

อิทธิพลของวัสดุพอร์นตัวแผ่รังสีต่อการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟ ชนิดวัสดุพอร์นโดยใช้เชื้อเพลิงเหลว

Effect of Porous Emitter on the Combustion of the Liquid Porous Burner

บัณฑิต กฤตาคม ทวีศิลป์ เล็กประดิษฐ์*

ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของวัสดุพอร์น

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

Bundit Krittacom Taveesin Lakpradit*

Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan,

Amphur Muang, Nakhon Ratchasima 30000

Tel : 08-0027-4156 E-mail: sugar_tree@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพอร์น เพื่อศึกษากลไกการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงและอิทธิพลของวัสดุพอร์นที่เป็นตัวแผ่รังสี ชุดทดสอบแบ่งได้เป็น 4 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของห้องจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนที่สองเป็นวัสดุพอร์นหัวพ่นไฟ (Porous Burner, PB) หรือวัสดุพอร์นตัวดูดซับ (porous absorber) จะใช้หินตุ้ปลาที่มีค่าความพรุน (porosity, ϕ) เท่ากับ 0.45 ส่วนที่สามคือห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการจ่ายอากาศหมุนวนแบบสามทางและเป็นตำแหน่งของเปลวไฟ ส่วนสุดท้ายคือวัสดุพอร์นตัวแผ่รังสี (Porous Emitter, PE) จะใช้หินตุ้ปลาที่มีค่าความพรุน 2 ค่าในการทดสอบ คือ 0.45 และ 0.52 หัวพ่นไฟในลักษณะนี้ PE จะถูกติดตั้งที่ด้านล่างของ PB โดยห่างกันเป็นระยะ 20 cm การป้อนเชื้อเพลิงเหลวเข้าสู่ระบบจะใช้วิธีการหยดจากด้านบนผ่าน PB เพื่อให้เกิดการระเหยเป็นไอพร้อมที่จะเผาไหม้ อุณหภูมิตลอดแนวความยาวของหัวพ่นไฟถูกตรวจวัดและแสดงในรูปโครงสร้างทางอุณหภูมิ (temperature profile) เพื่ออธิบายถึงกลไกการระเหย

ของน้ำมันเชื้อเพลิงและพฤติกรรมการเผาไหม้ขณะเดียวกันแก๊สไอเสียก็ถูกตรวจวัดที่ตำแหน่งทางออกของระบบซึ่งอยู่ต่ำกว่า PE จากการศึกษาพบว่าอัตราการจ่ายอากาศหมุนวน (swirling air, Q_A) เพิ่มขึ้นโครงสร้างทางอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงทั้งที่มีและไม่มีการติดตั้ง PE หากพิจารณาอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel input, Q_F) พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม Q_F ที่เพิ่มขึ้น และได้ข้อสังเกตว่ากรณีที่ PE มีค่า ϕ เท่ากับ 0.52 จะให้โครงสร้างทางอุณหภูมิและการเผาไหม้ที่ดีกว่า

คำหลัก น้ำมันดีเซล หัวพ่นไฟวัสดุพอร์น โครงสร้างทางอุณหภูมิ

Abstract

The combustion of diesel fuel in the porous burner was examined to investigate evaporation mechanism, combustion behavior and the effect of porous emitter. The test rig was divided into 4 sections. On the first section is fuel injection chamber. Porous burner (PB) or porous absorber,

the pebble having porosity ($\emptyset$) of 0.45, is the second section. The combustion or flame position is located in the third one which three ways swirling air is supplied in this section. The final one is defined as porous emitter (PE) section. The pebble was also used as PE and two porosities of 0.45 and 0.52, respectively, were experimented. PE is installed below PB with distance of 20 cm. The fuel was supplied drop wise from the top through the porous burner and evaporated in the porous media followed by the combustion on the bottom side. Axial profiles of temperature along the burner length were measured to clarify the evaporation and combustion phenomena. The pollutant emission characteristics were monitored at the burner exit. From the experimental investigations, it was found that the temperature profiles decreased with the three ways swirling air flows (Q_A) increasing. On the other hand, the temperature profiles increased with fuel heat input (Q_F). Remarkably, a better combustion and higher temperature profiles were achieved by PE having porosity of 0.52.

