



## เปรียบเทียบการใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับเตาแก๊สชีวมวลโดยใช้วัสดุดิบ ที่หาง่ายในชุมชน

สัทธยา ทองสาร , บงกช ประสิทธิ์\* , วิกานต์ วันสูงเนิน และ ชัญญานุช แรงเขตกรรม

### Comparison Insulation of Biomass Gas Stove for Using Easy Material in the Community

Sahataya Thongsan, Bongkot Prasit\*, Wikarn Wansungnern and Chanyanuch Rangketgam

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

\* Corresponding author. E-mail address: micky\_sert@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบฉนวนของเตาแก๊สชีวมวล โดยใช้วัสดุดิบที่หาง่ายในชุมชน คือ แกลบดำ ดินร่วน และ ทราย การทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวลทำได้โดยการต้มน้ำเดือด (WBT) ใช้เตาแก๊สชีวมวลแบบอินเวอร์สดาวน์ดราฟท์แก๊สซิไฟเออร์ โดยใช้เวลาในการทดสอบ 5 ชั่วโมง ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวลพบว่า ในช่วง 5 นาทีแรกของการทดสอบยังไม่มี การเผาไหม้เชื้อเพลิง เนื่องจากเป็นช่วงที่เตาเริ่มกระบวนการเผาไหม้จึงทำให้อุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่หลังจาก 5 นาที ไปแล้วจนถึง 30 นาที เป็นช่วงที่มีการเผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์จึงให้อุณหภูมิเดือดสูงสุด 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดการถ่ายเท พลังงานความร้อนให้น้ำ หลังจาก 50 นาทีไปแล้ว อุณหภูมิของน้ำค่อยๆ ลดลงตามลำดับ จนเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้น จากการทดสอบ พบว่าเตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนเป็นแกลบดำมีประสิทธิภาพในการต้มน้ำที่เร็วที่สุด เนื่องจากทำให้น้ำเดือดมีระยะเวลาสั้นกว่าเตาแก๊สชีว มวลที่มีดินร่วน และ ทราย เป็นฉนวน และจากการคำนวณหาประสิทธิภาพจากการต้มน้ำเดือดของเตาแก๊สชีวมวลที่มีแกลบดำ ดินร่วน และทรายเป็นฉนวนมีค่าเท่ากับ 14.13% 11.70% และ 10.59% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า เตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนเป็น แกลบดำมีประสิทธิภาพดีที่สุด เนื่องแกลบดำมีความหนาแน่นต่ำ ดังนั้นจึงมีจุความร้อนต่ำสุดความร้อนที่สะสมอยู่ในแกลบดำจึงมีน้อย เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงกับเตาแก๊สชีวมวลที่มีใยหินเป็นฉนวน พบว่า เตาแก๊สชีวมวลที่มีแกลบดำเป็นฉนวนมีค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงต่อปีมากกว่าเป็นเงิน 7,398 บาท

**คำสำคัญ:** เตาแก๊สชีวมวล ฉนวนกันความร้อน WBT ประสิทธิภาพ

#### Abstract

This research is a comparison of insulation materials for a biomass gas stove. Rice husk, loam and sand were used as the insulating materials which were chosen to test, as these are inexpensive and easily available. The stove, was an inverse downdraft gasifier made from steel, intended e.g. to cooking in a household. The efficiency of the stove was measured using Water Boiling Test (WBT). For the first 5 minutes after lighting the fire, the water temperature hardly changed, as the fire was in the starting process. From 5 to 30 minutes, the fire was burning, heating the water until boiling at 100 ° C. From 30 to 50 minutes, water kept boiling. After 50 minutes, most of the fuel was burnt, the water stopped boiling and temperature decreased slowly. After 5 hours, the water temperature reached the initial temperature. From the experiments, it could be concluded the rice husk is the insulation material giving the highest efficiency, 14.13 %. Loam and sand give 11.70 % and 10.59 %. Rice husk has the lowest density and therefore the lowest total heat capacity, meaning less heat will be accumulated in the insulation.

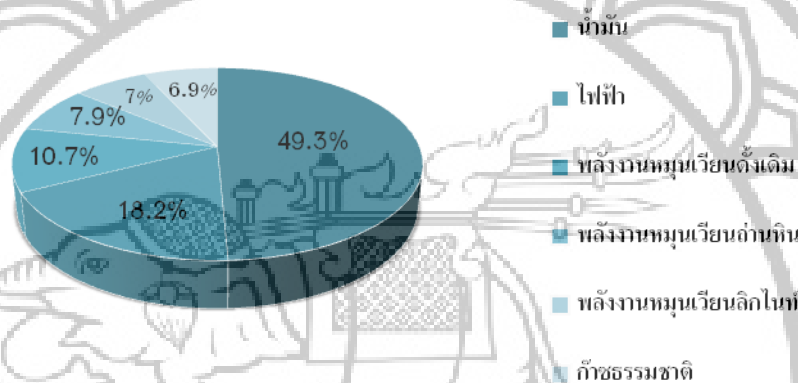
In the conomic analysis method that it is obviously apparent with that the comparison of expending fuel between the insulator's biomass gas stove using the local material and the insulator's biomass gas stove using an asbestos is shown that the fuel costs of biomass gas stove using the rice husk insulator is approximately over 7,398 baht

**Keywords:** Biomass gas stove, Insulation

## บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับมนุษย์อย่างมากและจะยิ่งทวีความสำคัญมากขึ้นเมื่อโลกมีการพัฒนามากขึ้น ประกอบกับการที่ประชากรของโลกเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการพลังงานมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นในทุก ๆ ปี โดยประเทศไทยมีการใช้พลังงานในช่วง 5 เดือนแรกของปี 2556 มีปริมาณ 25.078 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากช่วง

เดียวกันของปีก่อน 3.5% คิดเป็นมูลค่า 581,904 ล้านบาท การใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจโดยที่น้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุด คิดเป็น 49.3% ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด รองลงมาประกอบด้วยไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม พลังงานหมุนเวียน ถ่านหิน/ลิกไนต์และก๊าซธรรมชาติ คิดเป็น 18.2%, 10.7%, 7.9%, 7.0% และ 6.9% ตามลำดับ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นทางเศรษฐกิจ

จากการที่รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้นรวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยลดสัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวม (Energy Intensity) พบว่าในช่วง 4 เดือนแรกของปี 2556 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 2,589 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบเพิ่มขึ้น 16.6% จากช่วงเดียวกันของปีก่อน (กรมพลังงานทดแทน, 2556) ในสภาวะที่ทั่วโลกกำลังขาดแคลนพลังงานบวกกับวิกฤตการณ์ทางด้านสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมไปยังทุกประเทศทั่วโลก และประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบนั้นด้วย โดยเฉพาะวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงาน ที่ส่งผลโดยตรงต่อรายจ่ายในระดับครัวเรือน โดยพบว่ารายจ่ายของครัวเรือนทางด้านพลังงานสูงขึ้น 30 - 40 % ของรายได้ครอบครัวอันเนื่องมาจากราคาแก๊สหุงต้มและราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นปัจจุบันแก๊สหุงต้มมีราคาประมาณ กิโลละ 18 - 20 บาท และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ

ทั้งนี้ส่วนหนึ่งมาจากการแบ่งตลาดนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขนส่ง ทำให้มีความต้องการเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในชุมชน เช่น เศษไม้ ถ่านไม้ แกลบ ชักบไม้ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นยังสามารถทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมในครัวเรือนได้ (สมานชัย นกุลเสาวลักษณ์, พิสิษฐ์ มณีโชติ, ศรายุทธ วิทยุณี, และสหทัย ทองสาร, 2555)

ประเทศไทยในแถบชนบทยังมีการใช้เตาถ่านเพื่อหุงต้มอาหารเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ประหยัดพลังงาน แต่เตาถ่านที่ใช้อยู่นั้นไม่ได้มีการออกแบบที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่มีประสิทธิภาพหรือการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทางหน่วยงานด้านพลังงานจึงได้มีการคิดค้นสร้างเตาแก๊สชีวมวล เพื่อใช้ในการหุง



ต้มให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม เตาแก๊สชีวมวลได้ถูกพัฒนามาจากเตาหุงต้มแบบทั่วไป คือ ให้มีการใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย เช่น วัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร หรือ ทางธรรมชาติได้กลับมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) ในครัวเรือน ทั้งยังส่งผลกระทบต่อทางแวดล้อมที่น้อยลง (การสร้างเตาหุงต้มเชื้อเพลิงชีวมวล, ม.ป.ป.) เตาแก๊สชีวมวลเป็นเทคโนโลยีสำหรับการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิงหรือจำกัดอากาศให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง โดยกระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ถ่านไม้ ถ่านหิน แกลบ และขี้เลื่อย และวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถติดไฟได้ให้กลายเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ โดยแบ่งเตาที่ผลิตแก๊สชีวมวลได้เป็น 4 แบบ คือ แบบไหลขึ้น แบบไหลลง แบบฟลูอิดไชเบด และ แบบไหลตัดขวาง นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับฉนวนในเตาแก๊สชีวมวล พบว่าเตาที่มีฉนวนกันความร้อน จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเตาไม่มีฉนวน เพราะฉนวนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเตาให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้นและยังประหยัดเชื้อเพลิงอีกด้วย (สมานชัย นุกุลเสาวลักษณ์, 2556) ซึ่งฉนวนที่ใช้กับเตาแก๊สชีวมวลจะเป็นฉนวนกันความร้อนจากใยสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันไป นอกจากนี้วัสดุที่หาได้ง่ายภายในชุมชนยังมีประโยชน์อีกมากมายที่จะนำมาใช้เป็นฉนวนของเตาแก๊สชีวมวลและยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและเปรียบเทียบฉนวนของเตาแก๊สชีวมวลจากวัสดุที่หาง่ายในชุมชนเพื่อหาฉนวนที่ทำให้เตาแก๊สชีวมวลมีประสิทธิภาพมากที่สุด

#### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนได้แก่ ประสิทธิภาพการให้ความร้อนระยะเวลาการให้ความร้อน และ ปริมาณของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้
2. ศึกษาระยะเวลาคืนทุนของเตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนต่างกัน

#### ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและทดสอบฉนวน 3 แบบ (แกลบดำ ดินร่วน และ ทวาย)
2. เตาที่ใช้ในการทดลอง คือ เตาแก๊สชีวมวลแบบอินเวอร์สดาว์นดราฟท์
3. ใช้ไม้ยูคาเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบประสิทธิภาพของฉนวน

4. ทดสอบประสิทธิภาพของฉนวนโดยใช้เตาแก๊สชีวมวลของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

#### ทฤษฎี และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

1. ความหมายของเตาแก๊สชีวมวล (ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้, ม.ป.ป.)

เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันสำหรับเตาแก๊สชีวมวลเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการหุงต้มและการประกอบอาหารในชีวิตประจำวันทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) ในครัวเรือนจะใช้หลักการของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นเทคโนโลยีสำหรับการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงหรือจำกัดอากาศให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง โดยกระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ถ่านไม้ ถ่านหิน แกลบ ขี้เลื่อย และวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถติดไฟได้ให้กลายเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงในที ๆ มีออกซิเจนอยู่อย่างจำกัด ซึ่งแก๊สที่ได้มีส่วนประกอบหลักคือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรเจน ( $H_2$ ), แก๊สมีเทน ( $CH_4$ ) และพวกสารระเหยต่าง ๆ ซึ่งแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้นี้ เรียกว่า โพรดิวเซอร์แก๊ส (Producer gas) ซึ่งประสิทธิภาพของการผลิตโพรดิวเซอร์แก๊สขึ้นกับกระบวนการผลิตและคุณภาพของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตเป็นหลัก ทั้งนี้เตาแก๊สชีวมวลโดยทางวิชาการแล้วแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ คือ แบบไหลขึ้น แบบไหลลง แบบฟลูอิดไชเบด และ แบบไหลตัดขวาง

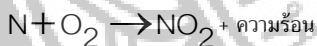
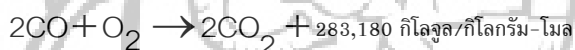
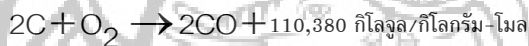
2. การแปรรูปเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงาน (ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย สิทธิพิทยสมบูรณ์, และ ปานเพชร ชินินทร, 2544)

การแปรรูปเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานมีอยู่หลายวิธี ในส่วนศึกษาจะเป็นการแปรสภาพทางเคมีความร้อน ซึ่งมีกระบวนการดังนี้



### 2.1 การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในที่ซึ่งมีอากาศ เพื่อให้เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ การสันดาปเป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็วพร้อมเกิดการลุกไหม้และคายความร้อน ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วนๆ แต่จะใช้อากาศแทนเนื่องจากอากาศมีออกซิเจนอยู่ 21% โดยปริมาตรหรือ 23% โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวมวล ประกอบด้วยธาตุต่างๆ ดังนี้คือ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และธาตุอื่นๆ ที่สำคัญได้แก่ ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ เนื่องจากจะทำให้เกิดแก๊สไนโตรเจน ออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม เมื่อนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาเผาไหม้จะมีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



