

หัวพ่นไฟวัสดุพอรุสเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีโครงสร้างแบบกึ่งเนื้อเดียว Liquid Fuel in the Packed-bed Sphere Porous Burner Structured as Semi-homogeneous

คมเพชร อินลา¹, สำเนาวิ เสาวกุล¹, พิพัฒน์ อมตฉายา² และ บัณฑิต กฤตาคม^{2*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์

²ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพอรุส

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

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

*ติดต่อ: E-mail: kompetme@gmail.com¹ และ bundit.kr@muti.ac.th², โทรศัพท์: 044-153062, โทรสาร: 044-520764

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการทดลองหัวพ่นไฟวัสดุพอรุสเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีโครงสร้างแบบกึ่งเนื้อเดียวได้ถูกทำการทดลอง เพื่อศึกษากลไกการระเหยและพฤติกรรมการเผาไหม้ของน้ำมันทางเลือกซึ่งในที่นี้คือน้ำมันไบโอดีเซล ชุดทดลองแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ประกอบไปด้วย ส่วนแรกเป็นส่วนของห้องจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนที่สองเป็น วัสดุพอรุส หัวพ่นไฟ วัสดุพอรุสที่ใช้ในการทดลองเป็นหินตุ้ปลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (d) คือ 0.8 cm โดยมีค่าความพอรุส (ϕ) เท่ากับ 0.395 สำหรับ ส่วนสุดท้ายคือห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการจ่ายอากาศหมุนวนแบบสามทาง (Q_A) และเป็นตำแหน่งของเปลวไฟเสถียรในการทดลองจะทำการจ่าย Q_A เริ่มต้นที่ 140 l/min และเพิ่มขึ้นทีละ 20 l/min ไปจนกว่าการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟจะดับ แต่ไม่เกิน 540 l/min และป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบ (Q_F) ด้วยการหยดจากส่วนบนซึมผ่าน PB ทั้งหมด 5 ค่า ได้แก่ 1.12, 1.7, 2.28, 3.5 และ 6.1 cc/min จากการทดลองพบว่าแนวโน้มของโครงสร้างทางอุณหภูมิ (T) ลดลงในชั้น PB เมื่อ Q_A เพิ่มขึ้น แต่ T จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม Q_F สำหรับปริมาณ CO ที่เกิดขึ้น มีค่าเพิ่มขึ้นตาม Q_F และ Q_A เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ขึ้น และปริมาณ NO_x เพิ่มขึ้นตาม Q_F แต่ NO_x มีระดับลดต่ำลงเมื่อ Q_A เพิ่มขึ้น

คำหลัก: หัวพ่นไฟวัสดุพอรุส, วัสดุพอรุสชนิดเม็ดกลมอัดแน่น, น้ำมันไบโอดีเซล

Abstract

This research investigated the experiment of the liquid fuel porous burner which the packed-bed sphere structured as semi-homogeneous was examined to investigate evaporation mechanism and combustion behavior of alternative fuel. The present fuel was the biodiesel oil. The experiment rig was divided into 3 sections. The first section was fuel injection chamber. The second one was porous burner which the pebbles having average diameter of 0.8 m and porosity (ϕ) of 0.395 was adopted as porous media. The final section was combustion chamber the three-way swirling air flow (Q_A) and the stable flame were located in this section. In the experiment, Q_A was first supplied at 140 l/min and increased by 20 l/min until extinction of the flame but not over 540 l/min. The fuel was fed into system by drop wise from the top into the PB (Q_F) with 5 conditions consisting of 1.12, 1.7, 2.28, 3.5 and 6.1 cc/min. From examination, it was found that the trend of temperature profile (T) was decreased in PB with increasing Q_A . But T was increased with Q_F . The level of CO was increased with Q_F and Q_A because of the complete combustion was obtained. The level of NO_x was increased as Q_F increasing but NO_x was decreased as Q_A increasing.

Keywords: porous burner, packed-bed sphere, biodiesel oil

AEC-23

1. บทนำ

นักวิจัยและวิศวกรหลายกลุ่ม [1-3] ได้ทำการศึกษาวิจัย และพัฒนาอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวด้วยเทคโนโลยีของวัสดุพอรุน ในช่วงตอนปลายของศตวรรษที่ 19 หรือประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากวัสดุพอรุนมีลักษณะเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูง ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก นอกจากนี้วัสดุพอรุน ยังมีค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุที่ทั่วไปสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนระหว่าง การพาและการแผ่รังสีความร้อนได้ เป็นอย่างดี

จากลักษณะเด่นของวัสดุพอรุนดังกล่าว ได้มีนักวิจัยหลายกลุ่ม [2, 3] นำเอาวัสดุพอรุนมาประยุกต์ใช้กับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวด้วยการสเปรย์เชื้อเพลิงเหลว พร้อมทั้งป้อนอากาศเข้าไปในชั้นวัสดุพอรุนพบว่าละอองน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถระเหยและผสมกับอากาศแล้วเกิดการเผาไหม้ในชั้นวัสดุพอรุนได้เอง (Self-sustaining combustion) อย่างไรก็ตาม การป้อนเชื้อเพลิงของงานวิจัยเหล่านี้ยังคงต้องพึ่งพาหัวฉีดแรงดันสูงเพื่อพ่นให้เป็นฝอยละอองซึ่งยุ่งยากต่อการนำไปใช้ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดใหม่ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยใช้การหยดเชื้อเพลิงลงบนวัสดุพอรุนแทนการสเปรย์เข้าไปในวัสดุพอรุนซึ่งเชื้อเพลิงยังคงระเหยภายในชั้นวัสดุพอรุน และผสมกับอากาศบริเวณทางออกของชั้นวัสดุพอรุน แล้วเกิดการเผาไหม้ ดังแสดงในผลการศึกษานักวิจัยหลายกลุ่มได้แก่ Takami และคณะ [3] ศ.ดร.สำเร็จ จักรใจ และคณะ [4-6] รวมทั้งงานวิจัยที่ผ่านมาของทีมงานผู้เขียนบทความนี้ [7-11] เป็นต้น จากการศึกษาเชิงทดลองของการเผาไหม้แบบใหม่นี้พบว่าสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวได้อย่างสมบูรณ์มีมลภาวะต่ำห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับแบบปกติ (Conventional open spray flow) และไม่จำเป็นต้องใช้หัวฉีดความดันสูงทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานซึ่งวัสดุพอรุนในระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบหยดนี้จะมีบทบาทสำคัญมากในการส่งเสริมการระเหยแสดงพฤติกรรมเป็นตัวกระจายเชื้อเพลิงเหลวและอุณหภูมิที่ต่ำเพราะให้อุณหภูมิสูงเกิน Leiden frost temperature ทั้งยังมีกลไกการแผ่รังสีความร้อนและการนำความร้อนตลอดทั้งชั้นวัสดุพอรุน นำไปสู่การจุดติดไฟได้เองและช่วยส่งเสริมการเผาไหม้

จากหลักการดังกล่าวกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเชิงทดลองความเป็นไปได้ในการใช้หินตุ้ปลา (Pebbles) เป็นวัสดุพอรุนในหัวพ่นไฟที่มีน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง [5] ซึ่งผลการศึกษาที่ประสบความสำเร็จแต่เมื่อกลุ่มผู้วิจัยศึกษาเพิ่มเติมในงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการจัดวางและใหญ่ยังไม่ได้ดีศึกษาในเชิงลึกถึงรูปแบบการจัดวางและขนาดของหินตุ้ปลา (Configuration and size of pebbles) ที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้และกลไกการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิง ด้วยเหตุนี้กลุ่มผู้วิจัย จึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาค้นคว้าให้ครอบคลุมถึงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของหัวพ่นไฟวัสดุพอรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่นและเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อให้รู้และเข้าใจอย่างแท้จริงเกี่ยวกับหัวพ่นไฟชนิดนี้ รวมทั้งใช้เป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้กับน้ำมันทางเลือกอื่น ๆ

2. รายการสัญลักษณ์

CO ₂	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
d	เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดกลมอัดแน่น
NO _x	ไนโตรเจนออกไซด์
ppm	หน่วยวัดความเข้มข้นของแก๊สต่อล้านส่วน
Q _A	อัตราการจ่ายอากาศหมุนวน (l/min)
Q _F	อัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (cc/min)
T _b	อุณหภูมิจุดเดือด (°C)
T	อุณหภูมิ (°C)
T _{Max}	อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ (°C)
V _S	ปริมาตรช่องว่าง (cm ³)
V _T	ปริมาตรทั้งหมด (cm ³)
x	ความยาวของหัวพ่นไฟ (mm)
φ	ค่าความพอรุน

