

การประยุกต์ใช้งานจริงของเทคโนโลยีใหม่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยหัวเผาวัสดุพรุนชนิดไม่มีการแตกตัวเป็นละออง

Practical Application of a New Technology of Combustion of Liquid Fuel by a Porous-Medium Burner without Atomization

สำเร็จ จักรใจ* สุรัชชัย สนธิใจ ชนินท์ โพธิยา จุรีพร โสภภาพอมร และสันหกร รัตนชีวร
ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
91 ถนนประจักษ์อุทิศ (สุขสวัสดิ์ 48) แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Sumrerng Jugjai*, Surachai Sanitjai, Chanin Potiya, Chureeporn Sophapornamorn, and Sanhakorn Rattanacheworn
Combustion and Engine Research Laboratory (CERL)

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
91 Prachauthit Road (Suksawad 48) Bangmod, Thung Kharu District, Bangkok 10140
Tel. 0 - 2470-9128, Fax. 0 - 2470-9111, E-mail: sumrueng.jug@kmutt.ac.th

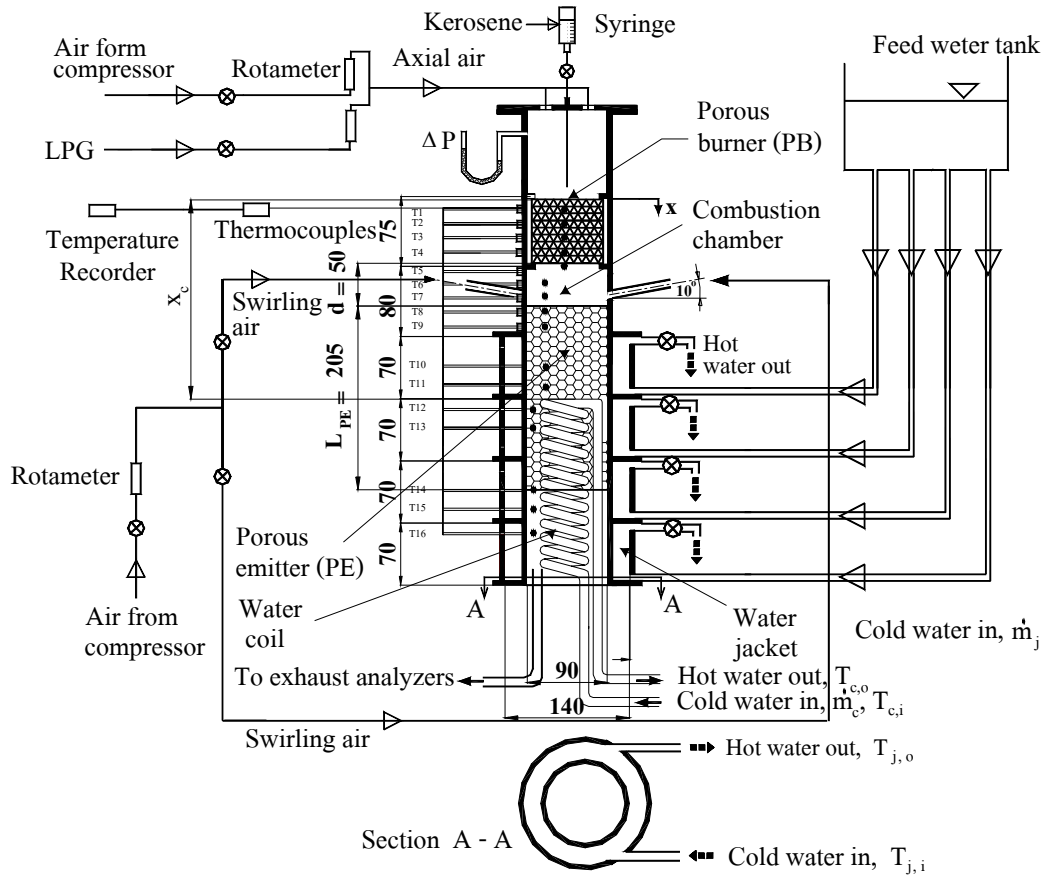
บทคัดย่อ

จากผลงานในอดีต ได้เสนอการประยุกต์ใช้งานโดยการรวม porous burner (PB) และ porous emitter (PE) เข้าเป็นหน่วยเดียวกันกับชุดแลกเปลี่ยนความร้อน (water jacket) และประสบความสำเร็จในระดับหนึ่งเพื่อพัฒนาเครื่องทำน้ำร้อนจากน้ำมันก๊าด (kerosene) ชนิดไม่มีการแตกตัวเป็นละอองที่มีสมรรถนะสูงแต่ขนาดเล็กกะทัดรัดและได้เผยแพร่ไปแล้วในงานสัมมนาวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลครั้งที่ 17 สำหรับรายงานนี้ จะปรับปรุงอุปกรณ์เดิมให้มีสมรรถนะสูงยิ่งขึ้นเพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว จึงได้ติดตั้งคอยล์น้ำ (water coil) ผังเพิ่มเข้าไปในชั้นวัสดุพรุน PE เพื่อดึงความร้อนออกจากแก๊สร้อนมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุดพร้อมทั้งศึกษาผลข้างเคียงต่างๆที่อาจเกิดตามมา ผลการทดลองที่เงื่อนไขเดียวกันพบว่า ระบบใหม่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด $\eta_{th} = 70\%$ จากเดิมที่มีค่าเพียง 58% เพิ่มขึ้นถึง 12% ให้ปริมาณการปลดปล่อย CO และ NO_x มีค่าเท่ากับ 800 ppm และ 125 ppm (ที่ออกซิเจนส่วนเกิน 0%) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับของเดิมมีค่าเท่ากับ 400 ppm และ 135 ppm ตามลำดับ จะเห็นว่า CO เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทั้งนี้เพราะอิทธิพลการทำให้อุณหภูมิลดลง (quenching effect) ที่สูงขึ้น นับเป็นความสำเร็จที่สำคัญอีกก้าวหนึ่งของการประยุกต์ใช้งานได้จริงของหัวเผาวัสดุพรุนชนิดไม่มีการแตกตัวเป็นละอองในอนาคตอันใกล้