### 2.2 ไพโรไลซิส (Pyrolysis)

เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลโดยใช้ความร้อนในที่ที่มีอากาศจำกัด (Destructive Distillation) อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสจะต่ำกว่ากระบวนการผลิตแก๊สชีวมวล (Gasification) ผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน ปริมาณความชื้น และส่วนประกอบของชีวมวล โดยทั่วไปผลผลิตหลักที่ได้คือ ถ่าน (Charcoal) ผลผลิตรองที่ได้คือ น้ำมันไพโรไลติก (Pyrolytic oil) เมทานอล กรดน้ำส้ม และผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส ซึ่งแก๊สที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการอบชีวมวลที่จะใช้ในกระบวนการหรือใช้เผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการ โดยปกติการเผาถ่านที่กระทำกันอยู่ คือ

กระบวนการไพโรไลซิส แต่เนื่องจากลักษณะของเตาที่ใช้เผาและการเก็บผลผลิตเพียงแค่อ่าน ทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเผาถ่านต่ำ พลังงานที่ได้จากถ่านจะได้เพียง 20% ของพลังงานทั้งหมดที่มีอยู่เดิมในชีวมวล USAID (United States Agency for International Development) ได้ทดลองตั้งสถานีเผาถ่านในประเทศกานา โดยใช้เทคโนโลยีทางไพโรไลซิสที่สามารถเก็บผลิตภัณฑ์รอง อาทิ แก๊สต่างๆ กลับมาใช้ได้อีกปรากฏว่าวิธีนี้จะสามารถได้พลังงานทั้งหมด 80% ของพลังงานเดิมที่มีในชีวมวลนั้น

### 3. การผลิตแก๊สชีวมวล (Gasification) (McKendry, & Peter, 2002, pp. 47-54)

เป็นกระบวนการ Partial Oxidation ที่ใช้อุณหภูมิสูง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงอยู่ในสภาพของแก๊สที่ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยแก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์

การผลิตแก๊สชีวมวลเป็นกระบวนการที่ใช้กันมานานแล้วไม่ว่าจะใช้กับถ่านหิน เศษไม้ หรือขยะ ได้มีการพัฒนาเตาผลิตแก๊สชีวมวล (Gasifier) เพื่อใช้กับวัสดุดังกล่าวกับเตาผลิตแก๊สชีวมวลที่ใช้กับไม้ ได้ทำการออกแบบให้ใช้ได้กับความดันบรรยากาศ ซึ่งต่างกับเตาผลิตแก๊สชีวมวลที่ใช้กับถ่านหินซึ่งใช้ความดันที่ 400 Psi หรือสูงกว่านี้ ความแตกต่างหนึ่งระหว่างการผลิตแก๊สชีวมวลของไม้และถ่านหิน คือ กระบวนการผลิตแก๊สชีวมวลของไม้ แก๊สที่ได้จะมีปริมาณความชื้นสูง<sup>(5)</sup> ความชื้นนี้เกิดจากกระบวนการแล้วยังมาจากไม้ที่ใช้ แต่สามารถกำจัดออกจากแก๊สที่เกิดขึ้นได้

#### 3.1 กระบวนการผลิตแก๊สชีวมวล

แก๊สชีวมวลได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในที่ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนจำกัด เชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่ ไม้ ถ่านหิน แกลบ ชี้อเลื้อย หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แก๊สชีวมวลที่ผลิตได้จะมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน

#### ปฏิกิริยาเคมีทางความร้อนของการเกิดแก๊สชีวมวล

ในกระบวนการเกิดแก๊สชีวมวลภายในเตาเผา เราสามารถแบ่งโซนการเกิดแก๊สตามปฏิกิริยาทางเคมีและความแตกต่างของอุณหภูมิได้เป็น 4 โซน ดังนี้



### โซนสันดาป (Combustion Zone) หรือ ออกซิเดชันโซน (Oxidation Zone)

อากาศจะถูกส่งเข้ามาในโซนนี้ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อากาศและเชื้อเพลิงสัมผัสกันเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแก๊สออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจนซึ่งอยู่ในเชื้อเพลิง ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังสมการ



ปฏิกิริยาในสมการเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนและความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาคายความร้อนในโซนรีดักชันและโซนไพโรไลซิส อุณหภูมิในโซนสันดาปจะมีค่าระหว่าง 1,100 - 1,500 องศาเซลเซียส

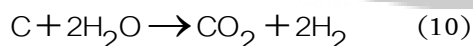
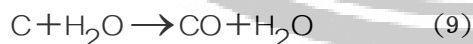
### รีดักชัน (Reduction Zone)

แก๊สร้อนที่ผ่านมาจากกระบวนการแรกจะไหลผ่านมายังโซนรีดักชันซึ่งมีปฏิกิริยาหลักคือ รีดักชัน อุณหภูมิในโซนนี้จะมีค่าระหว่าง 500 - 900 องศาเซลเซียส ในโซนนี้จะเป็นเขตของการสังเคราะห์แก๊สติดไฟทั้งหมด เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน และมีการเปลี่ยนแก๊สบางส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ซึ่งก็คือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และน้ำในโซนสันดาปให้กลายเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ โดยที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ ก่อให้เกิดปฏิกิริยาได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ดังสมการ

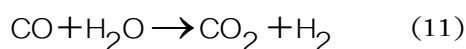
Boudouard reaction:



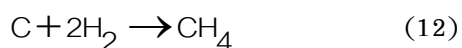
Water gas reaction:



Water shift reaction:



Methane reaction:



ปฏิกิริยาในสมการเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แก๊สที่ได้จากทั้งสมการทั้งสองเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สชีววมวลนี้จะขึ้นอยู่กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ว่าจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้มากน้อยเพียงใดในโซน รีดักชันนี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะดีเพียงใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความเร็วระหว่างแก๊สที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงแข็งและพื้นที่ที่แก๊สสัมผัสกับผิวของเชื้อเพลิงแข็ง ดังนั้นขนาดและปริมาณของเชื้อเพลิงแข็งที่ป้อนเข้าไปยังเตาเผาจึงมีผลต่อการผลิตแก๊สชีววมวลเชื้อเพลิงขนาดใหญ่จะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ จะยากต่อการจุดเผาภายในเตาและจะทำให้เกิดปริมาณของช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงด้วยกันมากเป็นผลทำให้มีออกซิเจนไหลผ่านเข้าไปในระบบมากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นก็จะน้อยลงตามไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีววมวลต่ำ แต่ถ้าขนาดของเชื้อเพลิงมีขนาดเล็กก็จะทำให้เกิดการสูญเสียของความดันภายในเตามาก จึงต้องใช้พัดลมขนาดใหญ่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้นและแก๊สชีววมวลที่ผลิตได้จะมีปริมาณของฝุ่นมากขึ้น จากปฏิกิริยา Boudouard reaction ถ้าอุณหภูมิในโซนรีดักชันสูงกว่า 900 องศาเซลเซียสแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 90% จะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่า 1,100 องศาเซลเซียสจะทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ นั่นคือประสิทธิภาพของเตาเผาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในโซนของรีดักชันในขณะที่แก๊สร้อนจากการเผาไหม้ไหลเคลื่อนที่เข้าสู่โซนรีดักชันจะทำให้อุณหภูมิของแก๊สลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาในสมการ (8) และ (9) เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นไอน้ำกับคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากันเพื่อก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ดังปฏิกิริยาในสมการ (10) ซึ่งจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 500 - 600 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยานี้จะมีความสำคัญเพราะทำให้ส่วนผสมของไฮโดรเจนในแก๊สชีววมวลมีค่ามากขึ้น ซึ่งมีผลต่อค่าความร้อนที่ได้ในกระบวนการแต่ถ้ากระบวนการมีไอน้ำมากเกินไปอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนดังปฏิกิริยา (11) ปฏิกิริยานี้เรียกว่าปฏิกิริยาชิฟท์ (Water Shift



Reduction) ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สชีววมวลที่ได้มีค่าลดลง ดังนั้นเชื้อเพลิงแข็งที่ใช้จะต้องมีความชื้นไม่มากเกินไป ในกระบวนการแก๊สไฮโดรเจนบางส่วนอาจจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดแก๊สมีเทนขึ้นได้เล็กน้อยดังปฏิกิริยา (12) ซึ่งเรียกว่า แก๊สมีเทน (Methane Production)

ไพโรไลซิส (Pyrolysis) ความร้อนจากโซนรีดักชันจะแพร่เข้าสู่โซนนี้ เพื่อที่จะเผาไหม้สารอินทรีย์ซึ่งก็คือเชื้อเพลิงแข็งนั่นเอง ผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสส่วนใหญ่เป็นของเหลว เช่น เมททานอล กรดน้ำส้มและน้ำมันดิน อุณหภูมิในโซนนี้จะมีค่า 200 – 500 องศาเซลเซียส ของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้ว คือ คาร์บอนในรูปของถ่าน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อในโซนรีดักชันและโซนสันดาปปฏิกิริยาที่ได้ในโซนนี้อาจเขียนอยู่ในรูปของสมการทางเคมี ดังนี้

$$\text{Drywood} + \text{Heat} \rightarrow \text{Charcoal} + \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{Pyrolygneous acid} + \text{Tars} \quad (13)$$

ไดรริง โซน (Drying Zone) ในโซนนี้ ความร้อนจะลดลงมากทำให้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้

$$\eta = \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f + m_c \times C_c} \times 100 \quad (14)$$

- เมื่อ  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพ หน่วยเป็น %
- $m_i$  คือ มวลของน้ำเริ่มต้น หน่วยเป็น กิโลกรัม
- $C_p$  คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ หน่วยเป็น กิโลกรัม/กิโลกรัมองศาเซลเซียส
- $T_b$  คือ อุณหภูมิที่น้ำเดือด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส
- $T_i$  คือ อุณหภูมิที่น้ำเริ่มต้น หน่วยเป็น องศาเซลเซียส
- $m_e$  คือ มวลที่น้ำระเหย หน่วยเป็น กิโลกรัม
- $L$  คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ หน่วยเป็น กิโลจูล/กิโลกรัม
- $m_f$  คือ มวลของเชื้อเพลิง หน่วยเป็น กิโลกรัม
- $C_f$  คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง หน่วยเป็น กิโลจูล/กิโลกรัม
- $m_c$  คือ มวลของถ่าน หน่วยเป็น กิโลกรัม
- $C_c$  คือ ค่าความร้อนของถ่าน หน่วยเป็น กิโลจูล/กิโลกรัม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมานชัย นุกุลเสาวลักษณ์ (2556) การศึกษาเตาแก๊สชุมชนนี้เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เกิดการสลายตัวของสารระเหย แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะถูกความร้อนทำให้ระเหยตัวออกมาในรูปของไอน้ำ โซนนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 100 – 200 องศาเซลเซียส การหาประสิทธิภาพของเตาหุงต้มโดยการทดสอบการเดือดของน้ำ (Water Boiling Test, WBT) (ธีรพจน์ พุทธิกิจวิวงศ์, 2550, น. 24)

เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่เรียกว่า การทดสอบการเดือดของน้ำ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ง่ายและสิ้นของกระบวนการหุงต้มมาตรฐาน การทดสอบการเดือดของน้ำได้รับการยอมรับในการวัดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ได้อย่างถูกต้องและเวลาที่ต้องการ สำหรับการจำลองการหุงต้มกำลังไฟสูงและกำลังไฟต่ำของการทดสอบสอดคล้องกับประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้มและการทอดรวมทั้งการอุ่นอาหาร ประสิทธิภาพของเตาหุงต้มสามารถคำนวณได้จากการทดสอบการเดือดของน้ำ ซึ่งสามารถหาประสิทธิภาพได้ด้วยสมการ (14)

และการใช้งานของเตาแก๊สชุมชนที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น เพื่อใช้กับเชื้อเพลิงชีววมวล คือ ไม้ยูคาลิปตัส รวมทั้งนำเอาเชื้อเพลิงชีววมวลที่เหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้



เกิดประโยชน์ อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการนำไปเผยแพร่ ให้มีการใช้เตาแก๊สชุมชนในครัวเรือนอย่างแพร่หลายและยั่งยืน เตาแก๊สชุมชนที่ออกแบบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องเผาไหม้เท่ากับ 14.2 เซนติเมตร และมีความสูงของห้องเผาไหม้เท่ากับ 31.7 เซนติเมตร ซึ่งใช้หลักการอินเวอร์สดาวน์ดราฟท์แก๊สซิไฟเออร์ ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชุมชนด้วยวิธีต้มน้ำ โดยใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ ผลการตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำและภาชนะที่เวลาต่าง ๆ กัน พบว่าในช่วง 5 นาทีแรกของการทดสอบยังไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง เนื่องจากไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะที่ใหญ่ทำให้ยากต่อการลุกไหม้ และเป็นช่วงที่เตาเริ่มกระบวนการเผาไหม้จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากโดยอุณหภูมิของน้ำค่อนข้างคงที่ แต่หลังจาก 5 นาที ไปแล้วจนถึง 30 นาที เป็นช่วงที่เตาเผาไหม้ได้ค่อนข้างสมบูรณ์และต่อเนื่อง น้ำมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับน้ำ หลังจาก 30 นาทีไปแล้ว อุณหภูมิของน้ำจะเริ่มลดลงตามลำดับในช่วงที่มีการเผาไหม้จนเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้น จากการคำนวณหาประสิทธิภาพเตาแก๊สชุมชนพบว่าเตาแก๊สชุมชนที่ออกแบบ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 25.66% ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาถ่านทั่วไปที่มีประสิทธิภาพเพียง 18% และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาเพียง 1 ปี 4 เดือน