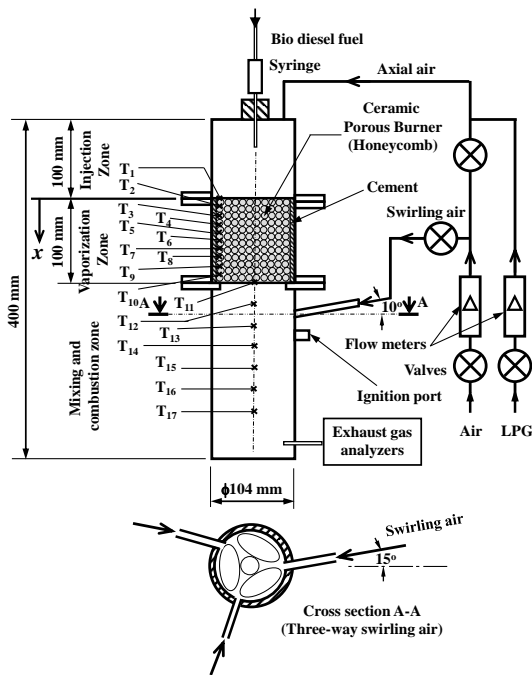
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลองของหัวพ่นไฟวัสดุพอรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ขอบเขตที่สำคัญ ประกอบไปด้วย ขอบเขตที่หนึ่งเป็นส่วนที่ป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง (Injection zone) โดยการหยดน้ำมันจากชุดจ่ายเชื้อเพลิง (Syringe) ลงสู่วัสดุพอรุนเม็ดกลมอัดแน่น ขอบเขตที่สองเป็นการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดการระเหย

AEC-23

(Vaporization zone) ภายในชั้นวัสดุพอร์นหรือเป็นตำแหน่งของวัสดุพอร์นอาจเรียกขอบเขตนี้ว่า หัวพ่นไฟวัสดุพอร์น (Porous burner, PB) ซึ่งวัสดุพอร์นที่ทำการทดลอง คือ หินตุ้ปลา ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยคือ 0.8 cm บรรจุอยู่ข้างในท่อสแตนเลสที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 104 mm และหนาเท่ากับ 2 mm นอกจากนี้เพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียสู่ภายนอกและให้แผ่นเซรามิกซ์วางอยู่อย่างเสถียร จึงหล่อปูนทนไฟ (Cement) หนา 0.5 cm ภายในท่อสแตนเลส ตลอดช่วงที่มีการบรรจุวัสดุพอร์น (100 mm) ขอบเขตสุดท้ายคือ ส่วนที่มีการคลุกเคล้าระหว่างอากาศหมุนวนกับไอน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ (Mixing and combustion zone)



รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์การทดลองของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์นชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

จากส่วนประกอบทั้งหมดของหัวพ่นไฟแบบนี้จะมีหลักการการทำงานคือ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงถูกหยดลงมาจากด้านบนสุดของระบบ (Fuel load input, Q_F) เข้าสู่ผิวด้านบนของชั้นวัสดุพอร์นใน (ส่วนแรก Fuel injection) น้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลผ่าน PB และจะระเหยกายเป็นไอจนหมดในชั้น PB นี้ หลังจากนั้นไอน้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลลงมาสู่บริเวณทางออกของชั้น PB เข้าสู่ (ส่วนที่สาม Combustion chamber) ผสมกับอากาศที่ป้อนเข้ามา

ทางด้านข้างของห้องเผาไหม้ในลักษณะหมุนวนแบบสามทาง (Three-way swirling air flow, Q_A) เกิดการผสมคลุกเคล้ากันอย่างรุนแรงนำไปสู่การจุดติดไฟ (Ignition) และเผาไหม้ในที่สุด เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะแผ่รังสีความร้อนย้อนกลับไปยังชั้นวัสดุพอร์นทำให้มีความร้อนหมุนเวียนภายในระบบเป็นวัฏจักรเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องตรงที่มีเชื้อเพลิงป้อนหยดลงมาบนชั้นวัสดุพอร์น เพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์การเผาไหม้ และกลไกการระเหยของเชื้อเพลิงและการส่งถ่ายความร้อนระหว่างชั้นวัสดุพอร์นกับเปลวไฟที่เกิดขึ้น อุณหภูมิตามแนวแกนและปริมาณแก๊สไอเสียจึงถูกตรวจวัด ดังรายละเอียดต่อไปนี้ เทอร์โมคัปเปิลชนิดเอ็น (N-type thermocouples) จำนวน 17 ชั้น ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm จะถูกติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางของหัวพ่นไฟตามแนวแกน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กล่าวคือ กลุ่มที่ 1 มีจำนวน 10 ชั้น (T_1 - T_{10}) จะติดตั้งไว้ใน Porous burner zone เพื่อดูกลไกการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงและคุณลักษณะการเผาไหม้ กลุ่มที่ 2 มีจำนวน 7 ชั้น (T_{11} - T_{17}) จะติดตั้งไว้ใน Combustion zone เพื่อดูพฤติกรรมของเปลวไฟที่เกิดขึ้น โดยเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมดนี้จะต่อเข้ากับเครื่อง Data logger รุ่น MW 100 ยี่ห้อ Yokokawa และเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและบันทึกค่าขณะทำการทดลอง ในส่วนของแก๊สไอเสียไหลที่เกิดขึ้นจะไหลออกจากระบบทางด้านล่างของท่อสแตนเลส และถูกตรวจวัดหาปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (exhaust gas analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น M 350 ซึ่งปริมาณแก๊สไอเสียที่วัดได้จะนำเสนอด้วยค่าที่มีการปรับเทียบกับออกซิเจนส่วนเกิน 0% ในพื้นฐานแห้ง (Correction by 0% excess oxygen on dry basis)

3.2 การทดลองหาค่าความพรุน

วิธีการหาค่าความพรุน (Porosity, ϕ) ของวัสดุพอร์นแบบอัดเม็ดกลมอัดแน่น (หินตุ้ปลา) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ นำวัสดุพอร์นใส่ลงไปในภาชนะรูปทรงกระบอกที่มีความสูง 10 cm และเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 9.5 cm จนเต็มภาชนะ เติมน้ำให้เต็มภาชนะหรือถึงระดับด้านบนผิววัสดุพอร์น ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้ น้ำซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุพอร์นแล้วเทน้ำออกจากภาชนะ จากนั้นตวงน้ำที่ทราบปริมาตรแน่นอนด้วยภาชนะตวงในที่นี้คือ บีกเกอร์

AEC-23

(Beaker) แล้วทำการเติมน้ำอีกครั้งให้เต็มภาชนะจนถึงระดับผิวด้านบนของวัสดุพอร์นอ่านค่าปริมาตรน้ำที่เติมลงไปจากบีกเกอร์ ปริมาตรน้ำที่เติมลงไปนี้ คือ ปริมาตรช่องว่างที่น้ำเข้าไปแทนที่ได้ (Void-space volume, V_s) นำปริมาตรน้ำนี้ไปหารกับปริมาตรทรงกระบอกภายในทั้งหมด (Total or bulk volume, V_T) จะสามารถคำนวณหาค่าความพรุน (ϕ) ได้จาก

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

ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้หินตุ้ปลา ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 0.8 cm จากการทดลองหาค่าความพรุนซ้ำ ๆ หลายครั้ง พบว่าหินตุ้ปลา มีค่า V_s เป็น 373.06 cm^3 ดังนั้นจากสมการ (1) ค่า ϕ ที่ได้คือ 0.395

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองของหัวพันไฟแบบนี้จะดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 ขั้นตอนที่แรก คือ ช่วงการอุ่นวัสดุพอร์น (Preheating period) ทำการเปิดท่อลมบนในแนวแกน (Axial air) เพียงเล็กน้อยพร้อมทั้งจ่ายแก๊สแอลพีจี (LPG) เข้าสู่โดยให้อัตราส่วนทั้งสองมีความเหมาะสมต่อการเผาไหม้ จากนั้นทำการจุดเชื้อเพลิงแก๊สโดยใช้ไฟล่อ (Pilot flame) ที่ตำแหน่งช่องจุดไฟ (Ignition port) เมื่อเกิดการเผาไหม้ติดแล้ว รอจนกว่าวัสดุพอร์นมีอุณหภูมิสูงเพียงพอต่อการและเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงหรือสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือด (Boiling temperature, T_b) ของน้ำมันไบโอดีเซล ทำการปิดแก๊ส LPG และป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงลงบนวัสดุพอร์นแต่ลมในแนวแกนยังเปิดอยู่เพื่อไล่แก๊สออกจากชั้นของวัสดุพอร์น รวมทั้งช่วยให้น้ำมันหรือไอน้ำมันเชื้อเพลิงเคลื่อนตัวได้อย่างสะดวกขณะผ่านชั้นวัสดุพอร์น

3.3.2 ขั้นตอนที่สอง คือ ช่วงการเผาไหม้ (Combustion period) ทำการหยดน้ำมันเชื้อเพลิงลงบนวัสดุพอร์น ด้วยชุดควบคุมเชื้อเพลิง (Syringe) ในปริมาณที่เหมาะสมต่อการจุดติดไฟพร้อมทั้งค่อย ๆ ลดลมในแนวแกนจนปิดสนิท ขณะเดียวกันเปิดอากาศหมุนวนเข้าสู่ระบบทางด้านข้าง ทำให้อากาศและไอน้ำมันที่ระเหยออกมาจากชั้นวัสดุพอร์นผสมคลุกเคล้ากันอย่างรุนแรง และเกิดเปลวไฟที่บริเวณดังกล่าว เมื่อระบบเกิดการเผาไหม้เรียบร้อยแล้ว ทำการปรับอากาศหมุนวน ตามสัดส่วนที่ต้องการศึกษารอจนกระทั่งการเผาไหม้อยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) ทำการบันทึกข้อมูลการทดลอง ได้แก่

อุณหภูมิตามแนวแกน, อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Fuel input load, Q_F) อัตราการจ่ายอากาศหมุนวนสามทาง (Three way swirling air, Q_A) และมลภาวะที่เกิดการเผาไหม้ ในที่นี้จะนำเสนอปริมาณของ NO_x และ CO

3.4 สภาวะและเงื่อนไขการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหัวพันไฟวัสดุพอร์นชนิดเม็ดกลมอัดแน่น จะจ่ายน้ำมัน (Q_F) ทั้งหมด 5 ค่า คือ 1.12, 1.7, 2.28, 3.5 และ 6.1 cc/min ตามลำดับ สำหรับอากาศหมุนวน (Q_A) จะจ่ายเริ่มต้นที่ 140 l/min และเพิ่มขึ้นทีละ 20 l/min ไปจนกว่าการเผาไหม้ของหัวพันไฟจะดับ (Flame extinction) แต่ไม่เกิน 450 l/min เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศในงานวิจัยครั้งนี้

4. ผลการทดลอง

4.1 อิทธิพลอัตราการจ่ายอากาศหมุนวนสามทาง

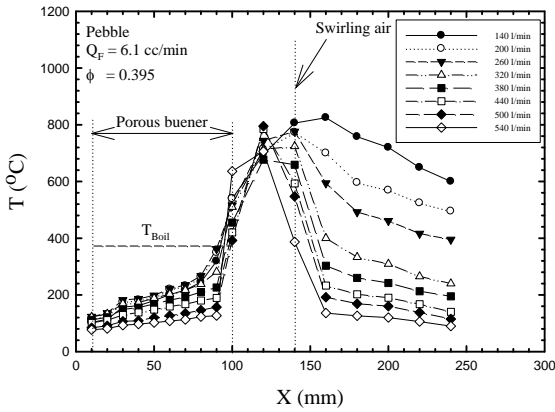
รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศหมุนวนสามทาง (Three way swirling air, Q_A) ต่อโครงสร้างทางความร้อนซึ่งแสดงอยู่ในรูปการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวแกนภายในอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งในที่นี้เรียกว่า โครงสร้างทางอุณหภูมิ (Temperature profile, T) และเป็นการทดลองที่สภาวะการจ่ายน้ำมันไบโอดีเซล (B5) $Q_F = 6.1$ cc/min ในวัสดุพอร์นชนิดหินตุ้ปลา $\phi = 0.395$ พบว่า T มีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อค่า Q_A เพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้สามารถอธิบายได้ตามความเป็นจริงของอากาศส่วนเกิน (Excess air) เนื่องจากระบบได้รับอากาศเกินความจำเป็นส่งผลให้อัตราส่วนผสมกับไอน้ำมันไบโอดีเซลเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้ไอดีบาง (Lean combustion) ย่อมทำให้อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3 กล่าวคือ ปริมาณ CO สูงขึ้นตามค่า Q_A ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์สำหรับปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่เกิน 10 ppm เพราะระดับอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าต่ำ และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ Q_A ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิจากการเผาไหม้ที่ลดต่ำลง

4.2 อิทธิพลของอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

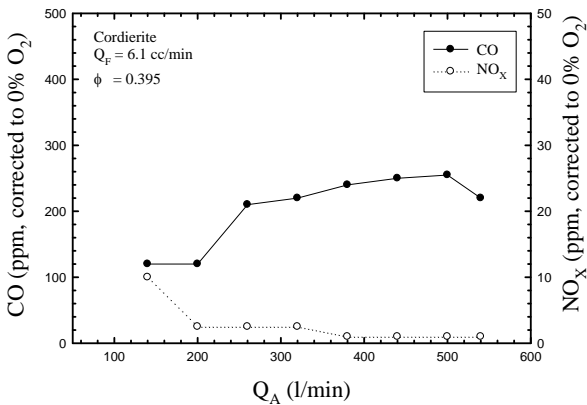
รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Q_F) ต่อ T ที่สภาวะ $Q_A = 140$ l/min ในวัสดุพอร์นหินตุ้ปลา ซึ่งมีค่า $\phi = 0.395$ พบว่า T มี

AEC-23

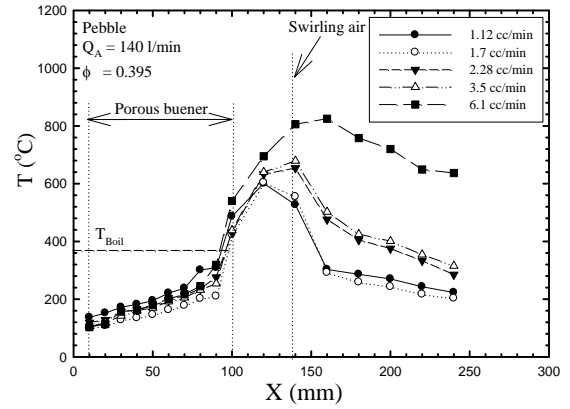
แนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดความยาวในแนวแกนของอุปกรณ์ทดลองตามปริมาณ Q_F ที่จ่ายให้แก่ระบบ เนื่องจากระบบได้รับพลังงานหรือปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น พร้อมทั้งยังมีการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟและผนังห้องเผาไหม้ย้อนกลับไปยังวัสดุพูนมากขึ้น เป็นการช่วยส่งเสริมการระเหยตัวและเป็นการอุ่นน้ำมันไบโอดีเซล (B5) ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณ CO ที่มีแนวโน้มลดลงตามค่า Q_F ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิงที่เพิ่มเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้หนา (Rich combustion) ดังแสดงในรูปที่ 5 สำหรับปริมาณ NO_x มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการจ่าย Q_F ที่เพิ่มขึ้น เพราะมีระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นและมีค่าไม่เกิน 10 ppm



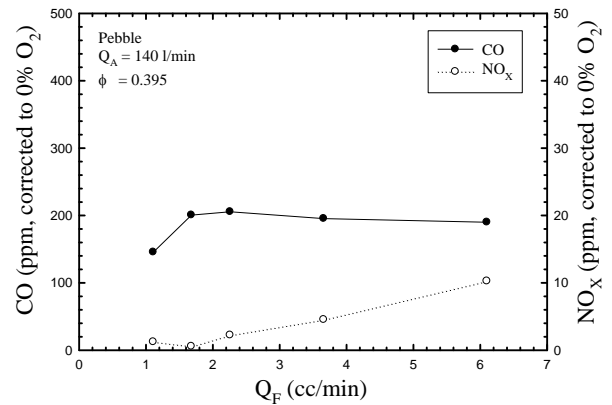
รูปที่ 2 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดหินตุ้ปลา ที่สภาวะ $Q_F = 6.1$ cc/min และ $\phi = 0.395$



รูปที่ 3 อธิพผลของ Q_A ที่มีต่อ CO และ NO_x สำหรับการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหินตุ้ปลา ที่สภาวะ $Q_F = 6.1$ cc/min และ $\phi = 0.395$



รูปที่ 4 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดหินตุ้ปลา ที่สภาวะ $Q_A = 140$ l/min และ $\phi = 0.395$



รูปที่ 5 อธิพผลของ Q_F ที่มีต่อ CO และ NO_x สำหรับการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหินตุ้ปลา ที่สภาวะ $Q_A = 140$ l/min และ $\phi = 0.395$

5. สรุป

จากการศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพูนหินตุ้ปลาสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) โครงสร้างทางอุณหภูมิ (T) มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Q_A เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบได้รับอากาศเกินความจำเป็นส่งผลให้อัตราส่วนผสมกับไอน้ำมันไบโอดีเซลเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้ไอดีบาง (Lean combustion)

2) ปริมาณ CO สูงขึ้นตามค่า Q_A ที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สำหรับปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำกว่า 10 ppm เพราะระดับอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าต่ำ และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ Q_A ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิจากการเผาไหม้ที่ลดต่ำลง

AEC-23

3) โครงสร้างทางอุณหภูมิจาก (T) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดความยาวในแนวแกนของอุปกรณ์ทดลองตามปริมาณ Q_F ที่จ่ายให้แก่ระบบ เนื่องจากระบบได้รับพลังงานหรือปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการเผาไหม้ดีขึ้น พร้อมทั้งยังมีการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟและผนังห้องเผาไหม้ย้อนกลับไปยังวัสดุพอรุนมากขึ้น เป็นการช่วยส่งเสริมการระเหยตัวและเป็น การอุ่นน้ำมันไบโอดีเซล

4) ปริมาณ CO มีแนวโน้มลดลงตามค่า Q_F ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิงที่เพิ่มเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้หนา (Rich combustion) สำหรับปริมาณ NO_x มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการจ่าย Q_F ที่เพิ่มขึ้น เพราะมีระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นและมีค่าไม่เกิน 10 ppm

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนบทความขอขอบพระคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (EPPO) กระทรวงพลังงาน ได้ให้ทุนสนับสนุนในการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ นายนิวัฒน์ เกตุชาติ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ซึ่งอยู่ภายในห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพอรุน (DITO-Lab) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ได้ช่วยเก็บข้อมูลการทดลองบางส่วนจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Kaplan M. and Hall M.J., (1995). The Combustion of Liquid Fuels within a Porous Media Radiant Burner. *Experiment Thermal and Fluid Science* 11, No. 1, 13-22.
[2] Tseng C.J. and Howell J.R., (1996). Combustion of Liquid Fuels in Porous Radiant Burner. *Combustion Science and Technology* 112, 141-161.
[3] 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), 1998, pp. 165 - 171.

[4] 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, 2002, pp.15 - 23.
[5] Jugjai, S. and Polmart, N. (2003). Enhancement of evaporation and combustion of liquid fuels through porous media, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol.27, 2003, pp. 901-909.
[6] Jugjai, S. and Phothiya, C. (2006). Liquid fuels-fire porous combustor-heater, *Fuel*, vol.86, 2006, pp.1062 - 1068.
[7] Amatachaya, P. and Krittacom, B. (2009). The Combustion of Liquid Fuels using a packed Bed, paper present in *the International Conference on Power Engineering 2009 (ICOPE- 09)*, Kobe international Conference Center, Kobe, JAPAN, November 13-16.
[8] Krittacom, B., Amatachaya, P., Srimuang, W. and Inla, K. (2011). The pack-bed sphere liquid porous burner, paper present in *the International Conference on Fluids and Thermal Engineering 2011 (ICFTE 2011)*, Singapore.
[9] Krittacom, B., Amatachaya, P., Srimuang, W. and Inla, K. (2012). The Combustion of Diesel Oil on Porous Burner Installed Porous Emitter Downstream. paper present in *the International Conference on The Eighth 2012 (TFEC8) Thermal and Fluids Engineering Conference Center*, Songdo Convensia Center, Incheon, KOREA, March 18-21.
[10] ทวีศิลป์ เล็กประดิษฐ์, คมเพชร อินลา, บัณฑิต กฤตาคม, พิพัฒน์ อมตฉายา และ โสภณ สิ้นสร้าง (2555). การเผาไหม้น้ำมันดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพอรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น, *การประชุมวิชาการ มอว.วิจัย ครั้งที่ 6*, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
[11] คมเพชร อินลา, บัณฑิต กฤตาคม, พิพัฒน์ อมตฉายา และ โสภณ สิ้นสร้าง (2555). การเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพอรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดเชียงราย