^{o}C
	ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ h_{fg}	2,257 kJ/kg
	มวลเชื้อเพลิงที่ใช้ m_{fuel}	2 kg
	ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง HVF	25,832.56 kJ/kg

การคำนวณประสิทธิภาพความร้อน

จากสูตร

$$\eta = \frac{\left[m_{w,1} \times C_{p,w} \times \left(T_{w,b} - T_{w,i}\right)\right] + [m_{w,2} \times h_{fg}]}{m_{fuel} \times HVF} \times 100\%$$

$$= \frac{\left[9 \text{ kg} \times 4.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^{\circ}\text{C}} \times (94.5\text{-}27\ ^{\circ}\text{C})\right] + \left[6.64 \text{ kg} \times 2{,}257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]}{2 \text{ kg} \times 25{,}832.56 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \times 100\%$$

$$= 33.94\%$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพความร้อนเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับการใช้ถ่านอัดแท่ง คือ 33.94%

2. อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

กรณี เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับการใช้ถ่านอัดแท่ง

กำหนดให้		
	น้ำหนักเชื้อเพลิง	2 kg
	ระยะเวลาในการใชงาน	5.83 h

การคำนวณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

$$\text{อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง} = \frac{\text{น้ำหนักเชื้อเพลิง (kg)}}{\text{ระยะเวลาใช้งาน (h)}}$$

$$= \frac{2 \text{ kg}}{5.83 \text{ h}}$$

$$= 0.34 \text{ kg/h}$$

ดังนั้น อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับการใช้ถ่านอัดแท่ง คือ 0.34 kg/h

3. ต้นทุนการผลิตความร้อน

กรณี เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับการใช้ถ่านอัดแท่ง

กำหนดให้	น้ำหนักน้ำเริ่มต้น $m_{w,1}$	9 kg
	มวลน้ำที่ระเหย $m_{w,2}$	6.64 kg
	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ $C_{p,w}$	4.19 kJ/kg ^{o}C
	อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น $T_{w,I}$	27 ^{o}C
	อุณหภูมิน้ำขณะเดือด $T_{w,b}$	94.5 ^{o}C
	ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ h_{fg}	2,257 kJ/kg
	อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง $\dot{m}_{fuel}$	0.34 kg/h
	ระยะเวลาการใช้งาน t	5.83 h
	ราคาถ่านอัดแท่ง cost	16 บาท/kg

การคำนวณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

จากสูตร

$$SFC = \frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{Q}_u} = \frac{\dot{m}_{fuel}}{\frac{\left[m_{w,1} \times C_{p,w} \times \left(T_{w,b}-T_{w,i}\right)\right]+[m_{w,2} \times h_{fg}]}{t}}$$

$$= \frac{0.34 \frac{kg}{h}}{\frac{\left[9\ kg \times 4.19 \frac{kJ}{kg\ ^{\circ}C} \times (94.5-27\ ^{\circ}C)\right] + \left[6.64\ kg \times 2{,}257 \frac{kJ}{kg}\right]}{5.83\ h \times 60 \frac{min}{h} \times 60 \frac{s}{min}}}$$

$$= 0.41\ kg/kWh$$

ดังนั้น อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับการใช้ถ่านอัดแท่ง คือ 0.41 kg/kWh

การคำนวณต้นทุนการผลิตความร้อน

ต้นทุนการผลิตความร้อน = SFC x cost

= 0.41 kg/kWh x 16 บาท/kg

= 6.56 บาท/kWh

ดังนั้น ต้นทุนการผลิตความร้อนของเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับการใช้ถ่านอัดแท่ง คือ 6.56 บาท/kg

ภาคผนวก ง

แบบประเมินความพึงพอใจ

แบบประเมินผลความพึงพอใจ

การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ต้นข้าวโพด) และเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน

กลุ่มชุมชน อ.วังเหนือ จ.ลำปาง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล

1.ชื่อผู้ให้ข้อมูล.....

2. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

3. อายุ ☐ ต่ำกว่า 20 ปี ☐ 21-30 ปี

☐ 31-40 ปี ☐ 41-50 ปี

☐ 51-60 ปี ☐ มากกว่า 60 ปี

4. สถานภาพการทำงาน

☐ เกษตรกร ☐ ลูกจ้างประจำ/ชั่วคราว

☐ ข้าราชการ ☐ รัฐวิสาหกิจ

☐ นักเรียน/นักศึกษา ☐ อื่น ๆ ระบุ.....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงและเตาในครัวเรือน

1. การใช้เชื้อเพลิงในครัวเรือน

☐ แก๊สหุงต้ม (LPG) ☐ ไม้ฟืน

☐ ถ่าน ☐ ถ่านอัดแท่ง

☐ เชื้อเพลิงอัดเม็ด ☐ เชื้อเพลิงเขียว

☐ อื่น ๆ ระบุ.....

2. การใช้เตาในครัวเรือน

☐ เตาแก๊สหุงต้ม (LPG) ☐ เตาอั้งโล่

☐ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง ☐ เตาชีวมวล

☐ เตาเศรษฐกิจ ☐ เตาแกลบ

☐ อื่น ๆ ระบุ.....

3. ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงต่อเดือน.....

ส่วนที่ 3 ความพึงพอใจการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากต้นข้าวโพดและถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดกับเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน

รายการ	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
ความพึงพอใจทางด้านการใช้งานและเศรษฐศาสตร์					
1. การประหยัดต้นทุนเชื้อเพลิงการหุงต้ม					
2. การลดค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดั้งเดิม					
3. ต้นทุนราคาเตาชีวมวลที่ใช้					
4. ความสะดวกในการใช้งาน					
5. ระยะเวลาการใช้เชื้อเพลิง					
6. ความพึงพอใจในภาพรวมทางการใช้งานและเศรษฐศาสตร์					
การประเมินความพึงพอใจทางด้านสิ่งแวดล้อม					
1. ไม่เกิดมลพิษหรือควันเมื่อเทียบกับเตาแบบดั้งเดิม					
2. ไม่มีกลิ่นที่เกิดจากการเผาไฟไหม้					
3. การลดปริมาณขยะชีวมวลในชุมชน					
4. การลดการเผาชีวมวลในที่โล่งแจ้ง					
5. เกิดการจัดการชีวมวลในชุมชนในภาพรวม					
6. ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชุมชน					

ระดับความพึงพอใจ 5 มากที่สุด 4 มาก 3 ปานกลาง
2 น้อย 1 น้อยที่สุด

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก จ

ตารางอุณหภูมิการต้มน้ำ

ตารางผนวกที่ 1 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาชีวมวลกับถ่านอัดแท่ง

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
0	30	34
5	31	33
10	33	33
15	37	33.5
20	42	32.5
25	49	33
30	60	32
35	73	32
40	87	32
45	96	32.5
50	95	32
55	95	32
60	96	30.5
65	96	30.5
70	96	31
75	95	32
80	95	32
85	95	33
90	95	33.5
95	95	33
100	95	34
105	95	34
110	94	34
115	92	34
120	88	34

ตารางผนวกที่ 2 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาชีวมวลกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
0	29	29
5	39.5	30
10	68	31
15	82	31
20	96	32
25	96.5	32
30	96	30
35	96.5	31
40	96.5	31
45	96.5	31
50	97	31
55	96	31
60	95	31
65	94	31
70	94.5	31
75	94	31
80	93	31.5
85	93	31.5
90	93	32
95	93	31.5
100	94	32
105	93	32
110	93	32
115	92.5	32.5
120	92.5	32
125	91	32.5

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
130	91	33
135	90.5	33
140	91	33
145	90	33
150	90	33
155	90	33
160	89	33
165	89	33
170	88	33
175	87.5	33
180	84	33
185	83	32.5
190	80	33

ตารางผนวกที่ 3 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับถ่านอัดแท่ง

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
0	27	30
5	31	30
10	33	30
15	38	30
20	42	30
25	47	30
30	49	31
35	54	31
40	60	31
45	66	32
50	71	32
55	76	32
60	81	32
65	82	32
70	84	32
75	89	32
80	93	32
85	94.5	34
90	95	33
95	94	33
100	90	33
105	92	35
110	94	33
115	94.5	34
120	94.5	33

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
125	94	33.5
130	92	34
135	92	34
140	94	34
145	94	34
150	94.5	34
155	94	34
160	93	34
165	92.5	34
170	92	34
175	92	34
180	93	34
185	92	34
190	92	34
195	92	34
200	90	34
205	89	34
210	89.5	34
215	89.5	34
220	89	34
225	89	34
230	88.5	34
235	88.5	34
240	88	34
245	88	34
250	87	34

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
255	85	34
260	85	34
265	85	34
270	85	34
275	85	34
280	83	34
285	80	34

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ 4 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
0	28.5	30
5	33	30
10	34.5	30
15	37.5	29.5
20	43.5	31
25	51	30
30	63	31
35	72.5	31
40	83	31
45	89	30
50	93.5	30
55	96	30
60	96	31
65	95.5	31
70	95.5	31
75	96	31
80	95	32
85	94.5	32
90	94	32
95	93	32
100	93.5	32
105	91	32
110	87	33

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
115	90	33
120	87	33
125	85.5	33
130	85	32.5
135	84	33
140	82	33
145	80	33
150	79	33

ตารางผนวกที่ 5 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาเศรษฐกิจกับถ่านอัดแท่ง

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
0	31.5	34
5	34.5	33
10	35	33
15	38	33.5
20	40.5	32.5
25	44.5	33
30	49	32
35	57	32
40	65	32
45	75	32.5
50	81	32
55	87.5	32
60	93	30.5
65	93.5	30.5
70	94	31
75	94	32
80	93.5	32
85	94	33
90	94	33.5
95	94	33
100	94	34
105	93.5	34
110	93.5	34
115	93	34

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
120	93	34
125	93	34
130	93	34
135	92	34
140	90	34
145	90	34
150	89	34
155	89	34
160	88	34
165	87	34
170	86	33
175	84.5	33
180	84	33
185	84	32.5
190	83	32
195	82	32
200	82	32
205	81.5	32.5

ตารางผนวกที่ 6 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาเศรษฐกิจกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
0	26.5	30
5	28	30
10	34.5	31
15	42	31
20	51	31
25	54	30
30	57	30
35	61	30
40	65	31
45	70	31
50	75	31
55	77	31
60	83	32
65	85	32
70	82	32
75	82	32
80	80.5	32
85	79	32
90	80	33
95	78.5	33
100	77.5	33
105	77.5	33

ตารางผนวกที่ 7 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาชีวมวลแกลบกับถ่านอัดแท่ง

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
0	28	30
5	35	30
10	37	30
15	40	30
20	44	30
25	48	31
30	51	31
35	54	31
40	57.5	32
45	61	32
50	63	32
55	66.5	32.5
60	70.5	32.5
65	74	32
70	76	31
75	79	32
80	80	32
85	81	32.5
90	81.5	32.5
95	82	33
100	83	33
105	83	33
110	83	33.5
115	82	33.5

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
120	82	34
125	82	33
130	81	34
135	80.5	34
140	80.5	34
145	81	34
150	80.5	34
155	81	34.5
160	80	34
165	80	34
170	79	34
175	78	34
180	76	34
185	75	34

ตารางผนวกที่ 8 อุณหูมิน้ำขณะทดสอบประสิทธิภาพความร้อน ของเตาชีวมวลแกลบกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
0	22	26
5	30	25.5
10	34	25.5
15	37	25.5
20	40	26
25	42.5	26
30	45	26
35	46	26
40	47	26
45	48	26
50	49	26
55	50	26
60	51	26
65	50.5	26
70	51	26
75	51	26
80	52	26
85	53	26
90	54.5	26
95	58	26
100	58.5	26
105	58.5	26
110	59	26
115	60	26
120	60.5	26

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
125	61	27
130	61.5	27
135	62	27
140	63	27
145	63	27
150	63	27.5
155	63.5	28
160	64	28
165	65	28
170	65	29
175	65	29
180	64.5	29
185	64.5	28.5
190	64.5	28
195	64	27
200	64	26
205	64	25.5
210	64	25
215	62.5	25
220	61	25
225	60	25
230	58	25
235	56	25

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายชูเดช เกตุชูรัตน์	
เกิดเมื่อ	10 กุมภาพันธ์ 2507	
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2545	ระดับปริญญาตรี คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
	พ.ศ. 2535	ระดับอนุปริญญา แผนกช่างกลโรงงาน สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตล้านนา
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2552-ปัจจุบัน	รองนายกเทศมนตรีตำบลยางเนิ้ง สำนักงานเทศบาลตำบลยางเนิ้ง อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่
	พ.ศ. 2532-2552	นายช่างเทคนิค ชำนาญงาน สำนักงานพลังงาน จังหวัดพะเยา

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY