

การเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น Combustion of Diesel Oil in the Packed-Bed Sphere Porous Burner (PSPB)

คมเพชร อินลา^{1*}, บัณฑิต กฤตาคม¹, พิพัฒน์ อมตฉายา¹ และ โสภณ สีนสร้าง²

¹ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพรุน

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

²สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*E-mail: kompetme@gmail.com และ bundit.kr@muti.ac.th โทรศัพท์: 044-233-073, โทรสาร: 044-233-074

บทคัดย่อ

การเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพรุนได้ถูกทำการทดลอง เพื่อศึกษากลไกการระเหยของน้ำมัน เชื้อเพลิงและพฤติกรรมการเผาไหม้ วัสดุพรุนที่ใช้ในการทดลองเป็นเม็ดกลมอัดแน่น ชนิดเซรามิกซ์ ที่ทำมาจาก อะลูมินา - คอร์ดีไรท์ มีค่าความพรุนเท่ากับ 0.391 น้ำมันเชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่ระบบด้วยการหยดจากด้านบนซึมผ่าน ชั้นวัสดุพรุน เกิดการระเหยกลายเป็นไอและผสมคลุกเคล้ากับอากาศหมุนวนแบบสี่ทิศทาง (Q_A) นำไปสู่การเผาไหม้บริเวณ ด้านล่างชั้นวัสดุพรุน ซึ่งหัวพ่นไฟแบบนี้แตกต่างจากหัวพ่นไฟแบบปกติที่มีหัวฉีดความดันสูงทำหน้าที่พ่นเชื้อเพลิงเหลวให้เกิดการสเปรย์เป็นฝอยละเอียดจึงสามารถเกิดการเผาไหม้ได้ อุณหภูมิตลอดแนวความยาวของหัวพ่นไฟถูกตรวจวัด และแสดงในลักษณะโครงสร้างทางอุณหภูมิ เพื่ออธิบายถึงกลไกการระเหยและพฤติกรรมการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ขณะเดียวกันแก๊สไอเสียถูกตรวจวัดที่ตำแหน่งด้านนอกของหัวพ่นไฟ จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่ม Q_A โครงสร้างทาง อุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงในวัสดุพรุน แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (Q_F) สำหรับปริมาณ CO และ NO_x ที่ปล่อยออกมาจากหัวพ่นไฟวัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นของงานวิจัยนี้ อยู่ในเกณฑ์ต่ำที่ยอมรับได้

คำหลัก: น้ำมันไบโอดีเซล, หัวพ่นไฟวัสดุพรุน, วัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น, โครงสร้างทางอุณหภูมิ

Abstract

The combustion of Bio-diesel oil in the porous burner was examined to investigate evaporation mechanism and combustion behavior. The Alumina - Cordierite ceramic having porosities of 0.391 was used as the packed-bed sphere porous media. The fuel was supplied drop wise from the top through the porous burner and evaporated in the porous media. Then, the fuel vapor mixed with the four-way swirling air flow at the bottom side of porous section and the combustion was achieved. Thus, the present burner differs from the conventional open spray flame burner. Axial profiles of temperature along the burner length were measured to clarify the evaporation and combustion phenomena. The pollutant emission characteristics were also monitored at the burner exit. From the study, it was found that the temperature profile decreased with Q_A whereas the temperature profile explicitly increased with the rate of fuel input (Q_F). The level of CO and NO_x in the packed-bed sphere porous burner was acceptable range.

Keywords: Bio-diesel oil, Porous burner, Packed-bed sphere porous materials, Temperature profile.

1. บทนำ

โดยทั่วไปหัวพ่นไฟ (Burner) ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว (Liquid fuels) จะมีวิธีการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้

หัวฉีดความดันสูง (High-pressure atomizer) กระจ่ากับน้ำมันเชื้อเพลิงให้แตกตัวเป็นฝอยละเอียด (Liquid droplets) ที่ละเอียดมาก ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตร

น้ำมันเชื้อเพลิงให้สูงขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากแก๊สร้อนโดยรอบสู่ผิวโลหะของน้ำมันทำให้อัตราการระเหยกลายเป็นไอสูงขึ้นทำให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์สามารถนำความร้อนไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม วิถีดังกล่าว ยังมีจุดอ่อน คือ มีความจำเป็นต้องใช้หัวฉีดแรงดันสูงเพื่อทำให้เกิดการแตกตัวเป็นฝอยละอองน้ำมันเชื้อเพลิง ห้องเผาไหม้ต้องมีขนาดใหญ่เพื่อรองรับการฟุ้งกระจายของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของการเผาไหม้ (Combustion intensity) มีค่าต่ำ และยังต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของละอองน้ำมัน (Ballistic characteristics) อีกด้วย นอกจากนี้ห้องเผาไหม้ยังต้องรักษาการกระจายของอุณหภูมิที่สูงตลอดห้องเผาไหม้เพื่อให้แน่ใจว่าละอองน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถระเหยกลายเป็นไอและผสมกับอากาศแล้วเกิดการเผาไหม้ได้อย่างเต็มที่ จากข้อเสียดังกล่าว วัสดุพ่นจึงเป็นอีกแนวคิดที่นำมาประยุกต์ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวดังกล่าวซึ่งวัสดุพ่นมีลักษณะเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก นอกจากนี้วัสดุพ่นยังมีค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุที่ทั่วไปสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนระหว่างการพาและการแผ่รังสีความร้อนได้ เป็นอย่างดี

จากลักษณะเด่นของวัสดุพ่นดังกล่าว นักวิจัยของกลุ่ม [1, 2] ได้นำเอาวัสดุพ่นมาประยุกต์ใช้กับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวด้วยการสเปรย์เชื้อเพลิงเหลวพร้อมทั้งป้อนอากาศเข้าไปในชั้นวัสดุพ่นพบว่าละอองน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถระเหยและผสมกับอากาศแล้วเกิดการเผาไหม้ในชั้นวัสดุพ่นได้เอง (Self sustaining combustion) จากการศึกษาเชิงทดลองที่ได้นี้ทำให้เชื่อได้ว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยใช้วัสดุพ่นนี้จะดีกว่าการสเปรย์แบบปกติ (Conventional open spray flame) เพราะลักษณะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่ามลภาวะจากการเผาไหม้มีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามการป้อนเชื้อเพลิงยังคงต้องพึ่งพาหัวฉีดแรงดันสูงเพื่อพ่นให้เป็นฝอยละอองซึ่งยุ่งยากต่อการนำไปใช้ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดใหม่ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยใช้การหยดเชื้อเพลิงลงบนวัสดุพ่นแทนการสเปรย์เข้าไปในวัสดุพ่นซึ่งเชื้อเพลิงยังคงระเหยภายในชั้นวัสดุพ่น และผสมกับอากาศบริเวณทางออกของชั้นวัสดุพ่น แล้วเกิดการเผาไหม้ ดังแสดงในผลการศึกษานักวิจัยหลายกลุ่ม ได้แก่ Takami และคณะ [1] ศ.ดร.สำเริง จักรใจ และ

คณะ [2-4] รวมทั้งงานวิจัยที่ผ่านมาของทีมงานผู้เขียนบทความนี้ [5,6] เป็นต้น จากการศึกษาการเชิงทดลองของการเผาไหม้แบบใหม่นี้พบว่าสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวได้อย่างสมบูรณ์มีมลภาวะต่ำห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับแบบปกติ และไม่จำเป็นต้องใช้หัวฉีด ความดันสูงทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งวัสดุพ่นในระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบหยดนี้จะมีบทบาทสำคัญมากในการส่งเสริมการระเหยแสดงพฤติกรรมเป็นตัวกระจายเชื้อเพลิงเหลวและอุ่นไอเสียที่ดีเพราะให้อุณหภูมิสูงเกิน Leiden frost temperature ทั้งยังมีกลไกการแผ่รังสีความร้อนและการนำความร้อนตลอดทั้งชั้นวัสดุพ่น นำไปสู่การจุดติดไฟได้เองและช่วยส่งเสริมการเผาไหม้

จากหลักการดังกล่าวกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเชิงทดลองความเป็นไปได้ในการใช้หินตุ้ปลา (Pebbles) เป็นวัสดุพ่นในหัวพ่นไฟที่มีน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง [5] โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งผลการศึกษาก็ประสบความสำเร็จอย่างดียิ่งก็ตามการทดลองดังกล่าวยังไม่อาจชี้ชัดได้ถึงลักษณะพฤติกรรมที่แท้จริงของเปลวไฟภายในชั้นหินตุ้ปลาเนื่องจากหินตุ้ปลาที่ถูกคัดเลือกมาทำวัสดุพ่นนั้นแม้จะคัดเลือกอย่างพิถีพิถันให้มีขนาดใกล้เคียงและเท่ากันเสมือนเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous material) แต่ในความเป็นจริงก็เป็นเรื่องยากเพราะหินตุ้ปลาเหล่านี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติยากต่อการควบคุมลักษณะรูปร่าง ดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของเปลวไฟให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้นกลุ่มผู้วิจัยได้สร้างหัวพ่นไฟหรืออุปกรณ์การทดลองที่มีขนาดวิธีการทดลองคล้ายคลึงกับงานวิจัยที่ผ่านมา [5] แต่มีการนำเอาเซรามิกซีเมนต์กลมที่มีขายในเชิงพาณิชย์มาเป็นวัสดุพ่นและเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อให้รู้และเข้าใจอย่างแท้จริงเกี่ยวกับหัวพ่นไฟชนิดนี้รวมทั้งใช้เป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้กับน้ำมันทางเลือกอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี

2. รายการสัญลักษณ์

| | |
|-----------------|---------------------------------------|
| CO ₂ | ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ |
| d | เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดกลมอัดแน่น |
| NO _x | ไนโตรเจนออกไซด์ |
| ppm | หน่วยวัดความเข้มข้นของแก๊สต่อล้านส่วน |
| Q _A | อัตราการจ่ายอากาศผสม (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 | ค่าความพรุน |

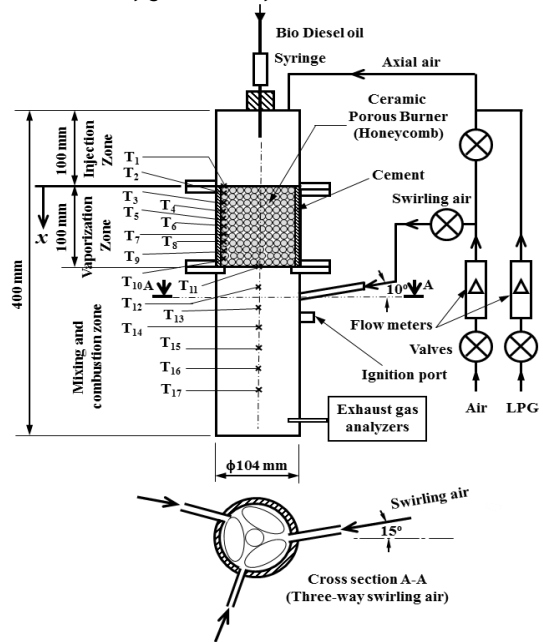
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลองของหัวพ่นไฟวัสดุพอรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ขอบเขตที่สำคัญ ประกอบไปด้วย ขอบเขตที่หนึ่งเป็นส่วนที่ป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง (Injection zone) โดยการหยดน้ำมันจากชุดจ่ายเชื้อเพลิง (Syringe) ลงสู่วัสดุพอรุนเม็ดกลมอัดแน่น ขอบเขตที่สองเป็นการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดการระเหย (Vaporization zone) ภายในชั้นวัสดุพอรุนหรือเป็นตำแหน่งของวัสดุพอรุนอาจเรียกขอบเขตนี้ว่า หัวพ่นไฟวัสดุพอรุน (Porous burner) ซึ่งวัสดุพอรุนที่ทำการทดลอง คือ เซรามิกซัลโฟลูมินา-คอร์ดีไรท์ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย คือ 0.75 cm บรรจุอยู่ข้างในท่อสแตนเลสที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 104 mm และหนาเท่ากับ 2 mm นอกจากนี้เพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียสู่ภายนอกและให้แผ่นเซรามิกชีวางอยู่อย่างเสถียร จึงหล่อปูนทนไฟ (Cement) หนา 0.5 cm ภายในท่อสแตนเลส ตลอดช่วงที่มีการบรรจุวัสดุพอรุน (100 mm) ขอบเขตสุดท้ายคือ ส่วนที่มีการคลุกเคล้าระหว่างอากาศหมุนวนกับไอน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ (Mixing and combustion zone)

จากส่วนประกอบทั้งหมดของหัวพ่นไฟแบบนี้จะมีหลักการทำงานคือ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงถูกหยดลงมาจากด้านบนสุดของระบบ เข้าสู่ผิวด้านบนของชั้นวัสดุพอรุนในขอบเขตที่สอง น้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลผ่านชั้นวัสดุพอรุน (ขอบเขตที่สอง) และจะระเหยกลายเป็นไอจนหมดในชั้นวัสดุพอรุนนี้ หลังจากนั้นไอน้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลลงมาสู่บริเวณทางออกของชั้นวัสดุพอรุนเข้าสู่ขอบเขตที่สาม ผสมกับอากาศที่ป้อนเข้ามาทางด้านข้างของห้องเผาไหม้ในลักษณะหมุนวนแบบสามทาง (Three-way swirling air flow) เกิดการผสมคลุกเคล้ากันอย่างรุนแรงนำไปสู่การจุดติดไฟ (Ignition) และเผาไหม้ในที่สุด เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะแผ่รังสีความร้อนย้อนกลับไปยังชั้นวัสดุพอรุนทำให้มี

ความร้อนหมุนเวียนภายในระบบเป็นวัฏจักรเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง トラบที่มีเชื้อเพลิงป้อนทยอยลงมาบนชั้นวัสดุพอรุน ด้วยเหตุนี้เพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์การเผาไหม้ กลไกการระเหยของเชื้อเพลิงและการส่งถ่ายความร้อนระหว่างชั้นวัสดุพอรุนกับเปลวไฟที่เกิดขึ้น อุณหภูมิตามแนวแกนแลปริมาณแก๊สไอเสีย จึงถูกตรวจวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิดเอ็น (N-type thermocouples) จำนวน 17 ชั้น ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก เท่ากับ 1 mm จะถูกติดตั้งในระบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามตำแหน่งติดตั้งได้ดังนี้ กลุ่มที่หนึ่งเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 10 ชั้นจะติดตั้งตามแนวแกนที่ผิวด้านในของปูนทนไฟ และสัมผัสกับผิวด้านนอกของวัสดุพอรุน สาเหตุที่ไม่สอดเทอร์โมคัปเปิลจนทะลุถึงตำแหน่งตรงกลาง เนื่องจากไม่ต้องการให้ขีดขวางการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านชั้นวัสดุพอรุน ซึ่งอาจจะมึผลกระทบต่อกลไกการระเหยได้ สำหรับกลุ่มที่สองเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 7 ชั้น จะติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางของระบบตามแนวแกน สำหรับการตรวจวัดหาปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น จะตรวจวัดที่ด้านล่างของท่อสแตนเลส เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่แก๊สไอเสียไหลออกจากระบบ โดยทำการตรวจวัดหาปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น M350 นำเสนอค่าที่วัดได้โดยปรับค่าเทียบกับออกซิเจนส่วนเกิน 0 % ในพื้นฐานแห้ง (Correction by 0% excess oxygen on dry basis)



รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์การทดลองของหัวพ่นไฟวัสดุพอรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

3.2 การทดลองหาค่าความพรุน

วิธีการหาค่าความพรุน (Porosity, ϕ) ของวัสดุพรุนแบบอัดเม็ดกลมอัดแน่น มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ นำวัสดุพรุนใส่ลงไปในภาชนะรูปทรงกระบอกที่มีความสูง 10 cm และเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 9.5 cm จนเต็มภาชนะ เติมน้ำให้เต็มภาชนะหรือถึงระดับด้านบนผิววัสดุพรุน ทั้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้ น้ำซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุพรุนแล้วเทน้ำออกจากภาชนะ จากนั้นตวงน้ำที่ทราบปริมาตรแน่นอนด้วยภาชนะตวง ในที่นี้คือ บีกเกอร์ (Beaker) แล้วทำการเติมน้ำอีกครั้งให้เต็มภาชนะจนถึงระดับผิวด้านบนของวัสดุพรุนอ่านค่าปริมาตรน้ำที่เติมลงไปจากบีกเกอร์ ปริมาตรน้ำที่เติมลงไปนี้ คือ ปริมาตรช่องว่างที่น้ำเข้าไปแทนที่ได้ (Void-space volume, V_s) นำปริมาตรน้ำนี้ไปหารกับปริมาตรทรงกระบอกภายในทั้งหมด (Total or bulk volume, V_T) จะสามารถคำนวณหาค่าความพรุน (ϕ) ได้จาก

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

ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เซรามิกซอสอะลูมินา-คอร์ติไรท์ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 0.75 จากการทดลองหาค่าความพรุนซ้ำ ๆ หลายครั้ง พบว่าเซรามิกซอสอะลูมินา-คอร์ติไรท์ มีค่า V_s เป็น 351 cm^3 ดังนั้นจากสมการ (1) ค่า ϕ ที่ได้คือ 0.45

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองของหัวฟันทไฟแบบนี้จะดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 ขั้นตอนแรกช่วงการอุ่นวัสดุพรุน (Preheating period) ทำการเปิดท่อลมบนในแนวแกน (Axial air) เพียงเล็กน้อยพร้อมทั้งจ่ายแก๊สแอลพีจี (LPG) เข้าสู่โดยให้อัตราส่วนทั้งสองมีความเหมาะสมต่อการเผาไหม้ จากนั้นทำการจุดเชื้อเพลิงแก๊สโดยใช้ไฟล่อ (Pilot flame) ที่ตำแหน่งช่องติดไฟ (Ignition port) เมื่อเกิดการเผาไหม้ติดแล้ว รอจนกว่าวัสดุพรุนมีอุณหภูมิสูงเพียงพอต่อการและเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงหรือสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือด (Boiling temperature, T_b) ของน้ำมันไบโอดีเซล ทำการปิดแก๊ส LPG และป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงลงบนวัสดุพรุนแต่ลมในแนวแกนยังเปิดอยู่เพื่อไล่แก๊สออกจากชั้นของวัสดุพรุน รวมทั้งช่วยให้ น้ำมันหรือไอน้ำมันเชื้อเพลิงเคลื่อนตัวได้อย่างสะดวกขณะผ่านชั้นวัสดุพรุน

3.3.2 ขั้นตอนที่สองช่วงการเผาไหม้ (Combustion period) ทำการหยดน้ำมันเชื้อเพลิงลงบนวัสดุพรุน ด้วยชุดควบคุมเชื้อเพลิง (Syringe) ในปริมาณที่เหมาะสมต่อการจุดติดไฟพร้อมกับค่อย ๆ ลดลมในแนวแกนจนปิดสนิท ขณะเดียวกันเปิดอากาศหมุนวนเข้าสู่ระบบทางด้านข้าง ทำให้อากาศและไอน้ำมันที่ระเหยออกมาจากชั้นวัสดุพรุนผสมคลุกเคล้ากันอย่างรุนแรง และเกิดเปลวไฟที่บริเวณดังกล่าว เมื่อระบบเกิดการเผาไหม้เรียบร้อยแล้วทำการปรับอบอากาศหมุนวน 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

การทดลองเพื่อศึกษาการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหัวฟันทไฟวัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น 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 ไปจนกว่าการเผาไหม้ของหัวฟันทไฟจะดับ (Flame extinction) แต่ไม่เกิน 450 l/min เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศในงานวิจัยครั้งนี้

4. ผลการทดลอง

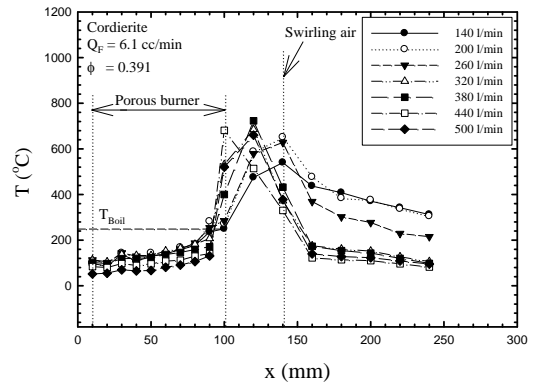
4.1 อิทธิพลอัตราการจ่ายอากาศหมุนวนสามทาง (Q_A)

รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศหมุนวนสามทาง (Three way swirling air, Q_A) ต่อโครงสร้างทางความร้อนซึ่งแสดงอยู่ในรูปการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวแกนภายในอุปกรณ์การทดลองซึ่งในที่นี้เรียกว่า โครงสร้างทางอุณหภูมิ (Temperature profile) และเป็นารทดลองที่สภาวะการจ่ายน้ำมันไบโอดีเซล (B5) $Q_F = 6.1 \text{ cc/min}$ ในวัสดุพรุนชนิดเซรามิกซอสอะลูมินา-คอร์ติไรท์ $\phi = 0.391$ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อค่า Q_A เพิ่มขึ้นปรากฏการณ์เช่นนี้สามารถอธิบายได้ตามความเป็นจริงของอากาศส่วนเกิน (Excess air) เนื่องจากระบบได้รับอากาศเกินความจำเป็นส่งผลให้อัตราส่วนผสมกับไอน้ำมันไบโอดีเซลเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้ไอดีบาง

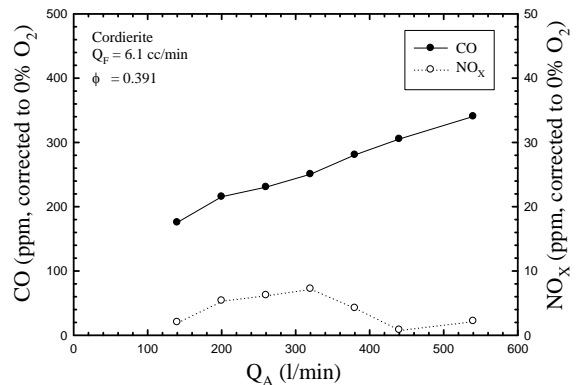
(Lean combustion) ย่อมทำให้อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3 กล่าวคือ ปริมาณ CO สูงขึ้นตามค่า Q_A ที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สำหรับปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำกว่า 10 ppm เพราะระดับอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าต่ำ และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ Q_A ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิจากการเผาไหม้ที่ลดต่ำลง นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นได้ว่าตำแหน่งอุณหภูมิสูงสุด (Maximum temperature, T_{Max}) ที่วัดได้ซึ่งในที่นี้เปรียบเสมือนเป็นตำแหน่งของเปลวไฟ (Flame position) จะเคลื่อนตัวจากตำแหน่งอากาศหมุนวน (Swirling air) ย้อนกลับไปยังชั้นวัสดุพอร์ซัน ($x = 100$ mm) ตามปริมาณ Q_A ที่เพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าเป็นการรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟเพื่อลดการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศของการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในกรณี Q_A สูง ๆ

4.2 อิทธิพลของอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (Q_F)

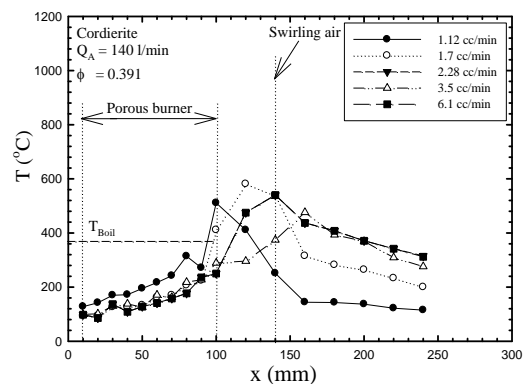
รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Q_F) ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิที่สภาวะ $Q_A = 320$ l/min ในวัสดุพอร์ซันเซรามิกซ์อะลูมินา-คอร์ดีไรท์ ซึ่งมีค่า $\phi = 0.391$ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดความยาวในแนวแกนของอุปกรณ์ทดลองตามปริมาณ Q_F ที่จ่ายให้แก่ระบบ เนื่องจากระบบได้รับพลังงานหรือปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น พร้อมทั้งยังมีการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟและผนังห้องเผาไหม้ย้อนกลับไปยังวัสดุพอร์ซันมากขึ้น เป็นการช่วยส่งเสริมการระเหยตัวและเป็นการอุ่นน้ำมันไบโอดีเซลแต่อย่างไรก็ตามปริมาณ CO กลับมีแนวโน้มลดลงตามค่า Q_F ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิงที่เพิ่มเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้หนา (Rich combustion) ดังแสดงในรูปที่ 5 สำหรับ NO_x มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการจ่าย Q_F ที่เพิ่มขึ้น เพราะมีระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามระดับ NO_x ถือว่าแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพราะการเผาไหม้ทุกสภาวะของ Q_F มีโครงสร้างทางอุณหภูมิต่อน้ำต่ำและใกล้เคียงกันตลอดโครงสร้าง ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเกิด NO_x



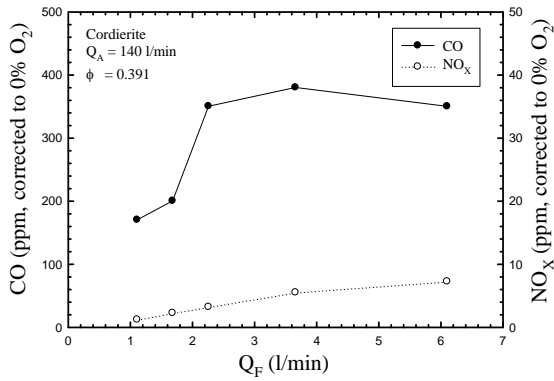
รูปที่ 2 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ซันเซรามิกซ์อะลูมินา-คอร์ดีไรท์ ที่สภาวะ $Q_F = 6.1$ cc/min และ $\phi = 0.391$



รูปที่ 3 อิทธิพลของ Q_A ที่มีต่อ CO และ NO_x สำหรับการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในเซรามิกซ์อะลูมินา-คอร์ดีไรท์ ที่สภาวะ $Q_F = 6.1$ cc/min และ $\phi = 0.391$



รูปที่ 4 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ซันเซรามิกซ์อะลูมินา-คอร์ดีไรท์ ที่สภาวะ $Q_A = 140$ l/min และ $\phi = 0.391$



รูปที่ 5 อิทธิพลของ Q_F ที่มีต่อ CO และ NO_x สำหรับการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในเซรามิกซ์อะลูมินา-คอร์ดีไรท์ ที่สภาวะ $Q_A = 140$ l/min และ $\phi = 0.391$

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนบทความขอขอบคุณ นายประวิทย์ นนท์ชุตตต นายวันชัย รักวงศ์ไทย นายวัชรพงษ์ มั่นเหมาะ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ได้อำนวยความสะดวกและอำนวยความสะดวกบางส่วนจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. สรุป

จากการศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหัวพ่นไฟเซรามิกซ์อะลูมินา-คอร์ดีไรท์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) โครงสร้างทางอุณหภูมิมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อค่า Q_A เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบได้รับอากาศเกินความจำเป็น ส่งผลให้อัตราส่วนผสมกับไอน้ำมันไบโอดีเซลเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้ไอดีบาง (Lean combustion)

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

3) โครงสร้างทางอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดความยาวในแนวแกนของอุปกรณ์ทดลองตามปริมาณ Q_F ที่จ่ายให้แก่ระบบ เนื่องจากระบบได้รับพลังงานหรือปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการเผาไหม้ดีขึ้น พร้อมทั้งยังมีการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟและผนัง

ห้องเผาไหม้ย้อนกลับไปยังวัสดุพูนมากขึ้น เป็นการช่วยส่งเสริมการระเหยตัวและเป็นการอุ่นน้ำมันไบโอดีเซล

4) ปริมาณ CO ที่มีแนวโน้มลดลงตามค่า Q_F ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิงที่เพิ่มเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้หนา (Rich combustion) สำหรับปริมาณ NO_x มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการจ่าย Q_F ที่เพิ่มขึ้น เพราะมีระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามระดับ NO_x ถือว่าแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Jugjai, S. and Phothiya, C. (2006). Liquid fuels-fire porous combustor-heater, *Fuel*, vol.86, 2006, pp.1062 - 1068.
- [5] Amatachaya, P. and Kittacom, 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.
- [6] Kittacom, 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.