

หัวพ่นไฟเชื้อเพลิงแข็งที่มีการติดตั้งวัสดุพรุน Solid Burner with the Installation of Porous Materials

นิวัฒน์ เกตุชาติ^{1*}, ธวัชชัย จารุงศ์วิทยา¹ และ บัณฑิต กฤตาคม²

ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพรุน

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

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล การทำความเย็นและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุนทรารมย์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: E-mail: niwat.ke@rmuti.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 044-233-000 ต่อ 3451

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพรุนที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้จะมีการติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลสสองส่วนภายในห้องเผาไหม้ ได้แก่ ส่วนแรกจะเป็นตะแกรงฐานรองเชื้อเพลิง และวัสดุพรุนอีกส่วนเป็นตำแหน่งด้านบน มีหน้าที่เป็นตัวกักเก็บพลังงานจากเปลวไฟเพื่อช่วยในการอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ โดยทำการศึกษาความหนาของชั้นตาข่ายสแตนเลสที่ตำแหน่งด้านบน (H) มี 3 ค่า คือ 3, 6 และ 9 ชั้น และจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว (PPI) มี 2 ค่า คือ 10 และ 12 การทดลองที่สภาวะอัตราการจ่ายอากาศ (Q_A) เท่ากับ $25 \text{ m}^3/\text{hr}$ อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) เท่ากับ $0.1301 \text{ kg}/\text{min}$ พฤติกรรมการเผาไหม้ของงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (T) ปริมาณแก๊สไอเสีย (CO และ NO_x) และประสิทธิภาพของการเผาไหม้ (η_c) จากการทดลองพบว่า ระดับ T จะเพิ่มขึ้นเมื่อ H เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ CO มีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณ NO_x จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว (PPI) ที่ซึ่งได้ผลว่า เมื่อ PPI เพิ่มขึ้น ระดับค่า T จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ CO มีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณ NO_x จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

คำหลัก: หัวพ่นไฟ เชื้อเพลิงแข็ง ตาข่ายสแตนเลส

Abstract

This research aims to study the influence of porous media on the combustion behavior. Two stainless wire-net type porous media were installed in combustion chamber. At the bottom, it has been used as the grate for support the fuel. At the top, it has been used as energy absorber for preheat the supply air. The porous media layer (H) as 3, 6 and 9, respectively, which has pores per inch (PPI) of 10 and 12 were tested. The air flow rate (Q_A) as $25 \text{ m}^3/\text{hr}$ and fuel mass flow rate of 0.1301 were tested. The combustion behavior such as temperature change (T), exhaust gas (CO and NO_x) and combustion efficiency (η_c) were investigated. From the experimental, it was found that the level of temperature profile (T) was increased with H leading to CO was decreased. The level of NO_x was quite low. In addition, the effect of pores per inch (PPI) were also conducted. The level of T were increased with PPI leading to CO was decreased. The level of NO_x was quite low as increasing PPI.

Keywords: Burner, Solid fuel, Stainless wire-net

1. บทนำ

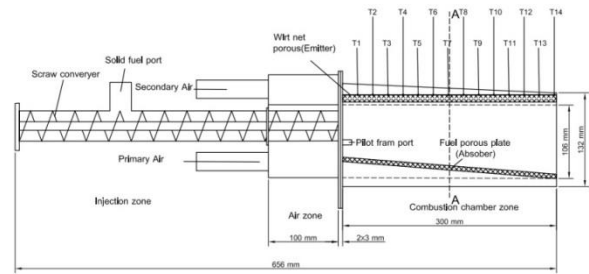
การผลิตไอน้ำหรือน้ำร้อนจากหม้อต้มน้ำไปใช้งานนับว่าเป็นเทคโนโลยีที่เก่าแก่ที่ใช้กันอยู่ และเป็นความพยายามที่จะพัฒนาเทคโนโลยีให้ทันสมัยมากขึ้น ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในการผลิตไอน้ำหรือน้ำร้อนจะเป็นการพัฒนาหม้อต้มน้ำที่มีอยู่เดิม ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ประสบความสำเร็จอย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของราคาเชื้อเพลิงจากฟอสซิล (Fossil Fuels) และการออกกฎหมายเพื่อลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse Gases) โดยการออกแบบและควบคุมการปฏิบัติงานของหม้อไอน้ำและระบบต่าง ๆ ของหม้อไอน้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ปัจจุบันได้เล็งเห็นความสำคัญของพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานจากชีวมวล ซึ่งมีแหล่งที่มาต่าง ๆ กัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน เช่น แกลบ ชานอ้อย และข้าวโพด เป็นต้น [1] ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลจึงเป็นอีกทางเลือกที่นำมาแก้ปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิง รวมทั้งมีงานวิจัยต่าง ๆ มากมายที่ดำเนินการเพื่อหาทางใช้งานเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างประหยัดหรือให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเช่นเทคโนโลยีการเผาไหม้ที่นิยมใช้ คือ การใช้วัสดุพูนมาช่วยในการเผาไหม้ซึ่งที่ผ่านมาก็ประสบความสำเร็จในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้และในด้านการลดมลพิษในการเผาไหม้ไม่ว่าจะเป็นหัวพันไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงก๊าซ [2-3] หัวพันไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงเหลว [4-9] และเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง [10-13] ด้วยเหตุนี้หากสามารถนำเอาพลังงานทางเลือกหรือชีวมวลมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคนิคของวัสดุพูนเพราะจะทำให้มีการใช้พลังงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นผู้เขียนบทความวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพูนที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ในหัวพันไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงแข็งที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาหัวพันไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงแข็งต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลองของ หัวพันไฟเชื้อเพลิงแข็งติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส (Stainles wire net porous) แบ่งออกได้ 3 ส่วนที่สำคัญประกอบไปด้วย ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่ป้อนเชื้อเพลิงแข็ง (Injection zone) โดยการป้อนเชื้อเพลิงแข็งที่ช่องป้อนเชื้อเพลิง (Solid fuel port) และถูก

ลำเลียงไปยังห้องเผาไหม้ด้วยสกรูเกลียว (Screw conveyer) ส่วนที่สองเป็นห้องพักอากาศเพื่อไม่ให้อากาศที่เข้ามาปะทะกับเชื้อเพลิงแข็งโดยตรงและรุนแรงเกินไป และส่วนที่สามเป็นห้องเผาไหม้ (Combustion chamber zone)



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลองของหัวพันไฟเชื้อเพลิงแข็งที่ติดตั้งวัสดุพูน

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

จากส่วนประกอบทั้งหมดของหัวพันไฟเชื้อเพลิงแข็งจะมีหลักการทำงานคือ เมื่อนำเชื้อเพลิงแข็ง (แกลบ) ที่ผ่านการกำจัดความชื้นมาป้อนเข้าที่ช่องป้อนเชื้อเพลิง (Solid fuel port) ดังแสดงในรูปที่ 1 สกรูลำเลียง (Screw conveyer) จะลำเลียงเชื้อเพลิงไปยังห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) จ่ายอากาศด้วยโบลเวอร์ (Blower) ที่ช่องป้อนอากาศ (Air port) เพื่อใช้ในการเผาไหม้จากนั้นจุดไฟด้วยวิธีไฟล่อ (Pilot flame) ที่ช่องจุดติดไฟ เมื่อเชื้อเพลิง ติดไฟเกิดการเผาไหม้แล้วเพิ่มความเร็วจนอากาศด้วยโบลเวอร์ (Blower) เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรงขึ้น

การป้อนเชื้อเพลิงแข็งไปยังช่องลำเลียง (Injection zone) เชื้อเพลิงจะถูกส่งไปยังห้องเผาไหม้ด้วยสกรูลำเลียง (Screw conveyer) มีอัตราการจ่ายตามปริมาณที่ต้องการทดลองเมื่อเชื้อเพลิงถูกส่งไปยังห้องเผาไหม้จุดติดไฟด้วยวิธีไฟล่อ (Pilot flame) เมื่อเชื้อเพลิงติดไฟแล้วจะเพิ่มความเร็วจนอากาศผ่านส่วนของห้องพักอากาศให้มีอัตราการจ่ายตามปริมาณที่ต้องการทดลอง โดยเมื่ออากาศไหลผ่านห้องพักจะถูกแบ่งออกเป็นสองทิศทางประกอบไปด้วยอากาศทิศทางที่หนึ่งเป็นอากาศทิศทางด้านบน จะไหลไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับวัสดุพูนตัวดูดซับเกิดการอุ่นอากาศทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนจะไหลเข้ามายังห้องเผาไหม้ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งเสริมการ

เผาไหม้และคลุกเคล้าเข้ากับเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น สำหรับทิศทางที่สองจะเป็นการจ่ายอากาศเข้าห้องเผาไหม้จากด้านล่างผ่านวัสดุพอร์ซิ่งทำหน้าที่เป็นฐานรองเชื้อเพลิงและจะเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิง ทำให้เกิดการเผาไหม้ เปลวไฟที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (แกลบ) จะแผ่รังสีความร้อนไปยังชั้นวัสดุพอร์ซิ่งที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของเปลวไฟหรือในแนวการไหลของอากาศทิศทางแรก ซึ่งวัสดุพอร์ซิ่งนี้จะทำการดูดซับเอาความร้อนจากเปลวไฟไว้หลังจากนั้นจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ กลไกการเผาไหม้ทั้งหมดที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตรงบริเวณที่มีเชื้อเพลิงป้อนเข้ามาในห้องเผาไหม้ ด้วยเหตุนี้เองนี้เพื่อให้เข้าถึงปรากฏการณ์การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง และการส่งถ่ายความร้อนระหว่างวัสดุพอร์ซิ่งกับเปลวไฟที่เกิดขึ้นอุณหภูมิตามแนวแกนจึงถูกตรวจวัด ดังรายละเอียดต่อไปนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (N-type Thermocouples) จำนวน 14 ชิ้น ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm ด้วยระยะห่างของแต่ละตัว 20 mm จะถูกติดตั้งในส่วนของห้องเผาไหม้ (Combustion chamber zone) ที่ด้านบนของวัสดุ สาเหตุที่ไม่สอดเทอร์โมคัปเปิลจนทะลุถึงตำแหน่งตรงกลาง เนื่องจากไม่ต้องการให้ขีดขวางการไหลของเชื้อเพลิงแข็งที่ผ่านมายังห้องเผาไหม้ ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อกลไกการไหลของเชื้อเพลิงแข็ง ขณะเดียวกันแก๊สไอเสีย CO และ NO_x ก็ถูกตรวจวัดที่ตำแหน่งทางออกของห้องเผาไหม้ ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น M350

2.3 การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้

สำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อแสดงถึงสมรรถนะของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ซิ่ง ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency, η_c) จะคำนวณเช่นเดียวกันกับงานวิจัยที่ผ่านมาคือ [12-13] ดังสมการต่อไปนี้

$$\eta_c = \frac{E_F - E_U - E_{CO}}{E_F} \times 100\%$$

เมื่อ

η_c คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้

E_F คือ พลังงานที่ได้รับจากเชื้อเพลิง (kJ)

E_U คือ พลังงานของเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ (kJ)

E_{CO} คือ พลังงานที่เกิดจาก CO (kJ)

2.4 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

เชื้อเพลิงที่เลือกใช้สำหรับงานวิจัยนี้คือแกลบ ซึ่งมีองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบโดยทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง (แกลบ)

การวิเคราะห์โดยประมาณ (wt.%)	
คาร์บอนคงที่	20.10
สารระเหย	55.60
ความชื้น	10.30
เถ้า	14.00
การวิเคราะห์โดยละเอียด (Wt.%)	
คาร์บอน	38.00
ไฮโดรเจน	4.55
ออกซิเจน	32.40
ไนโตรเจน	0.69
กำมะถัน	10.30
ความชื้น	10.30
เถ้า	14.00
ค่าความร้อนสูง (MJ/kg)	14.98

3. ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้วของตาข่ายสแตนเลส (PPI)

รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้วของตาข่ายสแตนเลส (PPI) ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิจำ (T) และเป็นการทดลองที่สภาวะ $Q_F = 0.1301$ kg/min, $Q_A = 25$ m³/hr และ $H = 9$ จากการทดลองพบว่าระดับ T ของ PPI = 12 สูงกว่า PPI = 10 เนื่องจาก PPI = 12 จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสภายในสูง จึงส่งผลให้สามารถถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟโดยการพาความร้อนสูง เนื่องจากมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก ทำให้มีความสามารถในการพาความร้อนได้ดีรวมทั้งลักษณะที่เป็นของแข็งจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและการแผ่รังสีสูง ทำให้วัสดุพอร์ซิ่งที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสภายในสูงสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ดีระหว่างความร้อนในรูปของการพาและการแผ่รังสีได้ดีกว่าวัสดุพอร์ซิ่งที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสภายในต่ำ จึงส่งผลต่อการเกิด CO ดังแสดงในรูปที่ 3 กล่าวคือ ปริมาณ CO จะมีค่าลดลงเพราะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามค่า NO_x ถือว่ามีค่า

ต่ำมาก คืออยู่ในช่วงไม่เกิน 30 ppm มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ การเผาไหม้ที่นำเสนอนี้มีระดับ ไม่เกิน 1,300 K (ประมาณ 1,000°C) ทำให้กลไกการเกิด NO_x (Thermal NO_x) มีน้อย

3.2 อิทธิพลความหนาของชั้นวัสดุพูน (H)

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลความหนาของชั้นวัสดุพูน (H) ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (T) เป็นการทดลองที่สภาวะการเผาไหม้ $Q_F = 0.1301 \text{ kg/min}$, $Q_A = 25 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $\text{PPI} = 12$ พบว่า T มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อ H เพิ่มจาก $H = 3$ เป็น $H = 9$ เพราะเนื้อวัสดุจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของวัสดุพูนที่เพิ่มมากขึ้น จึงสามารถกักเก็บพลังงานความร้อนจากเปลวไฟได้สูงขึ้น เมื่ออากาศจากทิศทางด้านบนไหลผ่านวัสดุพูนด้านบนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ ทำให้อากาศจะได้รับการอุ่น (Preheating) จากนั้นจะเกิดการเผาไหม้ที่ให้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น สำหรับปริมาณ CO และ NO_x ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่า CO จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อ H เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น สำหรับปริมาณ NO_x จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตาม H ที่เพิ่มขึ้น แต่จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 30 ppm มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิการเผาไหม้ที่นำเสนอนี้มี ระดับที่ต่ำ ซึ่งได้อธิบายสาเหตุของการเกิด NO_x ไว้ก่อนหน้านี้ (หัวข้อที่ 3.1)

3.3 อิทธิพลร่วมของ PPI และ H ที่มีต่อ η_c

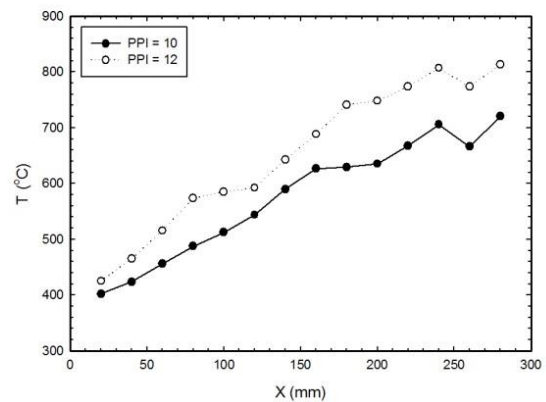
รูปที่ 6 แสดงแผนภาพพื้นผิวตามอิทธิพลร่วมระหว่าง PPI และ H ที่มีต่อ η_c ที่สภาวะ $Q_A = 25 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $Q_F = 0.1301 \text{ kg/min}$ พบว่าเมื่อค่า PPI และ H เปลี่ยนแปลง ค่า η_c จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 90 - 98% ซึ่งถือว่ามีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงมาก เนื่องจากวัสดุพูนสามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ มีความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ดี ทำให้เกิดความร้อนหมุนเวียนในระบบ (Heat recirculation) เพื่อเอาไปอุ่นอากาศที่จะเข้ามาใหม่อย่างต่อเนื่อง โดยความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ยังคงเท่าเดิม แต่ได้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่า จึงช่วยส่งเสริมกลไกการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของระบบเพิ่มมากขึ้น และค่า η_c มีค่าสูงสุดจะเกิดที่สภาวะ $\text{PPI} = 12$ และ $H = 9$ ซึ่งมีค่า $\eta_c = 98\%$

4. สรุปผลการวิจัย

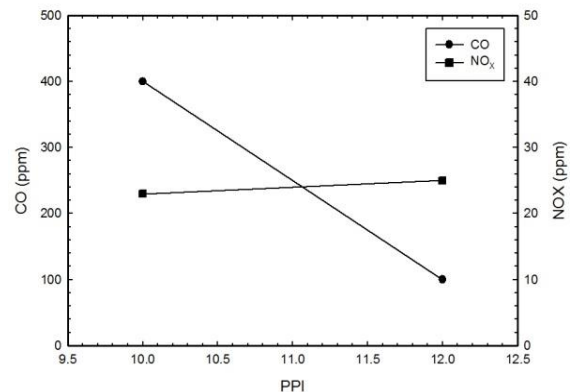
1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (T) ของหัวพ่นไฟ วัสดุพูนเชื้อเพลิงแข็ง ที่จำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว (PPI) เท่ากับ 12 มีค่าสูงกว่า $\text{PPI} = 10$ ซึ่งสอดคล้องกับค่า CO ของกรณี $\text{PPI} = 12$ มีค่าต่ำกว่า แต่ปริมาณ NO_x จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามอุณหภูมิของการเผาไหม้

2) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (T) ของหัวพ่นไฟ วัสดุพูนเชื้อเพลิงแข็ง จะเพิ่มขึ้น เมื่อ H เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ CO มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น แต่ปริมาณ NO_x จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

3) ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (η_c) จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อยู่ในระดับที่สูงมาก คือ 90-98% และมีค่าสูงสุด คือ $\eta_c = 98\%$ เมื่อจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว (PPI) เท่ากับ 12 ความหนาของชั้นวัสดุพูน (H) คือ 9 ชั้น



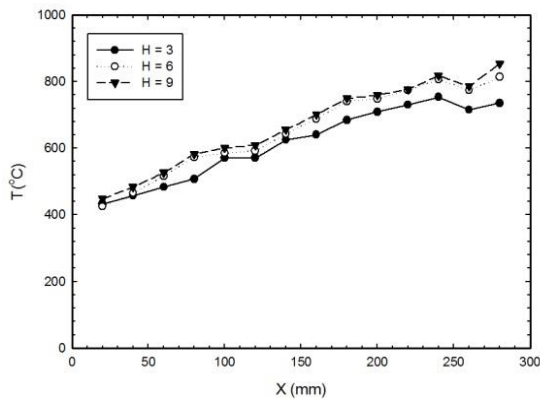
รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของ PPI ต่อ T



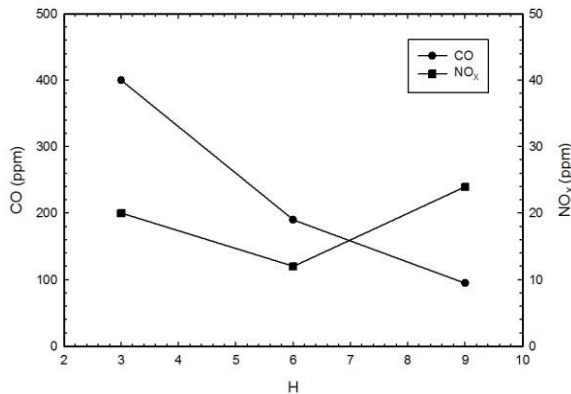
รูปที่ 3 อิทธิพลของ PPI ต่อปริมาณ CO และ NO_x

5. กิตติกรรมประกาศ

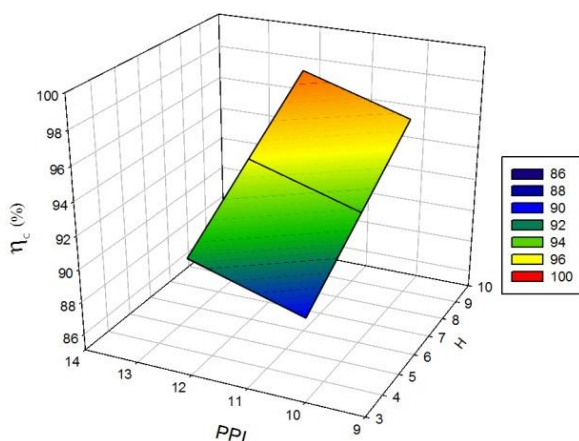
ผู้เขียนบทความขอขอบคุณพระคุณ ห้องปฏิบัติกร วิจัย การพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพอรุส (Development In Technology of Porous Material Research Laboratory, DITO-Lab) รวมทั้งสาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน นครราชสีมา ที่ได้ให้การสนับสนุน อุปกรณ์การ ทดลอง และสถานที่ในการทดลอง เพื่อใช้ในการวิจัยใน ครั้งนี้ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของ H ต่อ T



รูปที่ 5 อิทธิพลของ H ต่อปริมาณ CO และ NO_x



รูปที่ 6 อิทธิพลร่วมของ PPI และ H ที่มีต่อ η_c

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท เอ็นเนอร์ยี วิชั่น จำกัด (2560). *พลังงานชีวมวล*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.energyvision.co.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 24 เมษายน 2561.
- [2] R. Mital, J. P. Gore, and R. Viskanta. (1997). A study of the structure of submerged reaction zone in porous ceramic radiant burners, *Combustion and Flame*, Vol. 111, pp. 175-184.
- [3] บัณฑิต กฤตาคม. (2554). หัวพ่นไฟอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้วัสดุพอรุสในหัวพ่นไฟ, *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, มหาวิทยาลัยสยาม, หน้า 76-87.
- [4] Takami, H., Suzuki, T., Itaya, Y. and Hasatani, M. (1998). Performance of flammability of kerosene and NO_x emission in the porous burner, *Fuel*, 1998, pp. 165 - 171.
- [5] S. Jugjai, N. Wongpanit, T. Laoketkan and L. Nokkaew. (2002). The combustion of liquid fuels using a porous medium, *Experiment Thermal and Fluid Science*, Vol. 26 (1), 2002, pp. 15-23.
- [6] Jugjai, S. and Phothiya, C, (2006). Liquid fuels-fire porous combustor-heater, *Fuel*, vol. 86, 2006, pp.1062 - 1068.
- [7] บัณฑิต กฤตาคม และ ทวีศิลป์เล็กประดิษฐ์ (2554). อิทธิพลของวัสดุพอรุสตัวแปรรังสีต่อการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟชนิดวัสดุพอรุสโดยใช้เชื้อเพลิงเหลว, *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ*, กรกฎาคม - ธันวาคม 2554.

- [8] บัณฑิต กฤตาคม และคณะ (2556). หัวพ่นไฟ
วัสดุพูนเชื้อเพลิงแก๊สเอลพีจีทีใช้อะลูมินา-คอร์ดีโรท์เม็ด
กลมเป็นวัสดุพูนแบบเม็ดกลมอัดแน่น, *วารสาร
วิศวกรรมฉบับวิจัยและพัฒนา*, 2556, หน้า 42 - 49.
- [9] P. Amatachaya, and B. Krittacom. (2009). The
combustion of liquid fuels using a pack bed,
paper presented in the *International
Conference on Power Engineering (ICOPE-90)*,
16-20 November 2009, Kobe, JAPAN.
- [10] บัญชา พุทธากุล และ บุญย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว
(2558). เตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบมีวัสดุพูน,
*การประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่ง
ประเทศไทยครั้งที่ 8*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี
- [11] Thawin Ponsen and Boonrit Prasartkaew
(2014). Pulsation Gas Flow Porous Medium
Burner Fueled with Solid Feedstock, *The 5th
TSME International Conference on Mechanical
Engineering*, 17 - 19th December 2014.
- [12] นิวัฒน์ เกตุชาติ และคณะ. (2559). อิทธิพล
ความหนาของชั้นวัสดุพูนตัวแปร่งที่มีผลต่อพฤติกรรม
การเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดเชื้อเพลิงแข็ง, *การ
ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 30*, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัด
สงขลา
- [13] นิวัฒน์ เกตุชาติ และคณะ. (2560). การพัฒนา
หัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดเชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ตาข่ายสแตนเลส
เป็นวัสดุพูน, *การประชุมวิชาการเครือข่าย
วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31*,
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดนครนายก