



การเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหัวพ่นไฟฟัสตุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น
ที่มีโครงสร้างแบบเนื้อเดียวและกึ่งเนื้อเดียว

COMBUSTION OF BIO-DIESEL OIL ON THE PACKED-BED SPHERE POROUS BURNER
STRUCTURED AS HOMOGENEOUS AND SEMI-HOMOGENEOUS

คมเพชร อินลา^{1*} บัณฑิต กฤตาคม² มงคล คธาพันธ์¹ และรัตทิพร แสงโชติ¹

¹วิทยาลัยเทคโนโลยีพนมวันทันครราชสีมา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ E-mail: kompetme@gmail.com

²มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานนครราชสีมา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนานาเทคโนโลยีของวัสดุพรุน E-mail: bundit.kr@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในหัวพ่นไฟฟัสตุพรุน เพื่อศึกษากลไกการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิง และพฤติกรรมการเผาไหม้ วัสดุพรุนที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีการจัดเรียงตัวกัน 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบเนื้อเดียวซึ่งเลือกใช้เซรามิกซ์ ชนิดคอร์ดีไรท์ ที่มีค่าความพรุน เท่ากับ 0.391 และอีกแบบคือแบบกึ่งเนื้อเดียวจะเลือกใช้หินตุ้ปลาที่มีค่าความพรุน เท่ากับ 0.395 ตามลำดับ น้ำมันเชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่ระบบด้วยการหยดจากด้านบนผ่านชั้นวัสดุพรุน เกิดการระเหยกลายเป็นไอ นำไปสู่การเผาไหม้บริเวณด้านล่างชั้นวัสดุพรุน อุณหภูมิตลอดแนวความยาวของหัวพ่นไฟฟัสตุพรุนวัดและแสดงในลักษณะโครงสร้างทางอุณหภูมิ ขณะเดียวกันแก๊สไอเสียถูกตรวจวัดที่ตำแหน่งด้านออกของระบบ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการจ่ายอากาศหมุนวน (Q_A) โครงสร้างทางอุณหภูมิมิมีแนวโน้มลดลงในวัสดุพรุนทั้ง 2 รูปแบบ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (Q_F) และได้ข้อสังเกตที่น่าสนใจคือ โครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟฟัสตุพรุนแบบหินตุ้ปลาจะมีค่าสูงกว่าแบบเซรามิกซ์คอร์ดีไรท์ สำหรับปริมาณ CO และ NO_x ที่ปล่อยออกมาจากหัวพ่นไฟฟัสตุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นของงานวิจัยนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำยอมรับได้

คำสำคัญ: น้ำมันไบโอดีเซล, หัวพ่นไฟฟัสตุพรุน, วัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น, น้ำมันไบโอดีเซล

ABSTRACT

This research investigated the experiment of using Bio-diesel oil as fuel in porous burner to investigate evaporation mechanism and combustion behavior. There are two appearance structures of packed-bed sphere porous media, i.e., homogeneous and semi-homogeneous models, were used. The first one, homogeneous structure, was employed by Cordierite ceramic having porosities of 0.391. On the other hand, the pebble having porosities of 0.395 was chosen as semi-homogeneous structure. 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. The pollutant-emission characteristics were also monitored at the burner exit. From the study, it was found that the temperature profile of the both cases decreased with the flow rate of swirling air (Q_A) increasing. The temperature profile explicitly increased with the rate of fuel input (Q_F). Remarkably, the temperature profile of the pebble case was higher than those of the Cordierite ceramic case. The levels of CO and NOX in the present packed-bed sphere porous burner were acceptable range.

KEYWORDS: Bio-diesel oil, porous burner, packed-bed sphere, structured semi-homogeneous

Kompet Inla¹ Bundit Krittacom² Mongkol Kathapant¹ and Ratipat Sangchot¹

¹Phanomwa College of Technology Nakhonratchasima, Faculty of Engineering, Automotive Engineering

²Rajamangala University of Technology Isan Nakhonratchasima, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory (DITO-Lab)

1. บทนำ

นักวิจัยและวิศวกรหลายกลุ่ม [3-1] ได้ทำการศึกษา วิจัย และพัฒนาอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวด้วยเทคโนโลยีของวัสดุพูน ในช่วงตอนปลายของศตวรรษที่ 19 หรือประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากวัสดุพูนมีลักษณะเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูง ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก นอกจากนี้วัสดุพูน ยังมีค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุที่ทั่วไปสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนระหว่างการพาและการแผ่รังสีความร้อนได้เป็นอย่างดี

จากลักษณะเด่นของวัสดุพูนดังกล่าว ได้มีนักวิจัยหลายกลุ่ม [3, 2] นำเอาวัสดุพูนมาประยุกต์ใช้กับการเผาไหม้ เชื้อเพลิงเหลวด้วยการสเปรย์เชื้อเพลิงเหลว พร้อมทั้งป้อนอากาศเข้าไปในชั้นวัสดุพูนพบว่าละอองน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถระเหยและผสมกับอากาศแล้ว เกิดการเผาไหม้ในชั้นวัสดุพูนได้เอง (Self-sustaining combustion) อย่างไรก็ตามการป้อนเชื้อเพลิงของงานวิจัยเหล่านี้ยังคงต้องพึ่งพาหัวฉีดแรงดันสูงเพื่อพ่นให้เป็นฝอยละอองซึ่งยุ่งยากต่อการนำไปใช้ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดใหม่ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยใช้การหยดเชื้อเพลิงลงบนวัสดุพูนแทนการสเปรย์เข้าไปในวัสดุพูน ซึ่งเชื้อเพลิงยังคงระเหยภายในชั้นวัสดุพูนและผสมกับอากาศบริเวณทางออกของชั้นวัสดุพูน แล้วเกิดการเผาไหม้ ดังแสดงในผลการศึกษานักวิจัยหลายกลุ่มได้แก่ Takami และคณะ [3] ศ.ดร.สำเร็จ จักรใจ และคณะ [6-4] รวมทั้งงานวิจัยที่ผ่านมาของทีมงานผู้เขียนบทความนี้ [11-7] เป็นต้น จากการศึกษาเชิงทดลองของการเผาไหม้แบบใหม่นี้พบว่าสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวได้อย่างสมบูรณ์มีมลภาวะต่ำห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับแบบปกติ (Conventional open spray flame) และไม่จำเป็นต้องใช้หัวฉีดความดันสูงทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานซึ่งวัสดุพูนในระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบหยดนี้จะมีความสำคัญมากในการส่งเสริมการระเหยแสดงพฤติกรรมเป็นตัวกระจายเชื้อเพลิงเหลวและอุณหภูมิที่ต่ำเพราะให้อุณหภูมิสูงเกิน Leiden frost temperature [12] ทั้งยังมีกลไกการแผ่รังสีความร้อนและการนำความร้อนตลอดทั้งชั้นวัสดุพูน นำไปสู่การจุดติดไฟได้เองและช่วยส่งเสริมการเผาไหม้

จากหลักการดังกล่าวกลุ่มผู้วิจัยได้เคยทำการศึกษาเชิงทดลองความเป็นไปได้ในการใช้หินตุ้ปลา (Pebbles) เป็นวัสดุพูนในหัวพ่นไฟที่มีน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง [8, 7] ซึ่งผลการศึกษาประสบความสำเร็จอย่างดี อย่างไรก็ตามการทดลองดังกล่าวยังไม่อาจชี้ชัดได้ถึงลักษณะพฤติกรรมที่แท้จริงของเปลวไฟภายในชั้นหินตุ้ปลา เนื่องจากหินตุ้ปลาที่ถูกคัดเลือกมาทำวัสดุพูนนั้นแม้จะคัดเลือกอย่างพิถีพิถันให้มีขนาดใกล้เคียงและเท่ากันเสมือนเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous material) แต่ในความเป็นจริงก็เป็นเรื่องยากเพราะหินตุ้ปลาเหล่านี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติยากต่อการควบคุมลักษณะรูปร่าง ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของเปลวไฟและกลไกการระเหยเชื้อเพลิงจากอิทธิพลของโครงสร้างการจัดเรียงตัวในชั้นวัสดุพูนเพื่อให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น กลุ่มผู้วิจัยได้ทำการสร้างหัวพ่นไฟหรืออุปกรณ์การทดลองที่มีขนาดวิธีการทดลองคล้ายคลึงกับงานวิจัยที่ผ่านมา [7] ศึกษาเพิ่มเติมโดยนำเอาเซรามิกเม็ดกลมชนิดคอร์ดีไรท์ที่มีขายทั่วไปในเชิงพาณิชย์มาเป็นวัสดุพูนและเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อเพิ่มและขยายขอบเขตให้เข้าใจอย่างแท้จริงเกี่ยวกับหัวพ่นไฟชนิดนี้ รวมทั้งใช้เป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้งานได้จริงในทางอุตสาหกรรมต่อไปและใช้กับน้ำมันทางเลือกอื่น ๆ

2. รายการสัญลักษณ์

CO	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
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)

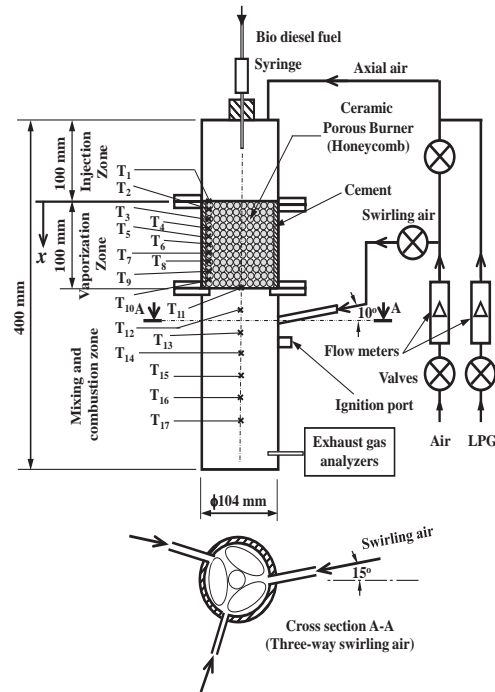
V_s	ปริมาตรช่องว่าง (cm^3)
V_T	ปริมาตรทั้งหมด (cm^3)
x	ความยาวของหัวพันไฟ (mm)
ϕ	ค่าความพรุน

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลองของหัวพันไฟวัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ขอบเขตที่สำคัญ ประกอบไปด้วย ขอบเขตที่หนึ่งเป็นพื้นที่ป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง (Injection zone) โดยการหยदन้ำมันจากชุดจ่ายเชื้อเพลิง (Syringe) ลงสู่วัสดุพรุนเม็ดกลมอัดแน่น ขอบเขตที่สองเป็นการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดการระเหย (Vaporization zone) ภายในชั้นวัสดุพรุนหรือเป็นตำแหน่งของวัสดุพรุนอาจเรียกขอบเขตนี้ว่า หัวพันไฟวัสดุพรุน (Porous burner, PB) ซึ่งวัสดุพรุนที่ทำการทดลอง 2 แบบ คือ เซรามิกซ์ คอรัติโรท์และหินดับลา ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย คือ 0.70 cm และ 0.75 cm ตามลำดับ บรรจุอยู่ข้างในท่อสแตนเลสที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 104 mm และหนาเท่ากับ 2 mm นอกจากนี้เพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียสู่ภายนอกและให้แผ่นเซรามิกซ์วางอยู่อย่างเสถียร จึงหล่อปูนทนไฟ (Cement) หนา 0.5 cm ภายในท่อสแตนเลส ตลอดช่วงที่มีการบรรจุวัสดุพรุน (100 mm) ขอบเขตสุดท้ายคือ ส่วนที่มีการคลุกเคล้าระหว่างอากาศหมุนวนกับไอน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ (Mixing and combustion zone)

จากส่วนประกอบทั้งหมดของหัวพันไฟแบบนี้จะมีหลักการทำงานคือ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงถูกหยดลงมาจากด้านบนสุดของระบบ (Fuel load input, Q_f) เข้าสู่ผิวด้านบนของชั้นวัสดุพรุนใน (ส่วนแรก Fuel injection) น้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลผ่าน PB และจะระเหยกลายเป็นไอจนหมดในชั้น PB นี้ หลังจากนั้นไอน้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลลงมาสู่บริเวณทางออกของชั้น PB เข้าสู่ (ส่วนที่สาม Combustion chamber) ผสมกับอากาศที่ป้อนเข้ามาทางด้านข้างของห้องเผาไหม้ในลักษณะหมุนวนแบบสามทาง (Three-way swirling air flow, Q_A) เกิดการผสมคลุกเคล้ากันอย่างรุนแรงนำไปสู่การจุดติดไฟ (Ignition) และเผาไหม้ในที่สุด เปลวไฟ ที่เกิดขึ้นจะแผ่รังสีความร้อนย้อนกลับไปยังชั้นวัสดุพรุนทำให้มีความร้อนหมุนเวียนภายในระบบเป็นวัฏจักรเกิดการ เผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ระบายที่มีเชื้อเพลิงป้อนหยดลงมาบนชั้นวัสดุพรุน เพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์การเผาไหม้ และกลไก การระเหยของเชื้อเพลิงและการส่งถ่ายความร้อนระหว่างชั้นวัสดุพรุนกับเปลวไฟที่เกิดขึ้น อุณหภูมิตามแนวแกนและปริมาณแก๊สไอเสียจึงถูกตรวจวัด ดังรายละเอียดต่อไปนี้ เทอร์โมคัปเปิลชนิดเอ็น (N-type thermocouples) จำนวน 17 ชิ้น ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm จะถูกติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางของหัวพันไฟตามแนวแกน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กล่าวคือ กลุ่มที่ 1 มีจำนวน 10 ชิ้น ($T_1 - T_{10}$) จะติดตั้งไว้ใน Porous burner zone เพื่อดูกลไกการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงและคุณลักษณะ การเผาไหม้ กลุ่มที่ 2 มีจำนวน 7 ชิ้น ($T_{11} - T_{17}$) จะติดตั้งไว้ใน Combustion zone เพื่อดูพฤติกรรมของเปลวไฟที่เกิดขึ้นโดยเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมดนี้จะต่อเข้ากับเครื่อง Data logger รุ่น MW 100 ยี่ห้อ Yokokawa และเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์การทดลองของหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

เพื่อประมวลผลและบันทึกค่าขณะทำการทดลอง ในส่วนของแก๊สไอเสียไหลที่เกิดขึ้นจะไหลออกจากระบบทางด้านล่างของท่อ สแตนเลส และถูกตรวจวัดหาปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส ไอเสีย (exhaust gas analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น M 350 ซึ่งปริมาณแก๊สไอเสียที่วัดได้จะนำเสนอด้วยค่าที่มีการปรับเทียบกับออกซิเจน ส่วนเกิน 0 % ในพื้นฐานแห้ง (Correction by 0% excess oxygen on dry basis)

3.2 สภาพและเงื่อนไขการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น จะจ่ายน้ำมัน (Q_F) ทั้งหมด 5 ค่า คือ 5.98, 8.47, 11.37, 17.45 และ 30.41 kW ตามลำดับ สำหรับอากาศหมุนวน (Q_A) จะจ่ายเริ่มต้นที่ 140 l/min และ เพิ่มขึ้นทีละ 20 l/min ไปจนกว่าการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟจะดับ (Flame extinction) แต่ไม่เกิน 450 l/min เนื่องจากเป็นข้อจำกัด ของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศในงานวิจัยครั้งนี้

3.3 วิธีการหาค่าความพรุน

วิธีการหาค่าความพรุน (Porosity, ϕ) ของวัสดุพูนแบบอัดเม็ดกลมอัดแน่น มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ นำวัสดุพูนใส่ลงไปใน ภาชนะรูปทรงกระบอกที่มีความสูง 10 cm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 9.5 cm จนเต็มภาชนะ เติมน้ำให้เต็มภาชนะหรือถึง ระดับด้านบนผิววัสดุพูน ทั้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้ให้น้ำซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุพูนแล้วเทน้ำออกจากภาชนะ จากนั้นตวงน้ำที่ ทราบปริมาตรแน่นอนด้วยภาชนะตวงในที่นี้คือ บีกเกอร์ (Beaker) แล้วทำการเติมน้ำอีกครั้งให้เต็มภาชนะจนถึงระดับผิวด้านบน ของวัสดุพูนอ่านค่าปริมาตรน้ำที่เติมลงไปจากบีกเกอร์ ปริมาตรน้ำที่เติมลงไปนี้ คือ ปริมาตรช่องว่างที่น้ำเข้าไปแทนที่ได้ (Void-space volume, V_s) นำปริมาตรน้ำนี้ไปหารกับปริมาตรทรงกระบอกภายในทั้งหมด (Total or bulk volume, V_T) จะสามารถคำนวณหาค่าความพรุน (ϕ) ได้จาก

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

ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เซรามิกซ์คอร์ดีไรท์และหินตุ้ปลา ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 0.70 และ 0.75 cm ตามลำดับ จากการทดลองหาค่าความพรุนซ้ำๆ หลายครั้ง พบว่าหินตุ้ปลาและเซรามิกซ์คอร์ดีไรท์มีค่า V_s เป็น 373 และ 369 cm^3 ดังนั้นจากสมการ (1) ค่า ϕ ที่ได้คือ 0.395 และ 0.391 ตามลำดับ

4. ผลการทดลอง

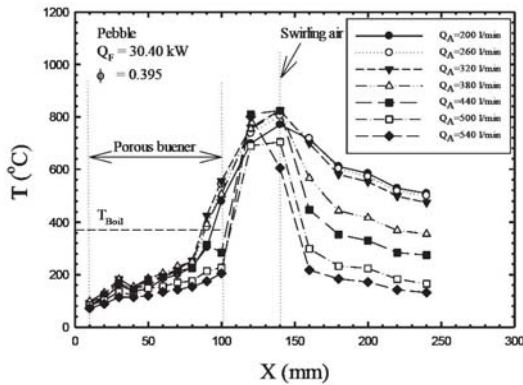
4.1 อิทธิพลอัตราการจ่ายอากาศหมุนวนสามทาง (Q_A)

รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศหมุนวนสามทาง (Three way swirling air, Q_A) ต่อโครงสร้างทางความร้อน ซึ่งแสดงอยู่ในรูปการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวแกนภายในอุปกรณ์การทดลองซึ่งในที่นี้เรียกว่า โครงสร้างทางอุณหภูมิ (Temperature profile) และเป็นการทดลองที่สภาวะการจ่ายน้ำมันไบโอดีเซล $Q_F = 30.41$ kW ในวัฏศุนย์พุนชนิดหินตุ้ปลาซึ่งมีค่า $\phi = 0.395$ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิมิมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อค่า Q_A เพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้สามารถอธิบายได้ตามความเป็นจริงของอากาศส่วนเกิน (Excess air) เนื่องจากระบบได้รับอากาศเกินความจำเป็นส่งผลให้อัตราส่วนผสมกับไอน้ำมันไบโอดีเซล เกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้ไอดีบาง (Lean combustion) ย่อมทำให้อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3 กล่าวคือ ปริมาณ CO สูงขึ้นตามค่า Q_A ที่เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สำหรับปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำกว่า 10 ppm เพราะระดับอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าต่ำ และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ Q_A ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ลดต่ำลง นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าตำแหน่งอุณหภูมิสูงสุด (Maximum temperature, T_{Max}) ที่วัดได้ ซึ่งในที่นี้เปรียบเสมือนเป็นตำแหน่งของเปลวไฟ (Flame position) จะเคลื่อนตัวจากตำแหน่งอากาศหมุนวน (Swirling air, $x = 140$ mm) ย้อนกลับไปยังชั้นวัฏศุนย์พุน ($x = 100$ mm) ตามปริมาณ Q_A ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ T_{Max} จะย้ายไปอยู่ที่ตำแหน่ง $x = 120$ mm หาก Q_A สูงเกิน 320 l/min เนื่องจากการรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟเพื่อลดการสูญเสีย ความร้อนสู่บรรยากาศของการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในกรณี Q_A สูง ๆ

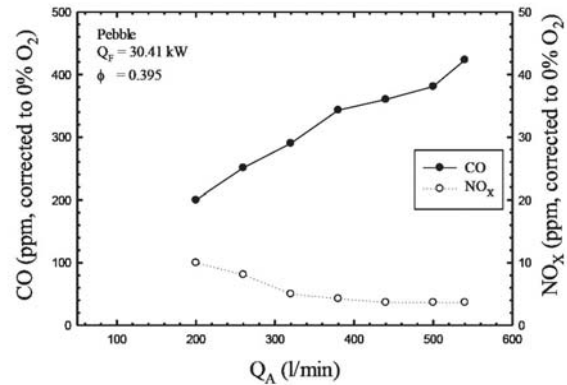
รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของ Q_A ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิที่สภาวะการจ่ายของน้ำมันไบโอดีเซล (B5) $Q_F = 30.41$ kW ในวัฏศุนย์พุนชนิดเซรามิกซ์คอร์ดีไรท์ซึ่งมีค่า $\phi = 0.391$ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิมิมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อค่า Q_A เพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ด้วยอากาศส่วนเกิน (Excess air) เช่นเดียวกับกรณีหินตุ้ปลา (รูปที่ 2) และผลที่ได้สอดคล้องกับปริมาณ CO ดังแสดงในรูปที่ 5 กล่าวคือ CO เพิ่มขึ้น เมื่อ Q_A เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำกว่า 10 ppm เพราะระดับอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าต่ำ และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามปริมาณ Q_A ที่เพิ่มขึ้นเป็นลักษณะคล้ายคลึงกับกรณีหินตุ้ปลา นอกจากนี้ตำแหน่งของ T_{Max} หรือตำแหน่งของเปลวไฟ จะเคลื่อนตัวจากตำแหน่ง Swirling air ($x = 140$ mm) ย้อนกลับไปยังชั้นวัฏศุนย์พุนตามปริมาณ Q_A ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อ Q_A มากกว่า 320 l/min กล่าวคือ T_{Max} จะย้ายไปอยู่บริเวณ $x = 120$ mm ซึ่งอธิบายได้ด้วยเหตุผลของการรักษาเสถียรภาพเปลวไฟและเพื่อลดการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศของการเผาไหม้

นอกจากนี้หากเปรียบเทียบโครงสร้างทางอุณหภูมิของหินตุ้ปลา (รูปที่ 2) กับเซรามิกซ์คอร์ดีไรท์ (รูปที่ 4) จะพบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิของหินตุ้ปลามีค่าสูงกว่าเนื่องจากการจัดเรียงตัวของเม็ดหินตุ้ปลาจะมีโครงสร้างแบบไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียว จึงทำให้เชื้อเพลิงและไอน้ำมันที่ระเหย เมื่อไหลในชั้นวัฏศุนย์พุนจะเกิดการไหลที่ช้ากว่าแบบเนื้อเดียวที่มีการจัดเรียงตัวของเม็ดเซรามิกซ์คอร์ดีไรท์ที่เป็นแบบสม่ำเสมอก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างน้ำมันกับวัฏศุนย์พุนอย่างเพียงพอ ซึ่งทำให้มีการระเหยเป็นไอน้ำมันของหินตุ้ปลามากกว่าเซรามิกซ์คอร์ดีไรท์และนำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์และดีกว่า แต่เมื่อพิจารณาถึงรูปร่างของโครงสร้างทางความร้อนจะสังเกตเห็นว่ารูปร่างโครงสร้างทางความร้อนของเซรามิกซ์คอร์ดีไรท์ล้วนมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal shape) ซึ่งบ่งบอกให้ทราบว่า การเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในเซรามิกซ์คอร์ดีไรท์ไม่เกิดเฉพาะแต่บริเวณกึ่งกลางระหว่างผิวด้านล่างวัฏศุนย์พุนกับอากาศหมุนวนเท่านั้นแต่จะลามยาวออกไปในช่วงทางออก ทำให้เปลวไฟในกรณีเซรามิกซ์คอร์ดีไรท์

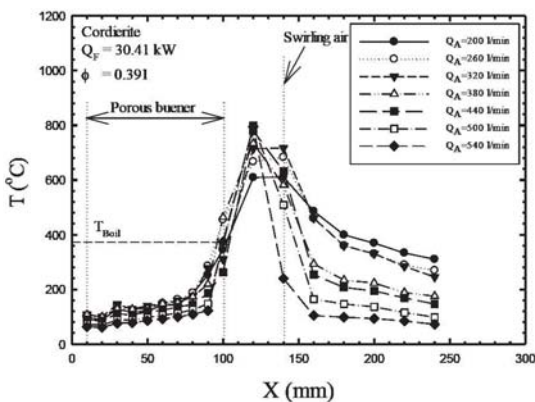
มีความยาวเปลวไฟ (Flame length) กว้างกว่าหินตุ้ปลา ด้วยอิทธิพลของไอน้ำมันที่ระเหยไม่หมดดังกล่าวนี้นำไปสู่การเผาไหม้ต้องลามยาวออกไป



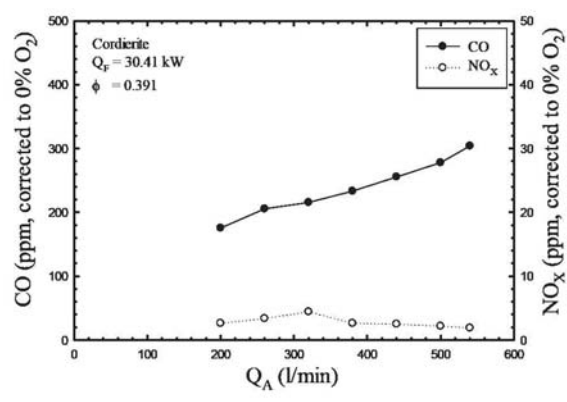
รูปที่ 2 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวพ่นไฟ
วัสดุพุนชนิดหินตุ้ปลา (กึ่งเนื้อเดียว) ที่สภาวะ
 $Q_F = 30.41 \text{ kW}$ และ $\phi = 0.395$



รูปที่ 3 อิทธิพลของ Q_A ที่มีต่อ CO และ NO_x สำหรับการ
เผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหินตุ้ปลา (กึ่งเนื้อเดียว)
ที่สภาวะ $Q_F = 30.41 \text{ kW}$ และ $\phi = 0.395$



รูปที่ 4 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนของ
หัวพ่นไฟวัสดุพุนชนิดเซรามิกซ์คอร์ดิไรท์ (เนื้อเดียว)
ที่สภาวะ $Q_F = 30.41 \text{ kW}$ และ $\phi = 0.391$



รูปที่ 5 อิทธิพลของ Q_A ที่มีต่อ CO และ NO_x สำหรับการ
เผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในเซรามิกซ์คอร์ดิไรท์ (เนื้อเดียว)
ที่สภาวะ $Q_F = 30.41 \text{ kW}$ และ $\phi = 0.391$

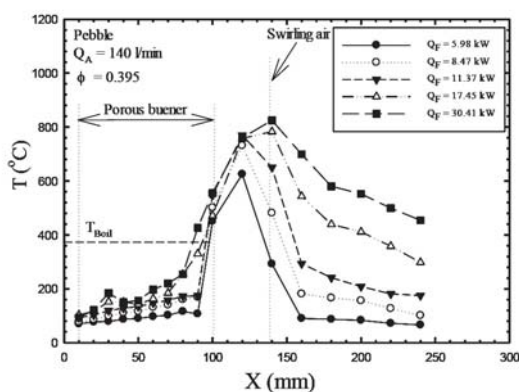
4.2 อิทธิพลของอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (Q_F)

รูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Q_F) ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิที่สภาวะ $Q_A = 140 \text{ l/min}$ ในวัสดุพุนชนิดหินตุ้ปลาซึ่งมีค่า $\phi = 0.395$ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดความยาวในแนวแกนของอุปกรณ์ทดลองตามปริมาณ Q_F ที่จ่ายให้แก่ระบบ เนื่องจากระบบได้รับพลังงานหรือปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มี การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น พร้อมทั้งยังมีการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟและผนังห้องเผาไหม้ย้อนกลับไปยังวัสดุพุนมากขึ้น เป็นการช่วยส่งเสริมการระเหยตัวและเป็นการอุ่นน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณ CO ที่มีแนวโน้มลดลงตามค่า Q_F ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7 สำหรับปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า Q_F เพราะมีระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น อย่างไร

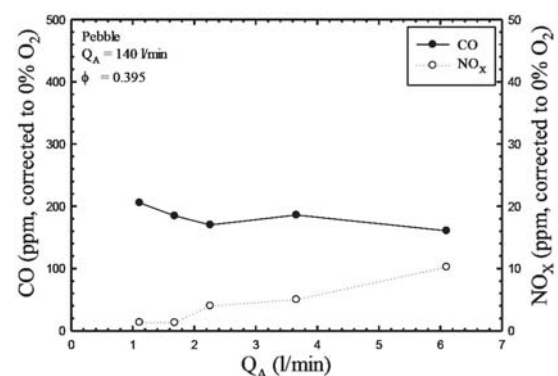
ก็ตามปริมาณ NO_x จะมีค่าไม่เกิน 10 ppm นอกจากนี้ตำแหน่งของเปลวไฟ (T_{Max}) จะเคลื่อนตัวจากบริเวณใต้ชั้น วัสดุพูน ($x = 120 \text{ mm}$) เข้าสู่ตำแหน่ง Swirling air ($x = 140 \text{ mm}$) ตามปริมาณ Q_F ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบได้รับเชื้อเพลิงมากขึ้นส่งผลให้มีไอน้ำมันระเหยและไหลมาจากชั้นวัสดุพูนมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้อิทธิพลของเปลวไฟผสมกับอากาศเพื่อให้ได้สัดส่วนที่เพียงพอต่อการเผาไหม้ ด้วยเหตุนี้ความยาวของเปลวไฟ (Flame length) จึงขยายกว้างออกไปจนถึงตำแหน่ง Swirling air ทำให้โครงสร้างทางอุณหภูมิจึงเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่ Q_F สูงๆ

รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของ Q_F ต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิที่สภาวะ $Q_A = 140 \text{ l/min}$ ในวัสดุพูนเซรามิกซ์คอร์ติไรท์ซึ่งมีค่า $\phi = 0.391$ พบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Q_F ที่จ่ายให้แก่ระบบ เนื่องจากระบบได้รับพลังงาน หรือปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาปริมาณ CO ในรูปที่ 9 กลับพบว่าแม้จะเพิ่ม Q_F ให้กับระบบมากขึ้นปริมาณ CO กลับมีค่าเพิ่มขึ้นหรือแสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้ไม่ได้มีความสมบูรณ์ตามไปด้วย อธิบายได้ดังนี้คืออย่างที่เข้าใจกันว่าโครงสร้าง การจัดเรียงตัวของเซรามิกซ์คอร์ติไรท์ค่อนข้างสม่ำเสมอเป็นเชื้อเพลิงอาจทำให้การไหลของไอน้ำมันเป็นไปอย่างสะดวกส่งผลให้มีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับวัสดุที่มีไม่เพียงพอจึงเกิดการระเหยได้น้อย นำไปสู่การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดการเผาไหม้ลามออกไปจนถึงช่วงทางออกหรือแก๊สไอเสียด้วยเหตุนี้โครงสร้างทางอุณหภูมิจึงเกิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูอย่างชัดเจน และมีความยาวเปลวไฟที่กว้าง สำหรับปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นในรูปที่ 9 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามค่า Q_F เพราะมีระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้นไม่มาก นอกจากนี้ตำแหน่งของเปลวไฟ (T_{Max}) จะเคลื่อนตัวจากบริเวณใต้ชั้นวัสดุพูน ($x = 100 \text{ mm}$) เข้าสู่ตำแหน่ง Swirling air ($x = 140 \text{ mm}$) ตามปริมาณ Q_F ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ด้วยเหตุผลการลามของเปลวไฟที่ขยายกว้างขึ้น ดังอธิบายในข้างต้น

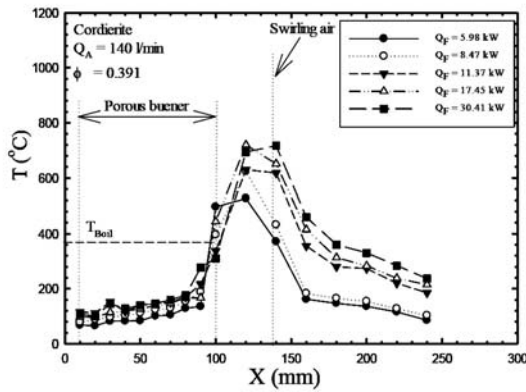
นอกจากนี้หากเปรียบเทียบโครงสร้างทางอุณหภูมิของหินตุ้ปลา (รูปที่ 6) กับเซรามิกซ์คอร์ติไรท์ (รูปที่ 8) จะพบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิของหินตุ้ปลา มีค่าสูงกว่าในช่วงชั้นวัสดุพูนถึงตำแหน่งอากาศหมุน ($0 \leq x \leq 140 \text{ mm}$) แต่หลังจากนั้น ($140 < x \leq 140 \text{ mm}$) โครงสร้างทางอุณหภูมิของหินตุ้ปลาจะต่ำกว่าเซรามิกซ์คอร์ติไรท์ เนื่องจากโครงสร้างที่ซับซ้อนไม่สม่ำเสมอของหินตุ้ปลาจะก่อให้เกิดผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำมันกับวัสดุพูนและเกิดการระเหยได้ดีกว่าเซรามิกซ์คอร์ติไรท์ จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์และสิ้นสุดในช่วงระหว่างใต้ผิววัสดุพูนกับอากาศหมุนวน ($140 \leq x \leq 140 \text{ mm}$) ดังเห็นได้ชัดเจนเมื่อพิจารณารูปแบบโครงสร้างทางอุณหภูมิของหินตุ้ปลาจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่แคบกว่าแบบเซรามิกซ์คอร์ติไรท์ และเพื่อยืนยันเหตุผลนี้หากเปรียบเทียบปริมาณ CO ของหินตุ้ปลา (รูปที่ 7) เซรามิกซ์คอร์ติไรท์ (รูปที่ 9) จะพบว่า CO ของเซรามิกซ์คอร์ติไรท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นย่อมแสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์



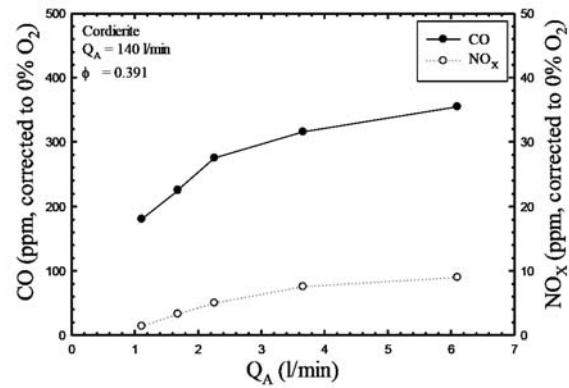
รูปที่ 6 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนของหัว
พ่นไฟวัสดุพูนชนิดหินตุ้ปลา (กึ่งเนื้อเดียว) ที่สภาวะ
 $Q_A = 140 \text{ l/min}$ และ $\phi = 0.395$



รูปที่ 7 อิทธิพลของ Q_F ที่มีต่อ CO และ NO_x สำหรับ
การเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหินตุ้ปลา (กึ่งเนื้อเดียว)
ที่สภาวะ $Q_A = 140 \text{ l/min}$ และ $\phi = 0.395$



รูปที่ 8 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนของหัวพ่นไฟ
วัสดุพอร์ซันเคลือบเคลือบ (เนื้อเดียว)
ที่สภาวะ $Q_A = 140$ l/min และ $\phi = 0.391$



รูปที่ 9 อิทธิพลของ Q_F ที่มีต่อ CO และ NO_x สำหรับ
การเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในเซรามิกซ์คอร์ติไรท์ (เนื้อเดียว)
ที่สภาวะ $Q_A = 140$ l/min และ $\phi = 0.391$

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ซันเคลือบเคลือบสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- 1) โครงสร้างทางอุณหภูมิของทั้งกรณีหินตุ้ปลาและเม็ดเซรามิกซ์มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Q_A ที่เพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้สามารถอธิบายได้ตามความเป็นจริงของอากาศส่วนเกิน (Excess air) เนื่องจากระบบได้รับอากาศเกินความจำเป็นส่งผลให้อัตราส่วนผสมกับไอน้ำมันไบโอดีเซลเกิดเป็นสภาวะการเผาไหม้ไอดีบาง (Lean combustion) ย่อมทำให้อุณหภูมิที่ต่ำลง
- 2) โครงสร้างทางอุณหภูมิทั้งกรณีหินตุ้ปลาและเม็ดเซรามิกซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Q_F ที่จ่ายให้แก่ระบบ เนื่องจากระบบได้รับพลังงานหรือปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น พร้อมทั้งยังมีการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟและผนังห้องเผาไหม้ย้อนกลับไปยังวัสดุพอร์ซันมากขึ้น เป็นการช่วยส่งเสริมการระเหยตัวและเป็นการอุ่นน้ำมันไบโอดีเซล
- 3) ปริมาณ CO จากทั้งกรณีหินตุ้ปลาและเม็ดเซรามิกซ์ มีระดับสูงขึ้นตามปริมาณ Q_A และ Q_F ที่เพิ่มขึ้น สำหรับ NO_x จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อ Q_A เพิ่มขึ้นและ Q_F ลดลงแต่จะมีค่าต่ำกว่า 10 ppm เพราะระดับอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าต่ำ
- 4) โครงสร้างทางอุณหภูมิของหินตุ้ปลา (กึ่งเนื้อเดียว) มีค่าสูงกว่าเซรามิกซ์คอร์ติไรท์ (เนื้อเดียว) เนื่องจากหินตุ้ปลาเป็นโครงสร้างแบบไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้เชื้อเพลิงและไอน้ำมันที่ระเหย เมื่อไหลภายในชั้นวัสดุพอร์ซันเกิดการไหลที่ช้ากว่าแบบเนื้อเดียวก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างน้ำมันกับวัสดุพอร์ซันอย่างยาวนานและเพียงพอ ส่งผลให้หัวพ่นไฟแบบหินตุ้ปลาเกิดการระเหยกลายเป็นไอน้ำมันมากกว่าแบบเซรามิกซ์คอร์ติไรท์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีพนมวันที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้และคณะผู้เขียนบทความขอขอบคุณนายนิวัฒน์ เกตุชาติ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ซึ่งอยู่ภายในห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาเทคโนโลยีของวัสดุพอร์ซัน (Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory, DITO-Lab) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ช่วยเก็บข้อมูลการทดลองบางส่วนจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ได้ช่วยเก็บข้อมูลการทดลองบางส่วนจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

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 77, No. 3, 165-171.
- [4] Jugjai S., Wongpanit N., Laoketkan T. and Nokkaew L., (2002). "The Combustion of Liquid Fuels using a Porous Medium, Experiment Thermal and Fluid Science 26, No. 1, 15-23.
- [5] Jugjai S. and Polmart N., (2003). Enhancement of Evaporation and Combustion of Liquid Fuels", Experiment Thermal and Fluid Science 27, No. 8, 901-909.
- [6] Jugjai S. and Phothiya C., (2006) Liquid Fuels-fire Porous Combustor-heater. Fuel 86, 1062-1068.
- [7] Amatachaya P. and Krittacom B., The Combustion of Liquid Fuels using a Packed Bed. Proceeding of International Conference on Power Engineering (ICOPE-09). Kobe, JAPAN, 2009.
- [8] Krittacom B., Amatachaya P., Srimuang W. and Inla K., The Pack-Bed Sphere Liquid Porous Burner. International Conference on Fluids and Thermal Engineering (ICFTE 2011). River View Hotel, SINGAPORE, 2011.
- [9] Krittacom B., Amatachaya P., Srimuang W. and Inla K., The Combustion of Diesel Oil on Porous Burner installed Porous Emitter Downstream. The Eighth KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC8). Songdo Convensia Center, Incheon, KOREA, 2012.
- [10] ทวีศิลป์ เล็กประดิษฐ์. คมเพชร อินลา. บัณฑิต กฤดาคม. พิพัฒน์ อมตฉายา และ โสภณ สินสร้าง. การเผาไหม้น้ำมันดีเซลในหัวพันไฟ วัสดุพูนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น. การประชุมวิชาการ มอว.วิจัย ครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี, 2555.
- [11] คมเพชร อินลา. บัณฑิต กฤดาคม. พิพัฒน์ อมตฉายา และ โสภณ สินสร้าง. การเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลในหัวพันไฟวัสดุพูนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดเชียงราย, (2555).
- [12] สำเร็จ จักรใจ. การเผาไหม้, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.