Keywords: Diesel fuel, porous burner, temperature profile

1. บทนำ

โดยทั่วไปหัวพ่นไฟ (burner) ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว (liquid fuels) นั้น จะมีวิธีการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยใช้หัวฉีด (atomizer) กระทำกับน้ำมันเชื้อเพลิงให้แตกตัวเป็นฝอยละออง (liquid droplets) ที่ละเอียดมาก ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงให้สูงขึ้น [1] ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากแก๊สร้อนโดยรอบสู่ฝอยละอองน้ำมัน ทำให้อัตราการระเหยกลายเป็นไอสูงขึ้นและผสมคลุกเคล้าระหว่างไอน้ำมันกับอากาศให้สม่ำเสมอยิ่งขึ้น จนทำให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์และสามารถนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวยังมีจุดอ่อน คือ มีความจำเป็นต้องใช้หัวฉีด

ความดันสูงเพื่อทำให้เกิดการแตกตัวเป็นฝอยละออง หัวฉีดเผาไหม้ต้องมีขนาดใหญ่เพื่อรองรับการกระจายของฝอยละอองน้ำมันเชื้อเพลิง ส่งผลให้ค่าความเข้มของการเผาไหม้ (combustion intensity) มีค่าต่ำ และยังต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของละอองน้ำมัน (ballistic characteristics) อีกด้วย จากข้อเสียดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดนำเอาวัสดุพอร์มาประยุกต์ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว ซึ่งวัสดุพอร์มีลักษณะเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูง ซึ่งจะส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก นอกจากนี้วัสดุพอร์ยังมีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุทั่วไป ทำให้วัสดุพอร์สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนระหว่างการพาและการแผ่รังสี ความร้อนได้เป็นอย่างดี จากลักษณะเด่นของวัสดุพอร์ดังกล่าว นักวิจัยหลายกลุ่ม [2-6] ได้นำเอาวัสดุพอร์มาประยุกต์ใช้กับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยวิธีการหยดเชื้อเพลิง ลงบนชั้นวัสดุพอร์แทนการสเปรย์ซึ่งต้องพึ่งพาหัวฉีดความดันสูง จากการศึกษาเชิงทดลองของการเผาไหม้แบบใหม่นี้ พบว่าเชื้อเพลิงระเหยภายในชั้นวัสดุพอร์ และผสมกับอากาศบริเวณทางออกของชั้นวัสดุพอร์ สามารถเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ มีมลภาวะต่ำ หัวเผาไหม้มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับการเผาไหม้แบบสเปรย์ปกติ (conventional open spray flame) และไม่จำเป็นต้องใช้หัวฉีดความดันสูง ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งวัสดุพอร์ในระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบหยดนี้ จะมีบทบาทสำคัญมากในการส่งเสริมการระเหย เนื่องจากแสดงพฤติกรรมเป็นตัวกระจายเชื้อเพลิงเหลว และตัวอุ้มเชื้อเพลิงที่ดี ทั้งยังมีกลไกการนำและแผ่รังสีความร้อนตลอดทั้งชั้นวัสดุพอร์ นำไปสู่การจุดติดไฟได้เองพร้อมทั้งช่วยส่งเสริมการเผาไหม้

จากผลการทดลองของนักวิจัยดังกล่าวข้างต้น พบข้อสังเกตที่น่าสนใจคือความร้อนที่ได้จากเปลวไฟและแก๊สไอเสียยังมีอุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงได้มีแนวความคิดที่จะพัฒนาปรับปรุงและใช้ประโยชน์จากความร้อนของเปลวไฟหรือแก๊สไอเสียที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดยงานวิจัยนี้ได้สร้างหัวพ่นไฟหรืออุปกรณ์การทดลองที่มีขนาด วิธีการทดลอง และเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) คล้ายคลึงกับของ Amatachaya และ คณะ [5] พร้อมทั้งติดตั้ง วัสดุพอร์

อีกชุดหนึ่งซึ่งเรียกว่า วัสดุพรุนตัวแผ่รังสี (Porous Emitter, PE) ที่ทางออก (downstream) ของระบบ ให้ต่ำลงมาจากวัสดุพรุนหัวพ่นไฟ (Porous Burner, PB) เป็นระยะห่าง 20 cm และที่ระยะห่างระหว่าง PB และ PE นี้ เป็นตำแหน่งของการจ่ายอากาศแบบหมุนวน (Swirling air, Q_A) เข้าสู่ห้องเผาไหม้ สำหรับ PE จะทำหน้าที่กักเก็บเอาความร้อนของไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงไว้ทำให้ไอเสียก่อนออกจากหัวพ่นไฟมีอุณหภูมิลดต่ำลงเป็นการลดมลภาวะทางอ้อมด้วย ขณะเดียวกัน PE ยังแผ่รังสีย้อนกลับไปยัง PB อันเป็นการส่งเสริมการระเหยและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ใช้หินตุ้ปลาเม็ดกลมอัดแน่นในลักษณะของ Packed-bed เป็นวัสดุพรุนทั้งสองส่วนของ PB และ PE เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาถูก และสามารถก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ [3, 5]

2. รายการสัญลักษณ์

PB วัสดุพรุนหัวพ่นไฟ (Porous Burner)

PE วัสดุพรุนตัวแผ่รังสี (Porous Emitter)

ppm หน่วยวัดความเข้มข้นของแก๊สต่อล้านส่วน

Q_A อัตราการจ่ายอากาศหมุนวน (l/min)

Q_F อัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (cc/min)

T อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

T_b อุณหภูมิจุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{\max}$ อุณหภูมิสูงสุด ($^{\circ}\text{C}$)

V_S ปริมาตรช่องว่าง (cm^3)

V_T ปริมาตรทั้งหมด (cm^3)

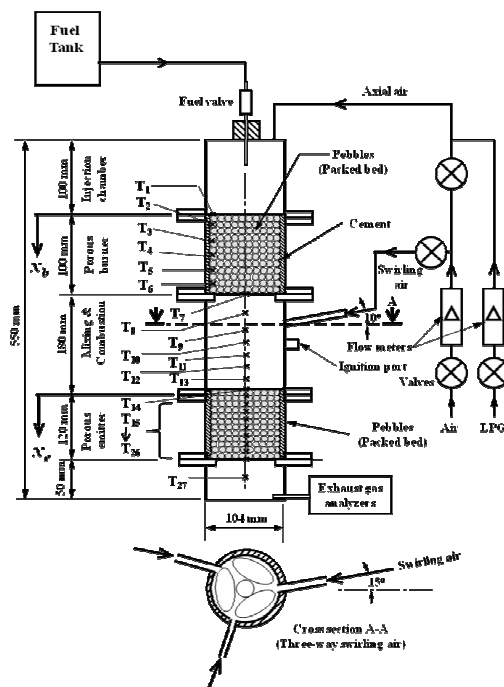
ϕ ค่าความพรุน

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแผนผังของหัวพ่นไฟวัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีการติดตั้งวัสดุพรุนตัวแผ่รังสีซึ่งแบ่งได้ 4 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งห้องจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (injection chamber zone) ส่วนที่สอง วัสดุพรุนหัวพ่นไฟ (porous burner zone) ส่วนที่สาม การนำอากาศเข้ามาคลุกเคล้ากับไอน้ำมันดีเซลเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ (mixing and combustion zone) และส่วนที่ 4

การแผ่รังสีของวัสดุพรุนตัวแผ่รังสี (porous emitter zone)



รูปที่ 1 แผนผังหัวพ่นไฟวัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีการติดตั้งวัสดุพรุนตัวแผ่รังสี

จากส่วนประกอบทั้งหมดหัวพ่นไฟแบบนี้มีหลักการทำงาน คือ น้ำมันเชื้อเพลิงจะจ่ายให้ PB ในลักษณะการหยดจากถังเชื้อเพลิง (fuel tank) ผ่านชุดจ่ายเชื้อเพลิงซึ่งเป็นวาล์วแบบเกลียว (fuel valve) ในช่วงส่วนที่ 1 เมื่อเชื้อเพลิงหยดลงถึง PB (ส่วนที่ 2) ที่มีอุณหภูมิสูงเพียงพอต่อการระเหยจะทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอและไหลผ่านลงมาถึงบริเวณห้องเผาไหม้ จะเกิดผสมกับอากาศหมุนวน ที่จ่ายมาจากด้านข้าง เกิดการคลุกเคล้า และการเผาไหม้ในที่สุด ซึ่งเปลวไฟจะเกิดอยู่ในส่วน mixing and combustion และแผ่รังสีไปทุกทิศทุกทาง โดยเฉพาะ 2 ทิศทางที่มีนัยสำคัญ กล่าวคือการแผ่รังสีไปยัง PE และย้อนกลับไป PB ในกรณีทิศทาง PE จะมีการดูดซับเอาพลังงานความร้อนจากเปลวไฟไว้ นอกจากนี้แก๊สไอเสียก็ไหลออกจากระบบผ่าน PE ส่งผลให้ PE กักเก็บพลังงานจากแก๊สไอเสียไว้ได้ด้วยการพาและการนำความร้อนเช่นกัน หลังจากนั้นพลังงานที่กักเก็บไว้จะแผ่รังสีความร้อนย้อนกลับไปเสริมกับการแผ่รังสีของเปลวไฟ PB ช่วยส่งเสริม

การระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นไอได้หมดก่อนให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์และต่อเนื่อง ตรงกับที่ที่มีการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบ

ด้วยเหตุนี้เพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์การเผาไหม้กลไกการระเหยของเชื้อเพลิง และการส่งถ่ายความร้อนระหว่างชั้นวัสดุพูนกับเปลวไฟที่เกิดขึ้น อุณหภูมิตามแนวแกน และแก๊สไอเสีย จะถูกตรวจวัดโดยใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิดเอ็น (N-Type Thermocouples) จำนวน 27 ชิ้น ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 mm จะถูกติดตั้งในระบบโดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามตำแหน่งติดตั้งได้ดังนี้ กลุ่มที่หนึ่ง เทอร์โมคัปเปิลจำนวน 7 ชิ้น จะติดตั้งในส่วน PB ตามแนวแกนที่ผิวด้านในของปูนทนไฟ (cement) และสัมผัสกับผิวด้านนอกของวัสดุพูน สาเหตุที่ไม่สอดเทอร์โมคัปเปิลจนทะลุถึงตำแหน่งตรงกลาง เนื่องจากไม่ต้องการให้ขัดขวางการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงผ่าน PB ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อการการระเหยได้ กลุ่มที่สอง จำนวน 7 ชิ้น จะติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางตามแนวแกนของส่วน Mixing and combustion และกลุ่มสุดท้ายเทอร์โมคัปเปิล จำนวน 13 ชิ้น ถูกติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางตามแนวแกนของส่วน PE สำหรับปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งไหลออกจากระบบทางด้านล่างผ่าน PE จะถูกตรวจวัดหาปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (exhaust analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น 350 XL

3.2 การทดลองหาค่าความพูน

วิธีการหาค่าความพูน (porosity, ϕ) ของวัสดุพูนแบบเม็ดกลมอัดแน่น (หินตุ้ปลา) มีขั้นตอนดังนี้ นำหินตุ้ปลาใส่ลงในภาชนะรูปทรงกระบอกที่มีความสูง 10 cm และเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 9.5 cm จนเต็มภาชนะ เติมน้ำให้เต็มภาชนะหรือถึงระดับด้านบนผิววัสดุพูนทิ้งไว้ 5 นาทีเพื่อให้ น้ำซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุพูนแล้วเทน้ำออกจากภาชนะ จากนั้นตวงน้ำที่ทราบปริมาตรแน่นอนด้วยภาชนะตวงในที่นี้คือ บีกเกอร์ (Beaker) แล้วทำการเติมน้ำอีกครั้งให้เต็มภาชนะจนถึงระดับผิวด้านบนของวัสดุพูน อ่านค่าปริมาตรน้ำที่เต็มลงไปจากบีกเกอร์ ปริมาตรน้ำที่เต็มลงไปนี้ คือ ปริมาตรช่องว่างที่น้ำเข้าไปแทนที่ได้

(Void-space volume, V_s) นำปริมาตรน้ำนี้ไปหารกับปริมาตรทรงกระบอกภายในทั้งหมด (Total or bulk volume, V_T) จะสามารถคำนวณหาค่า ϕ ได้จาก

$$\text{Porosity } (\phi) = \frac{V_s}{V_T} \quad (1)$$

ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้หินตุ้ปลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 และ 1.5 cm ซึ่งมีค่า V_s เป็น 281 และ 330 cm³ ดังนั้นจากสมการ (1) ค่า ϕ ที่ได้คือ 0.45 และ 0.52 ตามลำดับ

3.3 วิธีการทดลอง

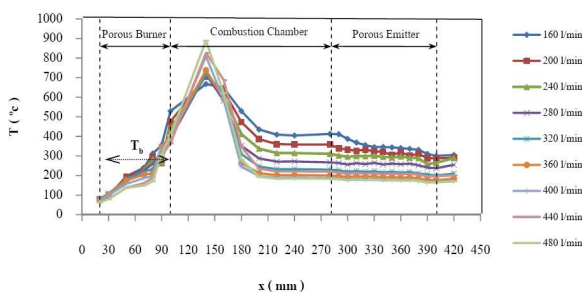
วิธีการและเงื่อนไขในการทดลองนี้จะทำการศึกษาการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีการติดตั้ง PE โดยจะจ่ายน้ำมันทั้งหมด 5 ค่า คือ 1.1, 2.09, 3.85, 5.36 และ 6.85 cc/min ตามลำดับ สำหรับอากาศหมุนวนจะจ่ายเริ่มต้นที่ 160 l/min และเพิ่มทีละ 40 l/min ไปจนกว่าหัวพ่นไฟจะดับ (flame extinction) แต่ไม่เกิน 700 l/min เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ เมื่อระบอบอยู่ในสภาวะคงตัว (steady state) ทำการตรวจวัดอุณหภูมิตลอดความยาวของระบบ พร้อมทั้งวัดปริมาณไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

4. ผลการทดลอง

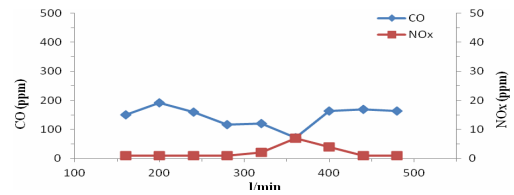
4.1 อิทธิพลของ Q_A ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิ

รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศหมุนวนสามทาง (Q_A) ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟที่มีการติดตั้ง PE ให้กับระบบ ที่สภาวะการเผาไหม้น้ำมันดีเซล $Q_F = 3.89$ cc/min โดยที่ PB และ PE มีค่าความพูนเท่ากันคือ $\phi = 0.45$ โครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟแบ่งเป็น 3 ช่วงคือช่วง PB, ช่วง combustion chamber และช่วง PE พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิในช่วง combustion chamber จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อ $Q_A = 160$ l/min และลดลงตาม Q_A ที่เพิ่มขึ้น แต่หากพิจารณาอุณหภูมิสูงสุด (Maximum Temperature, T_{max}) ซึ่งตรวจพบ ที่ตำแหน่ง $x = 145$ mm (T_8) กลับพบว่าที่ค่า $Q_A = 160$ l/min มีค่าต่ำสุด และ T_{max} เพิ่มขึ้นตาม Q_A สามารถอธิบาย

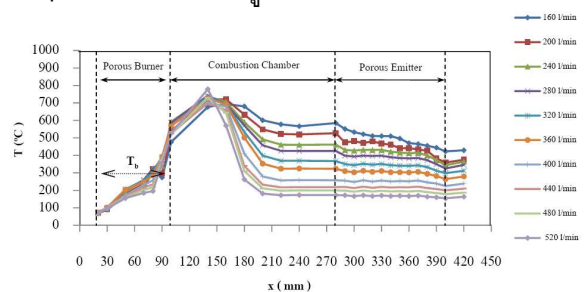
ได้ด้วยตำแหน่งของเปลวไฟ (flame position) นั่นคือ T_{max} ที่แท้จริงไม่ได้ถูกวัดหรือไม่อยู่ในตำแหน่งนี้ และหากพิจารณาที่ตำแหน่งผิวด้านล่างของ PB (T_7 หรือ $x = 100$) จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิ สูงที่สุดเกิดขึ้นเมื่อ $Q_A = 160$ l/min ซึ่งแสดงว่า เปลวไฟเคลื่อนตัวเข้าหา PB ตาม Q_A เพื่อให้ได้ การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด สำหรับโครงสร้างทางอุณหภูมิในวัสดุพอร์ทั้งสอง (PB และ PE) จะลดลงตาม Q_A ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของอากาศส่วนเกิน (excess air) กล่าวคือเมื่อระบบได้รับอากาศเกินความจำเป็นส่งผลให้อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับไอน้ำมันดีเซลเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้ไอดีบาง (lean combustion) ย่อมส่งผลทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ CO และ NO_x ที่เกิดขึ้นใน รูปที่ 3 (กรณี PB และ PE ที่มีค่า ϕ เท่ากับ 0.45 และ 0.45 ภายใต้สภาวะ $Q_F = 3.89$ cc/min) กล่าวคือแม้ว่า Q_A จะเพิ่มขึ้นจนระบบการเผาไหม้อยู่ในสภาวะ excess air แต่ด้วยอิทธิพลของการคลุกเคล้าที่ดีขึ้นระหว่างไอน้ำมันดีเซลกับ swirling air จึงเป็นจุดสำคัญที่ทำให้ปริมาณ CO มีแนวโน้มลดลง สำหรับปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วง 1 - 6 ppm ยังต่ำมากแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพราะระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ มีค่าต่ำ [7] นอกจากนี้ยังได้พบว่าที่ตำแหน่ง T_6 ภายใน PB ของทุก ๆ ค่า Q_A มีค่าอยู่ในช่วง 400 - 500 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำมันดีเซล (Boiling temperature, $T_b \approx 300$ °C) [8] อันเป็นอิทธิพลมาจากการแผ่รังสีของ PE ย้อนกลับมายัง PB ทำให้กลไกการระเหยดีขึ้น



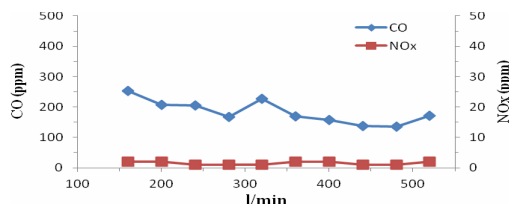
รูปที่ 2 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกน

รูปที่ 3 อิทธิพลของ Q_A ที่มีต่อ CO และ NO_x

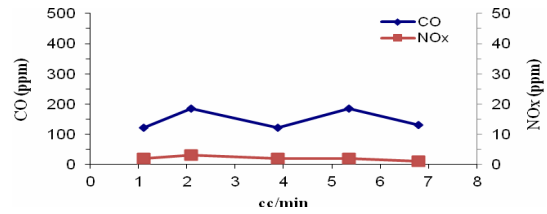
รูปที่ 4 แสดงถึงอิทธิพลของ Q_A ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟที่มีการติดตั้ง PE ให้กับระบบ ในสภาวะการเผาไหม้ $Q_F = 3.89$ cc/min โดยที่ PB กับ PE มีค่า $\phi = 0.45$ และ $\phi = 0.52$ ตามลำดับ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิภายใน PE ลดลงอย่างชัดเจนตาม Q_A ที่เพิ่มขึ้น แต่โครงสร้างทางอุณหภูมิใน PB มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อ Q_A เพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิในช่วง combustion chamber ที่ส่งต่อการแผ่รังสีมายัง PB อธิบายให้ชัดเจนยิ่งขึ้นได้ดังนี้ เมื่อ Q_A เพิ่มขึ้น โครงสร้างทางอุณหภูมิในช่วง combustion chamber ลดลงอย่างชัดเจนโดยเฉพาะเมื่อ $x > 165$ mm (T_9) แต่ตำแหน่ง T_{max} หรือเปลวไฟจะเลื่อนเข้ามาหา PB ตามปริมาณ Q_A ที่สูงขึ้นทำให้ความยาวของเปลวไฟ (Flame length) แคลงปรากฏการณ์เช่นนี้ เกิดจากอิทธิพลการแผ่รังสีของ PE ที่ทำให้การระเหยของน้ำมันดีเซลใน PB ดียิ่งขึ้น จึงเกิดการเผาไหม้ที่ติดตลอดช่วง combustion chamber ของ Q_A ต่ำ ๆ อย่างไรก็ตามอิทธิพล lean combustion หรือ excess air ก็มีผลต่อการเผาไหม้เช่นกัน โดยทำให้โครงสร้างทางอุณหภูมิลดต่ำลงตาม Q_A ที่สูงขึ้น สำหรับปริมาณ CO และ NO_x ที่ตรวจวัดได้ยังคงให้ผลคล้ายคลึงกับกรณี PE ที่มีค่า $\phi = 0.45$ นั่นคือมีแนวโน้มลดลงตาม Q_A และ NO_x ก็มีค่าแทบไม่เปลี่ยนแปลงเพราะอุณหภูมิการเผาไหม้ไม่สูงและกระจายตัวทั่วความยาวหัวพ่นไฟหรือไม่มี peak temperature ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกน



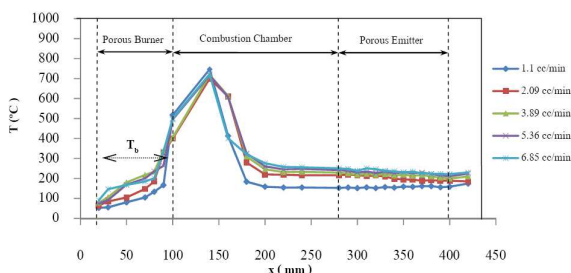
รูปที่ 5 อิทธิพลของ Q_A ที่มีต่อ CO และ NO_x



รูปที่ 7 อิทธิพลของ Q_F ที่มีต่อ CO และ NO_x

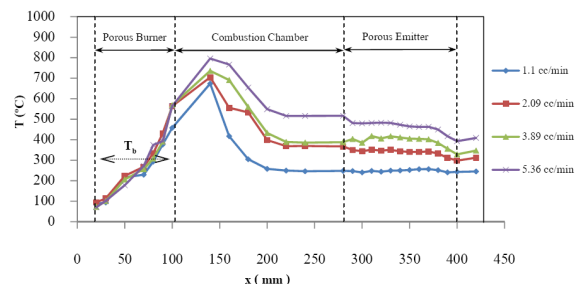
4.2 อิทธิพลของ Q_F ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิ

รูปที่ 6 แสดงอิทธิพล Q_F ที่มีผลต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟที่มีการติดตั้ง PE ให้กับระบบ ในสภาวะการเผาไหม้ $Q_A = 320$ l/min โดยที่ PB และ PE มีค่าความพรุนเท่ากันคือ $\phi = 0.45$ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิตลอดความยาวตามแนวแกนหัวพ่นไฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยมากตาม Q_F ทั้ง ๆ ที่ความเป็นจริงควรเพิ่มอย่างชัดเจน สาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้นี้ คืออิทธิพลของความดันตกคร่อม (pressure drop) ภายในห้องเผาไหม้ รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างอากาศกับไอน้ำมันเชื้อเพลิง ไม่เหมาะสมอยู่ในสภาวะไอดีหนา (rich mixture) เพราะห้องเผาไหม้ได้รับอากาศแค่จาก swirling air และมีค่าคงที่ทำให้ไม่สามารถผสมกับไอเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นได้เต็มที่ ก่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้โครงสร้างทางอุณหภูมิเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังพบว่า flame length ค่อนข้างแคบตามเหตุผลของ pressure drop และ rich mixture ดังสังเกตได้จากปริมาณ CO ที่ตรวจวัดได้ ในรูปที่ 7 มีแนวโน้มค่อนข้างเปลี่ยนแปลงตาม Q_F แสดงว่าการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นไม่ดีขึ้นตาม Q_F ที่เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณ NO_x แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน เพราะอุณหภูมิการเผาไหม้มีระดับต่ำ

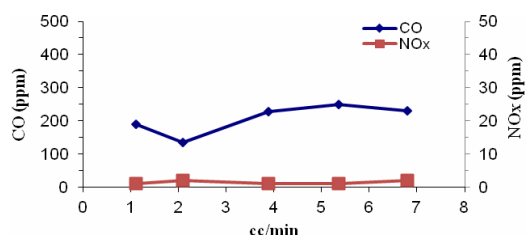


รูปที่ 6 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกน

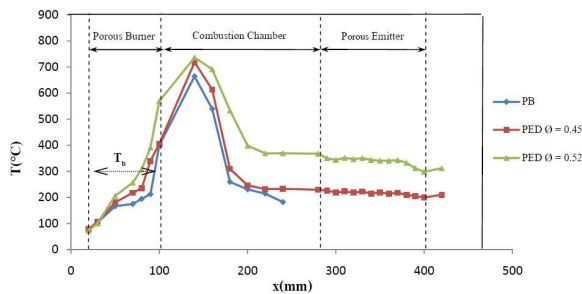
รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของ Q_F ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิที่สภาวะ $Q_A = 320$ l/min โดยที่ PB และ PE มีค่า $\phi = 0.45$ และ 0.52 ตามลำดับ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิภายในวัสดุพอร์นทั้งสอง PB และ PE เพิ่มขึ้นตามระดับ Q_F ที่เพิ่มขึ้น หากพิจารณาที่ห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) พบว่าเมื่อ $Q_F = 5.36$ cc/min มีโครงสร้างทางอุณหภูมิสูงที่สุดอันเนื่องมาจากระบบได้รับเชื้อเพลิงมาก และสอดคล้องกับปริมาณ CO ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Q_F อันเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นนั้น มีสภาวะส่วนผสมหนา (Rich combustion) และค่า NO_x ที่เกิดขึ้น มีค่าแทบไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ยังไม่สูง ดังแสดงในรูปที่ 9



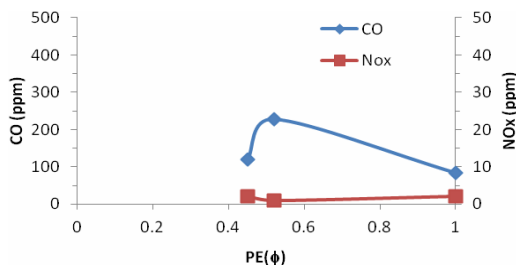
รูปที่ 8 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกน



รูปที่ 9 อิทธิพลของ Q_F ที่มีต่อ CO และ NO_x



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบโครงสร้างทางอุณหภูมิ

รูปที่ 11 การเปรียบเทียบปริมาณ CO และ NO_x

4.3 การเปรียบเทียบโครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟที่มีค่า ϕ ของ PE ต่างกัน

รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟที่มีการติดตั้ง PE แต่มีค่าความพรุนต่างกัน 2 ค่าคือ $\phi = 0.45$ และ 0.52 โดยทำการทดลองที่สภาวะ $Q_F = 3.89$ cc/min และ $Q_A = 320$ l/min จะพบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิในกรณีที่ไม่มีการติดตั้ง PE มีค่าต่ำกว่ากรณีที่มีการติดตั้ง PE เพราะความร้อนที่ได้จากเปลวไฟถูกปล่อยสู่บรรยากาศไม่มีการนำกลับมาใช้ในระบบแต่หากเปรียบเทียบอิทธิพลของ PE จะสังเกตได้ว่าในกรณีที่ PE มีค่า $\phi = 0.45$ จะมีโครงสร้างทางอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีที่มีค่า $\phi = 0.52$ เนื่องจากวัสดุที่มีค่า $\phi = 0.52$ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูงกว่า ทำให้สามารถดูดซับหรือกักเก็บความร้อนจากการพาความร้อน (heat convection) ของแก๊สไอเสียได้เต็มที่ส่งผลให้มีการแผ่รังสีย้อนกลับไปยัง PB ได้ดีและช่วยส่งเสริมกลไกการแผ่รังสีของน้ำมันดีเซลเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สไอเสียได้แสดงไว้ในรูปที่ 11 พบว่าระดับ CO ของกรณีติดตั้ง PE จะสูงกว่า กรณีไม่ติดตั้ง PE เพราะมีอากาศส่วนที่สอง (secondary air) จากภายนอกไหลเข้ามา

ในระบบช่วยเกิดการเผาไหม้ให้ดีขึ้นและบริเวณดังกล่าว มี pressure drop น้อย อย่างไรก็ตามระดับ CO มีปริมาณใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 100 - 200 ppm และปริมาณ NO_x ทุกกรณีล้วนมีค่าค่อนข้างต่ำไม่เกิน 4 ppm เพราะอุณหภูมิการเผาไหม้ไม่สูง

5. สรุปผลการทดลอง

1. โครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟที่มีการติดตั้ง PE มีแนวโน้มลดลงตามการจ่ายอากาศหมุนวน (Q_A) ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนผสมมีค่าบาง (lean mixture) หรืออากาศส่วนเกิน (excess air) ที่มีค่าสูงขึ้น

2. โครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) เนื่องจากระบบการเผาไหม้ได้รับพลังงานหรือปริมาณเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น

3. โครงสร้างทางความร้อนของหัวพ่นไฟกรณีที่มีการติดตั้ง PE จะมีค่าสูงกว่ากรณีไม่มี PE เนื่องจากมีกลไกการระเหยที่ดีกว่า จากอิทธิพลของการแผ่รังสีย้อนกลับของ PE มายัง PB

4. โครงสร้างทางความร้อนของหัวพ่นไฟกรณีที่ PE มีค่า $\phi = 0.52$ จะมีค่าสูงกว่ากรณีที่มี $\phi = 0.45$ เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า

5. ปริมาณ CO ของหัวพ่นไฟมีแนวโน้มลดลงตาม Q_A ที่เพิ่มขึ้น แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม Q_F ที่เพิ่มขึ้น และมีปริมาณไม่เกิน 250 ppm สำหรับปริมาณ NO_x ทุกกรณีในงานวิจัยนี้มีค่า ไม่เปลี่ยนแปลง และมีปริมาณไม่เกิน 6 ppm เพราะอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ได้มีระดับค่อนข้างต่ำ

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (มทร.อีสาน) ที่ได้สนับสนุนเงินทุนเพื่อใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มทร.อีสาน ซึ่งประกอบไปด้วย นายณัฏฐกร สายสิญจน์ นายอนุกร โมบขุนทด และนายสงัด แสนดี ที่ได้ช่วยเก็บข้อมูลในการทดลองของงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] บัณฑิต กฤดาคม. 2554. หัวฟ่นไฟอุตสาหกรรม
 ละครประยุกต์ใช้วัสดุพรุนในหัวฟ่นไฟ. วารสาร
 วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. 12 (1).
 มกราคม 2554. หน้า 76 – 87.
- [2] Takami, H., Suzuki, T., Itaya, Y., and Hasatani,
 M. 1998. Performance of Flammability of
 Kerosene and NO_x emission in the porous
 Burner. Fuel. Vol.77 (3). pp. 165-171.
- [3] Jugjai, S., Wongpanit, N., Laoketkan, T., and
 Nokkaew, S. 2002. The combustion of liquid
 fuel using a porous medium. Experimental
 Thermal and Fluid Science. Vol.26. pp.15-23.
- [4] Jugjai, S. and Polmart, N. 2003. Enhancement
 of evaporation and combustion of liquid fuels
 through porous media. Experimental Thermal
 and Fluid Science. Vol.27. pp. 901-909.
- [5] Amatachaya, P. and Krittacom, B. 2009. The
 combustion of liquid fuels using a packed bed.
 Proceeding of International Conference on
 Power Engineering 2009 (ICOPE- 09), Kobe,
 JAPAN.
- [6] บัณฑิต กฤดาคม. 2553. หัวฟ่นไฟแบบ
 วัสดุพรุนโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง. วารสาร
 วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 21 (2).
 กรกฎาคม 2553. หน้า 85 – 92.
- [7] สำเร้ง จักรใจ. 2547. การเผาไหม้, กรุงเทพฯ:
 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] Annamalai, K. and Puri, I. K. 2007. Combustion
 Science and Engineering, CRC Press, New
 York.