



## เตาชีวมวลแกสพลังงานเพื่อเกษตรกรไทย

### Rice Husk Gasifier Stove-Energy for Thai Agriculturalist

วิรัตน์ เจริญบุญ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002

E-mail: wiratja@kku.ac.th

#### บทคัดย่อ

เตาชีวมวลแกสแบบแบบอากาศไหลขึ้นและเผาไหม้จากด้านบนลงล่างได้ถูกสร้างขึ้น เตาชนิดนี้ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง เตาต้นแบบที่สร้างขึ้นได้ถูกนำไปวัดประสิทธิภาพและทดสอบการใช้งานจริง พบว่าสามารถบรรจุเชื้อเพลิงแกลบได้สูงสุด 1.659 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพทางความร้อน 10.36% เตานี้ให้กำลังงานของเตาออกมา 1.28 kW เมื่อใส่กำลังงานเชื้อเพลิงเข้าไป 12.50 kW สามารถสร้างก๊าซร้อนที่จุดไฟให้ลุกติดได้ภายในเวลา 2.87 นาที เปลวไฟสามารถลุกไหม้ได้นานมากถึง 27.59 นาที อุณหภูมิของเปลวไฟที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 416 – 684 °C และมีค่า Fuel Consumption Rate (FCR) เฉลี่ยเท่ากับ 3.184 kg/hr เตาชีวมวลแกสสามารถให้ความร้อนสำหรับการทำอาหารได้หลากหลายรายการ เช่น ต้มยำไก่บ้านใช้เวลาเพียง 25 นาที และต้มน้ำปริมาตร 2 ลิตร ให้เดือดเพื่อชงกาแฟหรือนมร้อนได้ภายในเวลา 8 นาที

#### ABSTRACT

A prototype of an inverted downdraft rice husk gasifier stove are designed and invented. The agricultural wastes such as rice husk have been used as the energy source. The thermal efficiency and real usage test are investigated. The results show that the maximum fuel loading is about 1.659 kg and the thermal efficiency is about 10.36%. The maximum power output of the stove (about 1.28 kW) was obtained when the input power value of fuel is 12.50 kW feeding into the stove. The average value of the fuel startup time, operating time, flame temperature and fuel consumption rate (FCR) are 2.87 min, 27.59 min, 416 – 684 °C and 3.184 kg/hr, respectively. This type of gasifier stove can be generated heat for cooking in many kinds

of menus for example Tom Yum Gai (chicken Tom Yum). This menu can be finished within 25 min. To boil 2.0 liters of water for making hot beverages such as hot-coffee or hot-milk can be achieved within 8 min.

**คำสำคัญ:** แกลบ เตาเผาแบบก๊าซซิไฟเออร์ พลังงานชีวมวล

**Keywords:** Rice Husk, Gasifier Stove, Biomass energy

## บทนำ

ชีวมวล (Biomass) หมายถึง วัสดุหรือสารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต ซึ่งมีธาตุคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลัก (ไม่นับสิ่งมีชีวิตยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่ตายทับถมกันภายใต้เปลือกโลกเป็นเวลานานหลายล้านปี) มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาผลิตพลังงานได้ ยกตัวอย่าง เช่น ฟืน เศษไม้ ถ่าน ฟางข้าว แกลบ มูลสัตว์ เป็นต้น

แกลบ ในที่นี้ หมายถึง ส่วนเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวไว้ แกลบได้มาจากขบวนการสีข้าว ซึ่งเมื่อเรานำข้าวไปสีจะได้แกลบออกมา ดังนั้นแกลบถือว่าเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร ในแกลบมีสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีหลายอย่าง เช่น สารเซลลูโลส (cellulose) มีประมาณ 40 – 50% สารประกอบประเภทลิกนิน (lignin) มีประมาณ 25 – 30% ส่วนที่เป็นเถ้าถ่าน (ash) 15 – 20% และความชื้น (moisture) อีก 8 – 15% ซึ่งพบว่าส่วนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์มีมากถึง 75 – 90% อีกที่เหลือเป็นส่วนประกอบของแร่ต่างๆ เช่น ซิลิกา (silica), สารประกอบแอลคาไลด์ (alkalis) และธาตุที่เป็นส่วนน้อย (trace elements) อื่นๆ (Sarangi et al., 2009) ซึ่งเมื่อนำแกลบไปวิเคราะห์พบว่าแกลบมีองค์ประกอบทางเคมีของธาตุต่างๆ ดังนี้ มีคาร์บอน (Carbon) มากถึงประมาณ 35% มีไฮโดรเจน (Hydrogen) ประมาณ 3-5% (Loha et al., 2011) ออกซิเจน (Oxygen)

ประมาณ 31-37% ไนโตรเจน (Nitrogen) ประมาณ 0.23 – 0.32% ซัลเฟอร์ (Sulphur) ประมาณ 0.04-0.08% และที่เหลือเป็นความชื้นประมาณ 8-9% ดังแสดงในตารางที่ 1 ตามลำดับ องค์ประกอบทางเคมีที่ได้กล่าวมานี้ สามารถมีค่าต่างกันได้ขึ้นอยู่กับ พันธุ์ข้าวและแหล่งที่ทำการเพาะปลูก

**ตารางที่ 1** องค์ประกอบทั่วไปของแกลบ (Kumar et al., 2012)

คุณสมบัติ	ช่วงของค่า
ความหนาแน่นแบบก้อน (Bulk density (kg/m <sup>3</sup> ))	96-160
ความแข็ง (Hardness) (Mohr's scale)	5-6
เถ้าถ่าน (Ash), %	22-29
คาร์บอน (Carbon), %	≈ 35
ไฮโดรเจน (Hydrogen), %	3-5
ออกซิเจน (Oxygen), %	31-37
ไนโตรเจน (Nitrogen), %	0.23-0.32
ซัลเฟอร์ (Sulphur), %	0.04-0.08
ความชื้น (Moisture), %	8-9

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าแกลบมีองค์ประกอบทางเคมีซึ่งเป็นสารที่สามารถถูกติดไฟได้ เมื่อนำแกลบไปเผาให้ความร้อนจะให้สารที่สำคัญออกมาหลายชนิด เช่น สารอินทรีย์ที่สามารถเผาไหม้ให้เป็นไอได้ (volatile matter) ซึ่งมีประมาณ 63.7% สารประเภทคาร์บอนคงที่ (Fix carbon) มีประมาณ 10.5% และเถ้า (Ash) มีประมาณ 25.8% (Sarangi et al., 2009, Loha et al., 2011) กลุ่มสารอินทรีย์ที่

สามารถระเหยเป็นไอได้เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง (pyrolysis) จะทำให้เกิดก๊าซที่สำคัญขึ้น เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) มีเทน (CH<sub>4</sub>) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และไอน้ำ (water vapor) เป็นต้น ปฏิกริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้มีหลายปฏิกิริยา ดังแสดงในสมการที่ (1) ถึง (5)

ถ้าเปรียบเทียบพลังงานความร้อนที่ได้จากวัตถุดิบกับวัตถุดิบอื่นๆ พบว่ากลับให้ค่าพลังงานความร้อนที่มากถึง 14.27 MJ/kg (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552) ซึ่งมีค่ามากกว่า ก๊าซสุประเภท ชานอ้อย ก้านมะพร้าวและกิ่งไม้ยางพารา แต่ชีวมวลจากกลบสำหรับในประเทศไทยมีเหลือทิ้งมากกว่า 3.5 ล้านตันต่อปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552) จึงทำให้เป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจ ดังนั้นถ้าสามารถใช้กลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำมาเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงก็จะเป็นอีกหนทางหนึ่งของการแก้ปัญหาเรื่องพลังงานของเกษตรกรไทย

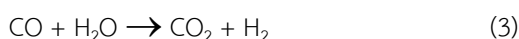
ปฏิกิริยาการเผาไหม้หลัก (Main combustion) จะเป็นไปตามสมการทั้ง 5 นี้ (Gómez-Barea et al., 2010)



ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซจากน้ำ (Water Gas)



ปฏิกิริยาการเกิด Water Shift Reaction



ปฏิกิริยาการเกิด Boudouard Reaction



ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทน (Methane Reaction)



เป็นที่น่าสังเกตว่าทั้ง 5 ปฏิกริยา จะทำให้เกิดก๊าซที่สำคัญคือ CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub> และ CH<sub>4</sub> ก๊าซเหล่านี้สามารถถูกติดไฟได้ทำให้สามารถใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงแทนก๊าซหุงต้มได้ก๊าซที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะถูกเรียกว่า ก๊าซสังเคราะห์ (syngas) ซึ่งมักถูกผลิตขึ้นในเตาชีวมวลในบริเวณที่เรียกว่า ก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification zone) ก๊าซสังเคราะห์เหล่านี้มีสมบัติสามารถจุดติดไฟได้เมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูง ทำให้สามารถนำมาเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนคล้ายกับก๊าซแอลพีจี (liquid petroleum gas, LPG) ที่มีการใช้งานในครัวเรือนอยู่ในปัจจุบัน

### ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับชนิดของเตาชีวมวล

เตาชีวมวลจากกลบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ (1) แบบเชื้อเพลิงไม่เคลื่อนที่ขณะเกิดการเผาไหม้ (fixed bed) และ (2) แบบเชื้อเพลิงเคลื่อนที่ขณะเกิดการเผาไหม้ (fluidized bed) และหากใช้เชื้อเพลิงจากกลบจะพบว่า เตาชีวมวลแบบที่ (1) ซึ่งเป็นแบบ (fixed bed) จะมีความเหมาะสมมากกว่า นอกจากนี้เตาชีวมวลแบบ (fixed bed) ที่เป็นชนิดเผาไหม้ด้านล่าง (down draft type) และชนิดเผาไหม้ด้านข้าง (cross draft type) ที่ได้แสดงในรายละเอียดด้านล่าง จะให้ประสิทธิภาพในการทำงานมากกว่าแบบอื่น ๆ

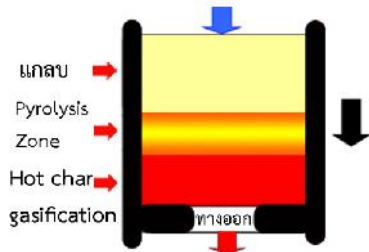
1. เตาชีวมวลแบบเชื้อเพลิงไม่เคลื่อนที่ขณะเกิดการเผาไหม้ (Fixed Bed Gasifier Stove)

เตาชีวมวลแบบ Fixed Bed Gasifier สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.1 เตาชีวมวลชนิดเผาไหม้ลงด้านล่าง (Downdraft-Type Gasifier) ซึ่งสามารถแบ่งได้อีกเป็น 2 ชนิด คือ

1.1.1 Down Draft Type Gasifier (Bottom-Lit) คือ เตาชีวมวลที่มีการเผาไหม้อยู่บริเวณส่วนด้านล่าง

ของเตา โดยก๊าซจะไหลจากด้านบนลงด้านล่างดังรูปที่ 1 ทำให้ควันที่เกิดขึ้นมีความร้อนสูงที่บริเวณทางด้านล่างและสามารถเกิดการลุกติดไฟได้ ส่งผลให้สารอินทรีย์ เช่น น้ำมันทาร์ (tar) สามารถเผาไหม้ติดไฟได้เช่นกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเผาไหม้อย่างสะอาดและสมบูรณ์ และเตาชีวมวลชนิดนี้ยังสามารถเติมเชื้อเพลิงจากด้านบนได้อย่างต่อเนื่อง

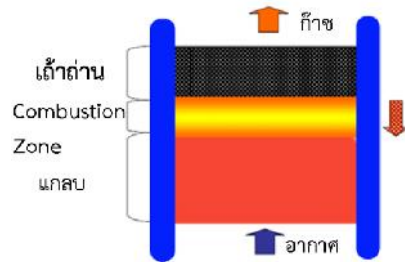


รูปที่ 1 เตาชีวมวลแบบ Down Draft Type Gasifier (Bottom-Lit) (Belonio, 2005)

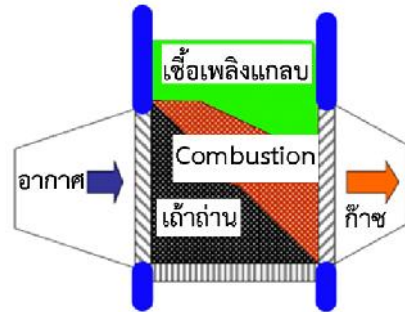
1.1.2 Inverted Downdraft Type Gasifier หรือชนิด Top-Lit with UpDraft เป็นเตาชีวมวลที่มีการเผาไหม้จากด้านบนและการไหลของก๊าซจะไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน (ตรงข้ามกับชนิดแรก) โดยเชื้อเพลิงจะอยู่กับที่แต่บริเวณของการเผาไหม้จะมีการเคลื่อนที่จากด้านบนลงด้านล่างแทนดังรูปที่ 2 การเติมเชื้อเพลิงเข้าไปใหม่จะทำเป็นครั้งๆไป กล่าวคือ ต้องใช้เชื้อเพลิงที่เติมเข้าไปใหม่จะจนหมดก่อนถึงจะสามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงเข้าไปใหม่ได้

1.2 เตาชีวมวลชนิดเผาไหม้ด้านข้าง (Cross-Draft Type Gasifier) เตาชีวมวลชนิดนี้ก๊าซจะไหลเข้าทางด้านข้างซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับบริเวณของการเผาไหม้ดังรูปที่ 3 เตาชีวมวลชนิดนี้สามารถเผาไหม้ได้แบบต่อเนื่องและเติมเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่องตราบใดที่สามารถนำเอาแถ้าถ่านที่เกิดจากการเผาไหม้ออกไปได้ เตาชนิดนี้อาจจะเกิดควันจำนวนมากที่สามารถ

สังเกตเห็นได้ อย่างไรก็ตามถ้ามีการจัดการอย่างเหมาะสมปัญหานี้ก็สามารถแก้ไขได้

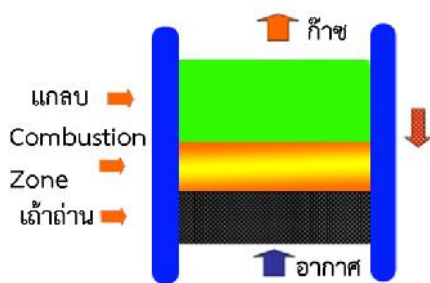


รูปที่ 2 เตาชีวมวลแบบ Inverted Downdraft Type Gasifier หรือ Top-Lit with UpDraft (Belonio, 2005)



รูปที่ 3 เตาชีวมวลชนิดเผาไหม้ด้านข้าง (Cross-Draft Type Gasifier) (Belonio, 2005)

1.3 เตาชีวมวลชนิดเผาไหม้ขึ้นด้านบน (Updraft-Type Gasifier) เตาชีวมวลชนิดนี้จะมีการลุกไหม้ที่บริเวณด้านล่าง ก๊าซร้อนจะมีการเคลื่อนที่ขึ้นทางด้านบน และจะถูกนำออกไปจุดไฟอีกทีในภายหลังดังรูปที่ 4 ในขณะที่เชื้อเพลิงร่วงหล่นลงไปยังบริเวณของการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ก็จะก่อให้เกิดบริเวณช่องว่างภายในเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าเตาชีวมวลแบบนี้จะสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีกับเชื้อเพลิงที่เป็นแกลบแต่ก็มีข้อเสีย คือ เกิดควันไฟจำนวนมากในระหว่างที่เตาชีวมวลนี้ทำงาน ดังนั้นเตาชีวมวลแบบนี้จำเป็นต้องมีปล่องระยอากาศอย่างดีเพื่อให้เตาสามารถนำก๊าซที่เกิดขึ้นมากเกินออกไปได้

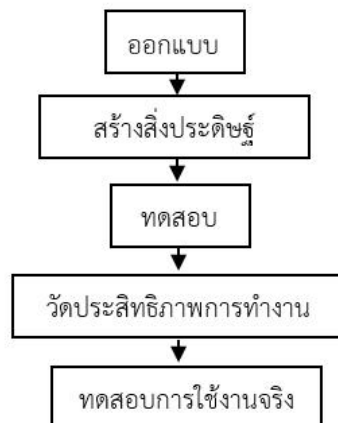


รูปที่ 4 เตาชีวมวลชนิดเผาไหม้ขึ้นด้านบน (Updraft-Type Gasifier) (Belonio, 2005)

(2) เตาชีวมวลแบบเชื้อเพลิงเคลื่อนที่ขณะเกิดการเผาไหม้ (Fluidized Bed Gasifier Stove) เตาชีวมวลแบบนี้ เชื้อเพลิงในที่นี้คือ แกลบ จะมีการเคลื่อนที่อยู่ภายในท่อของการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจำเป็นจะต้องใช้พัดลมเติมอากาศแบบความดันสูงในการทำงานเพื่อให้เชื้อเพลิงสามารถเคลื่อนที่ได้ เตาชีวมวลชนิดนี้จะเหมาะสมกับสถาบันการวิจัยเรื่องเตาหรือการใช้เตาในระดับอุตสาหกรรมที่สามารถจัดการเรื่องค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานได้

### วิธีดำเนินการวิจัย

เตาชีวมวลแกลบที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบอากาศไหลขึ้นและเผาไหม้จากด้านล่าง (Inverted Downdraft Type Gasifier Stove) ซึ่งวิธีและขั้นตอนการดำเนินงานเป็นไปตามไดอะแกรมที่ได้แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเริ่มจากการออกแบบ การสร้างสิ่งประดิษฐ์ การทดสอบ และการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเตา และขั้นตอนสุดท้ายนำไปทดสอบการใช้งานจริง



รูปที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

### รายละเอียดการประดิษฐ์เตาชีวมวลแกลบ

เตาชีวมวลแกลบมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนด้วยกัน คือ หัวเตา บริเวณท่อเผาไหม้ ที่เติมอากาศทางนำเถ้าแกลบออก

**หัวเตา** ทำจากเหล็กแผ่นหนา 3.0 mm หัวเตาเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0 mm โดยเจาะรูเป็น 2 แถว ดังรูปที่ 6 โดยแถวนอกและแถวในมีระยะห่างกัน 2 cm ด้านข้างทำหน้าที่เป็นแผ่นกระบังลมโดยอากาศสามารถไหลจากด้านล่างขึ้นข้างบนเพื่อใช้ในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์

**บริเวณท่อเผาไหม้** ทำจากท่อเหล็กหนา 10 mm มีความสูง 79 cm และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15.50 cm ดังรูปที่ 7 โดยด้านข้างมีฉนวนป้องกันความร้อนล้อมรอบอยู่ ทำจากแกลบดำ (แกลบที่ผ่านการเผาไฟแล้ว) ด้านล่างของบริเวณท่อเผาไหม้ปิดด้วยตะแกรงเหล็กเพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อเพลิงแกลบหลุดร่วงลงไปซึ่งตะแกรงเหล็กนี้สามารถให้ลมที่มาจากส่วนเติมอากาศผ่านได้

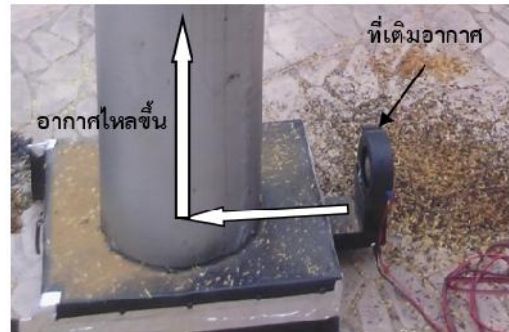
**ที่เติมอากาศ** มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของเตาชีวมวลแกลบ ทำหน้าที่สำคัญคือช่วยเติมอากาศซึ่งมีก๊าซออกซิเจนเป็นส่วนประกอบเข้าไปให้เพียงพอต่อการเผาไหม้ ถ้าอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ไม่เพียงพอเปลวไฟจะไม่สามารถลุกติดไฟที่หัวเตาได้ ทำให้มีควันไฟเกิดขึ้น ส่วนของที่เติมอากาศจะอยู่ด้านล่างของตัวเตาชีวมวลแกลบ แสดงดังรูปที่ 8 โดยมีพัดลมโบลเวอร์แบบกระแสตรงเป็นอุปกรณ์ช่วยเติมอากาศ ซึ่งพัดลมตัวนี้ต้องการกระแสไฟฟ้าขนาด 1.2 A ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 V หรือคิดเป็นขนาดของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต้องจ่ายให้แก่พัดลมเท่ากับ 14.4 W

**ทางนำเถ้าแกลบออก** เถ้าแกลบที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาไหม้ จะมีลักษณะสีดำโดยมีส่วนที่เป็นสีขาวปนอยู่เล็กน้อย (ซึ่งชาวบ้านจะเรียกว่าแกลบดำ) เถ้าแกลบจะสามารถนำออกมาจากท่อเผาไหม้ได้โดยการดึงสลักที่อยู่ด้านหน้าเตาออก ซึ่งสลักนี้ใช้ยึดตะแกรงเหล็กไว้ไม่ให้ร่วงลงมา เมื่อดึงสลักออกตะแกรงเหล็กจะร่วงลงมาทำให้เถ้าแกลบร่วงลงมาด้วยและสามารถนำออกไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป ซึ่งเถ้าแกลบดำมีประโยชน์ใช้ผสมดินเพื่อปลูกต้นไม้ และผักต่างๆ ช่วยเก็บความชื้นและทำให้ดินร่วนซุยไม่แข็ง ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้เร็ว ซึ่งทางนำเถ้าแกลบออกแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 6 ส่วนของหัวเตาชีวมวลแกลบ

หุ้มเศษแกลบรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0 mm 2 แถว โดยแฉกนอกและแฉกในห่างกัน 2 cm



รูปที่ 8 ส่วนของที่เติมอากาศ



รูปที่ 7 ส่วนของบริเวณท่อเผาไหม้

บริเวณท่อเผาไหม้ มีฉนวนป้องกันความร้อนลักษณะมรกบ



ด้านล่างปิดด้วยตะแกรงเหล็ก



รูปที่ 9 ส่วนของทางนำเถ้าแกลบออก

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบเตาชีวมวลจาก แกลบ ที่สำคัญๆ มีอยู่ด้วยกัน 14 ตัวแปร (Belonio, 2005) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Start-Up Time เป็นเวลาที่ใช้ในการจุด แกลบให้ลุกติดไฟจนกระทั่งเกิดก๊าซที่สามารถจุดไฟติด ที่หัวเตาและสามารถจุดไฟลุกติดที่หัวเตาได้

2. Operating Time เป็นเวลานับตั้งแต่เกิด ก๊าซที่สามารถจุดไฟลุกติดที่หัวเตาไปจนกระทั่งก๊าซใน ระบบหมดลง (เปลวไฟที่หัวเตาดับลง)

3. Total Operating Time เป็นเวลารวม ทั้งหมดนับตั้งแต่เริ่มจุดแกลบจนกระทั่งเปลวไฟที่หัว เตาดับลง (Start-Up Time + Operating Time)

4. Fuel Consumption Rate (FCR) เป็น ปริมาณของแกลบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงหารด้วย Operating Time

$$FCR = \frac{\text{Weight of Rice Husk Fuel Used (kg)}}{\text{Operating Time (hr)}} \quad (6)$$

5. Specific Gasification Rate (SGR) เป็น อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแกลบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง หารด้วย Operating Time หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของ ท่อเผาไหม้

$$SGR = \frac{\text{Weight of Rice Husk Fuel Used (kg)}}{\text{Operating Time (hr)} \times \text{Reactor area (m}^2\text{)}} \quad (7)$$

6. Combustion Zone Rate (CZR) เป็น อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

$$CZR = \frac{\text{Length of the Reactor (m)}}{\text{Operating Time (hr)}} \quad \dots(8)$$

7. Boiling Time เป็นเวลาที่ใช้ในการต้ม น้ำ จนน้ำเดือด โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่วางหม้อต้มน้ำบนหัว

เตาจน กระทั่งน้ำมีอุณหภูมิถึง 100 °C หรือ จนถึง อุณหภูมิของน้ำเดือด

8. Sensible Heat (SH) เป็นปริมาณ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำซึ่ง สามารถวัดได้โดย วัดอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป จาก อุณหภูมิเริ่มต้น จนถึงอุณหภูมิที่น้ำเดือด

$$SH = m_w c_w \Delta T \quad \dots(9)$$

เมื่อ  $m_w$  คือ มวลของน้ำ (kg),  $c_w$  คือ ค่าความร้อน จำเพาะของน้ำ (1 kcal/kg.°C) และ  $\Delta T$  คือ ผลต่าง ของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิที่ น้ำเดือดตามลำดับ

9. Latent Heat (LH) เป็นปริมาณพลังงาน ความร้อนที่ทำให้น้ำจากสถานะของเหลวกลายเป็น สถานะไอ

$$LH = W_e H_{fg} \quad \dots(10)$$

เมื่อ  $W_e$  คือ มวลของน้ำที่ระเหยกลายเป็น ไอ (kg),  $H_{fg}$  คือ ค่าความร้อนแฝงของน้ำ (542 kcal/kg หรือ 2270 kJ/kg)

10. Heat Energy Input เป็นพลังงานความ ร้อนที่ได้มาจากเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปในท่อเตาชีวมวล แกลบ

$$QF = WFU \times HVF \quad \dots(11)$$

เมื่อ  $QF$  คือ ปริมาณพลังงานความร้อนที่ ได้มาจากเชื้อเพลิง (kcal),  $WFU$  คือ มวลของ เชื้อเพลิงที่ใช้ (kg),  $HVF$  คือ ค่าพลังงานความร้อน ของเชื้อเพลิงชนิดนั้น (3,000 kcal/kg สำหรับเชื้อเพลิง แกลบ)

11. Thermal Efficiency (TE) เป็น ประสิทธิภาพการทำงานของเตาชีวมวลแกลบ ซึ่งมีค่า เท่ากับพลังงานที่ได้ออกมาส่วนด้วยพลังงานที่ให้เข้าไป คูณด้วย 100 ค่าที่ได้จะเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

$$TE = \frac{(SH + LH)}{HVF \times WFU} \times 100 \quad \dots(12)$$

12. Power Input ( $P_i$ ) เป็นปริมาณพลังงานที่จ่ายให้แก่เตาชีวมวล ซึ่งขึ้นกับปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (13)

$$P_i = 0.0012 \times FCR \times HVF \quad \dots(13)$$

เมื่อ  $P_i$  คือ power input (kW)

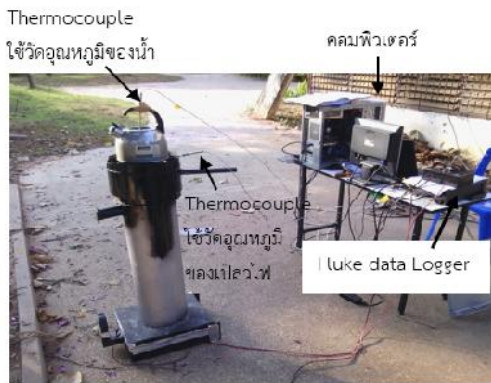
13. Power Output ( $P_o$ ) เป็นปริมาณพลังงานที่ได้ออกมาจากเตาชีวมวล และสามารถคำนวณได้จาก

$$P_o = 0.0012 \times FCR \times HVF \times \frac{TE(\%)}{100} \quad \dots(14)$$

เมื่อ  $P_o$  คือ power output (kW)

14. %Char Produced เป็นอัตราส่วนของถ่านที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ต่อน้ำหนักของถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

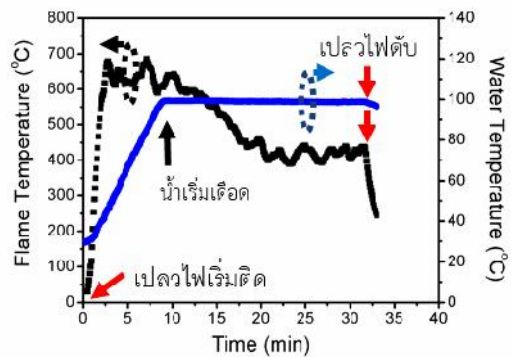
$$\%Char Produced = \frac{Weight\ of\ Char\ (kg)}{Weight\ of\ Rice\ Husk\ Used\ (kg)} \times 100 \quad \dots(15)$$



รูปที่ 10 แสดงการวัดอุณหภูมิของเปลวไฟและอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มเพื่อวัดประสิทธิภาพของเตาชีวมวลแปลงโดยบันทึกข้อมูลลงบนคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูลยี่ห้อ Fluke

**ผลการวัดอุณหภูมิของเปลวไฟที่หัวเตาและทดสอบการต้มข้าว**

อุณหภูมิของเปลวไฟที่หัวเตาสามารถวัดได้โดยใช้แท่งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (K-type thermocouple) โดยวางหัวเทอร์โมคัปเปิลตรงบริเวณตำแหน่งเปลวไฟที่กำลังลุกไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งผลการวัดอุณหภูมิของเปลวไฟและอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มข้าวแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงผลการวัดอุณหภูมิของเปลวไฟและอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มข้าว ข้อมูลที่ได้นี้ถูกใช้สำหรับหาค่าประสิทธิภาพของเตาชีวมวลจากถ่าน

จากรูปที่ 11 พบว่าอุณหภูมิของเปลวไฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสองนาทีแรก และมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 680 °C เมื่อเวลาผ่านไป 2.5 นาที หลังจากนั้นในช่วงเวลา 2.5 – 10 นาที อุณหภูมิของเปลวไฟจะมีลักษณะกระเพื่อมขึ้นๆลงๆ โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 640 – 680 °C และเมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 11 นาที อุณหภูมิของเปลวไฟจะค่อยๆลดลง ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณของการเผาไหม้ (pyrolysis zone) จะเคลื่อนที่ห่างจากหัวเตาลงไปในทิศทางด้านล่าง (จากบนลงด้านล่าง) ทำให้อุณหภูมิของก๊าซภายในลดลงซึ่งส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของเปลวไฟที่กำลังลุกไหม้ และเมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 20 นาที อุณหภูมิของ



เปลวไฟจะมีลักษณะคงที่อีกครั้ง แต่มีค่าต่ำมากโดยวัดได้อยู่ที่ประมาณ 400 °C ซึ่งเป็นไปได้ว่าอาจมีสาเหตุมาจากก๊าซที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยลงและอุณหภูมิของก๊าซมีค่าต่ำลงเพราะมีระยะทางจากบริเวณของการเผาไหม้มาถึงหัวเตามากขึ้น

ผลการทดสอบการต้มน้ำปริมาตร 2.0 ลิตร พบว่าอุณหภูมิของน้ำในระยะเวลาเริ่มแรก 0 – 8 นาที อุณหภูมิของน้ำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น โดยอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 27 °C (อุณหภูมิห้อง) และเพิ่มขึ้นไปจนถึง 100 °C ซึ่งที่อุณหภูมิ 100 °C นี้ น้ำจะเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอ ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าเตาชีวมวลจากแกลบที่สร้างขึ้นสามารถต้มน้ำปริมาตร 2.0 ลิตร ให้เดือดได้ภายในเวลาประมาณ 8 นาที

#### ผลของการทดสอบการเผาไหม้ของเตาชีวมวลจากแกลบ (Performance Tests Results of the Rice Husk Gas Stove)

การทดสอบการเผาไหม้ของเตาชีวมวลแกลบมีลำดับขั้นตอนการทดสอบดังนี้ เริ่มแรกจะต้องนำเชื้อเพลิงแกลบที่แห้งใส่เข้าไปในท่อเผาไหม้จนเต็มและบันทึกน้ำหนักของแกลบที่ใส่เข้าไป เปิดพัดลมเพื่อเติมอากาศจากนั้นจุดไฟที่แกลบโดยผ่านการเผาเศษกระดาษแผ่นเล็กๆ บันทึกเวลาตอนที่แกลบเริ่มติดไฟ จากนั้นนำเอาส่วนหัวเตามาครอบท่อเผาไหม้แล้วทดสอบจุดไฟที่หัวเตาและบันทึกเวลาที่สามารถจุดไฟที่หัวเตาได้สำเร็จ แล้วปล่อยให้เปลวไฟที่หัวเตาลุกไหม้จนเชื้อเพลิงแกลบหมดซึ่งจะสังเกตเห็นเปลวไฟที่หัวเตาดับลงและทำการบันทึกเวลา จากตารางที่ 2 พบว่าเตาชีวมวลแกลบที่สร้างขึ้นสามารถใส่เชื้อเพลิงแกลบเข้าไป

ในเตาได้สูงสุดประมาณ 1.659 กิโลกรัม ใช้เวลาในการจุดแกลบให้ติดไฟประมาณ 125 วินาที และใช้เวลาในการสร้างก๊าซที่สามารถจุดเปลวไฟติดได้ภายในเวลา 2.87 นาที ซึ่งถือว่ามีควมรวดเร็วพอสมควร มีเวลารวมโดยนับตั้งแต่เริ่มจุดไฟที่แกลบไปจนกระทั่งเปลวไฟดับลงเฉลี่ยประมาณ 30.46 นาที

#### ประสิทธิภาพการทำงานของเตาชีวมวลแกลบ (Operating Performance of the Stove)

ประสิทธิภาพการทำงานของเตาชีวมวลแกลบสามารถดูได้จากค่า FCR CZR SGR %Char produced และ Electric Consumption ซึ่งเตาชีวมวลที่มีประสิทธิภาพดีควรมีค่า FCR CZR %Char produced และ Electric Consumption ที่ต่ำ ส่วนค่า SGR ควรจะมีค่ามากๆ ซึ่ง จากตารางที่ 3 พบว่าเตาชีวมวลแกลบที่สร้างขึ้นมีค่า FCR เฉลี่ยเท่ากับ 3.47 kg/hr มีอัตราเร็วในการเผาไหม้ประมาณ 2.59 cm/min มีค่า SGR เท่ากับ 184.13 kg/hr-m<sup>2</sup> มีค่าของการผลิตไถ่ถ่านแกลบเพียง 15.77% ของน้ำหนักแกลบที่ใส่เข้าไป เตานี้ใช้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่พัดลมเติมอากาศเพียง 14.4 W-hr หรือคิดเป็นค่าไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายเพียง 0.072 บาทต่อชั่วโมง และถ้าคิดการใช้งานเตานี้เป็นเวลา 1 เดือน โดยใช้เตาชีวมวลแกลบเป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อวัน (เช้า 1 ชั่วโมง, กลางวัน 1 ชั่วโมง และเย็นอีก 1 ชั่วโมง) รวม 1 เดือนใช้เตาประมาณ 90 ชั่วโมง คิดเป็นเงินเพียง 2.16 บาทต่อเดือน (คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาท) ดังนั้นจะเกิดการประหยัดพลังงานอย่างมากสำหรับประชาชน และเชื้อเพลิงจากแกลบนี้สามารถทดแทนการใช้ก๊าซ LPG ได้เป็นอย่างดี

**ตารางที่ 2** ผลของการทดสอบการเผาไหม้ของเตาชีวมวลแกลบ

Loading Capacity	Weight of Fuel (kg)	Fuel Start Up Time (min)	Gas Ignition Time (sec)	Total Operating Time (min)
Full Load				
ครั้งที่ 1	1.659	2.75	100	34.02
ครั้งที่ 2	1.659	2.66	135	28.12
ครั้งที่ 3	1.659	3.2	140	29.23
เฉลี่ย	1.659	2.87	125	30.46

**ตารางที่ 3** แสดงประสิทธิภาพการทำงานของเตาชีวมวลแกลบ

Loading Capacity	Fuel Consumption Rate (FCR) (kg/hr)	Char Produced (%)	Combustion Zone Rate (CZR) (cm/min)	Specific Gasification Rate (SGR) (kg/hr-m <sup>2</sup> )	Electric Consumption (W-hr)
Full Load					
ครั้งที่ 1	3.184	18.60	2.32	168.77	14.4
ครั้งที่ 2	3.726	10.30	2.81	197.50	14.4
ครั้งที่ 3	3.511	18.40	2.70	186.11	14.4
เฉลี่ย	3.470	15.77	2.59	184.13	14.4

**ตารางที่ 4** แสดงผลการวัดกำลังและประสิทธิภาพของเตาชีวมวล

Loading Capacity	Power Input (kW)	Thermal Efficiency (%)	Power Output (kW)
Full Load			
ครั้งที่ 1	11.46	9.38	1.075
ครั้งที่ 2	13.41	10.73	1.382
ครั้งที่ 3	12.64	10.98	1.388
เฉลี่ย	12.50	10.36	1.280

**ตารางที่ 5** แสดงผลการทดสอบการต้มน้ำโดยใช้เตาชีวมวลแกลบ

Volume of Water	Initial Temperature (°C)	Final Temperature (°C)	Boiling Time (min)
2 Liter			
ครั้งที่ 1	28.30	99.12	9.00
ครั้งที่ 2	29.94	99.05	7.78
ครั้งที่ 3	29.25	99.30	7.55
เฉลี่ย	29.16	99.16	8.11

\* อุณหภูมิของเปลวไฟวัดได้อยู่ในช่วง 416 °C – 684 °C

**ผลการทดสอบการต้มน้ำโดยใช้เตาชีวมวลแกลบ (Test Results of Boiling Water using the Stove)**

พลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงแกลบสามารถวัดได้จาก การวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ น้ำ โดยนำน้ำปริมาตร 2 ลิตร ไปต้มน้ำภายใต้เปลวไฟที่ได้จากเชื้อเพลิงแกลบ ซึ่งข้อมูลที่ได้แสดงในตารางที่ 5 ข้อมูลนี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงแกลบในส่วนที่เป็น Sensible Heat (SH) ได้ตามสมการที่ (9) ส่วน Latent heat (LH) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (10) โดยจะต้องทราบมวลของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งค่า SH และ LH จะใช้ในการคำนวณค่า Thermal efficiency ของเตาผลการทดลองพบว่าเตาชีวมวลแกลบที่สร้างขึ้นนี้สามารถต้มน้ำปริมาตร 2 ลิตรให้เดือดได้ภายในเวลาเฉลี่ย 8.11 นาที และเตามีประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal efficiency) เท่ากับ 10.36% ซึ่งถือว่ายังมีประสิทธิภาพที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Parmigiani และคณะ (Parmigiani et al., 2014) ซึ่งเตาแกลบชีวมวลที่เขาประดิษฐ์ขึ้นมีประสิทธิภาพสูงประมาณ 18%

**ผลการทดสอบการทำอาหารโดยใช้เตาชีวมวลแกลบ**

จากการทดสอบการใช้งานจริงของเตาชีวมวลแกลบที่สร้างขึ้นโดยการใช้เตาเพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อนในการทำอาหาร พบว่าสามารถทำอาหารในเมนูต้มยำไก่บ้านโดยใช้ปริมาณเนื้อไก่เท่ากับ 2 กิโลกรัม ได้ภายในเวลา 25 -30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 12 โดยเนื้อไก่บ้านที่ผ่านการต้มมีลักษณะเปื่อยยุ่ยทำให้รับประทานได้ง่าย และนอกจากการทดสอบการทำเมนูต้มยำไก่บ้านแล้วยังได้ทดสอบการต้มน้ำร้อนขนาดปริมาตร 2 ลิตร เพื่อใช้ในการชงกาแฟหรือทำนมร้อนก็ใช้เวลาในการต้มเพียง 7-9 นาที เท่านั้นเอง ผลการ

ทดสอบการใช้งานจริงของเตาชีวมวลแกลบได้แสดงในตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** แสดงผลการทดสอบการทำอาหารโดยใช้เตาชีวมวลแกลบ

Operation	Description	Cooking Time (min)
ทดสอบต้มน้ำ		
ขนาด 2 ลิตร	เพื่อชงกาแฟ หรือ ชงนมร้อน	7 - 9
ทดสอบการทำอาหารเมนูต้มยำไก่บ้าน		
1 ตัว	เพื่อทำต้มยำไก่บ้าน ขนาดน้ำหนัก 2 kg	25 - 30



**รูปที่ 12** แสดงการทดสอบการทำอาหารเมนูต้มยำไก่บ้านโดยใช้เตาชีวมวลแกลบ

**สรุปผลการวิจัย**

เตาต้นแบบของเตาชีวมวลจากแกลบแบบอากาศไหลขึ้นและเผาไหม้จากด้านบนลงล่าง ได้ถูกสร้างขึ้นและได้รับการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ผลการทดสอบการทำงานพบว่า เมื่อเติมแกลบจนเต็มท่อเผาไหม้ (1.659 kg, Full Load) เตาชีวมวลจะมีค่า Operating time เฉลี่ยเท่ากับ 27.59 นาที และมีประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal efficiency) เท่ากับ 10.36% และมีการใช้

พลังงานไฟฟ้าซึ่งจะต้องจ่ายให้กับพัดลมเติมอากาศเท่ากับ 14.4 W-hr ค่าดังกล่าวนี้ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานอย่างมากสำหรับประชาชนที่เลือกใช้เตาชีวมวลจากแกลบแทนการใช้ก๊าซแอลพีจี (LPG)

### กิตติกรรมประกาศ

สิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนสนับสนุนวิจัยสิ่งประดิษฐ์เพื่อวิจัยและพัฒนา จากกองทุนพัฒนาและส่งเสริมด้านวิชาการ ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปีงบประมาณ 2558

### เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2552). แหล่งข้อมูล:

<http://www.dede.go.th/dede/>

Belonio, A. T. (2005). Rice Husk Gas Stove Handbook. Appropriate Technology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Iloilo City, Philippines.

Gómez-Barea, A., Leckner, B. (2010). Modeling of biomass gasification in fluidized bed. *Prog Energy Combust* 36: 444–509.

Kumar, A., Mohanta, K., Kumar, D., Parkash, O. (2012). Properties and Industrial Applications of Rice husk: A review, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 2(10): 86-90.

Loha, C., Chattopadhyay, H., Chatterjee, P.K. (2011). Thermodynamic analysis of hydrogen rich synthetic gas generation from fluidized bed gasification of rice husk. *Energy* 36: 4063-4071.

Parmigiani, S.P., Vitali, F., Lezzi, A.M., Vaccari, M. (2014). Design and performance assessment of a rice husk fueled stove for household cooking in a typical sub-Saharan setting. *Energy for Sustainable Development* 23: 15–24.

Sarang, M., Bhattacharyya, S., Behera, R. C. (2009). Effect of temperature on morphology and phase transformations of nanocrystalline silica obtained from rice husk. *Phase transitions* 82(5): 377-386.