ยุธนา ศรีอุดม และเอกณัฐ กระจ่างธิมภาพ (2554) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางเบื้องต้นในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตาต้มเกลือ โดยลดความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตาซึ่งใช้แกลบดำเป็นฉนวน และใช้วิธีการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาต้มเกลือทั้ง 2 แบบ เตาต้มเกลือแบบดั้งเดิมก่อขึ้นรูปด้วยดินเหนียว ส่วนเตาต้มเกลือที่ปรับปรุงทำจากอิฐมอญก่อขึ้นรูปและฉาบด้วยดินเหนียวผสมแกลบดำ ตรงกลางบุด้วยฉนวนแกลบดำหนา 4 เซนติเมตร ผลการทดสอบ พบว่า เตาที่ปรับปรุงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 9.6% เป็น 13.6% เวลาที่ใช้ในการต้มไอน้ำให้เป็นเกลือต่อรอบลดลง 23 นาที จาก 4.5 - 5 ชั่วโมง และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงลดลง 10 - 11 กิโลกรัม/วัน จากอัตราการใช้เชื้อเพลิง 257 กิโลกรัม/วัน และมีต้นทุนในการปรับปรุง

เตา 1,045 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 91 วัน ปัจจุบันมีการปรับปรุงเตาและใช้งานจริง 13 เตา จาก 17 เตา งานวิจัยนี้ไม่เพียงแต่จะมุ่งเน้นการประหยัดพลังงานในการต้มเกลือเท่านั้นแต่ยังคงรักษาประเพณีอันดีงามในท้องถิ่นให้คงอยู่ต่อไป

สัมพันธ์ ฤทธิเดช (ม.ป.ป) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาชีวมวลสำหรับหุงต้มแบบอากาศไหลขึ้น (BGSU) เตาเผาชีวมวลมีส่วนประกอบหลักอยู่ 2 ส่วน คือ ตัวถัง และใส่ในตัวถังเป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 65 เซนติเมตร นอกจากนี้ที่ตัวถังยังติดตั้งช่องอากาศชั้นที่ (1 Primary air) ขนาด 12x 12 เซนติเมตร จำนวน 1 ช่อง ใส่ในมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร และมีรูช่องอากาศชั้นที่ (2 Secondary air) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร จำนวน 6 ช่อง และเพื่อให้อากาศชั้นที่ 2 มีการหมุนวนได้ดี จึงติดตั้งครีบทึ่มีความกว้าง 0.8 เซนติเมตร เพื่อบังคับทิศทางการไหลของอากาศ และใช้ไม้ยูคาลิปตัส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร เป็นเชื้อเพลิง จากผลการทดสอบพบว่าเตามีประสิทธิภาพ 78.60% ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้กับท้องถิ่นชนบทได้เป็นอย่างดี

สมานชัย นกุลเสาวลักษณ์, พิสิษฐ์ มณีโชติ, ศรายุทธ วิทยุติ, และสัทธยา ทองสาร (2555) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเตาแก๊สชุมชนที่ใช้หลักการอินเวอร์สดาวน์ดราฟท์แก๊สซิไฟเออร์ (Inverted Down draft Gasification) เพื่อนำมาใช้ในครัวเรือน โดยเบื้องต้นทำการสำรวจพฤติกรรมกรรมการประกอบอาหารในครัวเรือน ว่าใช้เชื้อเพลิงชนิดใด และมีปริมาณเท่าใดในการประกอบอาหารแต่ละมื้อ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้วิเคราะห์เป็นข้อมูลในการออกแบบเตาแก๊สชุมชนให้มีขนาดที่เหมาะสมกับครัวเรือน โดยจากการสำรวจพฤติกรรมกรรมการประกอบอาหารของชุมชนบ้านเขาน้อย ต.ดงประคา อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก จำนวน 30 ครัวเรือน พบว่าการประกอบอาหารแต่ละครั้งใช้ระยะเวลาเฉลี่ยประมาณ 1 ชั่วโมง จากข้อมูลที่ได้ นำมาคำนวณหาขนาดของห้องเผาไหม้ ของเตาแก๊สชุมชนได้ดังนี้ ความสูงเท่ากับ 31.7 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 14.3 เซนติเมตร จากนั้น



นำมาสร้างเตาแก๊สชุมชนและทำการทดลองหาประสิทธิภาพโดยทำการกำหนดปริมาณของเชื้อเพลิงไม้ยูคาลิปตัส 1 กิโลกรัม จากการทดลองพบว่าเตาแก๊สชุมชนมีระยะเวลาในการประกอบอาหารได้ 1 ชั่วโมง 10 นาที และมีประสิทธิภาพเท่ากับ 23.13%

วิชาวุธ มนูญผล และณัฐวิทย์ พรหมมา. (2554, น. 75) ศึกษาเบื้องต้นของคุณสมบัติเชิงความร้อนของเตาแก๊สซีไฟเออร์ที่สามารถประยุกต์ใช้เศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งบดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยจุดประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบฟิกส์เบดชนิดไหลลง และประเมินประสิทธิภาพ เชิงความร้อนของเตาด้วยวิธี ต้มน้ำเดือด พร้อมทั้งวิเคราะห์หาอัตราการเกิดแก๊สที่ได้จากเตาแก๊สซีไฟเออร์ ผลจากการทดลองพบว่าแก๊สที่ออกมาสามารถต้มน้ำ 1 กิโลกรัม ให้มีอุณหภูมิสูงสุด 81 °C และเตามีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 7.2%

Zainal, Ali, Lean, & Seetharamu (2001, pp. 1499–1515). ศึกษาแบบจำลองสภาวะสมดุลที่ถูกนำไปใช้ในการทำนายขบวนการเกิดแก๊สชีวมวลของเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลง ซึ่งองค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สจะถูกนำมาใช้ช่วยในการพิจารณาค่าพลังงานความร้อน และเนื่องจากความชื้นเริ่มต้นในไม้และอุณหภูมิของกระบวนการแก๊สชีวมวลซึ่งจะมีผลกระทบต่อค่าพลังงานและการเปรียบเทียบการทำนายของแบบจำลองกับผลการทดลองได้ผลที่สอดคล้องกัน คือ ค่าพลังงานของโปรตีนเซอร์แก๊สลดลงในขณะที่ความชื้นของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น และในทำนองเดียวกันค่าพลังงานของโปรตีนเซอร์แก๊สลดลงเมื่ออุณหภูมิของขบวนการแก๊สชีวมวลเพิ่มขึ้น

#### วิธีการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 2 แผนผังแสดงการดำเนินงาน

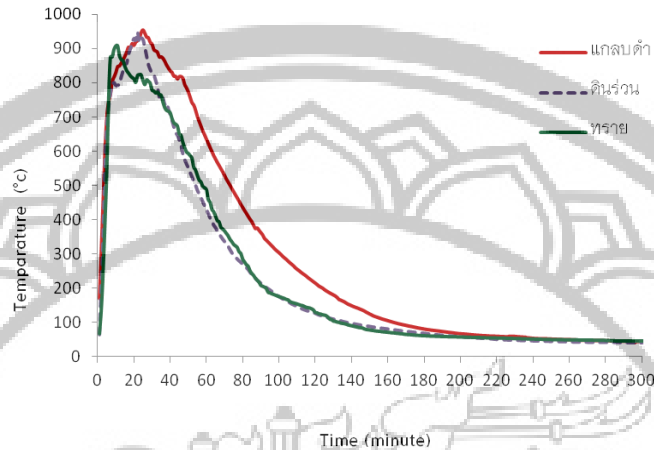




### ผลการวิจัย

ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแก๊สชีววมวลที่มี  
 ฌนวนต่างกัน โดยผู้วิจัยได้ทำการดำเนินการทดลอง

กระบวนการตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ เพื่อเป็นไปตาม  
 วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

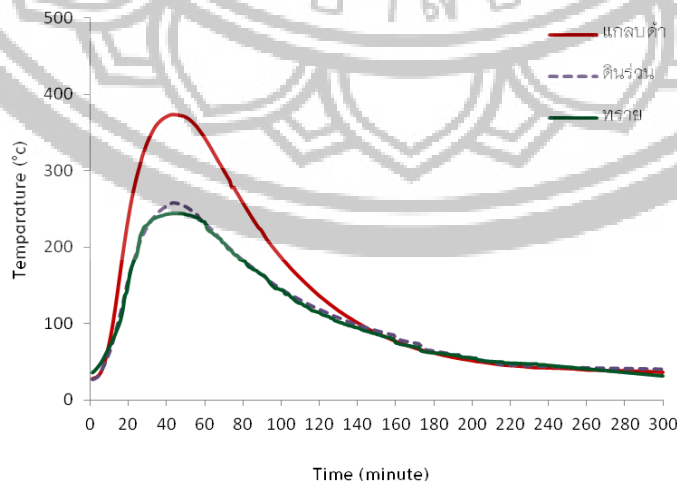


รูปที่ 3 อุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีววมวลที่มีฌนวนต่างกัน

จากรูปที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในเตา  
 แก๊สชีววมวลที่มีฌนวนต่างกัน คือ เตาแก๊สชีววมวลที่ใช้  
 แกลบด้าเป็นฌนวน, เตาแก๊สชีววมวลที่ใช้ดินร่วนเป็น  
 ฌนวน, เตาแก๊สชีววมวลที่ใช้ดินทรายเป็นฌนวน ทำการ  
 ทดลองโดยใช้ไม้อุคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เริ่ม  
 เก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มจุดติดไฟ เนื่องจากช่วงแรกเป็นช่วง  
 จุดเตาจะเป็นกระบวนการคาร์บอนไฮเซชัน คือ  
 กระบวนการไล่ความชื้นออกจากเชื้อเพลิงจึงทำให้ไม่เห็  
 ฌนเปลี่ยนแปลงจากการเผาไหม้ แต่หลังจาก 5 นาทีผ่าน

ไปแล้วนั้น อุณหภูมิก็เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยค่อยๆ  
 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะการเผาไหม้อยู่ในช่วงเผาไหม้  
 ที่ค่อนข้างจะสมบูรณ์และต่อเนื่อง เมื่อนำกราฟมา  
 เปรียบเทียบกันพบว่า เตาแก๊สชีววมวลที่ใช้แกลบด้าเป็น  
 ฌนวนมีอุณหภูมิเตาสูงสุดที่ 954 องศาเซลเซียส, เตาแก๊ส  
 ชิววมวลที่ใช้ดินร่วนเป็นฌนวนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 949 องศา  
 เซลเซียส, เตาแก๊ส ชิววมวลที่ใช้ทรายเป็นฌนวนมี  
 อุณหภูมิสูงสุดที่ 909 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

### อุณหภูมิของแก๊ส

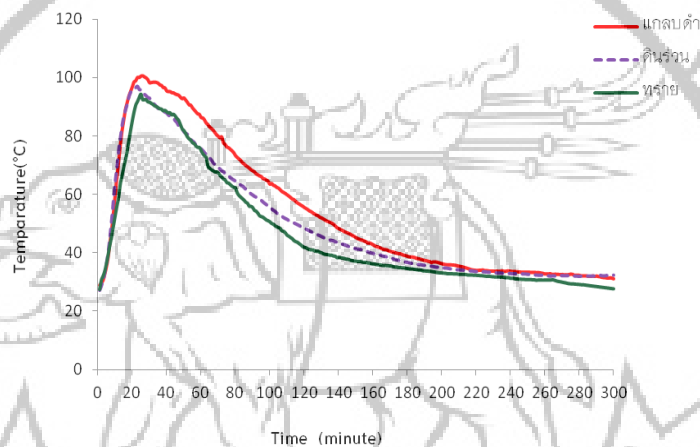


รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิแก๊สภายในเตาแก๊สชีววมวลที่มีฌนวนต่างกัน

จากรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิแก๊สของเตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนต่างกัน คือ เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้แกลบดำเป็นฉนวน, เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ดินร่วนเป็นฉนวน, เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ดินทรายเป็นฉนวน อุณหภูมิของแก๊สที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศซึ่งอุณหภูมิแก๊สจะต่ำกว่าอุณหภูมิในห้องเผา เนื่องจากเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับผนังเตา แก๊สร้อนที่ผ่านมาจากโซนสันดาปจะไหลผ่านมายังรีดักชัน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งในช่วงที่

แก๊สติดอุณหภูมิแก๊สจะต่ำกว่าอุณหภูมิห้องเผา เนื่องจากอยู่ในช่วงของรีดักชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน หลังจากหมดช่วงแก๊สซิฟิเคชันแล้วแก๊สก็จะค่อยๆ ลดลง จากกราฟ พบว่า เตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนเป็นแกลบดำมีอุณหภูมิสูงสุด คือ 373.97 องศาเซลเซียส, เตาแก๊สชีวมวลที่มีดินร่วนเป็นฉนวนมีอุณหภูมิสูงสุดคือ 256.78 องศาเซลเซียส, เตาแก๊สชีวมวลที่มีทรายเป็นฉนวนมีอุณหภูมิสูงสุดคือ 244.48 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

อุณหภูมิของน้ำ



รูปที่ 5 อุณหภูมิน้ำของเตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนต่างกัน

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ฉนวนต่างกัน คือ เตาแก๊ส ชีวมวลที่ใช้แกลบดำเป็นฉนวน, เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ดินร่วนเป็นฉนวน, เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ทรายเป็นฉนวน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงแรกอุณหภูมิน้ำค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิสูงสุด 100 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำที่เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ หลังจาก 30 นาที ถึง 5 ชั่วโมง อุณหภูมิน้ำก็ค่อยๆ ลดลง แต่จะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้แกลบดำเป็นฉนวนมีระยะเวลาที่เดือดนานกว่า เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ดินร่วนเป็นฉนวนและเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ทรายเป็นฉนวน เนื่องจากแกลบดำมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีคุณสมบัติที่

สามารถใช้แทนเป็นฉนวนได้ ซึ่งมีประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่สูงถึง 86.9 - 97.3 % ที่สามารถช่วยสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านไปด้านใดด้านหนึ่งได้ง่าย เตาแก๊สชีวมวลที่มีแกลบดำเป็นฉนวนจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำเดือดนานกว่า เตาแก๊สชีวมวลที่ฉนวน และ ทราย เป็นฉนวน

ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนต่างกัน จากการทดลองโดยการต้มน้ำเดือดเพื่อหาประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนต่างกัน ผลการทดสอบประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 1



ตารางที่ 1 ผลการทดลองการต้มน้ำเดือด (WBT) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวลที่มีจำนวน

วัตถุดิบ	มวล เชื้อ เพลิง (ไม้) (kg)	มวล เชื้อ เพลิง เริ่มต้น (kg)	มวลน้ำเริ่ม ต้น (kg)	อุณหภูมิ น้ำ เดือด (° C)	อุณหภูมิ น้ำ เริ่มต้น (° C)	มวล น้ำที่ระเหย (kg)	ประสิทธิ ภาพ (%)	มวล เถา (kg)
แกลบดำ	0.7	0.5	2.52	100	28.43	1.32	14.13	0.055
ดินร่วน	0.7	0.5	2.52	100	26.77	1.04	11.70	0.058
ทราย	0.7	0.5	2.52	100	27.6	0.92	10.59	0.060

จากตารางพบว่าในการทดลอง เพื่อคำนวณหา 11.70%, และเตาแก๊สชีวมวลที่มีทรายเป็นจำนวนมี ประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล พบว่าเตาแก๊สชีวมวลที่มี ประสิทธิภาพเท่ากับ 10.59% และมีปริมาณเถาที่เหลือ มีแกลบดำเป็นจำนวนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 14.13 %, เตา จากการเผาไหม้ เท่ากับ 0.055 กิโลกรัม, 0.058 แก๊สชีวมวลที่มีดินร่วนเป็นจำนวนมีประสิทธิภาพเท่ากับ กิโลกรัม และ 0.060 กิโลกรัม ตามลำดับ

#### การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายเตาแก๊สชีวมวล

อุปกรณ์	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
เหล็ก	3,000	3,000
ฉนวน	ไยหิน	แกลบดำ
ราคา	300	0
ค่าแรง	1,000	1,000
รวม	4,300	4,000

ที่มา: สมานชัย นกุลเสาวลักษณ์ (2556)

จากตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายของการสร้าง 4,300 บาท และ เตาแก๊สชีวมวลที่มีแกลบดำเป็นจำนวน เตาแก๊สชีวมวลที่มีจำนวนที่แตกต่างกัน พบว่าค่าใช้จ่าย มีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 4,000 บาท เนื่องจากแกลบดำเป็น ของเตาแก๊สชีวมวลที่มีไยหินเป็นจำนวนมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ วัตถุดิบที่หาภายในชุมชน จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของเตาแก๊สชีวมวล

จำนวนที่ใช้ในการ ทดลอง	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (kg)				1 ปีสามารถ ประหยัดเชื้อเพลิง (kg)
	1 มื้อ (kg)	1 วัน (kg)	1 เดือน (kg)	1 ปี (kg)	
ไยหิน	1.43	4.29	128.70	1,544.40	1,479.60
แกลบดำ	2.80	8.40	252.00	3,024.00	-



ปริมาณเชื้อเพลิงที่เตาแก๊สชีวมวลที่มีแกลบดำเป็น  
 ฉนวนใช้ในการปรุงอาหาร 1 มื้อ คือ 2.80 กิโลกรัม ใน  
 1 วันใช้เชื้อเพลิง 8.40 กิโลกรัม ใน 1 เดือนใช้เชื้อเพลิง  
 252 กิโลกรัม ใน 1 ปีใช้เชื้อเพลิง 3,024 กิโลกรัม ซึ่งใน  
 ระยะเวลา 1 ปี เตาแก๊สชีวมวลที่มีแกลบดำเป็นฉนวนจะ  
 ใช้เชื้อเพลิงมากกว่าเตาแก๊สชีวมวลที่มีโยหินเป็นฉนวน  
 1,479.60 กิโลกรัม ถ้าราคาเชื้อเพลิงในปัจจุบัน คือ 5  
 บาท จะใช้ค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิง มากกว่าเป็นเงิน  
 7,398 บาท

### สรุปผลการวิจัย

1. ฉนวนมีผลต่อประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล  
 และปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เนื่องจาก  
 ฉนวนช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อนจากห้องเผาไหม้  
 มายังผนังเตาได้ ทำให้สามารถเปลี่ยนสถานะจากก๊าซ  
 คาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดี  
 จากการทดลองพบว่า เตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนเป็น  
 แกลบดำมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดคือ 14.13%, เตาแก๊สชีว  
 มวลที่มีฉนวนเป็นดินร่วน 11.70 % , เตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวน  
 เป็นทราย 10.59% ตามลำดับ และ มวลซีเถ้าของเตาแก๊สชีว  
 มวลโดยมีแกลบดำเป็นฉนวน คือ 0.055 กิโลกรัม, มวล  
 ซีเถ้าของเตาแก๊สชีวมวลโดยมีดินร่วนเป็นฉนวน คือ  
 0.058 กิโลกรัม, มวลซีเถ้าของเตาแก๊สชีวมวลโดยมี  
 ทรายเป็นฉนวน คือ 0.060 กิโลกรัม เนื่องจากแกลบดำ  
 เป็นวัสดุที่ช่วยเก็บกักความร้อนได้ดีที่สุด จึงทำให้  
 ประสิทธิภาพในการทดสอบ มีค่ามากที่สุด และยังช่วย  
 เพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ จึงทำให้มวลของซีเถ้า  
 เหลือน้อยที่สุด

2. ผลจากการทดลองต้มน้ำในการทดสอบ  
 ประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล โดยใช้ แกลบดำ ดิน  
 ร่วน ทราย เป็นฉนวน จากการตรวจวัดอุณหภูมิของ  
 ต่างๆ พบว่าในช่วง 0 - 5 นาทีแรกของการทดสอบยังไม่  
 มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง เนื่องจากไ้มยู่คาลิปต์มีลักษณะที่  
 ใหญ่ทำให้ยากต่อการลุกไหม้ และเป็นช่วงที่เตาเริ่ม  
 กระบวนการเผาไหม้ จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำเกิดการ  
 เปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่หลังจาก 5 นาที ไปแล้วจนถึง  
 30 นาที เป็นช่วงที่เตาเผาไหม้ได้ค่อนข้างสมบูรณ์และ  
 ต่อเนื่อง น้ำมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส

หลังจากนั้นอุณหภูมิของน้ำจะเริ่มลดลงตามลำดับและจะ  
 ค่อยๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอจนเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้น  
 และยิ่งพบว่าอุณหภูมิของเตาแก๊สชีวมวลที่มีแกลบดำเป็น  
 ฉนวนมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า โดยดูจากอุณหภูมิห้องเผาที่  
 สูงกว่าและทำให้อุณหภูมิน้ำค่อยๆ ลดลงช้ากว่าเตาแก๊ส  
 ชีวมวลที่มีวัสดุอื่น ๆ เป็นฉนวน จึงสรุปได้ว่าเตาแก๊สชีว  
 มวลที่มีแกลบดำเป็นฉนวนดีกว่าวัสดุอื่น ๆ เตาแก๊สชีว  
 มวลยังเหมาะสมกับการประกอบอาหาร ต้ม ตุ่น ที่  
 สามารถใช้ไฟนานๆ แทนเตาแก๊สหรือ เตาถ่านที่ต้องเติม  
 บ่อยๆ เช่น ร้านก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น

3. จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์โดยคำนวณจาก  
 ต้นทุนของเตาแก๊สชีวมวลที่เทียบเมื่อเทียบกับงานวิจัยที่  
 เกี่ยวข้อง เรื่อง การพัฒนาเตาแก๊สชุมชนเพื่อใช้ใน  
 คริวเรือน พบว่าเตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนเป็นแกลบดำมี  
 ประสิทธิภาพน้อยกว่าเตาแก๊สชีวมวลที่มีโยหินเป็นฉนวน  
 จากการคำนวณเพื่อหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ในระยะเวลา  
 1 ปี เมื่อเทียบกับเตาแก๊สชีวมวลที่มีโยหินเป็นฉนวน  
 พบว่า เตาแก๊สชีวมวลที่มีโยหินเป็นฉนวนสามารถประหยัด  
 เชื้อเพลิง 1,479.6 กิโลกรัม เป็นเงิน 7,398 บาท

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดลองโดยการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิง  
 เนื่องจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีค่าความร้อนแตกต่างกัน  
 ซึ่งมีผลต่อพลังงานความร้อนที่ได้รับ การเผาไหม้  
 เชื้อเพลิง และประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล
2. ควรเปลี่ยนชนิดของฉนวนที่บุผนังเตาในการ  
 ทดสอบเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล
3. ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับฉนวนที่เป็นโยสังเคราะห์  
 ต่างๆ ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่  
 สนับสนุนทุนวิจัยจากเงินกองทุนวิจัยงบประมาณรายได้  
 ประจำปี 2557 ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน ที่ให้การ  
 สนับสนุนพื้นที่ติดตั้งระบบฯ และอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับ  
 วิจัยในครั้งนี้



## เอกสารอ้างอิง

- กรมพลังงานทดแทน. (2556). สถานการณ์พลังงานในประเทศไทย. ค้นเมื่อ 19 กรกฎาคม 2556, จาก [http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat\\_dede/sit\\_56/sit\\_apr.pdf](http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/sit_56/sit_apr.pdf)
- การสร้างเตาหุงต้มเชื้อเพลิงชีวมวล. (ม.ป.ป.). การสร้างเตาหุงต้มเชื้อเพลิงชีวมวล. ค้นเมื่อ 26 กรกฎาคม 2556, จาก [http://www.surdi.su.ac.th/paper\\_public/Biomass-new.pdf](http://www.surdi.su.ac.th/paper_public/Biomass-new.pdf)
- ธีรพจน์ พุทธิภักดิ์วิวงศ์. (2550). *เตาหุงต้มชีวมวล*. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยสารคาม.
- ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย สนิทพิทยสมบูรณ์, และ ปานเพชร ชินินทร. (2544). *เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ยุธนา ศรีอุดม และเอกณัฐ กระจ่างธิมภาพร. (2554). การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิง ความร้อนของเตาต้มเกลือ. น่าน: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร.
- วิชาวุธ มนูญผล และณัฐวิทย์ พรหมมา. (2554). คุณสมบัติเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้ใบไม้และกิ่งไม้แห้งเป็นเชื้อเพลิง. ในการประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 (น. 75). กระบี่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้. (ม.ป.ป.). เทคโนโลยีเตาแก๊สชีวมวล. ค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2556, จาก [www.clinictech.most.go.th](http://www.clinictech.most.go.th)
- สมานชัย นุกุลเสาวลักษณ์. (2556). การพัฒนาเตาแก๊สชุมชนเพื่อใช้ในครัวเรือน. พิษณุโลก: วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สมานชัย นุกุลเสาวลักษณ์, พิสิษฐ์ มณีโชติ, ศราวุธ วิทยุฒิ, และสัทธยา ทองสาร. (2555). *เตาแก๊สชุมชน*. พิษณุโลก: วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สัมพันธ์ ฤทธิเดช. (ม.ป.ป.). การทดสอบประสิทธิภาพของเตาชีวมวลสำหรับเตาหุงต้มแบบอากาศไหลขึ้น. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- McKendry, J. W., & Peter, A. C. (2002). Energy production from biomass (part2): conversion technologies. *Bioresource Technology*, 2002(83), 47-54.
- Zainal, Z. A., Ali, R., Lean, C. H., & Seetharamu, K. N. (2001). Prediction of performance of Downdraft Gasifier Using Equilibrium Modeling for Different Biomass Materials. *Energy Conversion and Management*, 2001(42), 1499-1515.