

อิทธิพลความหนาของชั้นวัสดุพอร์นตัวแผ่รังสีที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของ  
หัวพ่นไฟวัสดุพอร์นชนิดเชื้อเพลิงแข็ง

The Effect of the Porous Emitter Thickness on Combustion Behavior  
of a Solid Porous Burner

นิวัฒน์ เกตุชาติ<sup>1</sup>, ธวัชชัย จารุงศ์วิทยา<sup>1</sup>, อิทธิพล วรพันธ์<sup>2</sup>, พิพัฒน์ กุลนา<sup>2</sup>, พีรพล ดอกกลาง<sup>2</sup>, พิชิตชัย จินอาศัย<sup>2</sup> และ  
บัณฑิต กฤตาคม<sup>2\*</sup>

ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพอร์น

(Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory: DiTo-LaP)

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมการทำความเย็นและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

\*ติดต่อ: E-mail: niwat.me003@hotmail.com และ bundit.kr@muti.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 044 233 073 โทรสาร 044 233 074

**บทคัดย่อ**

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลความหนาของชั้นวัสดุพอร์นตัวแผ่รังสีที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์นชนิดเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งเชื้อเพลิงที่เลือกใช้คือ แกลบ ที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนการเผาไหม้อยู่ในช่วง 12-14 % อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง ( $Q_f$ ) เท่ากับ 0.130 kg/min และอัตราการจ่ายอากาศ ( $Q_a$ ) เท่ากับ 15 m<sup>3</sup>/hr อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่ป้อนเชื้อเพลิงแข็ง ส่วนที่สองเป็นห้องพักอากาศ และส่วนที่สามเป็นห้องเผาไหม้ ซึ่งด้านบนของห้องเผาไหม้ทำการติดตั้งวัสดุพอร์น และขอยินยอมเรียกว่าวัสดุพอร์นตัวแผ่รังสี (PE) ทำจากตาข่ายสแตนเลสที่มีขนาดจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว (PPI<sub>E</sub>) เท่ากับ 12 ช่อง ความหนาของชั้นวัสดุพอร์นตัวแผ่รังสี ( $H_E$ ) จะทำการศึกษา 3 ค่า ได้แก่ 1, 3 และ 6 ซม. จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการเผาไหม้ ( $T$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม  $H_E$  ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ  $H_E$  มีค่ามาก ตาข่ายจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้วัสดุพอร์นที่มีค่า  $H_E$  สูงๆ มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนจากการเผาไหม้แกลบได้อย่างเต็มที่ จึงช่วยแผ่รังสีหรือสนับสนุนกลไกการเผาไหม้ได้ดีกว่ากรณีตาข่ายที่มี  $H_E$  ต่ำ ๆ ส่วนปริมาณแก๊สไอเสีย พบว่าเมื่อ  $H_E$  หนาขึ้นปริมาณ CO มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ NO<sub>x</sub> มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ ( $\eta_c$ ) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม  $H_E$  ที่เพิ่มมากขึ้น

**คำหลัก:** หัวพ่นไฟวัสดุพอร์น, เชื้อเพลิงแข็ง, แกลบ, ตาข่ายสแตนเลส

**Abstract**

This research aimed to investigate the effect of the porous emitter thickness on combustion behavior of a solid porous burners. The rice husk with the percent moisture before burning in the range of 12-14% was used as fuel. In the experiment, the fuel -load input rate ( $Q_f$ ) and air flow rate ( $Q_a$ ) were operated at 0.130 kg/min and 15 m<sup>3</sup>/hr, respectively. The major components of the experimental equipment were divided into 3 parts. The first part was the fuel injection zone. The second and the third part were air and combustion chamber. The porous media was installed on the top of combustion chamber and defined by the porous emitter (PE). The porous media was made of stainless steel wire-net with pores per inch (PPI<sub>E</sub>) of 12. Three of the thickness of porous emitter ( $H_E$ ),

i.e., 1, 3. and 6 layers, were examined. From the experiment, the level of the combustion temperature (T) was increased with the increasing of  $H_E$ . This is described by the effect of a higher surface area of a larger value of  $H_E$ . Thus, the energy released from the combustion of rice husk can be substantially absorbed by the wire-net of a higher  $H_E$  leading to improve the combustion mechanism. As increasing  $H_E$ , amount of CO was decreased and  $NO_x$  was increased. In addition, the efficiency combustion ( $\eta_c$ ) was increased with the increasing of  $H_E$ .

**Keywords:** Porous burner, Solid fuel, Rice husk, Stainless wire-net.

## 1. บทนำ

หัวเผาหรือหัวพ่นไฟ (burner) ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการผลิตไอน้ำในหม้อต้มน้ำทางอุตสาหกรรม ซึ่งถ้าจะแบ่งหัวพ่นไฟตามประเภทของเชื้อเพลิงนั้นสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทคือ 1) Oil burner 2) Gas burner และ 3) Solid burner อย่างไรก็ตามการใช้หัวพ่นไฟในปัจจุบันยังประสบปัญหาทางด้านราคาของเชื้อเพลิงที่สูงอยู่ โดยเฉพาะ เชื้อเพลิงแก๊สกับน้ำมัน ซึ่งเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดในปัจจุบันมีราคาที่สูงขึ้นทุก ๆ ปี เปลี่ยนแปลงตามราคาพลังงานโลกตลอดเวลา และบางส่วนมีการนำเข้าจากต่างประเทศในปริมาณมากทำให้สูญเสียงบประมาณไปเป็นจำนวนมาก ถึงแม้ที่ผ่านมาจะมีความพยายามนำเทคโนโลยีการเผาไหม้โดยใช้วัสดุพ่นเข้ามาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ พบว่าการเผาไหม้โดยใช้ วัสดุพ่นนั้นจะมีการประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่า การเผาไหม้แบบปกติ แต่อย่างไรก็ตามราคาของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดก็ยังเป็นปัญหาใหญ่อยู่ ถ้าเราจะแก้ปัญหาด้านราคาของเชื้อเพลิง ก็ต้องมองหาเชื้อเพลิงที่ราคาถูกกว่า ดังนั้นหัวพ่นไฟเชื้อเพลิงแข็ง (ชีวมวล) จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะเข้ามาช่วยแก้ปัญหาด้านราคาของเชื้อเพลิง

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เช่น ข้าวโพด อ้อย และข้าว เป็นต้น ในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้ จะมีวัสดุเหลือใช้ออกมามากมายไม่ว่าจะเป็น ชังข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ ซึ่งวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ คือ ชีวมวลสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตพลังงานได้ เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า หรือการผลิตความร้อนเพื่อใช้ในทางอุตสาหกรรม โดยเฉพาะแกลบ (Rice husk) เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าวในปีหนึ่ง ๆ มีปริมาณแกลบสูงถึงประมาณ 5,878.14 พันตัน จากการสำรวจโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและ

สหกรณ์[1] ในยุคที่ประเทศมีความต้องการพลังงานสูง แกลบถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทน เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายและยังมีราคาถูก จึงเป็นเหตุให้นักวิจัยและวิศวกรจำนวนมากมีความสนใจและศึกษาเกี่ยวกับการนำเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวล (แกลบ) มาใช้แทนเชื้อเพลิงเหลวหรือแก๊สเพื่อลดต้นทุนการผลิต

นิยม ศรีศิริสิทธิกุล [2] ศึกษาการเผาไหม้ในเชื้อเพลิงแกลบในเตาฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศหมุนวน (VFBC) โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาทำการปรับค่าอัตราส่วนสมมูล(Equivalent Ratio) และได้อัตราส่วนของอากาศหุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมดป้อนเชื้อเพลิงที่ 18 kg/hr, พบว่าที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.25 และอัตราส่วนของอากาศหุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมดเท่ากับ 0.4 จะให้การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอที่อุณหภูมิ 850 °C Ross[3] ศึกษาหาปัจจัยการปลดปล่อยมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟิกส์เบดโดยเชื้อเพลิงที่ใช้คือ ถ่านหิน ไม้ และขี้เลื่อยอัดแท่ง (Briquette) และการเผาไหม้ระหว่างถ่านหินกับขี้เลื่อยอัดแท่ง พบว่าการไพโรไลซิสเชื้อเพลิงจะมีบทบาทสำคัญในการก่อให้เกิดมลพิษสารอินทรีย์ ตรงนี้บ่งชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของการผสมที่ไม่ดีและไม่เพียงพอ Rogaume [4] ได้ทำการศึกษาทดลองเผาไหม้ขยะชุมชนที่มีส่วนประกอบของไม้และพลาสติกในเตาเผาแบบฟิกส์เบดชนิดตะกรับแบบเคลื่อนที่ โดยได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ สัดส่วนอากาศที่ต้องการตามทฤษฎี และปริมาณอากาศส่วนเกินต่อการปลดปล่อย CO และ NO พบว่าการปลดปล่อย CO ที่อากาศส่วนเกินต่ำกว่า 2.4 การเผาไหม้ที่เกิดจากเบดเป็นไปอย่างเหมาะสมและทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ในทางกลับกันที่สภาพอากาศส่วนเกินสูงกว่า 2.4 จะไม่ส่งเสริมต่อการผสมระหว่างอากาศหุติยภูมิและไพโรไลซิสแก๊ส สำหรับกรณีของการเกิด NO นั้นการเพิ่มขึ้นของอากาศส่วนเกินทั้งหมด

จะส่งผลต่อการเพิ่มการปลดปล่อย NO ประสาน สถิติ เรื่องศักดิ์ [5] ได้ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้แบบในเตาเผาไหม้ วอร์เทค-ฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ทรายเป็นเบตลดอุณหภูมิการเผาไหม้ ในแง่ของประสิทธิภาพการเผาไหม้ (EC) และแก๊สเสียที่ทางออกเตาการทดลองได้ปรับเปลี่ยนความเร็วอากาศส่วนที่หนึ่ง ( $V_1$ ) คือ ความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไดซ์ขึ้นพบว่าการเผาไหม้หลักเกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ได้วงแหวนวอร์เทคในขณะที่การเพิ่มความเร็วอากาศส่วนนี้ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาลดลงในแง่ขององค์ประกอบแก๊สไอเสียที่ทางออกพบว่า CO มีค่าน้อยลงเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของ  $V_1$  ในขณะที่ NO<sub>x</sub> มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้น  $V_1$  นอกจากนี้ EC ทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าสูงกว่า 99% พรชัย การวงศ์ และคณะ [6] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อเพลิงแข็งในหัวพ่นไฟวัสดุพูนโดยติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส (Wire net porous) ภายในห้องเผาไหม้ และไม่ได้ติดตั้งวัสดุพูนภายในห้องเผาไหม้ โดยแยกออกเป็น 2 กรณี ก็เพื่อต้องการเปรียบเทียบโครงสร้างทางอุณหภูมิ พบว่าการติดตั้งวัสดุพูนภายในห้องเผาไหม้จะส่งผลให้โครงสร้างทางอุณหภูมิมิมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากจะทำให้ห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กลงจึงทำให้ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นส่งผลให้เชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาไหม้ถูกพัดออกมา เมื่อเร็ว ๆ นี้ปี ค.ศ. 2014 ThawinPonsen and BoonritPrasartkaew [7] ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ถ่านบดเป็นเชื้อเพลิงโดยลักษณะการทดลองนั้นเป็นแบบสลับทิศทางการไหลอย่างเป็นจังหวะของก๊าซที่ผ่านสื่อกลางวัสดุพูนและมีการติดตั้งคอลล์น้ำหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิของวัสดุพูนซึ่งพบว่าจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะสูงกว่าเตาเผาที่มีก๊าซไหลผ่านวัสดุพูนแบบทางเดียวจากการทดลองพบว่าช่วงสภาวะคงที่ที่มีอุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ยสูงสุดถึง 1,000°C และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 87% นอกจากการศึกษาเชิงวิจัยในการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเหล่านี้แล้วยังมีนักวิจัยหรือนักประดิษฐ์หลายกลุ่มได้เสนอแนวคิดการใช้เชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลกับหัวพ่นไฟแบบต่าง ๆ ในรูปแบบสลับทิศ เช่น Hallberg [8] และ Ruck [9] เป็นต้น แต่สลับทิศโดยส่วนใหญ่ก็เป็นเพียงแนวคิดมากกว่าซึ่งยังไม่มีมีการสร้างสิ่งประดิษฐ์เหล่านั้นออกมา

จากงานวิจัยและสัทธิบัตรที่กล่าวมาทั้งหมด จะพบว่าเชื้อเพลิงของแข็งหรือชีวมวลต่าง ๆ ได้พยายามถูกทำให้สามารถเผาไหม้ให้สมบูรณ์ที่สุดแต่มีเพียงงานของ พร

ชัย การวงศ์ และคณะ [6] และ ThawinPonsen and BoonritPrasartkaew [7] ที่นำเอาเทคโนโลยีวัสดุพูนมาใช้ประโยชน์ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้สร้างอุปกรณ์การทดลองหรือหัวพ่นไฟเชื้อเพลิงแข็งที่มีขนาดและวิธีการทดลองคล้ายคลึงกันกับ พรชัย การวงศ์ และคณะ [6] แต่จะทำการออกแบบห้องเผาไหม้ใหม่ให้มีสองชั้นคือชั้นแรกเป็นห้องสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิง ส่วนชั้นที่สองเป็นห้องสำหรับติดตั้งวัสดุพูน เพื่อช่วยส่งเสริมกลไกการเผาไหม้ให้ดียิ่งขึ้น โดยวัสดุพูนที่เลือกมาติดตั้งในหัวพ่นไฟเป็นตาข่ายสแตนเลสเกรด 304 และเลือกใช้กลบเป็นเชื้อเพลิง สำหรับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาของงานวิจัยนี้ คาดว่าจะเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นแนวทางหรือข้อมูลสำคัญในการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการผลิตหรือสร้างหัวพ่นไฟที่ใช้งานได้จริงในทางอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการพัฒนาเป็นหัวพ่นไฟที่ใช้ในการต้มน้ำในหม้อไอน้ำ (Boiler) แทนหัวพ่นไฟแบบเชื้อเพลิงเหลวและแก๊สในช่วงเวลาของวิกฤตพลังงานในอนาคต

## 2. รายการสัญลักษณ์

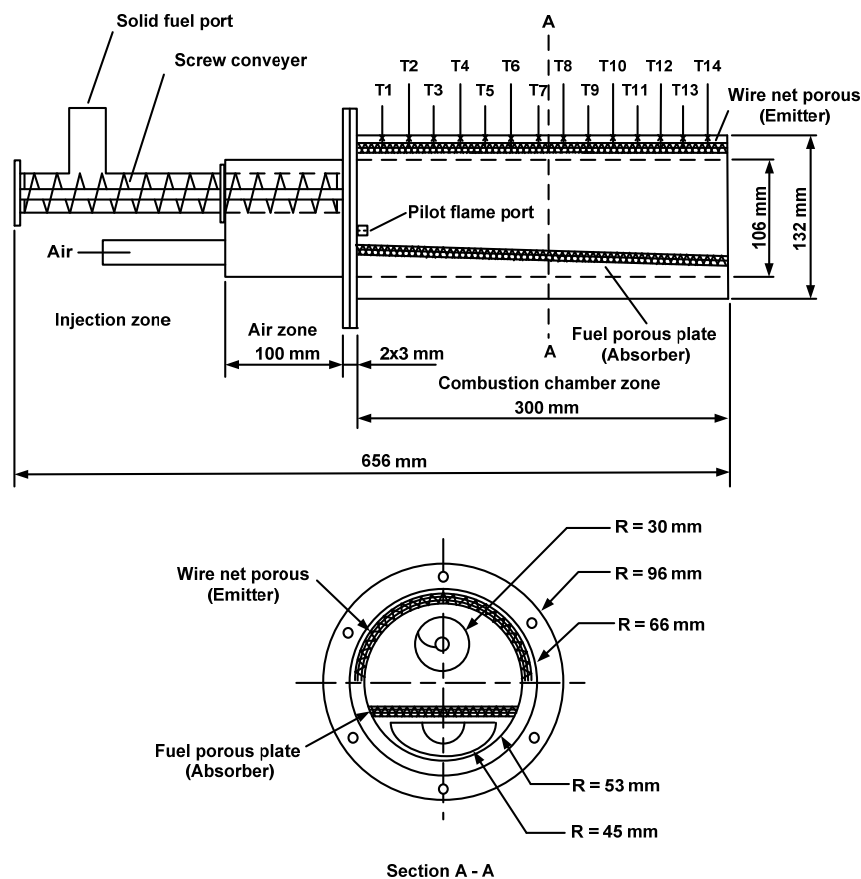
|                 |                                                      |
|-----------------|------------------------------------------------------|
| CO              | คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)                               |
| E <sub>CO</sub> | พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับ CO ใน แก๊สไอเสีย (kJ) |
| E <sub>F</sub>  | พลังงานความร้อนที่ได้รับจากเชื้อเพลิง (kJ)           |
| E <sub>U</sub>  | พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ (kJ)       |
| H <sub>E</sub>  | ความหนาของชั้นวัสดุพูนตัวแผ่รังสี                    |
| m <sub>i</sub>  | มวลของกลบก่อนตากแดด (kg)                             |
| m <sub>f</sub>  | มวลของกลบหลังตากแดด (kg)                             |
| NO <sub>x</sub> | ไนโตรเจนออกไซด์ (ppm)                                |
| PE              | วัสดุพูนตัวแผ่รังสี                                  |
| PPI             | จำนวนช่องว่างต่อ 1 นิ้ว                              |
| ppm             | หนึ่งหน่วยต่อล้านส่วน                                |
| Q <sub>A</sub>  | อัตราการจ่ายอากาศ (m <sup>3</sup> /hr)               |
| Q <sub>F</sub>  | อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (kg/min)                      |
| T               | อุณหภูมิ (°C)                                        |
| X               | ความยาวตามแนวแกนของหัวพ่นไฟ (mm)                     |
| η <sub>c</sub>  | ประสิทธิภาพการเผาไหม้                                |

## 3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 3.1. อุปกรณ์การทดลอง

จากรูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลองของหัวพ่นไฟเชื้อเพลิงแข็งที่มีการติดตั้งวัสดุพ่นชนิดตาข่ายสแตนเลส (Stainless wire net porous) สามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วนที่สำคัญประกอบไปด้วย ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่จ่ายเชื้อเพลิงแข็ง (Injection zone) เข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยผ่านช่องจ่ายเชื้อเพลิงแข็ง (Solid fuel port) และถูกลำเลียงไปยังห้องเผาไหม้ด้วยสกรูเกลียว (Screw conveyor) ส่วนที่สองเป็นห้องพักอากาศเพื่อไม่ให้อากาศที่เข้ามาปะทะกับเชื้อเพลิงแข็งโดยตรงและรุนแรงเกินไป

และส่วนที่สามเป็นห้องเผาไหม้ (Combustion chamber zone) ซึ่งห้องเผาไหม้จะมีสองชั้นคือ ชั้นแรกเป็นห้องสำหรับเผาไหม้เชื้อเพลิง ส่วนชั้นที่สองเป็นห้องสำหรับติดตั้งวัสดุพ่นซึ่งจะอยู่ด้านบนของห้องเผาไหม้ และขอยินยอมเรียกว่าวัสดุพ่นตัวแผ่รังสี (PE) ที่ทำจากตาข่ายสแตนเลสที่มีขนาดจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว (PPI<sub>E</sub>) เท่ากับ 12 ความหนาของชั้นวัสดุพ่นตัวแผ่รังสี (H<sub>E</sub>) จะทำการศึกษา 3 ค่า ได้แก่ 1, 3 และ 6 ชั้น



รูปที่ 1 แผนผังหัวพ่นไฟวัสดุพ่นเชื้อเพลิงแข็งชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ใช้กลายเป็นเชื้อเพลิง

### 3.2 การวัดและขั้นตอนการทดลอง

เพื่อให้เข้าถึงปรากฏการณ์เผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งและการส่งถ่ายความร้อนระหว่างวัสดุพ่นกับเปลวไฟที่เกิดขึ้น อุณหภูมิตามแนวแกนจึงถูกตรวจวัดดังรายละเอียดต่อไปนี้ เทอร์โมคัปเปิลชนิดเอ็น (N-type Thermocouples) จำนวน 14 ชั้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2mm ระยะห่างกันแต่ละตัว 25mm จะถูกติดตั้งในส่วน of ห้องเผาไหม้ (Combustion

chamber zone) ที่ด้านบนของวัสดุพ่น สาเหตุที่ไม่สอดเทอร์โมคัปเปิลจนทะลุถึงตำแหน่งตรงกลาง เนื่องจากไม่ต้องการให้ขัดขวางการไหลของเชื้อเพลิงแข็งที่ไหลผ่านมายังห้องเผาไหม้ ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อกลไกการไหลของเชื้อเพลิงแข็ง

จากส่วนประกอบทั้งหมดของหัวพ่นไฟวัสดุพ่นเชื้อเพลิงแข็งจะมีหลักการทำงานคือ เมื่อนำเชื้อเพลิงแข็ง (แกลบ) ที่ผ่านการกำจัดความชื้นโดยการตากแดดมาจ่าย

เข้าที่ช่องจ่ายเชื้อเพลิง (Solid fuel port) ดังแสดงในรูปที่ 1 สกรูลำเลียง (Screw conveyer) จะลำเลียงเชื้อเพลิงไปยังห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) พร้อมทั้งจ่ายอากาศด้วยพัดลมเป่า (Blower) ที่ช่องจ่ายอากาศ (Air port) เพื่อใช้ในการเผาไหม้ จากนั้นจุดไฟด้วยวิธีไฟล่อ (Pilot flame) ที่ช่องจุดติดไฟ เมื่อเชื้อเพลิงติดไฟเกิดการเผาไหม้แล้วเพิ่มความเร็วอากาศด้วยพัดลมเป่า (Blower) เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรงขึ้นสำหรับการจ่ายอากาศกับเชื้อเพลิงนั้นจะปรับอัตราการจ่ายตามปริมาณที่ต้องการทดลองโดยอัตราการจ่ายของอากาศนั้นจะจ่ายที่  $15 \text{ m}^3/\text{hr}$  ส่วนอัตราการจ่ายของเชื้อเพลิงคือ  $0.130 \text{ kg/min}$  ขณะเดียวกันแก๊สไอเสีย  $\text{CO}$  และ  $\text{NO}_x$  ก็ถูกตรวจวัดที่ตำแหน่งทางออกของระบบด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น M350

### 3.3 การหาค่าความชื้นของแกลบ

การวิเคราะห์หาค่าความชื้นเป็นวิธีที่ควรดำเนินการก่อนนำเชื้อเพลิงชีวมวล (แกลบ) ไปทำการเผาไหม้ เนื่องจากต้องทำการทดลองที่สภาวะความชื้นเดียวกันตลอดการศึกษาของงานวิจัยนี้ และจะรายงานองค์ประกอบทางเคมีบนพื้นฐานร้อยละของวัตถุแห้ง (% Dry matter basis DM) ซึ่งปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในแกลบ จะมีความสำคัญมากเพราะความชื้นสูงมีผลต่อการติดไฟของแกลบ

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของงานวิจัยนี้กระทำโดยนำเชื้อเพลิง (แกลบ) มาชั่งมวลแล้วบันทึกค่าไว้เป็นมวลก่อนตากแดด จากนั้นนำแกลบไปตากแดดจนมวลของแกลบไม่เปลี่ยนแปลงแล้วนำแกลบมาชั่งมวลไว้เป็นมวลหลังตากแดด และทำการคำนวณค่าความชื้นได้ดังนี้

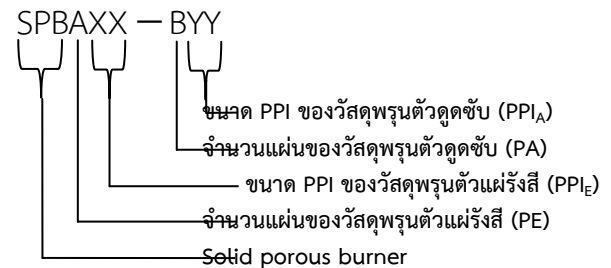
$$(m_i - m_f) / m_f \times 100\% \quad (1)$$

### 3.4 การกำหนดชื่อเรียกหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส

ในการศึกษาทดลองหัวพ่นไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงแข็งชนิดตาข่ายสแตนเลส จะมีโครงสร้างของวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่แตกต่างกันในที่นี้จะขออนุญาตชื่อและคำย่อของหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อสะดวกในการอธิบายผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดชื่อเรียกและขนาดต่าง ๆ ของหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส

| แบบที่ | ชื่อเรียก  |
|--------|------------|
| 1      | SPB000-000 |
| 2      | SPB112-000 |
| 3      | SPB312-000 |
| 4      | SPB612-000 |



### 3.5 การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้

สำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อแสดงถึงสมรรถนะของหัวพ่นไฟวัสดุพูนที่พัฒนาขึ้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency,  $\eta_c$ ) ในรูปของพลังงาน (Energy, E) ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในขบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง (แกลบ) ซึ่งจะหาได้จากมวลของเชื้อเพลิง (mass, m) คูณด้วยค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (Lower heating value, LHV) ก่อนที่จะนำมาแทนในสมการที่ (2)

$$\eta_c = \frac{E_F - E_U - E_{CO}}{E_F} \times 100\% \quad (2)$$

## 4. ผลการทดลอง

### 4.1 โครงสร้างทางอุณหภูมิ

รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลความหนาของชั้นวัสดุพูนตัวแผ่รังสี (Porous Emitter thickness,  $H_E$ ) ต่อปริมาณโครงสร้างทางความร้อนหรือการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดความยาวในแนวแกนของหัวพ่นไฟ ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า โครงสร้างทางอุณหภูมิ (Temperature profile, T) และเป็นการทดลองที่สภาวะการเผาไหม้  $Q_F = 0.130 \text{ kg/min}$ ,  $Q_A = 15 \text{ m}^3/\text{hr}$  และ  $PPI_E = 12$  ในหัวพ่นไฟวัสดุพูนแบบ SPBA12-000 จากการทดลองพบว่า T มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม  $H_E$  ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากที่  $H_E$  มีค่ามากตาข่ายจะมีพื้นที่สัมผัสภายในและเนื้อวัสดุที่เยอะ

กว่าจึงส่งผลให้สามารถกักเก็บพลังงานจากเปลวไฟหรือความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (แก๊ส) ได้อย่างเต็มที่ จึงช่วยแผ่รังสีหรือสนับสนุนกลไกการเผาไหม้ได้ดีกว่าตัวที่ที่มี  $H_E$  ต่ำ ๆ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของหัวพ่นไฟแบบ SPBA12-000 จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าหัวพ่นไฟแบบ SPB000-000

#### 4.2 ปริมาณแก๊ส ไอเสีย ( $CO$ และ $NO_x$ )

ปริมาณ  $CO$  และ  $NO_x$  ที่เกิดขึ้นในรูปที่ 3 กล่าวคือปริมาณ  $CO$  จะมีแนวโน้มลดลงตาม  $H_E$  ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น สำหรับปริมาณ  $NO_x$  จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากระดับอุณหภูมิในการเผาไหม้ที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณ  $NO_x$  จะอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ คือจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 60 ppm

#### 4.3 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ( $\eta_c$ )

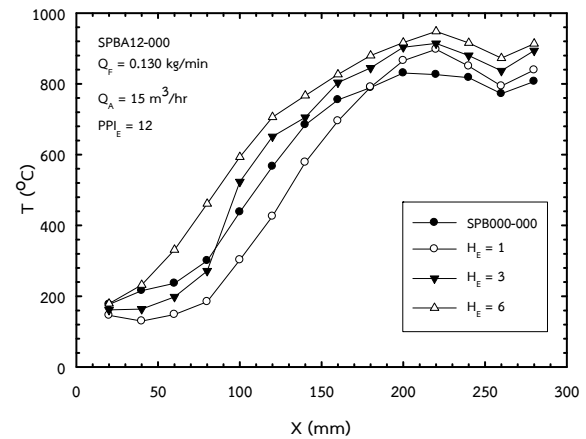
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ( $\eta_c$ ) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม  $H_E$  ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของ  $H_E$  ที่เพิ่มมากขึ้น ก็จะช่วยในการแผ่รังสีหรือสนับสนุนกลไกการเผาไหม้ได้ดีกว่าตัวที่ที่มี  $H_E$  ต่ำ ๆ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

### 5. สรุปผลการทดลอง

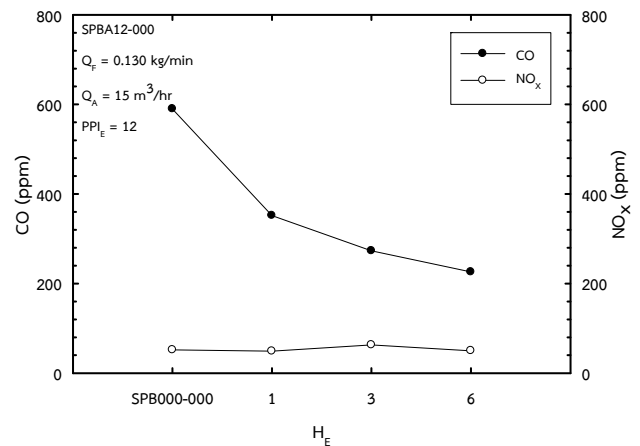
จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเผาไหม้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) โครงสร้างทางอุณหภูมิ (T) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตาม  $H_E$  ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ  $H_E$  มีค่ามาก ตัวที่เผาไหม้จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มมากขึ้น จึงมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (แก๊ส) ได้อย่างเต็มที่ช่วยแผ่รังสีหรือสนับสนุนกลไกการเผาไหม้ได้ดีกว่ากรณีตัวที่ที่มี  $H_E$  ต่ำ ๆ

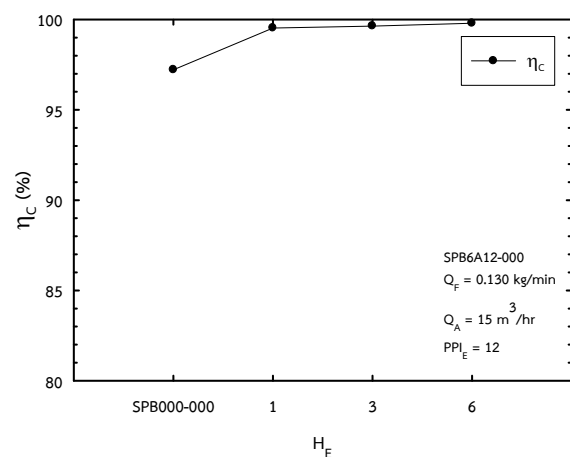
2) ปริมาณ  $CO$  จะมีแนวโน้มลดลงตาม  $H_E$  ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น สำหรับปริมาณ  $NO_x$  จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระดับอุณหภูมิในการเผาไหม้ที่เพิ่มสูงขึ้น แต่จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 60 ppm



รูปที่ 2 อิทธิพลของ  $H_E$  ต่อ T ของหัวพ่นไฟแบบ SPBA12-000



รูปที่ 3 อิทธิพลของ  $H_E$  ต่อปริมาณ  $CO$  และ  $NO_x$  ของหัวพ่นไฟแบบ SPBA12-000



รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของ  $H_E$  ต่อ  $\eta_c$  ของหัวพ่นไฟแบบ SPBA12-000

3)  $\eta_c$  จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม  $H_E$  ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของ  $H_E$  ที่เพิ่มมากขึ้น ก็จะช่วยแผ่รังสีหรือสนับสนุนกลไกการเผาไหม้ได้ดีกว่าเตาเผาที่มี  $H_E$  ต่ำๆ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้น

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนบทความขอขอบคุณพระคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (EPPO) กระทรวงพลังงาน กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยรวมทั้งสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานนครราชสีมาที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์การทดลองและสถานที่ในการทดลองเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ (2555). ประโยชน์จากแกลบ ของเหลือใช้ทางการเกษตร, *วารสารพลังงาน*, ตุลาคม-ธันวาคม 2555.
- [2] นิยม ศรีศิริสิทธิกุล (2546). เตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบด แบบอากาศหมุนวน, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] Ross, A.B. (2001). Measurement and prediction of the emission pollutants from the combustion of coal and biomass in a fixed bed furnace, *Fuel*, 81., pp.571 - 582.

[4] Rogau, T. (2002). The effects of different airflow on the formation of pollutants waste incineration, *Fuel*, 81., pp.2277 - 2288.

[5] ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์ (2555). อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ก่อให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดที่มีต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ - แกลบในเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ทรายเป็นเบด, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย*, ครั้งที่ 26, 24 - 27 ตุลาคม 2555.

[6] พรชัย การะวงศ์ และคณะ. (2557). การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อเพลิงแข็งในหัวพ่นไฟวัสดุพูน, *ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

[7] Thawin Ponsen and Boonrit Prasartkaew (2014). Pulsation Gas Flow Porous Medium Burner Fueled with Solid Feedstock, *The 5<sup>th</sup> TSME International Conference on Mechanical Engineering*, 17- 19<sup>th</sup> December 2014.

[8] Hallberg, J. (1997). Solid fuel burner, *USA*, Patent Number: US 5680822 A.

[9] Ruck, B. (2010). Operating method for a solid fuel burner, *German*, Patent Number: 20100178622.

[10] บัณฑิต ฤทธาคม (2553). หัวพ่นไฟแบบวัสดุพูนโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง, *วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, 14 มิถุนายน 2553, หน้า 46-58.