

หัวฟันไฟแบบวัสดุพรุนโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

Porous Burner Using Diesel Oil

บัณฑิต กฤตาคม

Bundit Krittacom

ห้องปฏิบัติการถ่ายเทความร้อนและการเผาไหม้ในวัสดุพรุน

(Heat Transfer and Combustion in Porous Media Laboratory: HC-POM)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

744 ถนนสุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทร 044-233073 โทรสาร 044-233074 ต่อ 3410

E-mail: bundit.kr@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลในหัวฟันไฟวัสดุพรุนได้ถูกทำการทดลอง เพื่อศึกษากลไกการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงและพฤติกรรมการเผาไหม้ วัสดุพรุนทำมาจากตาข่ายสแตนเลสขนาดความถี่ 16 เมช (Mesh) ตัดให้เป็นวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 96 มิลลิเมตร วางซ้อนทับกันเป็นชั้นวัสดุพรุนมีความหนาและค่าความพรุน (ϵ) เท่ากับ 75 มิลลิเมตร และ 0.752 ตามลำดับ น้ำมันเชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่ระบบด้วยการหยดจากด้านบนผ่านชั้นวัสดุพรุน เกิดการระเหยกลายเป็นไอนำไปสู่การเผาไหม้บริเวณด้านล่างชั้นวัสดุพรุน ซึ่งหัวฟันไฟแบบนี้แตกต่างจากหัวฟันไฟแบบปกติที่มีหัวฉีดความดันสูงทำหน้าที่พ่นเชื้อเพลิงเหลวให้เกิดการสเปรย์เป็นฝอยละอองจึงสามารถเกิดการเผาไหม้ได้ อุณหภูมิตลอดแนวความยาวของหัวฟันไฟถูกตรวจวัดและแสดงในรูปโครงสร้างทางอุณหภูมิเพื่ออธิบายถึงกลไกการระเหยและพฤติกรรมการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลขณะเดียวกันแก๊สไอเสียก็ถูกตรวจวัดที่ตำแหน่งด้านออกของระบบด้วยเช่นกัน จากการศึกษาพบว่ากลไกการระเหยของน้ำมันดีเซลในชั้นวัสดุพรุนสามารถเกิดขึ้นได้และถูกส่งเสริมโดยอาศัยการแผ่รังสีจากเปลวไฟที่เสถียร ซึ่งมีความปั่นป่วนเกือบเต็มหน้าตัดของหัวฟันไฟ อัตราการจ่ายอากาศหมุนวน (Q_A) มีผลกับการโครงสร้างทางอุณหภูมิเล็กน้อย แต่โครงสร้างทางอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างชัดเจนตามอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) ที่เพิ่มขึ้นสำหรับปริมาณแก๊สไอเสีย (CO และ NO_x) ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของทั้ง Q_F และ Q_A การเผาไหม้มีแนวโน้มที่สมบูรณ์ขึ้นอย่างเด่นชัดหากมีการเพิ่ม

ปริมาณ Q_F ให้กับระบบ ค่า CO และ NO_x ที่วัดได้จากหัวฟันไฟวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลสมีค่าต่ำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังได้เสนอสมการเชิงเส้นอย่างง่ายที่สามารถใช้คำนวณหาค่าความพรุนของวัสดุพรุน โดยเป็นฟังก์ชันของจำนวนเมชเพียงค่าเดียว

Abstract

The combustion of diesel oil in the porous burner was examined to investigate evaporation mechanism and combustion behavior. The porous medium was made of stainless steel wire-net having 16 meshes per inch. The stainless steel wire-net was cut as circular shape of 96 mm in diameter and was then stacked together to form a porous burner. The porosity (ϵ) and thickness of porous burner were 75 mm and 0.752 respectively. 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. 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 investigation, it was found that evaporation mechanism of diesel oil in porous burner could be achieved owing to the porous burner gained energy from flame

radiation. The flame was turbulently stabilized by occurring almost throughout the cross section area of the burner. The temperature profile slightly depended on the effect of flow rate of swirling air (Q_A), but strongly depended on the effect of fuel load input (Q_F). The complete combustion was explicitly obtained with increasing Q_F . The level of CO and NO_x were acceptable range. Moreover, a simplification of linear equation for estimating the porosity of stainless steel wire-net assumed to be a function of mesh per inch alone was also proposed.

1. บทนำ

การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว (Liquid fuels) โดยวิธีทั่วไป จำเป็นต้องใช้หัวฉีดความดันสูง (High-pressure atomizer) เพื่อทำให้เกิดการแตกตัวเป็นฝอยละออง (Liquid droplets) ที่ละเอียด เพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงให้สูงขึ้น ดังนั้นห้องเผาไหม้จะต้องมีขนาดใหญ่ออกรับการฟุ้งกระจายของฝอยละอองน้ำมัน ทำให้ค่าความเข้มของการเผาไหม้ (Combustion intensity) มีค่าต่ำ คุณลักษณะของละอองน้ำมัน (Ballistic characteristics) ก็ต้องคำนึงถึง รวมทั้งต้องรักษาการกระจายอนุภาคน้ำมันที่สูงตลอดทั่วห้องเผาไหม้ เพื่อให้ละอองน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถระเหยกลายเป็นไอเกิดการเผาไหม้ได้อย่างเต็มที่ ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวแบบทั่วไป การประยุกต์ใช้งานวัสดุพรุนจึงเป็นอีกแนวทางเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากหากใช้วัสดุพรุนในขั้นตอนการระเหย จะสามารถส่งเสริมกลไกการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอน้ำมันตามคุณลักษณะเด่นที่สำคัญ 2 ประการของวัสดุพรุน กล่าวคือ ประการแรกมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก ประการที่สองมีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุที่บดทั่วไป ทำให้วัสดุพรุนสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนระหว่างการพาและการแผ่รังสีความร้อนได้เป็นอย่างดี

Kaplan และ Hall [1] รวมทั้ง Tseng และคณะ [2] ได้นำเอาวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้กับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวด้วยการ

สเปรย์เชื้อเพลิงเหลวพร้อมทั้งป้อนอากาศเข้าไปในชั้นวัสดุพรุน พบว่าละอองเชื้อเพลิงสามารถระเหยและผสมกับอากาศ เกิดการเผาไหม้ภายในชั้นวัสดุพรุนได้เอง (Self sustaining combustion) จากการศึกษาเชิงทดลองที่ได้นี้ ทำให้เชื่อได้ว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยใช้วัสดุพรุนจะดีกว่าการสเปรย์แบบปกติ (Conventional open spray flame) เพราะลักษณะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า มลภาวะจากการเผาไหม้มีค่าต่ำ แต่ระบบการเผาไหม้แบบสเปรย์นี้ยังมีข้อเสีย นั่นคือ การป้อนเชื้อเพลิงต้องพึ่งพาหัวฉีดความดันสูง เพื่อพ่นให้เป็นละออง ด้วยเหตุนี้ Takami และคณะ [3] จึงเสนอแนวคิดใหม่ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว (น้ำมันก๊าด) โดยใช้วิธีการหยดเชื้อเพลิงลงบนชั้นวัสดุพรุนแทนการสเปรย์ ซึ่งเชื้อเพลิงจะระเหยภายในชั้นวัสดุพรุนและผสมกับอากาศ บริเวณทางออกของชั้นวัสดุพรุนเกิดการเผาไหม้ การเผาไหม้เกือบสมบูรณ์ตลอดค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio) อยู่ระหว่าง 0.5 - 0.9 อย่างไรก็ตามมีเพียงโครงสร้างทางความร้อนภายในห้องเผาไหม้ที่ทำการวัดและอธิบายผล แต่ยังไม่มีการศึกษาภายในชั้นวัสดุพรุน (Porous burner) ด้วยเหตุผลดังกล่าว Jugjai และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว ลักษณะคล้ายคลึงกับ Takami และคณะ [3] แต่วัสดุพรุนทำมาจากตาข่ายสแตนเลส (Stainless wire-net) วางซ้อนทับกันหนา 75 mm เพื่ออธิบายคุณลักษณะของการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น และกลไกการระเหยตัวในชั้นวัสดุพรุน ทำการวัดอุณหภูมิตามแนวรัศมีและแนวแกนทั้งในห้องเผาไหม้และในชั้นวัสดุพรุน รวมทั้งยังวัดคุณลักษณะของแก๊สไอเสีย (Emission of pollutant) จากผลการศึกษาพบว่า กลไกการระเหยตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงระเหยตัวกลายเป็นไอจนหมดภายในชั้นวัสดุพรุน เพราะได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของเปลวไฟที่เผาไหม้อยู่ด้านล่างของชั้นวัสดุพรุน ซึ่งทำหน้าที่ช่วยและส่งเสริมการระเหยตัวกลายเป็นไอของเชื้อเพลิง นอกจากนี้ Jugjai และ Polmart [5] ได้เสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการคลุกเคล้าของอากาศหมุนวนกับไอเชื้อเพลิงให้ดียิ่งขึ้น โดยใช้อากาศหมุนวนแบบสามทาง (Three-way swirling air) และแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของวัสดุพรุนที่ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี (Porous

emitter) ที่มีผลต่อการเผาไหม้ ฉะนั้นการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยใช้วัสดุพอร์นจึงมีความสามารถที่จะเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ปลอดภัยมลภาวะต่ำ มีห้องเผาไหม้ขนาดเล็กเมื่อเทียบกับแบบปกติ และไม่จำเป็นต้องใช้หัวฉีดความดันสูง ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานจริง

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยได้สร้างอุปกรณ์การทดลองหรือหัวพ่นไฟที่มีขนาด และวิธีการทดลองคล้ายคลึงกับ Jugjai และคณะ [4] แต่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันก๊าด เพราะจะได้เป็นข้อมูลเบื้องต้นและแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาใช้กับน้ำมันทางเลือกอื่น ๆ เช่น ไบโอดีเซล หรือน้ำมันที่สกัดได้จากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้เสนอสมการอย่างง่ายที่ใช้ทำนายค่าความพอรนของวัสดุพอร์นแบบตาข่ายสแตนเลส เพื่อให้เข้าใจถึงสภาพของวัสดุพอร์นแบบนี้ อันจะนำไปสู่การปรับปรุงพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงต่อไป

2. รายการสัญลักษณ์

- A_p พื้นที่ภาพฉายในการคำนวณค่าความพอรน (m^2)
- A_s พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดตาข่ายสแตนเลส (m^2)
- d เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นตาข่ายสแตนเลส (m)
- F_v สัดส่วนเชิงปริมาตรของเนื้อวัสดุในหนึ่งหน่วย
- p ระยะพิชท์ของตาข่ายสแตนเลส (m)
- ppm หน่วยวัดความเข้มข้นของแก๊สต่อล้านส่วน
- Q_A อัตราการจ่ายอากาศหมุนวน (m/s)
- Q_F อัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (kW)
- T อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
- $T_{boil, av}$ อุณหภูมิจุดเดือดเฉลี่ยของน้ำมันดีเซล ($^{\circ}C$)
- ϵ ค่าความพอรน
- ϵ_{Exp} ค่าความพอรนที่ได้จากการทดลอง
- ϵ_{Fit} ค่าความพอรนที่ได้จากสมการ (3)

3. วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลองของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์นชนิดตาข่ายสแตนเลส โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแบ่งออก

ได้สองขอบเขตที่สำคัญ ประกอบไปด้วย ขอบเขตที่หนึ่งเป็นส่วนที่มีการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงโดยการหยด จากชุดจ่ายเชื้อเพลิง (Syringe) ลงสู่วัสดุพอร์นเกิดการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง (Preheating) และในที่สุดเกิดการระเหย (Vaporization) ภายในชั้นวัสดุพอร์น (Porous burner) ซึ่งวัสดุพอร์นทำมาจากตาข่ายสแตนเลส ขนาดความถี่ 16 เมช (mesh: 1 นิ้วมีจำนวน 16 ช่อง) ตัดให้เป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 96 mm วางซ้อนทับกันให้มีความหนา 75 mm บรรจุอยู่ข้างในท่อสแตนเลส ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 104 mm หนา 2 mm เพื่อกันความร้อนสูญเสียสู่ภายนอกและให้ตาข่ายสแตนเลสวางอยู่อย่างเสถียร จึงหล่อปูนทนไฟ (Cement) หนา 2 mm ภายในท่อสแตนเลส ตลอดช่วงที่มีการบรรจุวัสดุพอร์น (75 mm) ฉะนั้นจึงเรียกขอบเขตนี้ว่าขอบเขตการระเหยเชื้อเพลิง (Evaporation zone) และขอบเขตที่สองคือ ส่วนที่มีการคลุกเคล้าระหว่างอากาศหมุนวนกับไอน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ (Mixing & combustion zone)

จากส่วนประกอบทั้งหมดของหัวพ่นไฟแบบนี้จะมีหลักการทำงานคือ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงถูกหยดลงมาจากด้านบนสุดของระบบ เข้าสู่ผิวด้านบนของชั้นวัสดุพอร์นในขอบเขตที่หนึ่ง น้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลผ่านชั้นวัสดุพอร์น และจะระเหยกลายเป็นไอจนหมดในชั้นวัสดุพอร์นนี้ หลังจากนั้นไอน้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลลงมาสู่บริเวณทางออกของชั้นวัสดุพอร์นเข้าสู่ขอบเขตที่สอง ผสมกับอากาศที่ป้อนเข้ามาทางด้านข้างของห้องเผาไหม้ในลักษณะหมุนวนแบบสามทาง เกิดการผสมคลุกเคล้ากันอย่างรุนแรงนำไปสู่การจุดติดไฟ (Ignition) และเผาไหม้ในที่สุด เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะแผ่รังสีความร้อนย้อนกลับไปยังชั้นวัสดุพอร์นทำให้มีความร้อนหมุนเวียนภายในระบบเป็นวัฏจักรเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง トラบที่มีเชื้อเพลิงป้อนหยดลงมาบนชั้นวัสดุพอร์น ด้วยเหตุนี้เพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์เผาไหม้ กลไกการระเหยของเชื้อเพลิงและการส่งถ่ายความร้อนระหว่างชั้นวัสดุพอร์นกับเปลวไฟที่เกิดขึ้น อุณหภูมิตามแนวแกนและแก๊สไอเสียจึงถูกตรวจวัดดังรายละเอียดต่อไปนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเอ็น (N-type thermocouples) จำนวน 13 ชั้น ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm จะถูกติดตั้งในระบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตาม

ตำแหน่งติดตั้งได้ดังนี้ กลุ่มที่หนึ่งเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 6 ชิ้น จะติดตั้งตามแนวแกนที่ผิวด้านในของปูนทนไฟ และสัมผัสกับผิวด้านนอกของวัสดุพูน สาเหตุที่ไม่สอดเทอร์โมคัปเปิลจนทะลุถึงตำแหน่งตรงกลาง เนื่องจากไม่ต้องการให้ชัดเจนการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านชั้นวัสดุพูน ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อกลไกการระเหยได้ สำหรับกลุ่มที่สอง เทอร์โมคัปเปิลจำนวน 7 ชิ้น จะติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางของระบบตามแนวแกน หากพิจารณาแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น จะไหลออกจากระบบทางด้านล่างของท่อสแตนเลส และถูกตรวจวัดหาปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น M350 นำเสนอค่าที่วัดได้ โดยปรับค่าเทียบกับออกซิเจนส่วนเกิน 0% ในพื้นฐานแห้ง (Correction by 0% excess oxygen on dry basis)

3.2 การหาความพรุนของวัสดุพูนชนิดตาข่าย

ค่าความพรุน (Porosity, ε) ของตาข่ายสแตนเลสในงานวิจัยนี้ จะคำนวณจากโครงสร้างทางกายภาพที่มีลักษณะตาข่ายสานกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 การคำนวณหาค่าความพรุน จะพิจารณาโดยเอาปริมาตรของเนื้อวัสดุ ซึ่งในที่นี้หาจากสัดส่วนเชิงปริมาตรของเนื้อวัสดุในหนึ่งหน่วย (Fraction of volumetric material per unit volume, F_v) หักออกจากสัดส่วนปริมาตรทั้งหมดในหนึ่งหน่วยปริมาตร (Unit total volume) มีค่าเท่ากับ 1 แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

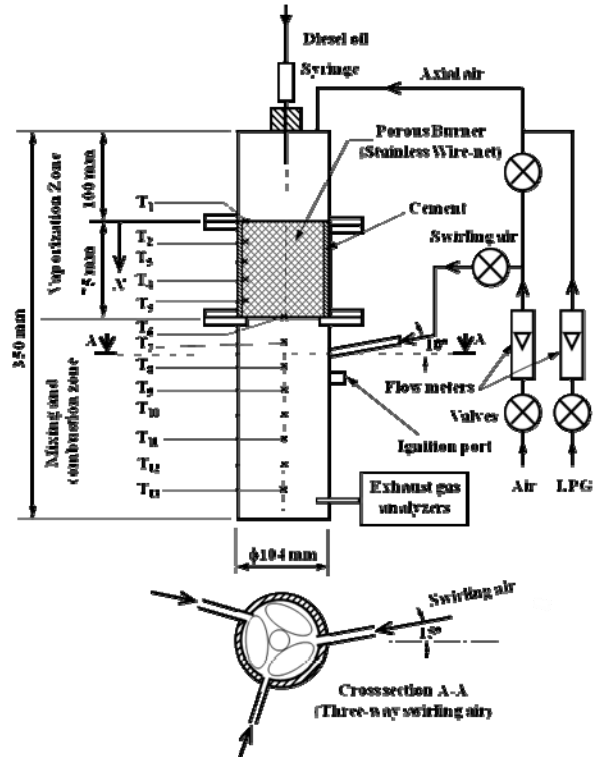
$$\epsilon = 1 - F_v = 1 - \left[\frac{A_s \times p \times 2}{p \times p \times d} \right] = 1 - \left[\frac{\pi \frac{d^2}{4} \times p \times 2}{p \times p \times d} \right]$$

$$= 1 - \left(\frac{\pi d}{4p} \right) \tag{1}$$

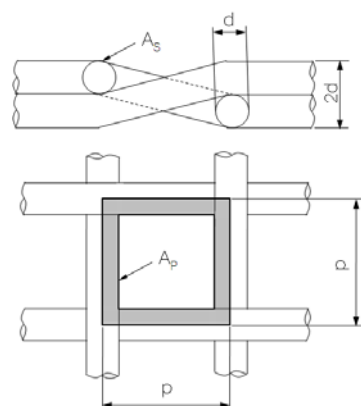
นอกจากนี้ คุณลักษณะทางกายภาพของตาข่ายสแตนเลส ที่มีค่าความถี่แตกต่างกัน 3 ค่าเมฆ แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางกายภาพของตาข่ายสแตนเลส

Mesh	Wire-net diameter d × 10 ⁻³ (m)	Pitch p × 10 ⁻³ (m)	F _v	ε
16	0.5	1.587	0.25	0.752
30	0.2	0.847	0.19	0.814
50	0.15	0.508	0.23	0.768



รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์การทดลองของหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 2 วัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส

4. ผลและการวิเคราะห์

4.1 เสถียรภาพของเปลวไฟ

ลักษณะเปลวไฟของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์นตาข่ายสแตนเลสขนาดความถี่ 16 เมช ค่าความพอรุน (ϵ) 0.752 ที่สภาวะ $Q_F = 17.86 \text{ kW}$ และ $Q_A = 0.21 \text{ m/s}$ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 พบว่าการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลจะเกิดขึ้นระหว่างบริเวณด้านล่างชั้นวัสดุพอร์น กับอากาศหมุนวนแบบสามทาง เนื่องจากบริเวณนี้ไอน้ำมันดีเซลจะระเหยผ่านชั้นวัสดุพอร์นออกมาผสมกับอากาศหมุนวนอย่างรุนแรงจนเป็นเนื้อเดียวกันและมีอุณหภูมิสูงเพียงพอต่อการจุดติดไฟโดยเปลวไฟที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะปั่นป่วนและหมุนวนเกือบทั่วทั้งหน้าตัดภายในของหัวพ่นไฟความร้อนจากเปลวไฟจะถ่ายเทให้กับผนังของห้องเผาไหม้และย้อนกลับไปยังวัสดุพอร์น โดยกระบวนการแผ่รังสี ซึ่งวัสดุพอร์นจะดูดซับพลังงานความร้อนเอาไว้เพื่อใช้ในการระเหยตัวของน้ำมันดีเซล เป็นไปตามหลักการหมุนเวียนพลังงานของ Weinberg [6] อย่างไรก็ตามก็ยังมีความร้อนบางส่วนสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียเช่นกัน



รูปที่ 3 ลักษณะเปลวไฟของการเผาไหม้ในหัวพ่นไฟวัสดุพอร์นชนิดตาข่ายสแตนเลสขนาดความถี่ 16 เมช

4.2 อิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศหมุนวน (Q_A)

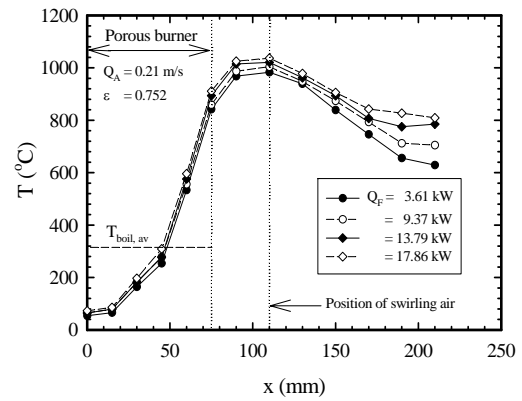
รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศหมุนวน (Q_A) ต่อโครงสร้างทางความร้อนที่แสดงในรูปการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวแกนภายในของอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งในที่นี้ขอเรียกว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิ (Temperature profile)

และเป็นการทดลองที่สภาวะ $\epsilon = 0.752$ และ $Q_F = 17.86 \text{ kW}$ พบว่าเมื่อค่า Q_A เพิ่มขึ้น โครงสร้างทางอุณหภูมิภายในชั้นวัสดุพอร์น (Porous burner) มีแนวโน้มเกือบไม่เปลี่ยนแปลง แต่โครงสร้างทางอุณหภูมิของเปลวไฟ (Temperature profile of flame) ในขอบเขตการผสมระหว่างไอเชื้อเพลิงกับอากาศหมุนวนและการเผาไหม้ (Mixing and combustion zone) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง $0.15 \leq Q_A \leq 0.21 \text{ m/s}$ เนื่องจากมีอากาศเข้าไปผสมและคลุกเคล้ากับไอน้ำมันดีเซลมากขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้ดีขึ้น แต่เมื่อเพิ่มค่า Q_A ต่อไปกลับพบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิของเปลวไฟที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ตามความเป็นจริงของอากาศส่วนเกิน เพราะระบบได้รับอากาศเกินความจำเป็น ส่งผลให้อัตราส่วนผสมกับไอเชื้อเพลิงเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้ไอดีบาง (Lean combustion) ข่อมทำให้อุณหภูมิจากการเผาไหม้ต่ำลง ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับปริมาณ CO และ NO_x ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5 กล่าวคือเมื่อ Q_A เพิ่มขึ้นในช่วง $0.15 \leq Q_A \leq 0.21 \text{ m/s}$ อิทธิพลของการคลุกเคล้าจะดีขึ้น เป็นจุดสำคัญที่ทำให้ปริมาณ CO มีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเพิ่มค่า Q_A ต่อไป CO จะมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยตามอากาศส่วนเกิน สำหรับปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นตลอดทั้งการทดลองจะมีค่าต่ำกว่า 150 ppm เพราะระดับอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าต่ำ ซึ่งปริมาณ NO_x ทุกกรณีจะไม่แตกต่างกัน เพราะการเผาไหม้ได้รับเชื้อเพลิงในปริมาณเท่ากัน ส่งผลให้ระดับอุณหภูมิของการเผาไหม้หรืออุณหภูมิสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน

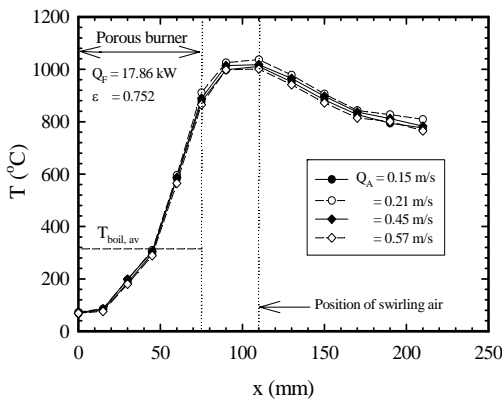
4.3 อิทธิพลของอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F)

รูปที่ 6 จะแสดงอิทธิพลของการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (Q_F) ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิที่สภาวะ $\epsilon = 0.752$ และ $Q_A = 0.21 \text{ m/s}$ พบว่าเมื่อ Q_F เพิ่มขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างทางอุณหภูมิมิมีค่าสูงขึ้นตลอดความยาวของอุปกรณ์การทดลองทั้งในชั้นวัสดุพอร์นและส่วนเปลวไฟ เนื่องจากการเผาไหม้ได้รับปริมาณน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟและผนังห้องเผาไหม้กลับไปยังชั้นวัสดุพอร์นสูงตามไปด้วย ซึ่งจะช่วยให้เสริมอัตราการระเหยตัวและการอุ่นไอน้ำมัน

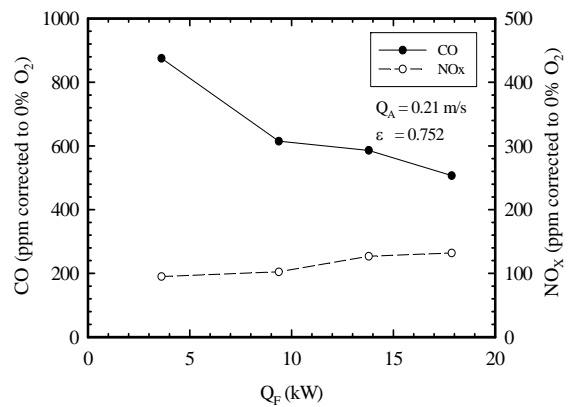
ดีเซลให้ดีขึ้น ดังจะเห็นได้จากอุณหภูมิภายในชั้นวัสดุพอร์น โดยเฉพาะบริเวณด้านนอกที่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำมันดีเซล [7] (270 – 330 °C) เป็นไปตามหลักการแผ่รังสีของวัสดุพอร์น [8] ทำให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องอย่างชัดเจนกับ ปริมาณของ CO ดังแสดงในรูปที่ 6 กล่าวคือปริมาณ CO จะมี ค่าลดต่ำลงตามค่า Q_F ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ยิ่งขึ้น ส่งเสริมกลไกการระเหยในชั้นวัสดุพอร์น ในส่วนของ ปริมาณ NO_x จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพราะอุณหภูมิการ เผาไหม้ในขอบเขตการผสมระหว่างไอเชื้อเพลิงกับอากาศ หมุนและ การเผาไหม้มีค่าเพิ่มขึ้นตาม Q_F อย่างไรก็ตามค่า NO_x ที่วัดได้ก็ยังคงมีค่าต่ำกว่า 150 ppm ทุกสภาวะการทดลอง เนื่องจากระดับอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าไม่สูงมากนัก



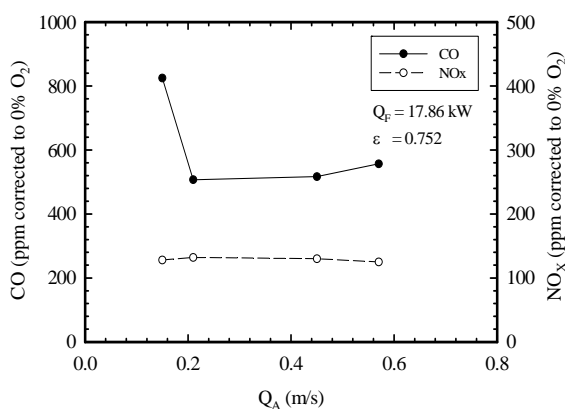
รูปที่ 6 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวพ่นไฟ ที่สภาวะ $\epsilon = 0.752$ และ $Q_A = 0.21$ m/s



รูปที่ 4 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวพ่นไฟ ที่สภาวะ $\epsilon = 0.752$ และ $Q_F = 17.86$ kW



รูปที่ 7 อิทธิพลของอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงที่มีต่อ CO และ NO_x ที่สภาวะ $\epsilon = 0.752$ และ $Q_A = 0.21$ m/s



รูปที่ 5 อิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศหมุนวนที่มีต่อ CO และ NO_x ที่สภาวะ $\epsilon = 0.752$ และ $Q_F = 17.86$ kW

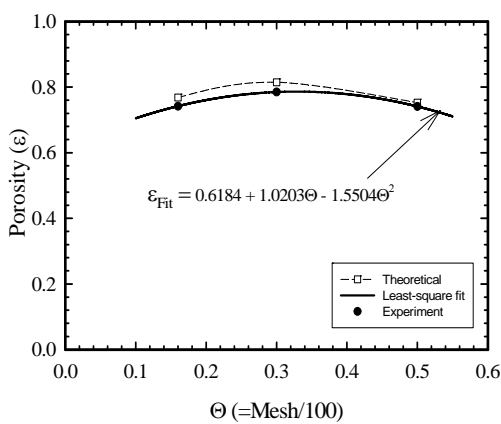
4.4 อิทธิพลของเมฆต่อค่าความพรุน

รูปที่ 8 แสดงผลการเปรียบเทียบการหาค่าความพรุน (ϵ) ของ วัสดุพอร์นชนิดตาข่ายสแตนเลส โดยกราฟเส้นประพร้อม สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมจะเป็นค่าความพรุนที่ได้จากสมการ (1) ส่วนกราฟเส้นทึบเป็นการหาค่าความพรุนจากสมการอย่างง่าย (สมการที่ (3)) ซึ่งสร้างมาจากแนวโน้มของการทดลอง และ สัญลักษณ์วงกลมทึบเป็นค่าความพรุนที่ได้จากการทดลอง โดยหากจากอัตราส่วนระหว่างผลต่างปริมาตรรูปทรงภายนอก ทั้งหมดของวัสดุพอร์น (V_T) กับปริมาตรน้ำส้มหรือแทนถูก แทนที่ด้วยเนื้อวัสดุ (V_p) ต่อปริมาตรปริมาตรรูปทรงภายนอก ทั้งหมด ซึ่งอธิบายเพิ่มเติมไว้ในสมการที่ (2) จากการ

เปรียบเทียบพบว่าค่าความพรุนทั้งสามกรณีมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ดังนั้นการหาค่าความพรุนสามารถคำนวณได้อย่างสะดวก เพียงแค่ทราบจำนวนเมชของตาข่ายเท่านั้นก็เพียงพอ

$$\epsilon_{Exp} = \frac{V_T - V_P}{V_T} \quad (2)$$

$$\epsilon_{Fit} = 0.6184 + 1.0203 \Theta - 1.5504 \Theta^2 \quad (3)$$



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบค่าความพรุนที่ได้จากวิธีต่าง ๆ

5. สรุปผล

จากการศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ของหัวฟันทันไฟชนิดตาข่ายสแตนเลส โดยใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงนั้น สามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1) ชั้นวัสดุพรุน (Porous Burner) จะแสดงให้เห็นว่ามีบทบาทสำคัญมากในการส่งเสริมการระเหยกลายเป็นไอของน้ำมันเชื้อเพลิงตลอดจนการจุดติดไฟ และช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ทั้งโดยอาศัยการแผ่รังสีความร้อน และการพาความร้อนไปยังเชื้อเพลิง

2) การจ่ายอากาศแบบหมุนวน (Q_A) จะมีอิทธิพลต่อการคลุกเคล้ากันระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากหากส่วนผสมดีหรือเหมาะสม จะทำให้การเผาไหม้มีอุณหภูมิสูง และปลดปล่อยมลพิษต่ำ ในการทดลองครั้งนี้พบว่าที่ค่า $Q_A = 0.21$ m/s จะให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงที่สุด

3) โครงสร้างของอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนตามปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (Q_F) ส่งผลให้กลไกการระเหยของไอ น้ำมันเชื้อเพลิงในชั้นวัสดุพรุน และพฤติกรรมของการเผาไหม้ที่ขอบเขตการผสมและเผาไหม้ (Mixing and combustion zone) ดียิ่งขึ้น เมื่อ Q_F เพิ่มขึ้น และอาจมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

4) การคำนวณหาค่าความพรุนของตาข่ายสแตนเลสสามารถคำนวณได้อย่างง่ายตามสมการ (3) ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันของจำนวนเมชเพียงค่าเดียวเท่านั้น

จากสรุปผลของบทความนี้ จะพบว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวด้วยวัสดุพรุนชนิดตาข่ายนั้น มีข้อดีหลายประการ อย่างไรก็ตามการใช้ตาข่ายสแตนเลสทำเป็นชั้นวัสดุพรุนนั้น ยังพบข้อจำกัดบางประการอยู่ นั่นคือวัสดุชนิดนี้ไม่สามารถทนอุณหภูมิได้สูงเป็นเวลานาน จึงส่งผลให้เมื่อทำการทดลองติดต่อกันเป็นระยะเวลาหลายชั่วโมงตาข่ายสแตนเลสจะมีการหลอมละลาย ดังนั้นการใช้งานตาข่ายสแตนเลสในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว จึงเป็นเรื่องที่ต้องการศึกษาและพัฒนาต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณ นายศิริชัย เสรีสุข นายสถาพร ตะชา และ นายธนະสิทธิ์ ฟูงศิริกาญจน์ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ช่วยเก็บข้อมูลการทดลองบางส่วนจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Kaplan and M. J. Hall, "The Combustion of Liquid Fuels within a Porous Media Radiant Burner" Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 11, No. 1, 1995, pp. 13-20.
 [2] C.-J. Tseng, and J. R. Howell, "Combustion of Liquid Fuels in Porous Radiant Burner" Combustion Science and Technology, Vol. 112, 1996, pp. 141-161.

- [3] H. Takami, T. Suzuki, Y. Itaya and M. Hasatani, "Performance of Flammability of Kerosene and NO_x Emission in the Porous Burner" *Fuel*, Vol. 77, No.3, 1998, pp. 165-171.
- [4] S. Jugjai, N. Wongpanit, T. Laoketkan and S. Nokkaew, "The Combustion of Liquid Fuel using a Porous Medium" *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 26, 2002, pp. 15-23.
- [5] S. Jugjai, and N. Polmart, "Enhancement of Evaporation and Combustion of Liquid Fuels through Porous Media" *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 27, 2003, pp. 901-909.
- [6] F. Weinberg, "Heat-Recirculating Burners: Principles and Some Recent Developments" *Combustion Science and Technology*, Vol. 121, 1996, pp. 3-22.
- [7] K. Annamalai and I. K. Puri, "Combustion Science and Engineering" CRC Press Taylor & Francis Group, New York, 2007, Chapter 4.
- [8] บัณฑิต กฤตาคม และพิพัฒน์ อมตฉายา "การเปรียบเทียบผลเฉลยของสมการการแผ่รังสีความร้อนในวัสดุพอร์น โดยวิธีสมการมาตรฐานทั่วไปกับผลเฉลยจากวิธีสมการโดยประมาณ P_1 " วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, เล่มที่ 16 พ.ศ. 2551 หน้า 20 - 31