

**การศึกษาอิทธิพลของวัสดุพรุนตัวแปรรังสีต่อการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟ
ชนิดวัสดุพรุนโดยใช้เชื้อเพลิงเหลว
Study the Effect of Porous Emitter on the Combustion
of the Liquid Porous Burner**

ทวีศิลป์ เล็กประดิษฐ์* และ บัณฑิต กฤดาคม

ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพรุน

(Development In Technology Of Porous Materials Research Laboratory: DITO-Lab)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 744 ถนนสุรนารายณ์ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: E-mail: sugar_tree@hotmail.com, โทรศัพท์: 080-0274156

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพรุน เพื่อศึกษากลไกการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงและอิทธิพลของวัสดุพรุนที่เป็นตัวแปรรังสี ชุดทดสอบแบ่งได้เป็น 4 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของห้องจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนที่สองเป็นวัสดุพรุนหัวพ่นไฟ (Porous burner, PB) หรือวัสดุพรุนตัวดูดซับ (Porous absorber) จะใช้หินตุ้ปลาที่มีค่าความพรุน (Porosity, ϕ) เท่ากับ 0.45 ส่วนที่สามคือห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการจ่ายอากาศหมุนวนแบบสามทางและเป็นตำแหน่งของเปลวไฟ ส่วนสุดท้ายคือวัสดุพรุนตัวแปรรังสี (Porous emitter, PE) จะใช้หินตุ้ปลาที่มีค่าความพรุน 2 ค่าในการทดสอบ คือ 0.45 และ 0.52 หัวพ่นไฟในลักษณะนี้ PE จะถูกติดตั้งที่ด้านล่างของ PB โดยห่างกันเป็นระยะ 20 เซนติเมตร การป้อนเชื้อเพลิงเหลวเข้าสู่ระบบจะใช้วิธีการหยดจากด้านบนผ่าน PB เพื่อให้เกิดการระเหยเป็นไอพร้อมที่จะเผาไหม้ อุณหภูมิตลอดแนวความยาวของหัวพ่นไฟถูกตรวจวัดและแสดงในรูปโครงสร้างทางอุณหภูมิ (Temperature profile) เพื่ออธิบายถึงกลไกการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงและพฤติกรรมของการเผาไหม้ ขณะเดียวกันแก๊สไอเสียก็ถูกตรวจวัดที่ตำแหน่งทางออกของระบบซึ่งอยู่ต่ำกว่า PE จากการศึกษาพบว่าอัตราการจ่ายอากาศหมุนวน (Swirling air, Q_A) เพิ่มขึ้นโครงสร้างทางอุณหภูมิมิมีแนวโน้มลดลงทั้งที่มีและไม่มีติดตั้ง PE หากพิจารณาอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel input, Q_F) พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม Q_F ที่เพิ่มขึ้น และได้ข้อสังเกตว่ากรณีที่ PE มีค่า ϕ เท่ากับ 0.52 จะให้โครงสร้างทางอุณหภูมิและการเผาไหม้ที่ดีกว่า

คำหลัก: น้ำมันดีเซล, หัวพ่นไฟวัสดุพรุน, โครงสร้างทางอุณหภูมิ

Abstract

The combustion of diesel oil 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. 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 dropwise 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.

Keyword: Diesel oil, Porous burner, Temperature profile

1. บทนำ

โดยทั่วไปหัวพ่นไฟ (Burner) ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว (Liquid fuels) นั้น จะมีวิธีการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยใช้หัวฉีด (Atomizer) กระทำกับน้ำมันเชื้อเพลิงให้แตกตัวเป็นฝอยละออง (Liquid droplets) ที่ละเอียดมาก ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงให้สูงขึ้น [1] ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากแก๊สร้อนโดยรอบสู่ผิวละอองน้ำมัน ทำให้อัตราการระเหยกลายเป็นไอสูงขึ้นและผสมคลุกเคล้าระหว่างไอน้ำมันกับอากาศให้สม่ำเสมอยิ่งขึ้น จนทำให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์และสามารถนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวยังมีจุดอ่อน คือ มีความจำเป็นต้องใช้หัวฉีดความดันสูงเพื่อทำให้เกิดการแตกตัวเป็นฝอยละออง ห้องเผาไหม้ต้องมีขนาดใหญ่เพื่อรองรับการฟุ้งกระจายของฝอยละอองน้ำมันเชื้อเพลิง ส่งผลให้ค่าความเข้มของการเผาไหม้ (Combustion intensity) มีค่าต่ำ และยังต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของละอองน้ำมัน (Ballistic characteristics) อีกด้วย จากข้อเสียดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดว่าเอาวัสดุพอร์มาประยุกต์ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว ซึ่งวัสดุพอร์มีลักษณะเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูง ซึ่งจะส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก นอกจากนี้วัสดุพอร์ยังมีค่า

ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุที่บดทั่วไป ทำให้วัสดุพอร์สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนระหว่างการพาและการแผ่รังสีความร้อนได้เป็นอย่างดี

จากลักษณะเด่นของวัสดุพอร์ดังกล่าว นักวิจัยหลายกลุ่ม [2-6] ได้นำเอาวัสดุพอร์มาประยุกต์ใช้กับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยวิธีการหยดเชื้อเพลิงลงบนชั้นวัสดุพอร์แทนการสเปรย์ซึ่งต้องพึ่งพาหัวฉีดความดันสูง จากการศึกษาเชิงทดลองของการเผาไหม้แบบใหม่นี้พบว่าเชื้อเพลิงระเหยภายในชั้นวัสดุพอร์และผสมกับอากาศบริเวณทางออกของชั้นวัสดุพอร์สามารถเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ มีมลภาวะต่ำ ห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับการเผาไหม้แบบสเปรย์ปกติ (Conventional open spray flame) และไม่จำเป็นต้องใช้หัวฉีดความดันสูง ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งวัสดุพอร์ในระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบหยดนี้ จะมีบทบาทสำคัญมากในการส่งเสริมการระเหย เนื่องจากแสดงพฤติกรรมเป็นตัวกระจายเชื้อเพลิงเหลว และตัวอุ่นไอเชื้อเพลิงที่ดี ทั้งยังมีกลไกการนำและแผ่รังสีความร้อนตลอดทั้งชั้นวัสดุพอร์ นำไปสู่การจุดติดไฟได้เองพร้อมทั้งช่วยส่งเสริมการเผาไหม้

จากผลการทดลองของนักวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบข้อสังเกตที่น่าสนใจคือความร้อนที่ได้จากเปลวไฟและ

แก๊สไอเสียยังมีอุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวความคิดที่จะพัฒนาปรับปรุงและใช้ประโยชน์จากความร้อนของเปลวไฟหรือแก๊สไอเสียที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดยคณะผู้วิจัยได้สร้างหัวพ่นไฟหรืออุปกรณ์การทดลองที่มีขนาด วิธีการทดลอง และเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) คล้ายคลึงกับของ Amatachaya และ Krittacom [5] พร้อมทั้งติดตั้งวัสดุพ่นอีกชุดหนึ่งซึ่งเรียกว่า วัสดุพ่นตัวแผ่รังสี (Porous emitter, PE) ที่ทางออก (Downstream) ของระบบ ให้ต่ำลงไปจากวัสดุพ่นหัวพ่นไฟ (Porous burner, PB) เป็นระยะทาง 20 เซนติเมตร และที่ระยะห่างระหว่าง PB และ PE นี้ เป็นตำแหน่งของการจ่ายอากาศแบบหมุนวน (Swirling air, Q_A) เข้าสู่ห้องเผาไหม้ สำหรับ PE จะทำหน้าที่กักเก็บเอาความร้อนของไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงไว้ ทำให้ไอเสียก่อนออกจากหัวพ่นไฟมีอุณหภูมิต่ำลงเป็นการลดมลภาวะทางอ้อมด้วย ขณะเดียวกัน PE ยังแผ่รังสีย้อนกลับไปยัง PB อันเป็นการส่งเสริมการระเหยและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น วัสดุพ่นทั้งสองส่วน (PB และ PE) ในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างเป็นเม็ดกลมอัดแน่น (Packed-bed sphere) ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้หินตุ้ปลา เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาถูก และสามารถก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ [3, 5]

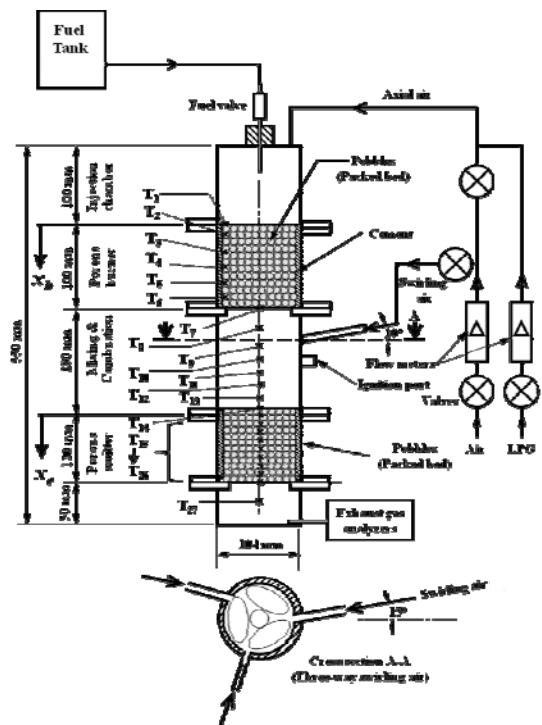
2. รายการสัญลักษณ์

PB	วัสดุพ่นหัวพ่นไฟ (Porous burner)
PE	วัสดุพ่นตัวแผ่รังสี (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

จากรูปที่ 1 แสดงแผนผังของหัวพ่นไฟวัสดุพ่นชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีการติดตั้งวัสดุพ่นตัวแผ่รังสีซึ่งแบ่งได้ 4 ขอบเขต คือ ขอบเขตที่หนึ่งห้องจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (Injection chamber zone) ขอบเขตที่สอง วัสดุพ่นหัวพ่นไฟ (Porous burner zone) ขอบเขตที่สาม การนำอากาศเข้ามาคลุกเคล้ากับไอน้ำมันดีเซลเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ (Mixing and combustion zone) และขอบเขตที่สี่ การแผ่รังสีของวัสดุพ่นตัวแผ่รังสี (Porous emitter zone)



รูปที่ 1 แผนผังหัวพ่นไฟวัสดุพ่นชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีการติดตั้งวัสดุพ่นตัวแผ่รังสี

จากส่วนประกอบทั้งหมดหัวพ่นไฟแบบนี้มีหลักการทำงาน คือ น้ำมันเชื้อเพลิงจะจ่ายให้ PB ในลักษณะการหยดจากถังเชื้อเพลิง (Fuel tank) ผ่านชุดจ่ายเชื้อเพลิงซึ่งเป็นวาล์วแบบเกลียว (Fuel valve) ในช่วงขอบเขตที่ 1 เมื่อเชื้อเพลิงหยดลงถึง PB (ขอบเขตที่ 2) ที่มีอุณหภูมิสูงเพียงพอต่อการระเหยจะทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอและไหลผ่านลงมาถึงบริเวณห้องเผาไหม้ จะเกิดผสมกับอากาศหมุนวน

ที่จ่ายมาจากด้านข้างเกิดการคลุกเคล้า และการเผาไหม้ในที่สุด ซึ่งเปลวไฟจะเกิดอยู่ในขอบเขต Mixing and combustion และแผ่รังสีไปทุกทิศทุกทาง โดยเฉพาะ 2 ทิศทางที่มีนัยสำคัญ กล่าวคือการแผ่รังสีไปยัง PE และย้อนกลับไปที่ PB ในกรณีทิศทาง PE จะมีการดูดซับเอาพลังงานความร้อนจากเปลวไฟไว้ นอกจากนี้แก๊สไอเสียก็ไหลออกจากระบบผ่าน PE ส่งผลให้ PE กักเก็บพลังงานจากแก๊สไอเสียไว้ได้ด้วย การพาและการนำความร้อนเช่นกัน หลังจากนั้นพลังงานที่กักเก็บไว้จะแผ่รังสีความร้อนย้อนกลับไปที่เสริมกับการแผ่รังสีของเปลวไฟ PB ช่วยส่งเสริมการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นไอได้หมด ก่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์และต่อเนื่อง ตรวจจับได้ที่ยังมีการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบ

ด้วยเหตุนี้ด้วยเหตุนี้เพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์การเผาไหม้ กลไกการระเหยของเชื้อเพลิง และการส่งถ่ายความร้อนระหว่างชั้นวัสดุพอร์นกับเปลวไฟที่เกิดขึ้น อุณหภูมิตามแนวแกนและแก๊สไอเสียจึงถูกตรวจวัด ดังรายละเอียดต่อไปนี้ เทอร์โมคัปเปิลชนิดเอ็น (N-type thermocouples) จำนวน 27 ชั้น ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 mm จะถูกติดตั้งในระบบโดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามตำแหน่งติดตั้งได้ ดังนี้ กลุ่มที่หนึ่งเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 7 ชั้น จะติดตั้งในขอบเขต PB ตามแนวแกนที่ผิวด้านในของปูนทนไฟ (Cement) และสัมผัสกับผิวด้านนอกของวัสดุพอร์น สาเหตุที่ไม่สอดเทอร์โมคัปเปิลจนทะลุถึงตำแหน่งตรงกลาง เนื่องจากไม่ต้องการให้ขัดขวางการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงผ่าน PB ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อการไหลของเชื้อเพลิงได้ กลุ่มที่สองจำนวน 7 ชั้น จะติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางตามแนวแกนของขอบเขต Mixing and combustion และกลุ่มสุดท้ายเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 13 ชั้น ถูกติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางตามแนวแกนของขอบเขต PE สำหรับปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งไหลออกจากระบบทางด้านล่างผ่าน PE จะถูกตรวจวัดหาปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของ

ไนโตรเจน (NO_x) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น M350

3.2 การทดลองหาค่าความพรุน

วิธีการหาค่าความพรุน (Porosity, ϕ) ของวัสดุพอร์นแบบเม็ดกลมอัดแน่น (หินตุ้ปลา) มีขั้นตอนดังนี้ นำหินตุ้ปลาใส่ลงในภาชนะรูปทรงกระบอกที่มีความสูง 10 cm และเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 9.5 cm จนเต็มภาชนะ เติมน้ำให้เต็มภาชนะหรือถึงระดับด้านบนผิววัสดุพอร์น ทิ้งไว้ 5 นาทีเพื่อให้ น้ำซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุพอร์นแล้วเทน้ำออกจากภาชนะ จากนั้นตวงน้ำที่ทราบปริมาตรแน่นอนด้วยภาชนะตวงในที่นี้คือ บีกเกอร์ (Beaker) แล้วทำการเติมน้ำอีกครั้ง ให้เต็มภาชนะจนถึงระดับผิวด้านบนของวัสดุพอร์น อ่านค่าปริมาตรน้ำที่เติมลงไปจากบีกเกอร์ ปริมาตรน้ำที่เติมลงไปนี้ คือ ปริมาตรช่องว่างที่น้ำเข้าไปแทนที่ได้ (Void-space volume, V_s) นำปริมาตรน้ำนี้ไปหารกับ ปริมาตรทรงกระบอกภายในทั้งหมด (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

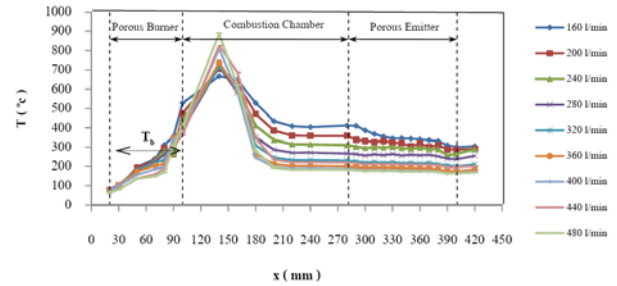
การทดลองเพื่อศึกษาการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพอร์นชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีการติดตั้ง PE นั้น จะจ่ายน้ำมันทั้งหมด 5 ค่า คือ 1.1, 2.09, 3.85, 5.36 และ 6.85 cc/min ตามลำดับ สำหรับอากาศหมุนวนจะจ่ายเริ่มต้นที่ 160 l/min และเพิ่มทีละ 40 l/min ไปจนกว่าหัวพ่นไฟจะดับ (Flame extinction) แต่ไม่เกิน 700 l/min เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ เมื่อระบอบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state) ทำการตรวจวัดอุณหภูมิตลอดความยาวของระบบ พร้อมทั้งวัดปริมาณไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

4. ผลการทดลอง

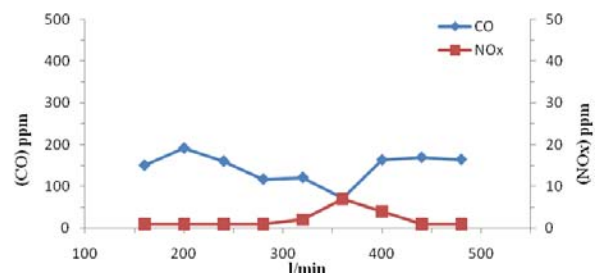
4.1 อิทธิพลของ Q_A ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิจาก

รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศหมุนวนสามทาง (Q_A) ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิจากหัวพันไฟที่มีการติดตั้ง PE ให้กับระบบ ที่สภาวะการเผาไหม้น้ำมันดีเซล $Q_F = 3.89$ cc/min โดยที่ PB และ PE มีค่าความพรุนเท่ากันคือ $\phi = 0.45$ โครงสร้างทางอุณหภูมิจากหัวพันไฟแบ่งเป็น 3 ช่วงคือช่วง PB, ช่วง Combustion chamber และช่วง PE พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิจากในช่วง Combustion chamber จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อ $Q_A = 160$ l/min และลดลงตาม Q_A ที่เพิ่มขึ้น แต่หากพิจารณาอุณหภูมิจากสูงสุด (Maximum temperature, T_{max}) ซึ่งตรวจพบที่ตำแหน่ง $x = 145$ mm (T_8) กลับพบว่าที่ค่า $Q_A = 160$ l/min มีค่าต่ำสุด และ T_{max} เพิ่มขึ้นตาม Q_A สามารถอธิบายได้ด้วยตำแหน่งของเปลวไฟ (Flame position) นั่นคือ T_{max} ที่แท้จริงไม่ได้ถูกวัดหรือไม่อยู่ในตำแหน่งนี้ และหากพิจารณาที่ตำแหน่งผิวด้านล่างของ PB (T_7 หรือ $x = 100$) จะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิจากสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อ $Q_A = 160$ l/min ซึ่งแสดงว่าเปลวไฟเคลื่อนตัวเข้ามาหา PB ตาม Q_A เพื่อให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด สำหรับโครงสร้างทางอุณหภูมิจากในช่วง PB และ PE จะลดลงตาม Q_A ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของอากาศส่วนเกิน (Excess air) กล่าวคือเมื่อระบบได้รับอากาศเกินความจำเป็นส่งผลให้อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับไอน้ำมันดีเซลเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้ที่อดิบ (Lean combustion) ย่อมส่งผลทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ CO และ NO_x ที่เกิดขึ้นในรูปที่ 3 กล่าวคือแม้ว่า Q_A จะเพิ่มขึ้นจนระบบการเผาไหม้อยู่ในสภาวะ Excess air แต่ด้วยอิทธิพลของการคลุกเคล้าที่ดีขึ้นระหว่างไอน้ำมันดีเซลกับ Swirling air จึงเป็นจุดสำคัญที่ทำให้ปริมาณ CO มีแนวโน้มลดลง สำหรับปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วง 1 - 6 ppm ยิ่งต่ำมากแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพราะระดับอุณหภูมิจากการเผาไหม้มีค่าต่ำ [7] นอกจากนี้ยังได้พบว่าที่ตำแหน่ง T_6

ภายใน PB ของทุก ๆ ค่า Q_A มีค่าอยู่ในช่วง 400 - 500 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิจากเดือดของน้ำมันดีเซล (Boiling temperature, $T_b \approx 300$ °C) [8] อันเป็นอิทธิพลมาจากการแผ่รังสีของ PE ย้อนกลับมาที่ PB ทำให้กลไกการระเหยดีขึ้น



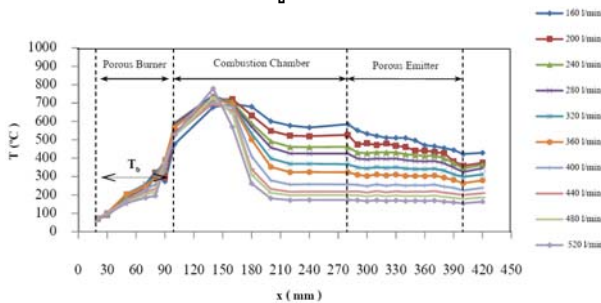
รูปที่ 2 โครงสร้างทางอุณหภูมิจากตามแนวแกนกรณี PB และ PE ที่มีค่า ϕ เท่ากับ 0.45 และ 0.45 ภายใต้สภาวะ $Q_F = 3.89$ cc/min



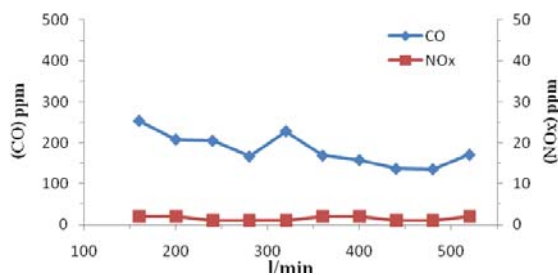
รูปที่ 3 อิทธิพลของ Q_A ที่มีต่อ CO และ NO_x กรณี PB และ PE ที่มีค่า ϕ เท่ากับ 0.45 และ 0.45 ภายใต้สภาวะ $Q_F = 3.89$ cc/min

รูปที่ 4 แสดงถึงอิทธิพลของ Q_A ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิจากหัวพันไฟที่มีการติดตั้ง PE ให้กับระบบในสภาวะการเผาไหม้ $Q_F = 3.89$ cc/min โดยที่ PB กับ PE มีค่า $\phi = 0.45$ และ $\phi = 0.52$ ตามลำดับ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิจากในช่วง PE ลดลงอย่างชัดเจนตาม Q_A ที่เพิ่มขึ้น แต่โครงสร้างทางอุณหภูมิจากในช่วง PB มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อ Q_A เพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิจากในช่วง Combustion chamber ที่ส่งต่อการแผ่รังสีมายัง PB อธิบายให้ชัดเจนยิ่งขึ้นได้ดังนี้ เมื่อ Q_A เพิ่มขึ้น โครงสร้างทางอุณหภูมิจากในช่วง Combustion chamber ลดลงอย่างชัดเจนโดยเฉพาะเมื่อ $x > 165$ mm (T_9) แต่ตำแหน่ง T_{max} หรือเปลวไฟจะเคลื่อนเข้ามาหา PB ตามปริมาณ Q_A ที่สูงขึ้นทำให้

ความยาวของเปลวไฟ (Flame length) แคลลงปรากฏการณ์เช่นนี้ เกิดจากอิทธิพลการแผ่รังสีของ PE ที่ทำให้การระเหยของน้ำมันดีเซลใน PB ดียิ่งขึ้น จึงเกิดการเผาไหม้ที่ติดตลอดช่วง Combustion chamber ของ Q_A ต่ำ ๆ อย่างไรก็ตามอิทธิพล Lean combustion หรือ Excess air ก็มีผลต่อการเผาไหม้เช่นกัน โดยทำให้โครงทางอุณหภูมิลดต่ำลงตาม Q_A ที่สูงขึ้น สำหรับปริมาณ CO และ NO_x ที่ตรวจวัดได้ ยังคงให้ผลคล้ายคลึงกับกรณี PE ที่มีค่า $\phi = 0.45$ นั่นคือมีแนวโน้มลดลงตาม Q_A และ NO_x ก็มีค่าแทบไม่เปลี่ยนแปลงเพราะอุณหภูมิจานเผาไหม้ไม่สูงและกระจายตัวทั่วความยาวหัวพันไฟหรือไม่มี Peak temperature ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนกรณี PB และ PE ที่มีค่า ϕ เท่ากับ 0.45 และ 0.52 ภายใต้สภาวะ $Q_F = 3.89$ cc/min

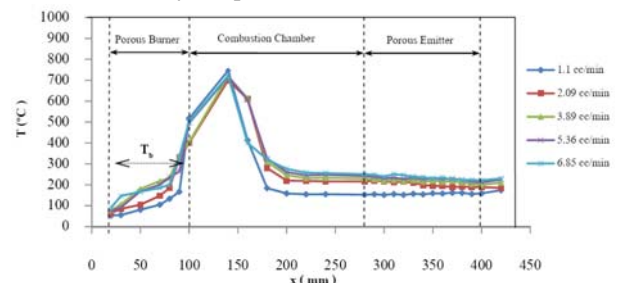


รูปที่ 5 อิทธิพลของ Q_A ที่มีต่อ CO และ NO_x กรณี PB และ PE ที่มีค่า ϕ เท่ากับ 0.45 และ 0.52 ภายใต้สภาวะ $Q_F = 3.89$ cc/min

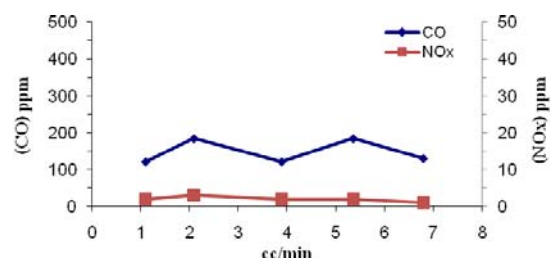
4.2 อิทธิพลของ Q_F ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิจาน

รูปที่ 6 แสดงอิทธิพล Q_F ที่มีผลต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิจานของหัวพันไฟที่มีการติดตั้ง PE ให้กับระบบในสภาวะการเผาไหม้ $Q_A = 320$ l/min โดยที่ PB และ PE มีค่าความพรุนเท่ากันคือ $\phi = 0.45$ พบว่า

โครงสร้างทางอุณหภูมิจานลดความยาวตามแนวแกนหัวพันไฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยมากตาม Q_F ทั้ง ๆ ที่ความเป็นจริงควรเพิ่มอย่างชัดเจน สาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้นี้ คืออิทธิพลของความดันตกคร่อม (Pressure drop) ภายในห้องเผาไหม้ รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างอากาศกับไอน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เหมาะสมอยู่ในสภาวะไอดีหนา (Rich mixture) เพราะห้องเผาไหม้ได้รับอากาศแค่จาก Swirling air และมีค่าคงที่ทำให้ไม่สามารถผสมกับไอเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นได้เต็มที่ ก่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้โครงสร้างทางอุณหภูมิจานเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังพบว่า Flame length ค่อนข้างแคบตามเหตุผลของ Pressure drop และ Rich mixture ดังสังเกตได้จากปริมาณ CO ที่ตรวจวัดได้ในรูปที่ 7 มีแนวโน้มไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตาม Q_F แสดงว่าการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นไม่ดีขึ้นตาม Q_F ที่เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณ NO_x แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน เพราะอุณหภูมิจานเผาไหม้มีระดับต่ำ

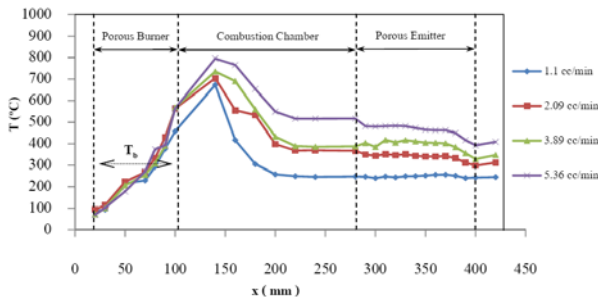


รูปที่ 6 โครงสร้างทางอุณหภูมิจานตามแนวแกนกรณี PB และ PE ที่มีค่า ϕ เท่ากับ 0.45 และ 0.45 ภายใต้สภาวะ $Q_A = 320$ l/min

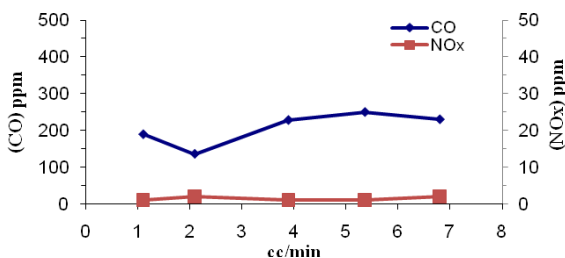


รูปที่ 7 อิทธิพลของ Q_F ที่มีต่อ CO และ NO_x กรณี PB และ PE ที่มีค่า ϕ เท่ากับ 0.45 และ 0.45 ภายใต้สภาวะ $Q_A = 320$ l/min

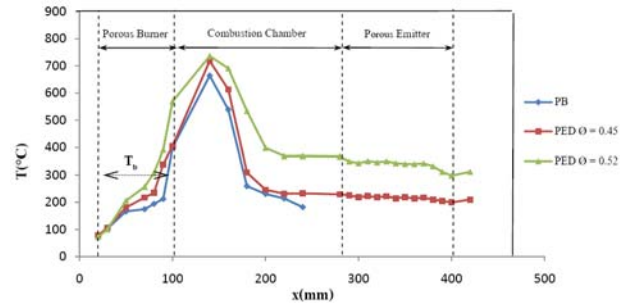
จากรูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของ Q_F ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิที่สภาวะ $Q_A = 320$ l/min โดยที่ PB และ PE มีค่า $\phi = 0.45$ และ 0.52 ตามลำดับ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิภายในวัสดุพอร์นทั้งสอง PB และ PE เพิ่มขึ้นตามระดับ Q_F ที่เพิ่มขึ้น หากพิจารณาที่ห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) พบว่าเมื่อ $Q_F = 5.36$ cc/min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



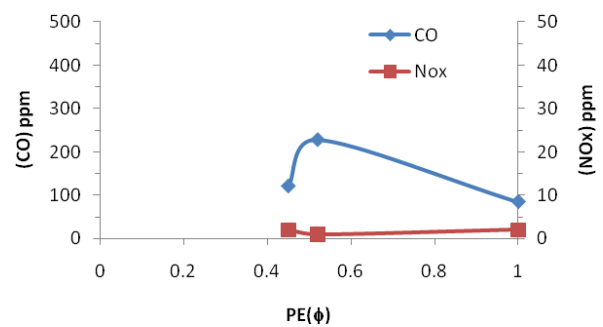
รูปที่ 8 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนกรณี PB และ PE ที่มีค่า ϕ เท่ากับ 0.45 และ 0.52 ภายใต้สภาวะ $Q_A = 320$ l/min



รูปที่ 9 อิทธิพลของ Q_F ที่มีต่อ CO และ NO_x กรณี PB และ PE ที่มีค่า ϕ เท่ากับ 0.45 และ 0.52 ภายใต้สภาวะ $Q_A = 320$ l/min



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบโครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟที่สภาวะ $Q_F = 3.89$ cc/min และ $Q_A = 320$ l/min



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบปริมาณ CO และ NO_x ของหัวพ่นไฟที่สภาวะ $Q_F = 3.89$ cc/min และ $Q_A = 320$ l/min

4.3 การเปรียบเทียบโครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟที่มีค่า ϕ ของ PE ต่างกัน

จากรูปที่ 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 $\phi = 0.45$ จะมีโครงสร้างทางอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีมีค่า $\phi = 0.52$ เนื่องจากวัสดุที่มีค่า $\phi = 0.52$ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูงกว่า ทำให้สามารถดูดซับหรือกักเก็บความร้อนจากการพาความร้อน (Heat convection) ของแก๊สไอเสียได้เต็มที่ส่งผลให้มีการแผ่รังสีย้อนกลับไปยัง PB ได้ดี

และช่วยส่งเสริมกลไกการระเหยของน้ำมันดีเซล เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สไอเสียได้แสดงไว้ในรูปที่ 11 พบว่าระดับ CO ของกรณีติดตั้ง PE จะสูงกว่า กรณีไม่ติดตั้ง PE เพราะมีอากาศส่วน ที่สอง (Secondary air) จากภายนอกไหลเข้ามาในระบบช่วยเกิดการเผาไหม้ให้ดีขึ้นและบริเวณดังกล่าว มี Pressure droop น้อย อย่างไรก็ตามระดับ CO มีปริมาณใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 100 - 200 ppm และปริมาณ NO_x ทุกกรณีล้วนมีค่าค่อนข้างต่ำไม่เกิน 4 ppm เพราะอุณหภูมิการเผาไหม้ไม่สูง

5. สรุปผลการทดลอง

1. โครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพันไฟที่มีการติดตั้ง PE มีแนวโน้มลดลงตามการจ่ายอากาศผสม (Q_A) ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนผสมมีค่าบาง (Lean mixture) หรืออากาศส่วนเกิน (Excess air)
2. โครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพันไฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) เนื่องจากระบบการเผาไหม้ได้รับพลังงานหรือปริมาณเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น
3. โครงสร้างทางความร้อนของหัวพันไฟกรณีที่มี PE มีค่า $\phi = 0.52$ จะมีค่าสูงกว่ากรณีที่มี $\phi = 0.45$ เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า
4. โครงสร้างทางความร้อนของหัวพันไฟกรณีที่มีการติดตั้ง PE จะมีค่าสูงกว่ากรณีไม่มี PE เนื่องมาจากกลไกการระเหยที่ดีกว่า จากอิทธิพลของการแผ่รังสีย้อนกลับของ PE มายัง PB
5. ปริมาณ CO ของหัวพันไฟมีแนวโน้มลดลงตาม Q_A ที่เพิ่มขึ้น แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกตาม Q_F สำหรับปริมาณ NO_x ทุกกรณีในงานวิจัยนี้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงและมีปริมาณไม่เกิน 6 ppm เพราะอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ได้มีระดับค่อนข้างต่ำ

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (มทร.อีสาน) ที่ได้สนับสนุนเงินทุนเพื่อใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณ นักศึกษาระดับปริญญาตรี

วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มทร.อีสาน ซึ่งประกอบไปด้วย นายันนทกร สายสิญจน์ นายอนุกร โมบขุนทด และ นายสังัด แสนดี ที่ได้ช่วยเก็บข้อมูลในการทดลองของงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] บัณฑิต กฤดาคม (2554). หัวพันไฟอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้วัสดุพอร์นในหัวพันไฟ, *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ 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, paper presented in *Proceeding of International Conference on Power Engineering 2009 (ICOPE- 09)*, Kobe, JAPAN.
- [6] บัณฑิต กฤดาคม (2553). หัวพันไฟแบบวัสดุพอร์นโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง, *วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, 21 (2), กรกฎาคม 2553, หน้า 85 – 92.
- [7] สำเร็จ จักรใจ (2547). การเผาไหม้, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] Annamalai, K. and Puri, I. K. (2007). *Combustion Science and Engineering*, CRC Press, New York.