

## หัวเผาวัสดุพรุนชนิดเผาไหม้เชื้อเพลิงได้ทั้งแบบ non-premixed และ premixed Porous Burner with Non-premixed and Premixed Combustion

พีระพงษ์ โตขลิบ<sup>1</sup> และ สำเร็จ จักรใจ<sup>\*</sup>

ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

\* ติดต่อ: โทรศัพท์: 0-2470-9128, โทรสาร 0-24270-9111

E-mail: <sup>1</sup>[i\\_din12@hotmail.com](mailto:i_din12@hotmail.com), <sup>\*</sup>[sumrueng.jug@kmutt.ac.th](mailto:sumrueng.jug@kmutt.ac.th)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหัวเผาวัสดุพรุนที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่สามารถเผาไหม้เปลวไฟได้สองลักษณะ คือ premixed และ non-premixed โดยอาศัยการควบคุมรูปแบบของการจ่ายอากาศ คือ การจ่ายอากาศแบบ swirling flow ทำให้เกิดห้องผสมของอากาศและเชื้อเพลิง (mixing chamber) และแบบ annular flow ที่ทำให้อากาศมีลักษณะเป็นวงแหวนหุ้มรอบเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยตามแนวแกนซึ่งให้เปลวไฟแบบ premixed และ non-premixed ตามลำดับ หัวเผาที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยวัสดุพรุนสองส่วน คือ porous burner (PB) ทำจากตาข่ายสแตนเลสซ้อนกัน เพื่อกระจายเชื้อเพลิงให้เต็มหน้าตัด ก่อนผสมกับอากาศและเกิดการเผาไหม้ในวัสดุพรุนและ porous emitter (PE) ซึ่งเป็นเม็ดหินบรรจุในท่อทรงกระบอก โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อโครงสร้างความร้อน และการปลดปล่อยมลพิษ ( $CO$ ,  $NO_x$ ) ของหัวเผา อันได้แก่ ค่าอัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio) ระยะห่างระหว่างวัสดุพรุน PB กับตำแหน่งจ่ายอากาศ ( $X_{PB}$ ) ที่จะกำหนดรูปแบบการจ่ายอากาศ จากการทดลองพบว่าการเผาไหม้ในลักษณะ non-premixed สามารถลดการปลดปล่อยมลพิษได้อย่างมาก โดย  $CO$  และ  $NO_x$  ลดลงได้สูงสุด 1.8 เท่า และ 2 เท่าตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันให้ประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 35 % เมื่อเทียบกับเปลวไฟในลักษณะ premixed ที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน

**คำหลัก:** porous burner, swirling flow, annular flow, non-premixed and premixed flame

### Abstract

This research studies porous burner for LPG fuel. The burner can be operated in both premixed and non-premixed combustion mode depending on feeding air characteristic. In premixed mode, swirling air and fuel mix within opened mixing chamber. On the other hand, in non-premixed mode, completely closed mixing chamber cause annular flow of feeding air covering around axial flow of fuel. The burner consists of two porous components. First, porous burner (PB), which made from packed of stainless wire, use for fuel distribution causing uniform flow. Then, combustion of mixed air and fuel occur within the second porous called porous emitter (PE), which is a packed bed of rock. The effect of gap between PB and PE ( $X_{PB}$ ) and equivalence ratio on temperature profiles, emission ( $CO$ ,  $NO_x$ ) and also the radiation efficiency are studied in this research. The results show that combustion in non-premixed mode can

significantly decrease both  $CO$  and  $NO_x$  emission, which is 1.8 times and 2 times when compare to premixed combustion mode, respectively. Moreover, non-premixed combustion mode also provide higher radiation efficiency of about 36 % than premixed combustion mode.

**Keywords:** porous burner, swirling flow, annular flow, non-premixed and premixed flame

## 1. บทนำ

ปัจจุบันหัวเผาวัสดุพรุน (porous burner) กำลังได้รับความสนใจจากห้องปฏิบัติการหลายๆแห่งทั่วโลก[1-7] และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น พิสูจน์ได้จากจำนวนงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุพรุน (porous medium) มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนได้ดีทั้งในแบบการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน และสามารถหมุนเวียนความร้อนในตัวเองขณะเผาไหม้ได้ซึ่งช่วยให้ได้การเผาไหม้ให้กับการเผาไหม้แบบ “excess-enthalpy flame” นั่นคืออุณหภูมิการเผาไหม้สามารถสูงกว่าอุณหภูมิการเผาไหม้ทางทฤษฎี (adiabatic flame temperature) ที่ส่วนผสมของเชื้อเพลิงในสภาวะเริ่มต้นเดียวกัน[2] และยังช่วยลด  $NO_x$  เพราะขณะเกิดการเผาไหม้ในวัสดุพรุนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังเนื้อวัสดุพรุนอย่างทันทีทันใดทำให้ไม่เกิด Peak temperature ซึ่งเป็นสาเหตุของ Thermal  $NO_x$  [1] และยังช่วยลด  $CO$  ได้อีกด้วย เพราะอุณหภูมิการเผาไหม้โดยรวมมีค่าสูงขึ้น [1] ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้นำหลักการเผาไหม้ในวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้กับหัวเผาชนิดผสมกันมาก่อนที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

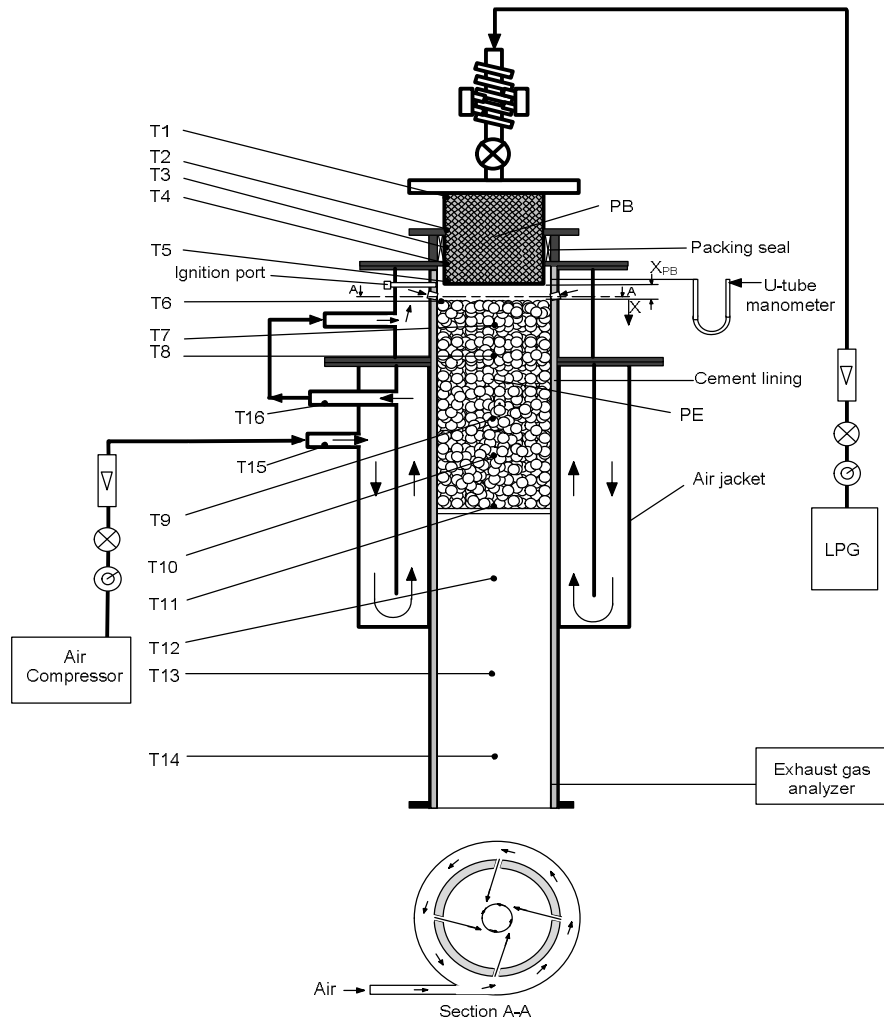
แต่อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้แบบผสมมาก่อนนั้นมีข้อจำกัดด้านความปลอดภัยในการใช้งาน เนื่องจากอาจเกิดการจุดติดไฟของไอดีก่อนถึงห้องเผาไหม้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการเปลี่ยนรูปแบบการเผาไหม้แบบ premixed ไปเป็นแบบ non-premixed เพื่อความปลอดภัยและใช้ porous medium technology เข้ามาช่วยให้ได้การเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนสูง โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาอิทธิพล

ของระยะห่างระหว่างวัสดุพรุน ( $X_{PB}$ ) และอัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio,  $\Phi$ ) ที่มีผลต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ การปลดปล่อยมลพิษและประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อน

## 2. การทดลอง

### 2.1 อุปกรณ์การทดลอง

หัวเผาวัสดุพรุนที่ใช้ในการทดลอง แสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย วัสดุพรุนสองชนิดบรรจุในท่อสแตนเลสทรงกระบอกสองชั้นตั้งรวมแกนอยู่ในแนวตั้ง ส่วนแรกคือวัสดุพรุน PB (porous burner) ประกอบด้วยแผ่นตาข่าย สแตนเลสวงกลมซึ่งมีความพรุน 100 mesh/inch<sup>2</sup> จำนวน 200 แผ่น วางอัดแน่นซ้อนกันยาว 75 มม ในท่อสแตนเลสทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 มม เพื่อทำหน้าที่กระจายเชื้อเพลิงแก๊ส ให้ไหลเต็มหน้าตัดท่อ ส่วนที่สองคือวัสดุพรุน PE (porous emitter) ประกอบด้วยเม็ดหินขนาด 10 มม บรรจุเต็มหน้าตัดในท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 มม สูง 160 มม ทำหน้าเป็นห้องเผาไหม้และถูกหุ้มด้วย air jacket เพื่ออุ่นอากาศก่อนส่งผ่านไปยังรูจ่ายอากาศซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม จำนวนสี่รูซึ่งแต่ละรูอยู่ห่างกัน 90 องศา หัวเผาวัสดุพรุนในการศึกษานี้ ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษคือสามารถทำงานได้ทั้งในแบบ premixed และ non-premixed ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างวัสดุพรุน PB และวัสดุพรุน PE ซึ่งระยะห่างนี้เรียกว่าระยะ  $X_{PB}$  ซึ่งสามารถปรับได้อย่างอิสระ โดยอาศัยการเลื่อนวัสดุพรุน PB ขึ้นหรือลงโดยชั้นสกรูด้านบน ขณะที่วัสดุพรุน PE ถูกยึดอยู่กับที่ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งอ้างอิงอยู่ที่ตำแหน่ง(T6) หรือ ผิวบนของวัสดุพรุน PE โดยให้ทิศลงเป็นบวกและทิศขึ้นเป็นลบ



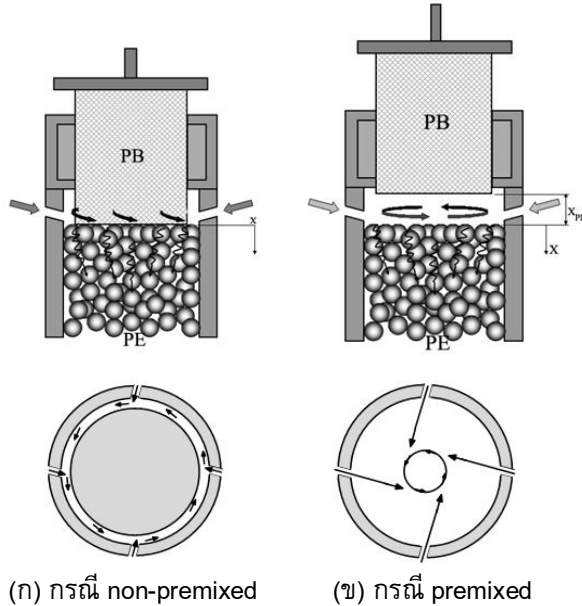
รูปที่ 1 หัวเผาวัสดุพรุนแบบไม่มีการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศมาก่อน

ถ้าวัสดุพรุนทั้งสองชนิดอยู่ติดกัน  $X_{PB} = 0$  มม. รูปแบบการจ่ายอากาศจะเป็นแบบวงแหวน (annular) ดังรูปที่ 2(ก) หัวเผาจะทำงานแบบ non-premixed และจะทำงานแบบ premixed เมื่อวัสดุพรุนทั้งสองอยู่ห่างกัน ซึ่งช่องว่างระหว่างวัสดุพรุนทั้งสองจะทำหน้าที่เป็นห้องผสม (mixing chamber) ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนการเผาไหม้ รูปแบบการจ่ายอากาศจะเปลี่ยนมาเป็นแบบหมุนวน (swirl) ดังรูปที่ 2(ข) ในการทดลองนี้จะเริ่มระยะ  $X_{PB} = -20$  มม. และค่อยๆ ลดช่องว่าง ทีละ 2 มม. จนกระทั่ง  $X_{PB} = 0$  มม. เพื่อพิจารณาอิทธิพลของรูปแบบการจ่ายอากาศอย่างละเอียด และนอกจากนี้ยังทำการศึกษาอิทธิพลของ

$\Phi$  ที่ระยะ  $X_{PB}$  เท่ากับ 0 มม. เพื่อให้เข้าใจถึงกลไกการเผาไหม้แบบ non-premixed มากขึ้น

## 2.2 การวัดผลการทดลอง

กลไกการเผาไหม้สามารถประเมินได้จากการกระจายอุณหภูมิตลอดทั้งหัวเผา และไอเสียที่เผาไหม้ออกมาด้าน downstream ของหัวเผา โดยวัดอุณหภูมิทั้งหมด 16 จุด ที่วัสดุพรุน PB ใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล N-type ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 มม. ประกอบด้วยสายบวกและสายลบ โดยสายบวกทำจากโลหะผสมระหว่าง Ni 10% และ Cr 90% ส่วนสายลบทำจากโลหะผสมระหว่าง Ni 95% และส่วนที่เหลือ 5% เป็น



(ก) กรณี non-premixed (ข) กรณี premixed  
รูปที่ 2 เปรียบเทียบการจ่ายอากาศของกรณี non-premixed และ premixed

ส่วนผสมระหว่าง Al, Mn และ Si สามารถใช้งานในสภาวะที่เป็น Oxidizing หรือ Inert ได้ดี ทนอุณหภูมิสูงสุด ประมาณ  $1,260^{\circ}\text{C}$  จำนวน 5 ตัวตำแหน่งที่วัดตั้งแต่  $T_1$ - $T_5$  แต่ละตัวห่างกัน 40,15,10,10 มม ตามลำดับสอดเข้าไปตามช่องว่างเล็กๆ ระหว่างซีเมนต์ทนไฟกับตาข่ายสแตนเลสตามตำแหน่ง ดังรูปที่ 1 ส่วนในวัสดุพอร์น PE จะใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล B-Type ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มม สายบวกทำจากโลหะผสมระหว่าง Pt 70% และ Rh 30% สายลบทำจากโลหะผสม Pt 94% และ Rh 6% จำนวน 6 ตัวตำแหน่งที่วัดตั้งแต่  $T_6$ - $T_{11}$  แต่ละตัวห่างกัน 19, 25, 40, 30,40 มม ตามลำดับ สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ  $300^{\circ}\text{C}$  ถึง ประมาณ  $1,700^{\circ}\text{C}$  จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการวัดอุณหภูมิในบริเวณห้องเผาไหม้วางตามแนวตรงกลางของวัสดุพอร์น PB ดังรูปที่ 1 และเทอร์โมคัปเปิ้ล N-type ยังได้ใช้บริเวณทางออกหัวเผาตามตำแหน่ง  $T_{12}$ - $T_{14}$  ซึ่งห่างกัน 90 มม และ 40 มม ตามลำดับ และบริเวณทางเข้า-ออกอากาศหลังอุ่นตามตำแหน่ง  $T_{15}$ - $T_{16}$  โดยเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้งหมดนี้จะต่อเข้ากับ Data Logger รุ่น DT600 และคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิแบบต่อเนื่อง และ

สำหรับการวัดไอเสีย  $\text{CO}$  และ  $\text{NO}_x$  ทำการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย (exhaust gas analyzer) ของบริษัท MESSTECHNIK EHEIM รุ่น Visit-01L ลักษณะการวิเคราะห์ไอเสียเป็นแบบแห้ง (dry-basis) โดยวัดที่ตำแหน่งทางด้านขาออก (downstream) ของหัวเผาวัสดุพอร์น

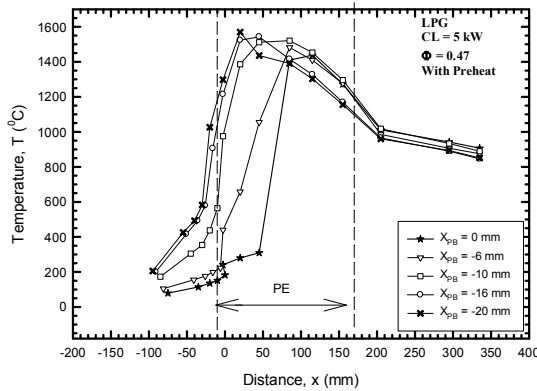
### 2.3 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองและการทำงานของหัวเผา ในตอนเริ่มต้นจะปรับระยะ  $X_{PB} = -20$  มม ปล่อยอากาศไหลแบบ swirl ประมาณ  $6 \text{ m}^3/\text{hr}$  เข้ามาทางด้านข้างของห้องเผาไหม้ แล้วใช้เปลวไฟล่อ (pilot flame) เป็นตัวจุดไฟทางช่องจุดไฟ (ignition port) ไปพร้อมกับการป้อนเชื้อเพลิงเชื้อเพลิง LPG ด้วยอัตราการเผาไหม้ (firing rate, CL) ประมาณ 3-4 kW เข้าทางด้านบนของวัสดุพอร์น PB และ เมื่อไฟติดแล้วจึงปรับค่าอัตราการเผาไหม้ให้ได้ตามต้องการ และปรับปริมาณอากาศให้ปริมาณ  $\text{O}_2$  จากเครื่องวิเคราะห์ไอเสียมีค่าอยู่ระหว่าง 10% ถึง 11% ของอากาศส่วนเกิน จากนั้นรอให้ระบบเข้าสู่สภาวะ steady state จึงทำการเก็บผลการทดลอง ซึ่งจะทำให้การปรับระยะ  $X_{PB}$  จาก -20 มม (premixed) ถึง 0 มม (non-premixed) โดยลดลงครั้งละ 2 มม เพื่อศึกษาเพื่อศึกษาอิทธิพลของ  $X_{PB}$  อย่างละเอียด และนอกจากนี้ยังทำการศึกษาอิทธิพลของ  $\Phi$  ที่ระยะ  $X_{PB}$  เท่ากับ 0 มม

### 3. ผลการทดลอง

#### 3.1 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$

รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของระยะ  $X_{PB}$  ต่อโครงสร้างทางความร้อนในห้องเผาไหม้ที่  $CL = 5 \text{ kW}$  และ  $\Phi = 0.47$  พบว่าที่  $X_{PB} = -20$  มม ตำแหน่งอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด (peak temperature) ที่เป็นตัวแทนตำแหน่งเปลวไฟเกิดทางด้าน upstream และอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วตามแนวแกนเตา ทั้งนี้เนื่องจากที่  $X_{PB} = -20$  มม เป็นการจ่ายอากาศแบบหมุนวน การเผาไหม้เกิดขึ้นทาง upstream เพราะการผสมที่ดีระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศภายในห้องผสมและพบว่าตำแหน่ง

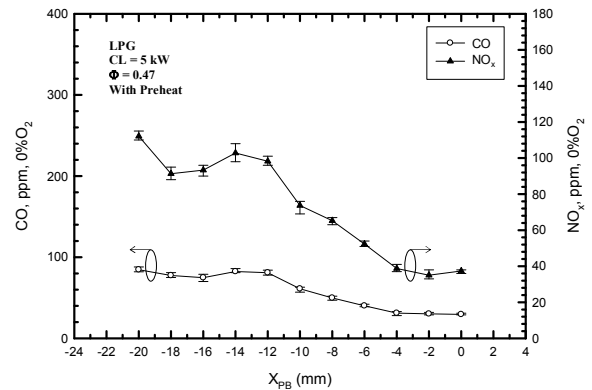


รูปที่ 3 อิทธิพลของ  $X_{PB}$  ต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ระหว่างกรณี non-premixed ( $X_{PB} = 0$  มม) และ premixed ( $X_{PB} = -20$  มม)

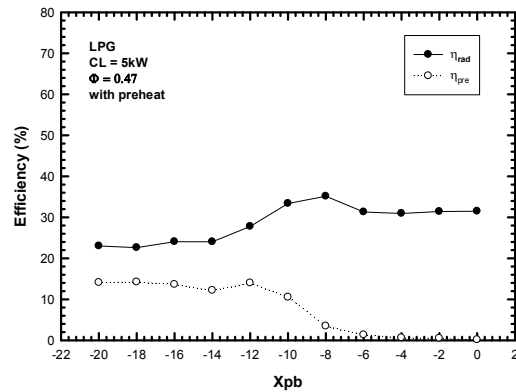
ของเปลวไฟ จะเลื่อนไปทางด้าน downstream มากขึ้นเมื่อลดระยะ  $X_{PB}$  จาก -20 มม จนถึง 0 มม ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุพรม PB ถูกเลื่อนลงมาให้เข้าใกล้วัสดุพรม PE มากขึ้น ช่วยดันเปลวไฟเลื่อนเข้าไปติดด้าน downstream มากขึ้น และพบว่า peak Temperature มีค่าลดลง โครงสร้างอุณหภูมิมีแนวโน้มแบนราบมากขึ้น เพราะเป็นการเผาไหม้แบบเป็นขั้นตอน (staged combustion) กล่าวคือ เจตนาให้เชื้อเพลิงออกอากาศโดยที่กรณี non-premixed ( $X_{PB} = 0$  มม) วัสดุพรม PB จะลงมาวางระจายอากาศ ดังนั้นอากาศที่ป้อนเข้ามาจะชนกับวัสดุพรม PB แล้วไหลมีลักษณะเป็นวงแหวน (annular) รอบๆ หัว PB จากนั้นไหลผสมกับเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ามาในแนวแกนเตาโดยการหุ้มรอบๆ เชื้อเพลิงตลอดความยาวของห้องเผาไหม้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเข้าใกล้สภาวะ stoichiometry ( $\Phi = 1$ ) ของส่วนผสมจากปริมาณอากาศที่เพียงพอ

นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิตั้ง upstream มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่อุณหภูมิตั้ง downstream มีแนวโน้มยกตัวสูงขึ้นเมื่อระยะ  $X_{PB}$  ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งเปลวไฟได้ย้ายเข้าไปติดอยู่ภายในวัสดุพรมมากขึ้น เมื่อลดระยะ  $X_{PB}$  ลง

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของ  $X_{PB}$  ต่อการปลดปล่อยมลพิษ (CO และ  $NO_x$ ) ที่  $CL = 5$  kW และ  $\Phi = 0.47$

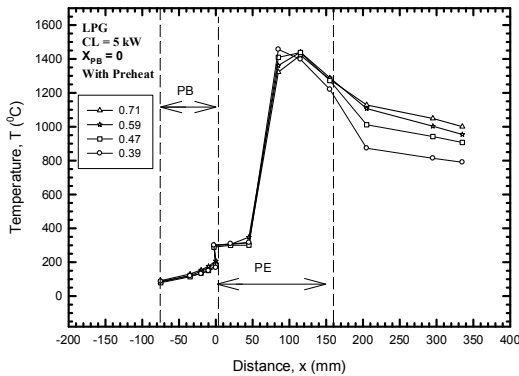


รูปที่ 4 อิทธิพลของ  $X_{PB}$  ที่มีผลต่อ CO และ  $NO_x$

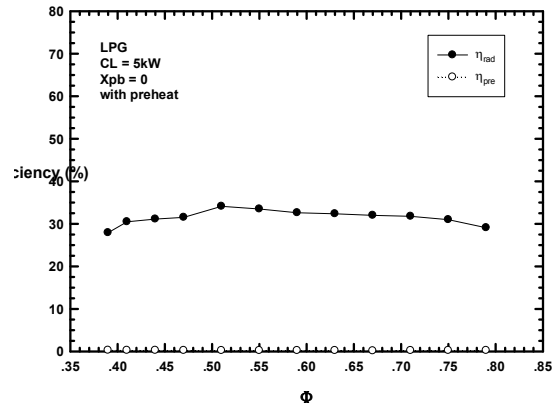


รูปที่ 5 อิทธิพลของระยะ  $X_{PB}$  ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อน

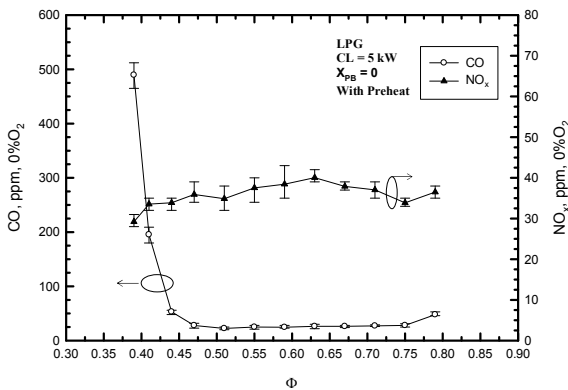
โดยทำการแก้ไขค่าให้มาอยู่ 0%  $O_2$  พบว่า หัวเผาปลดปล่อยมลพิษสูงสุดที่  $X_{PB} = -20$  มม ( $CO = 85$  ppm,  $NO_x = 112$  ppm) และการปลดปล่อยมลพิษจะลดลงตาม  $X_{PB}$  โดยที่  $X_{PB} = 0$  มม ปลดปล่อย  $CO = 30$  ppm และ  $NO_x = 37$  ppm และพบว่าเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการเผาไหม้จาก premixed เป็น non-premixed การปลดปล่อยมลพิษ  $CO$  และ  $NO_x$  ลดลงได้ 1.8 เท่าและ 2 เท่าตามลำดับ โดยสาเหตุที่  $CO$  ลดลง เพราะการลด  $X_{PB}$  ส่งผลให้ การคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเกิดภายในห้องเผาไหม้ (PE) ทำให้การผสมคลุกเคล้าดีกว่าภายใน mixing chamber เนื่องจากการผสมเกิดในชั้นวัสดุพรม นอกจากนี้การลดลงของ  $CO$  ยังมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิตั้งด้าน downstream ของหัวเผา ยกตัวสูงขึ้น นอกจากนี้ค่า  $CO$  สูงสุดเท่ากับ 88 ppm ซึ่งต่ำ



รูปที่ 6 อิทธิพลของ  $\Phi$  ต่ออุณหภูมิการเผาไหม้



รูปที่ 8 อิทธิพลของค่าอัตราส่วนสมมูล  $\Phi$  ต่อ  $\eta_{rad}$  และ  $\eta_{pre}$  กรณี non-premixed



รูปที่ 7 อิทธิพลของค่าอัตราส่วนสมมูล  $\Phi$  ที่มีผลต่อการปลดปล่อย CO และ  $NO_x$  กรณี non-premixed

กว่าการเผาไหม้ในกรณีที่เกิดการเผาไหม้ในบรรยากาศทั่วไป แสดงให้เห็นถึง combustion efficiency ที่ดี สำหรับในกรณีของ  $NO_x$  ที่ลดลง เนื่องจากการเผาไหม้ที่ระยะ  $X_{PB} = 0$  มม เกิดการเผาไหม้แบบเป็นขั้นตอน (staged combustion) ช่วยลด peak temperature ส่งผลให้ Thermal  $NO_x$  ลดลง

รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของระยะ  $X_{PB}$  ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อน ( $\eta_{rad}$ ) และประสิทธิภาพในการอุ่นเชื้อเพลิง ( $\eta_{pre}$ ) ที่  $CL = 5$  kW และ  $\Phi = 0.47$  โดย  $\eta_{rad}$  เป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนที่แผ่รังสีออกมาทางด้าน downstream (เป็นส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์ในการให้ความร้อนกับภาระทางความร้อน) กับพลังงานของ

เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไป ในขณะที่  $\eta_{pre}$  ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนที่อุ่นเชื้อเพลิง (คิดที่ผิวล่างของ PB) ต่อพลังงานของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้า เพื่อนำไปใช้ในการอุ่นเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่าเมื่อ  $X_{PB}$  ทำให้  $\eta_{rad}$  มีแนวโน้มสูงขึ้น ในขณะที่  $\eta_{pre}$  ลดลง เพราะเปลวไฟถูกเลื่อนเข้าไปใน PE มากขึ้นนั่นเอง โดยมีค่าสูงสุดที่ 34%

### 3.2 อิทธิพลของ $\Phi$

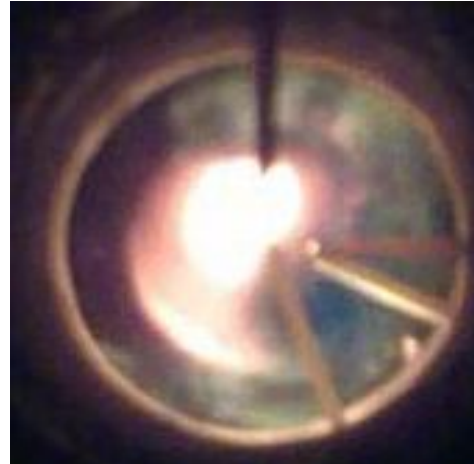
รูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของ  $\Phi$  ต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ที่  $CL = 5$  kW ของกรณี  $X_{PB} = 0$  มม เพิ่ม  $\Phi$  โดยการทำได้ด้วยการลดอัตราการไหลของอากาศ แต่รักษาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้คงที่ พบว่า การลดลงของ  $\Phi$  ทำให้เปลวไฟเลื่อนเข้าไปติดด้าน upstream มากขึ้น เนื่องจากการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดีขึ้น

รูปที่ 7 แสดงอิทธิพลของค่า  $\Phi$  ต่อ CO และ  $NO_x$  ที่  $CL = 5$  kW ของกรณี  $X_{PB} = 0$  มม พบว่าอัตราการปลดปล่อยมลพิษทั้ง CO และ  $NO_x$  ต่ำมาก และแกว่งตัวอยู่ในช่วงแคบๆ คือ  $NO_x$  อยู่ในช่วง 30-40 ppm และ CO ประมาณ 20-30 ppm เพราะเป็นการเผาไหม้แบบ non-premixed ส่งผลให้การผสมกันระหว่าง เชื้อเพลิงกับอากาศในห้องเผาไหม้ดีขึ้นและ





รูปที่ 9 (ก) เปลวไฟกรณี  $X_{PB} = 0$  มม



รูปที่ 9 (ข) เปลวไฟกรณี  $X_{PB} = -20$  มม

รูปที่ 9 เปลวไฟการเผาไหม้แบบ free flame (ไม่มีวัสดุพอรุน PE)

ได้กลไกการเผาไหม้แบบ staged combustion แต่อย่างไรก็ตามหัวเผาที่ควรหลีกเลี่ยงการทำงานที่  $\Phi < 0.39$  ซึ่งมีค่า 490 ppm และ  $\Phi > 0.79$  ซึ่งมีค่าเพราะสูงกว่า 600 ppm เนื่องจากเข้าใกล้ขอบเขตการเผาไหม้เป็นผลให้ CO มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของ  $\Phi$  ต่อ  $\eta_{rad}$  และ  $\eta_{pre}$  ที่  $CL = 5$  kW และ  $X_{PB} = 0$  มม พบว่า  $\Phi$  ไม่มีอิทธิพลต่อ  $\eta_{rad}$  เนื่องจากโครงสร้างอุณหภูมิกายในวัสดุพอรุนทั้งสองชนิด มีลักษณะใกล้เคียงกัน

รูปที่ 9 แสดงเปลวไฟการเผาไหม้แบบ free flame (ไม่มีวัสดุพอรุน PE) เมื่อมีการจ่ายอากาศในรูปแบบต่างๆ โดย รูปที่ 9 (ก) เปลวไฟกรณี  $X_{PB} = 0$  มม (Annular flow) และรูปที่ 9 (ข) เปลวไฟกรณี  $X_{PB} = -20$  มม (Swirling flow) เพื่อเป็นการยืนยันสมมติฐานข้างต้น ว่าการเผาไหม้ที่  $X_{PB} = 0$  จะได้เปลวไฟแบบ diffusion ส่วนการเผาไหม้ที่  $X_{PB} = -20$  มม จะได้เปลวไฟแบบ premixed พบว่า การเผาไหม้ที่  $X_{PB} = 0$  มม ให้เปลวไฟที่สว่าง ซึ่งเป็นลักษณะของ

ลักษณะของเปลวไฟแบบ premixed ดังรูป 8 (ข) ซึ่งเป็นจริงตามสมมติฐานเบื้องต้น

#### 4. สรุปผลการศึกษา

การเผาไหม้ในหัวเผาวัสดุพอรุนร่วมกับหลักการเผาไหม้แบบ non-premixed สามารถลด CO และ  $NO_x$  ได้สูงสุด 1.8 เท่า และ 2 เท่าตามลำดับ ขณะเดียวกันยังให้ประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนสูงกว่า 35% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี premixed โดยกรณี non-premixed มี  $\eta_{rad}$  สูงสุด 31% และกรณี premixed มี  $\eta_{rad}$  สูงสุด 23% ส่วนการเปลี่ยนค่า  $\Phi$  โดยที่ยังคงเผาไหม้แบบ non-premixed ให้ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาอิทธิพล  $X_{PB}$  ซึ่งปลดปล่อย CO,  $NO_x$  อยู่ในเกณฑ์ต่ำ (25 ppm และ 35 ppm ตามลำดับ) และให้ประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนประมาณ 30%เช่นกัน และจากรูปถ่ายการเผาไหม้แบบ free flame พบว่า  $X_{PB} = -20$  มม และ  $X_{PB} = 0$  มม ได้เปลวไฟแบบ premixed และ diffusion ตามลำดับ

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Howell, J.R., Hall, M.J. and Ellzey, J.L., 1996, "Combustion Hydrocarbon Fuels within Porous Inert Media", Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 22, pp. 121-145.
- [2] Weinberg, F.J., 1986, "Heat-recalculating Burner : Principles and Some Recent Developments", Combustion Science and Technology, Vol. 121, pp. 3-22.
- [3] Y. Huang, C.Y.H. Chao , P. Cheng, 2002, Effects of preheating and operation conditions on combustion in a porous medium, International Journal of Heat and Mass Transfer 45 (2002) 4315-4324.
- [4] Geir J. RØrtveit, Klaus Zepter, Øyvind Skreiberg, Morten Fossum and Johan E. Hustad, A comparison of low- $NO_x$  burners for combustion of methane and hydrogen mixtures, Proceedings of the Combustion Institute, Volume 29, 2002/pp. 1123–1129.
- [5] S.K. Alavandi, A.K. Agrawal, Experimental study of combustion of hydrogen-syngas/methane fuel mixtures in a porous burner, International Journal of Hydrogen Energy 33 ( 2008 ) 1407–1415.
- [6] S.G. Kim ,T. Yokomori ,N.I. Kim ,S. Kumar . Maruyama ,K. Maruta ,Flame behavior in heated porous sand bed, Proceedings of the Combustion Institute 31 (2007) 2117–2124.
- [7] พีรยุทธ ทองเต็ม(2009) ,การศึกษากาการเผาไหม้แบบเป็นชั้นของหัวเผาวัสดุพรุนสำหรับเชื้อเพลิงแก๊สและเชื้อเพลิงเหลว ,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี