

การผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

Producer Gas Production using Rice Husk a Fuel by Inverted Downdraft Stove

วราภรณ์ ทุมชาติ^{1*}

^{1*} สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
119 หมู่ 9 ถนนลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100
โทร 054-237352 โทรสาร 054-241079 E-mail: w-tumchat@hotmail.com

บทคัดย่อ

เตาแก๊สซิฟิเคชันแบบ Inverted Downdraft สามารถผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สหรือแก๊สชีวมวลได้โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยการจำกัดอากาศหรือออกซิเจนให้เหมาะสมลักษณะห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอกเพื่อการวางหัวเตาที่เหมือนกับหัวเตาแก๊สหุงต้ม LPG บรรจุเชื้อเพลิงแกลบได้ประมาณ 1.3 กิโลกรัม เป่าอากาศเข้าห้องเผาไหม้ด้วยพัดลมจากด้านล่างจุดติดเชื้อเพลิงจากด้านบน นำไปทดลองใช้ในครัวเรือนของชุมชน บ้านร่มเย็น หมู่ 8 ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง จำนวน 5 ครัวเรือน จากการศึกษาพบว่าโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จากเตาแบบ Inverted Downdraft ให้อุณหภูมิสูง มีเปลวไฟที่ใกล้เคียงแก๊สหุงต้ม LPG การเผาไหม้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมพัดลมของเตา มีการปรับความเร็วลม 4 ระดับที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้คือ 3, 6, 9 และ 12 โวลต์ มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยตามลำดับคือ 4.89, 7.41, 9.41 และ 10.21 เมตรต่อวินาที น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 60, 97, 97 และ 97 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาประมาณ 60, 14, 12 และ 8 นาที รักษาระดับอุณหภูมิได้ยาวนานประมาณ 6, 20, 20 และ 23 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 0.07, 0.08, 0.09 และ 0.11 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้า 9, 14, 20 และ 25 วัตต์ และเตาแก๊สซิฟิเคชันมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 ปี

คำสำคัญ: โปรดิวเซอร์แก๊ส, เตาแบบ Inverted Downdraft, เชื้อเพลิงแกลบ

Abstract

An inverted downdraft gasifier can produce the producer gas or the biomass gas by the gasification process. This process burns fuels with appropriate limitation of the air or oxygen. The combustion chamber is a cylinder for placing the burner head gas stove in a similar way to cooking with LPG gas. The fuel comprises about 1.3 kilograms of rice husk. Air is blown into the combustion chamber by a fan from below. The fuel ignites from the top. Test users were from a community of 5 households in Bannromyen M. 8, Tambonnikompathana, Amphoemueang, Lampang. The results found that the producer gas from an inverted downdraft gasifier has a high temperature. The flame is similar to

when cooking with LPG gas. The burning depends on the air velocity from the fan of the gas stove. The voltage can be adjusted to alter the air velocity at 4 levels: 3, 6, 9 and 12 volts. It produced 4.89, 7.41, 9.41 and 10.21 m/s (air velocity); 60, 97, 97 and 97 degrees celsius (boiling water about 60, 14, 12 and 8 minute); lasted about 6, 20, 20 and 23 minutes; 0.07, 0.08, 0.09 and 0.11 A (current); 9, 14, 20 and 25 W (power). The gasifier has a payback period of about 2 years.

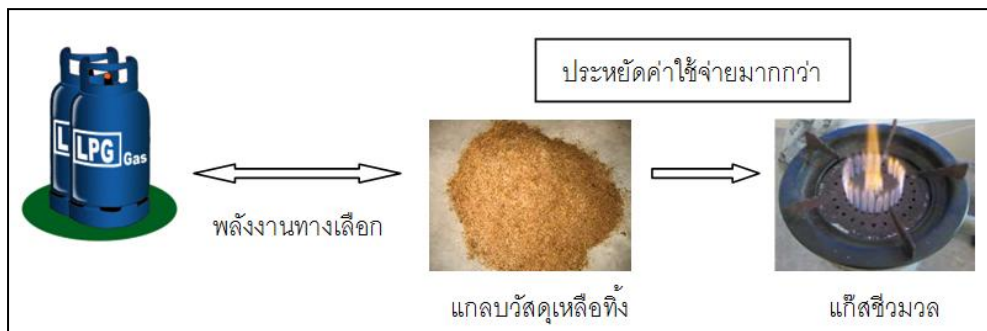
Keywords: producer gas, Inverted Downdraft Stove, Rice husk a fuel

1. บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการด้านพลังงานมีเพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในอนาคตเทคโนโลยีด้านพลังงานและการจัดการพลังงานจึงมีความสำคัญอย่างมาก รวมไปถึงการผลิตและการใช้พลังงานทดแทน เตาแก๊สซิฟิเคชันเป็นเตาที่สามารถผลิตแก๊สชีวมวลหรือโปรดิวเซอร์แก๊สได้ ซึ่งแก๊สเหล่านี้จะเป็นแก๊สติดไฟที่สามารถนำมาใช้ทดแทนแก๊สหุงต้ม LPG ในครัวเรือนได้ดังภาพที่ 1 เตาประเภทนี้จะใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงพลังงาน จากเดิมที่เกษตรกรจะเผาทิ้งทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและหมอกควัน หรือปล่อยทิ้งไว้ไม่เกิดประโยชน์ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สชีวมวลใช้ในครัวเรือน จาก อริยาภรณ์ สุนทรพงศ์ (2553) แสดงให้เห็นว่า การใช้เตาแก๊สชีวมวลเชื้อเพลิงแกลบสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงจากแก๊สหุงต้ม LPG สำหรับการประกอบอาหารได้ปีละ 1,410 บาท/ครัวเรือน หรือประมาณเดือนละ 117 บาท จากการสำรวจจำนวน 100 ครัวเรือน ภายในหมู่ 15 บ้านทุ่งสาน ตำบลพรหมพิราม อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก

บ้านร่มเย็น หมู่ 8 ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอลำปาง จังหวัดลำปาง มีจำนวนประชากรในเขตประมาณ 350 คน และจำนวนหลังคาเรือน 110 หลังคาเรือน อาชีพหลักของประชากรในหมู่บ้านคือ อาชีพทำนา และมีการรวมกลุ่มของคนในหมู่บ้านผลิตข้าวซ้อมมือในชื่อ “กลุ่มข้าวซ้อมมือปลอดสารพิษลำปาง” ทำให้มีแกลบซึ่งเป็นเศษวัสดุที่เหลือใช้ทั้งจากการผลิตข้าวซ้อมมือและจากโรงสีข้าวในชุมชนจำนวนมาก โดยปกติชาวบ้านจะกำจัดเศษวัสดุเหล่านี้โดยการเผาทิ้ง ซึ่งทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและหมอกควัน หรือไม่ก็ปล่อยทิ้งไว้ไม่ก่อประโยชน์อันใด ครัวเรือนส่วนใหญ่มีการใช้แก๊สหุงต้ม LPG ในการประกอบอาหารและใช้ในครัวเรือนซึ่งมีค่าใช้จ่ายประมาณ 195 บาท ในการเปลี่ยนแก๊ส ระยะเวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 41 วันต่อครั้ง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรมีการศึกษาและผลิตเตาแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งสามารถผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สใช้แทนแก๊สหุงต้มในบ้านเรือนได้ อีกทั้งยังสามารถพัฒนาต่อยอดได้โดยการนำพลังงานชีวมวลนี้ไปผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในครัวเรือนได้ในโครงการต่อไป และเป็นเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนที่ควรมีการเผยแพร่และนำไปใช้ในระดับชุมชน เชื้อเพลิงที่ใช้คือ แกลบ เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งกลุ่มเป้าหมายคือแกลบที่เหลือทิ้งจากชุมชนบ้านร่มเย็น เป็นการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรให้เกิดประโยชน์ และมีการเผยแพร่การนำเตาแก๊สซิฟิเคชันไปใช้ในระดับชุมชนต่อไป



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบพลังงานทางเลือก

2. วัตถุประสงค์

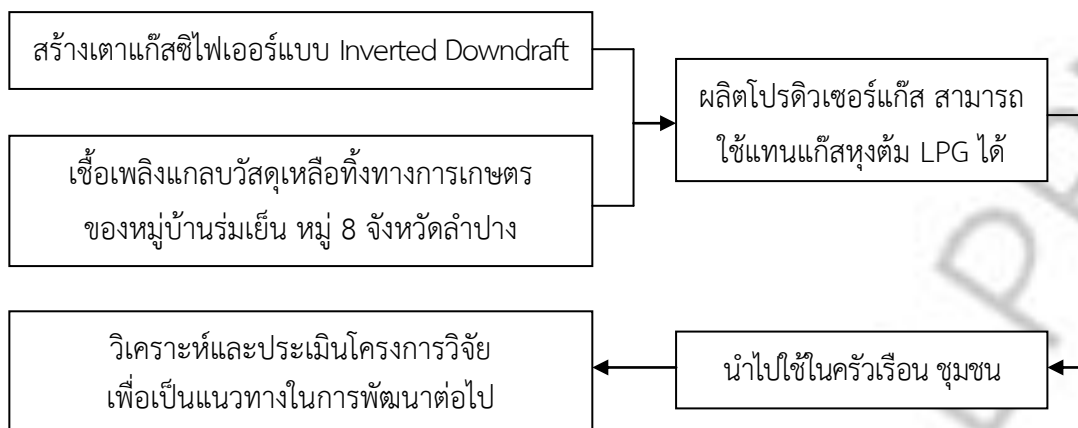
เพื่อศึกษาและสร้างเตาแก๊สซีฟไเออร์แบบ Inverted Downdraft โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถผลิตโปรตีนซีฟไเออร์แก๊ส และนำมาใช้ได้ในครัวเรือนเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้เตาแก๊สหุงต้ม LPG อีกทั้งเป็นการนำแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของชุมชนบ้านร่มเย็น หมู่ 8 ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง มาใช้ให้เกิดประโยชน์

3. ขอบเขตงานวิจัย

สร้างเตาแก๊สซีฟไเออร์แบบ Inverted Downdraft โดยใช้แกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของชุมชนบ้านร่มเย็น หมู่ 8 ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง มาใช้เป็นเชื้อเพลิง ทดสอบการต้มข้าว อุดหนุนได้ที่ เวลาที่ใช้ ปริมาณเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ ทดลองใช้โดยชาวบ้านในระดับครัวเรือน บ้านร่มเย็น หมู่ 8 จังหวัดลำปาง และมีการเผยแพร่ ประชาสัมพันธ์การนำเตาแก๊สซีฟไเออร์ไปใช้ในระดับชุมชน

4. วิธีการดำเนินการ

การผลิตโปรตีนซีฟไเออร์จากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสร้างเตาแก๊สซีฟไเออร์แบบ Inverted Downdraft เป็นการผลิตโปรตีนซีฟไเออร์แก๊ส โดยนำแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของชุมชนบ้านร่มเย็น หมู่ 8 ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง มาใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้เตาแก๊สหุงต้ม LPG ในครัวเรือน มีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้



ภาพที่ 2 โครงสร้างการดำเนินงาน

4.1 ศึกษาข้อมูลและการออกแบบ

กระบวนการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลให้กลายเป็นโปรดิวเซอร์แก๊ส ซึ่งปฏิกิริยาทางความร้อนแบบต่อเนื่องในกระบวนการจะเริ่มต้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ผลผลิตจากการเผาไหม้จะถูกบังคับให้ไหลผ่านชั้นของคาร์บอนร้อน และเกิดการรีดิวซ์กลายเป็นโปรดิวเซอร์แก๊ส เตาแก๊สแบบ Inverted Downdraft คือจะมีการเผาไหม้อยู่ด้านบนของเตา ทำให้โปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้มีความสะอาดขึ้นเนื่องจากแก๊สชีวมวลที่ได้ผ่านชั้นของการเผาไหม้ (combustion) ทำให้น้ำมันดินที่อยู่ในแก๊สชีวมวลเกิดการแตกตัวกลายเป็นแก๊ส ดังหลักการทำงานตามภาพที่ 3

การออกแบบขนาดเตาจาก Alexis T. Belonio (2005) คู่มือเตาแก๊สแกลบข้าว (Rice Husk Gas Stove) หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องเผาไหม้ทรงกลมดังนี้

$$D = \left(\frac{1.27 FCR}{SGR} \right)^{0.5} \quad (1)$$

FSR (Fuel Consumption Rate, kg/hr) คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิง

SGR (Specific Gasification Rate of Rice Husk, kg/m²-hr) คือ อัตราแก๊สชีฟเฟอร์เค้นของแกลบข้าว

$$D = \left(\frac{1.27 \times 2}{100} \right)^{0.5}$$

$$= 16 \text{ cm}$$

หาความสูงของห้องเผาไหม้ทรงกลมดังนี้

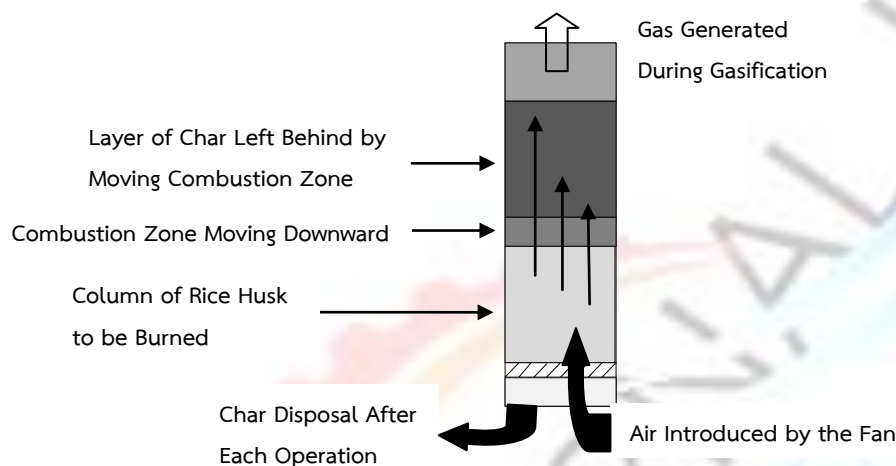
$$H = \frac{SGR \times T}{\rho_{rh}} \quad (2)$$

T (Time, hr) คือ เวลาที่ใช้

ρ_{rh} (Rice Husk Density, kg/m^3) คือ ความหนาแน่นของแกลบข้าว

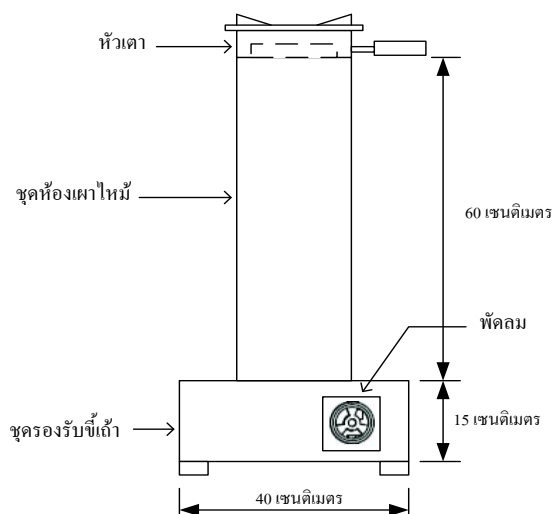
$$H = \frac{100 \times 0.5}{100}$$

$$= 50 \text{ cm}$$



ภาพที่ 3 เตาผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สแบบ Inverted Downdraft

ขนาดและลักษณะของเตาแก๊สชีฟไฟเออร์แบบ Inverted Downdraft ลักษณะห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอกเพื่อการส่งผ่านอากาศและการเผาไหม้ที่ทั่วถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร สูง 65 เซนติเมตร (บรรจุระดับเชื้อเพลิงที่ 50 เซนติเมตร) มีปริมาตรบรรจุ 13,074 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถบรรจุเชื้อเพลิงแกลบได้ถึงประมาณ 1.5 กิโลกรัม ซึ่งอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบขึ้นอยู่กับความเร็วอากาศที่ใช้ มีครอบชั้นนอกเพื่อการหมุนเวียนของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบ Inverted Downdraft โดยฐานของเตามีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร เพื่อรองรับเชื้อเพลิงและติดตั้งพัดลมขนาดเล็กดูดอากาศเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ ส่วนของหัวเตามีลักษณะเหมือนหัวเตาแก๊ส LPG เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน พร้อมมีด้ามจับช่วยในการเคลื่อนย้ายหัวเตาได้ง่าย แสดงแบบดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงแบบเตาแก๊สซีฟิเออร์

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ไม่หมด และสามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ ชีวมวลที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สามารถนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงในเตาหุงต้มอาหารทั่วไปได้ แต่ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงต่าง ๆ จะไม่เท่ากัน เรียกความร้อนนี้ว่า ค่าความร้อน วัสดุที่ให้ค่าความร้อนสูงเมื่อนำมาเผาในเตาหุงต้มจะได้ความร้อนออกมามาก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล

ชนิดของเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)
ชานอ้อย	2,200
ซังข้าวโพด	2,500
แกลบ	2,000
ไม้ฟืน (ไม้สน)	3,700
ไม้ฟืน (ไม้ขนุน)	4,300
ถ่านไม้	5,000 – 7,000 ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้

ที่มา: ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

4.2 ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานเตาแก๊สซีฟิเออร์

โดยการทดสอบประสิทธิภาพการต้มน้ำปริมาตร 3 ลิตร ให้เดือด ใช้เชื้อเพลิงแกลบ 1.3 กิโลกรัม มีการปรับความเร็วลม 4 ระดับที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้คือ 3 โวลต์ 6 โวลต์ 9 โวลต์ และ 12 โวลต์ เพื่อทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงและระยะเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำในแต่ละระดับความเร็วลม ทำการวัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ 3 ตำแหน่ง โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์ การวัดอุณหภูมิเตาเผาและเชื่อมต่อกับดาต้าล็อกเกอร์เพื่อเก็บข้อมูลตลอดระยะเวลาการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งพัดลมที่ใช้ในการดูดอากาศเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้คือ พัดลม DC 12V/1.5A พร้อมชุดปรับกระแสไฟฟ้า (Adaptor)

ทำให้สามารถใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าได้จากไฟฟ้าระบบ 220 โวลต์ได้เลย แต่เนื่องจากบางครัวเรือนต้องการใช้งานในพื้นที่นอกชุมชน เช่น บ้านสวน ซึ่งยังไม่มีการต่อไฟฟ้าเข้าถึง สามารถใช้งานเตาแก๊สซีไฟเออร์ได้โดยการใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายและเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงระบบไฟฟ้า



ตำแหน่งที่ 1 (T1)

ตำแหน่งที่ 2 (T2)

ตำแหน่งที่ 3 (T3)

ภาพที่ 5 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

4.3 เผยแพร่ ประชาสัมพันธ์การนำเตาแก๊สซีไฟเออร์ไปใช้ในระดับชุมชน

จัดกิจกรรมประชาสัมพันธ์การนำเตาแก๊สซีไฟเออร์ไปใช้ในครัวเรือน แก่ชุมชนบ้านร่มเย็น หมู่ 8 ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง โดยมีการให้ความรู้เกี่ยวกับเตาแก๊สซีไฟเออร์ที่สามารถผลิตโปรตีนเชอร์แก๊สได้ สามารถใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับแก๊สหุงต้ม LPG อธิบายถึงลักษณะเตา เชื้อเพลิงแก๊สที่ใช้ แสดงการต้มน้ำและประกอบอาหารเพื่อสร้างความมั่นใจให้กับชาวบ้านร่มเย็น มีตัวแทนชุมชนในการติดต่อสื่อสารถ่ายทอดข้อมูลเพื่อที่ช่างประจำหมู่บ้านจะสามารถสร้างเตาแก๊สซีไฟเออร์ขึ้นใช้เองได้ และสร้างให้แก่บุคคลในชุมชนที่สนใจ เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้แก๊สหุงต้ม LPG ลงได้



ภาพที่ 6 จัดกิจกรรมประชาสัมพันธ์การนำเตาแก๊สซีไฟเออร์ไปใช้ในครัวเรือน

4.4 ทดลองใช้ในครัวเรือน

ทดลองใช้จริงในระดับครัวเรือนจำนวน 5 ครัวเรือน โดยปกติแต่ละครัวเรือนจะใช้แก๊สหุงต้ม LPG ในการประกอบอาหารและใช้เตาถ่านร่วมด้วยในบางครั้ง ซึ่งแก๊สหุงต้ม LPG มีจำหน่ายที่สหกรณ์ชุมชนขนาด 15 กิโลกรัม จำหน่ายในราคา 195 บาทต่อถัง (ณ มีนาคม 2556) โดยเฉลี่ยแล้วแก๊สหุงต้ม LPG หนึ่งถังใช้ได้นานประมาณหนึ่งเดือนครึ่งต่อครัวเรือน ในครัวเรือนที่มีสมาชิก 3 – 5 คน มีการประกอบอาหารประมาณ 3 มื้อต่อวัน เมื่อทราบราคาค่าใช้จ่ายสำหรับแก๊สหุงต้มและราคาค่าลงทุนสร้างเตาแก๊สซีฟิเออร์ สามารถนำมาหารระยะเวลาคืนทุน (Payback period) ของเตาแก๊สซีฟิเออร์ได้จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

เนื่องจากเตาแก๊สซีฟิเออร์มีค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องเริ่มต้นเท่านั้น เชื่อเพลิงกลบสามารถหาได้ในชุมชนไม่มีค่าใช้จ่าย เป็นการหาระยะเวลาคืนทุนโดยเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียกับการเปลี่ยนแก๊ส LPG เมื่อแก๊สหมดซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ตลอดไปที่ยังคงใช้แก๊ส LPG อยู่ และในการใช้เริ่มต้นก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายซื้อถังแก๊สด้วย จะได้คืนก็ต่อเมื่อเลิกใช้แก๊ส LPG แล้วเท่านั้น ราคาแก๊ส LPG ก็มีแนวโน้มสูงขึ้นในทุก ๆ ปี เนื่องจากปัญหาแหล่งพลังงานที่ขาดแคลนและกำลังจะหมดไป การหาพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่ควรริเริ่มดำเนินการสนับสนุนให้ความรู้ ขยายลงสู่ชุมชนให้กว้างขวางเป็นที่รู้จักและนำไปใช้ได้มากที่สุด

5. ผลการศึกษา

ตารางที่ 2 แสดงค่าความเร็วลมจากการปรับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่ง

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)											
3 โวลต์			6 โวลต์			9 โวลต์			12 โวลต์		
ค่าความเร็วลม (m/s)			ค่าความเร็วลม (m/s)			ค่าความเร็วลม (m/s)			ค่าความเร็วลม (m/s)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
4.79	4.90	4.97	7.33	7.42	7.47	9.35	9.40	9.47	10.15	10.20	10.29
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.89			ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.41			ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.41			ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.21		

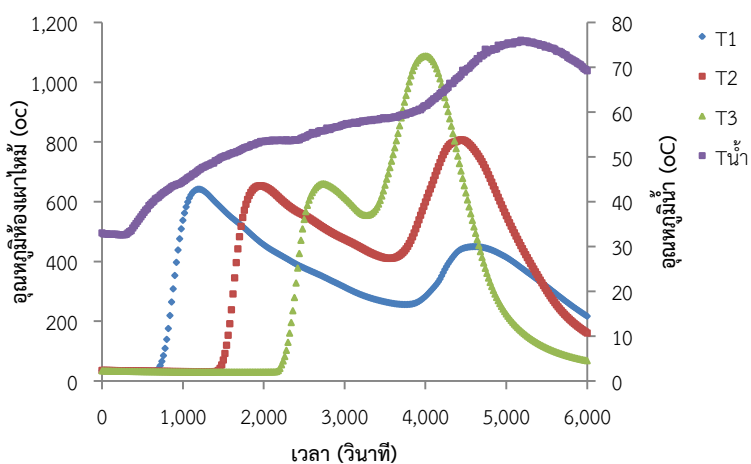
จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ค่าความเร็วลมเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ เป็นไปตามกฎของแรงดันไฟฟ้า คือความเร็วลมจะขึ้นอยู่กับการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของพัดลมที่ติดกับใบพัด แรงผลักของขดลวดในมอเตอร์แปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานคงที่ให้ได้ค่ากระแสเพิ่มขึ้น เกิดแรงผลักเพิ่มขึ้นใบพัดหมุนเร็วขึ้นทำให้ความเร็วลมที่สูงขึ้นตามลำดับ ที่ระดับความเร็วลมต่ำสุดที่จุด 3 โวลต์ มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยคือ 4.89 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความเร็วลมสูงสุดที่จุด 12 โวลต์ มีค่าความเร็วลมเฉลี่ย 10.21 เมตรต่อวินาที

ซึ่งค่าความเร็วลมมีผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ในห้องเผาไหม้ และระยะเวลาที่สามารถใช้ความร้อนจากแก๊สซิไฟเออร์ด้วย

ตารางที่ 3 แสดงค่าการใช้ปริมาณทางไฟฟ้าของพัดลมในแต่ละตำแหน่ง

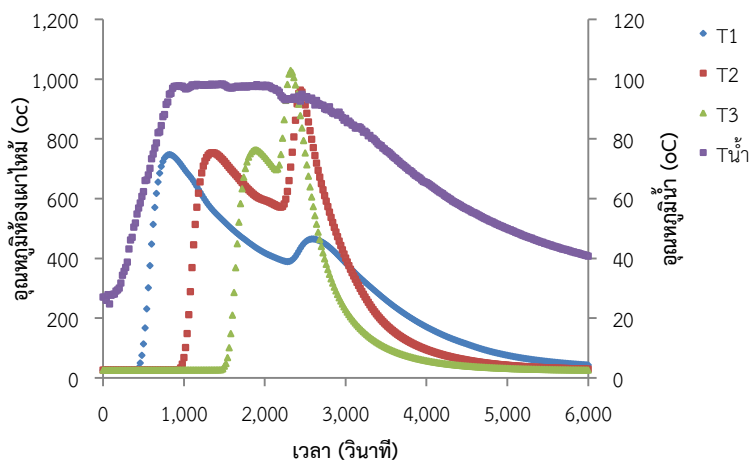
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแส (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
3	0.07	9
6	0.08	14
9	0.09	20
12	0.11	25

เนื่องจากค่าความเร็วลมขึ้นอยู่กับระดับแรงดันไฟฟ้า จึงทำการวัดค่าการใช้ปริมาณทางไฟฟ้าของพัดลมที่ระดับแรงดันทั้ง 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นว่าพัดลมขนาดเล็ก กินกระแส น้อยมากที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ กินกระแสมากที่สุดคือ 0.11 แอมแปร์ ค่ากำลังไฟฟ้า 25 วัตต์ ถ้าเปิดใช้ประมาณวันละ 4 ชั่วโมง ดังนั้นหนึ่งเดือนใช้ไฟฟ้าไป 3 หน่วย จะเห็นได้ว่าประหยัดมาก



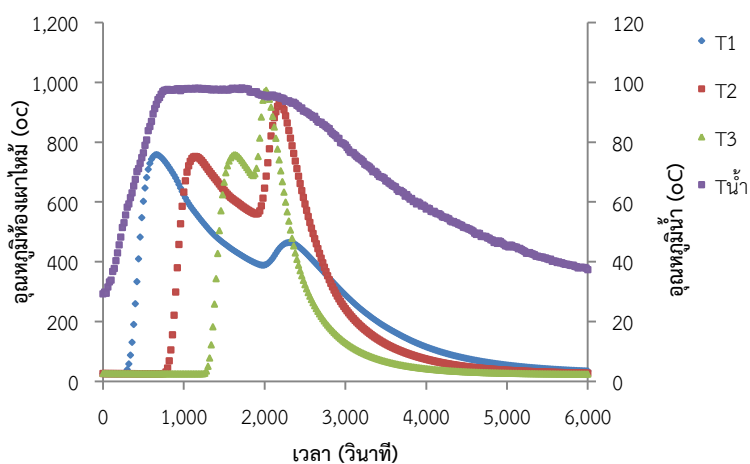
ภาพที่ 7 แสดงกราฟอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้และอุณหภูมิน้ำ ที่ระดับแรงดัน 3 โวลต์

จากภาพที่ 7 จะเห็นว่าที่ระดับแรงดัน 3 โวลต์ จะมีความเร็วลมต่ำสุด ทำให้อัตราการเผาไหม้เกิดช้า อุณหภูมิภายในเตาเผาค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ในตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณ 1100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำเดือดสูงสุดประมาณ 75 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาประมาณ 1 ชม.



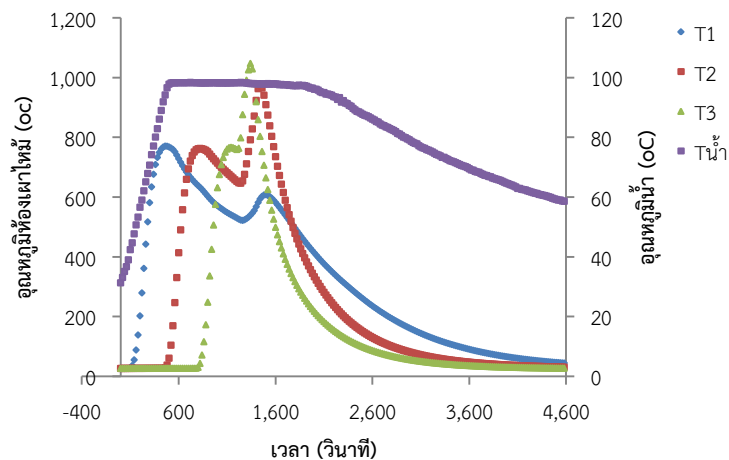
ภาพที่ 8 แสดงกราฟอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้และอุณหภูมิน้ำ ที่ระดับแรงดัน 6 โวลต์

จากภาพที่ 8 จะเห็นว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ ในแต่ละตำแหน่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับระดับแรงดัน 3 โวลต์ แต่ที่แรงดัน 6 โวลต์ จะให้ความเร็วลมมากกว่าที่ระดับ 3 โวลต์ ทำให้อัตราการเผาไหม้เร็วขึ้น และอุณหภูมิน้ำเดือดใช้เวลาน้อยลงใช้เวลาประมาณ 14 นาที ที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส รักษาระดับอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส ขึ้นไปได้นาน 20 นาที



ภาพที่ 9 แสดงกราฟอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้และอุณหภูมิน้ำ ที่ระดับแรงดัน 9 โวลต์

จากภาพที่ 9 จะเห็นว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ ในแต่ละตำแหน่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับระดับแรงดัน 3 โวลต์ และ 6 โวลต์ แต่ที่แรงดัน 9 โวลต์ จะให้ความเร็วลมมากกว่าที่ระดับ 3 โวลต์ และ 6 โวลต์ ทำให้อัตราการเผาไหม้เร็วขึ้น อุณหภูมิน้ำเดือดใช้เวลาประมาณ 12 นาที ที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส รักษาระดับอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ได้นาน 20 นาที



ภาพที่ 10 แสดงกราฟอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้และอุณหภูมิน้ำ ที่ระดับแรงดัน 12 โวลต์

จากภาพที่ 10 จะเห็นว่าอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ในแต่ละตำแหน่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับระดับแรงดัน 3 โวลต์ 6 โวลต์ และ 9 โวลต์ แต่ที่แรงดัน 12 โวลต์ จะให้ความเร็วลมมากกว่าทุกระดับแรงดันข้างต้น ทำให้อัตราการเผาไหม้เร็วที่สุด อุณหภูมิน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเกิดการเดือดที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุดประมาณ 8 นาที และรักษาระดับอุณหภูมิได้ยาวนานประมาณ 23 นาที จากนั้นเมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้หมด อุณหภูมิจึงค่อย ๆ ลดต่ำลง

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลอุณหภูมิและระยะเวลาที่แต่ละระดับความเร็วลม

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	อุณหภูมิน้ำเดือด (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ (นาที)	รักษาระดับอุณหภูมิได้นาน (นาที)
3	4.89	75	60	6
6	7.41	97	14	20
9	9.41	97	12	20
12	10.21	97	8	23

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าที่ระดับความเร็วลม 4.89 เมตรต่อวินาที ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นไปได้ช้า ใช้เวลานาน อุณหภูมิสูงสุดคือ 75 องศาเซลเซียส ในส่วนของระดับความเร็วลมประมาณ 7 - 10 เมตรต่อวินาที สามารถใช้งานได้ดี การเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นไปอย่างรวดเร็ว ที่ระดับความเร็วลม 10.21 เมตรต่อวินาที ใช้เวลาเพียง 8 นาที ในการต้มน้ำให้เดือดที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส และรักษาระดับอุณหภูมิได้นานถึง 23 นาที ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ไม่ว่าจะเป็นการประกอบอาหารหรือการใช้ความร้อนในกิจกรรมอื่น

จากการทดลองใช้เตาแก๊สซีฟิเออร์ในครัวเรือนของชุมชนบ้านร่มเย็น หมู่ 8 ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอมือง จังหวัดลำปาง ซึ่งใช้แก๊สที่เหลือทิ้งในชุมชนเป็นเชื้อเพลิง โดยกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 ครัวเรือน

พร้อมทั้งข้อมูลการใช้แก๊สหุงต้ม LPG ขนาด 15 กิโลกรัม ในแต่ละครัวเรือน แสดงผลตารางที่ 5 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 แสดงระยะเวลาการใช้แก๊สหุงต้ม LPG ในครัวเรือนกลุ่มตัวอย่าง

ลำดับที่	จำนวนสมาชิกในครัวเรือน (คน)	ระยะเวลาใช้งานแก๊สหุงต้ม 1 ถึง (วัน)
1	4	37
2	5	32
3	3	45
4	3	38
5	2	56
	เฉลี่ยต่อครัวเรือน	41

จากข้อมูลโดยกลุ่มตัวอย่างในตารางที่ 5 การใช้แก๊สหุงต้ม LPG ในแต่ละครัวเรือนโดยเฉลี่ยแต่ละครัวเรือนใช้แก๊ส 1 ถึง ได้นานเฉลี่ย 41 วัน ซึ่งค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแก๊ส 1 ถึง ราคา 195 บาทต่อถัง (ณ มีนาคม 2556) ในส่วนของค่าจ้างเหมาวัสดุและสร้างประกอบเตาแก๊สซีฟเออร์ราคาลงทุนเริ่มต้น 3,800 บาท จากข้อมูลสามารถคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} &= \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \\ &= \frac{3,800}{195 \times (365 \div 41)} \\ &= 2.18 \end{aligned}$$

ดังนั้นการใช้เตาแก๊สซีฟเออร์สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาประมาณ 2 ปี เนื่องจากเชื้อเพลิงแก๊สสามารถหาได้ในชุมชน เป็นการนำเงินที่ต้องเสียในการเปลี่ยนแก๊สหุงต้ม LPG มาลงทุน และสามารถนำไปใช้นอกพื้นที่ ทั้งพื้นที่ที่ไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึงได้สะดวก เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในอนาคตได้

6. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการผลิตโปรตีนเชอร์แก๊สจากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง พบว่าเตาแบบ Inverted Downdraft สามารถผลิตโปรตีนเชอร์แก๊สหรือแก๊สชีวมวลได้โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยการจำกัดอากาศหรือออกซิเจนให้เหมาะสมให้กลายเป็นแก๊สที่สามารถติดไฟได้ซึ่งแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้นี้เรียกว่า โปรตีนเชอร์แก๊ส เตาแก๊สซีฟเออร์ที่สร้างขึ้นมีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอกเพื่อการวางหัวเตาที่เหมือนกับหัวเตาแก๊สหุงต้ม LPG เป่าอากาศเข้าห้องเผาไหม้ด้วยพัดลมจากด้านล่าง จุดติดเชื้อเพลิงจากด้านบนตามลักษณะกระบวนการเผาไหม้แบบ Inverted Downdraft ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของชุมชนบ้านร่มเย็นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยแก๊สที่โรงสีประจำชุมชนมีตลอดทั้งปีและมีการนำไปใช้เพียงเล็กน้อย ซึ่งช่วยลดมลพิษทางอากาศจากการเผาแก๊สได้ด้วย

โปรติวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จากเตาแบบ Inverted Downdraft สามารถให้อุณหภูมิสูงมีเปลวไฟที่ใกล้เคียงแก๊สหุงต้ม LPG สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ นำไปใช้ให้ความร้อนในการประกอบอาหารได้ ซึ่งสามารถปรับตั้งค่าความเร็วลมได้ เป็นการควบคุมการเผาไหม้ใช้เวลาในการเผาไหม้แตกต่างกัน โดยที่ตำแหน่งปรับ 3 โวลต์ 6 โวลต์ 9 โวลต์ และ 12 โวลต์ มีค่าความเร็วลมเพิ่มขึ้นตามลำดับ และใช้เวลาในการเผาไหม้น้อยลงตามลำดับ เมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้หมด อุณหภูมิจึงค่อย ๆ ลดต่ำลง กล่าวคือมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยตามลำดับคือ 4.89, 7.41, 9.41 และ 10.21 เมตรต่อวินาที น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 60, 97, 97 และ 97 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาประมาณ 60, 14, 12 และ 8 นาที รักษาระดับอุณหภูมิได้ยาวนานประมาณ 6, 20, 20 และ 23 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 0.07, 0.08, 0.09, และ 0.11 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้า 9, 14, 20, และ 25 วัตต์ และสามารถใช้เตาแลกเปลี่ยนในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้า มีความสะดวกสบายที่จะนำไปใช้งานในไร่ นา สวน ออกนอกพื้นที่ สามารถใช้ทดแทนแก๊ส LPG ได้

การประชาสัมพันธ์ให้ความรู้และทดลองใช้เตาแก๊สซีไฟเออร์โดยกลุ่มตัวอย่าง พบว่า มีความพึงพอใจมากที่สุดและให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเตาแก๊สซีไฟเออร์สามารถใช้ทดแทนแก๊สหุงต้ม LPG ได้ เป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้เตาแก๊สหุงต้ม LPG ในครัวเรือนได้ ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 ปี ในการลงทุนซื้อวัสดุอุปกรณ์และสร้างเตาแก๊สซีไฟเออร์ จะเห็นได้ว่าเตาแก๊สซีไฟเออร์เป็นแนวทางในการใช้พลังงานทดแทนได้อย่างมาก ซึ่งมีอีกหลายชุมชนที่ยังไม่ได้รับการเข้าถึงและให้ความรู้ ควรรับดำเนินการเพื่อเป็นแนวทางและการเตรียมพร้อมรับมือกับวิกฤตพลังงานในอนาคต

7. ข้อเสนอแนะ

ขนาดของเตาแก๊สซีไฟเออร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาความต้องการใช้เตาต่อเนื่อง ถ้าขนาดเล็กลงระยะเวลาการเกิดโปรติวเซอร์แก๊สก็ลดลงเนื่องจากเชื้อเพลิงเผาไหม้หมดเร็ว และควรเลือกใช้ชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสมกับพื้นที่ชุมชน ว่าในแต่ละชุมชนมีเชื้อเพลิงชนิดไหนมากเป็นพิเศษ มีการเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ออกไปยังชุมชนอื่น ๆ ศึกษาเชื้อเพลิงชนิดใหม่ ๆ เลือกใช้แหล่งพลังงานทางเลือกให้หลากหลาย นำไปประยุกต์ใช้ต่อยอดเช่น การนำไปสร้างกระแสไฟฟ้าใช้ในครัวเรือน และชุมชนต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ที่ได้ให้การสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ ทั้งในด้านเงินทุนอุดหนุน วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ และบุคลากร จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ด้วย

9. เอกสารอ้างอิง

กิตติกร สาสุจิตต์, ณัฐวุฒิ ดุษฎี และคณะ. (2551). รายงานการวิจัยเรื่อง การประเมินสมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลสำหรับ ครัวเรือนโดยใช้แลกเปลี่ยนเชื้อเพลิง, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. สำนักงานภูมิภาค 10 เชียงใหม่.

- โครงการจัดทำหลักสูตรและคู่มือการผลิตเตาชีวมวล สำหรับวิสาหกิจในพลังงานชุมชนตามโครงการ 82 วิสาหกิจพลังงานชุมชนเฉลิมพระเกียรติ 82 พรรษา. (2554). กระทรวงพลังงานร่วมกับ ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ฐิติกร บุญชูวงศ์, รัตนชัย ไพรินทร์, ศิริชัย เทพา และศิรินุช จินดารักษ์. (2552). การศึกษาการผลิต Produce gas จากเตาผลิตแก๊สแบบ Updraft โดยใช้เศษผักและแกลบเป็นเชื้อเพลิง, **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5**, มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก
- ดิณณภพ แพ่งผม. (2552). การผลิตไฮโดรเจนจากชีวมวลในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วาทีนทร์ ทองแก้ว. (2554). การศึกษาประสิทธิภาพเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลลงจาก ถ่านไม้. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ศิริมิรินทร์ มีสุข. การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากขี้เลื่อยโดยแก๊สไพเคชั่นด้วยไอน้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อริยาภรณ์ สุนทรพงศ์. (2553). การศึกษาศักยภาพและมูลค่าเพิ่มของเชื้อเพลิงแกลบสำหรับการ **แนวทางในการส่งเสริมการใช้เตาแก๊สชีวมวลในครัวเรือน**. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- Alexis T. B. (2005). **Rice Husk Gas Stove Handbook**, Appropriate Technology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University,.
- Ojolo S.J. and Orisaleye J.I. (2012). Development of an Inverted Downdraft Biomass Gasifier Cookstove. **Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)** 3(3), 2012, pp. 513-516.
- Reed T.B. and Ronal Larson. (1996). A wood-gas stove for developing countries, **paper presented in the Development in thermochemical biomass conversion 1996**, Banff, Canada.