Abstract

A concept of integrating the porous emitter PE and the porous burner PB with a thermal load was proposed for the development of a new type of an efficient and compact water heater from liquid kerosene without atomization. Results of the studies have been reported in the 17th ME-NETT. In the present report, the existing equipment is improved by embedding a water coil inside the porous emitter. Side effects have been studied through experiment. With the same experimental conditions, A maximum thermal efficiency of $\eta_{th} = 70\%$ was obtained as compared with 58% for the previous experiment. The maximum amount of CO and NO_x emissions of about 800 ppm and 125 ppm , respectively, were found in comparison with 400 ppm and 135 ppm , respectively, for the previous experiment. An increase in CO with a factor of two is, however, acceptable because of an increase in quenching effect. With this important progress, practical application of the porous medium without atomization could be realized in the near future.

* Corresponding author



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง

1. บทนำ

การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยวิธีดั้งเดิมทั่วไปนั้นจำเป็นต้องทำให้เชื้อเพลิงเหลวแตกตัวเป็นละอองที่ละเอียดมากเสียก่อนเพื่อเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ช่วยส่งเสริมการถ่ายโอนความร้อนจากแก๊สร้อนสู่ละอองให้ระเหยกลายเป็นไออย่างสมบูรณ์ก่อนผสมคลุกเคล้ากับอากาศเพื่อเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการดังกล่าวมีข้อเสียคือห้องเผาไหม้ต้องมีขนาดใหญ่เพื่อรองรับการฟุ้งกระจายของละออง อีกทั้งห้องเผาไหม้ต้องมีอุณหภูมิสูงเพียงพอเพื่อให้แน่ใจว่าละอองสามารถระเหยกลายเป็นไอได้หมดสมบูรณ์และที่สำคัญคือต้องใช้หัวฉีดความดันสูงในการแตกตัวเป็นละอองทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก Sumremg et al. [1] ได้เสนอทางเลือกใหม่ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยวัสดุพรุนซึ่งไม่ต้องมีการแตกตัวเป็นละอองอีกต่อไปแต่ใช้การหยุดแทนและได้พัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีสมรรถนะการระเหยและการเผาไหม้ที่ดียิ่งขึ้นมาตามลำดับ ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองติดตั้งภาวะความร้อนเข้าที่ระบบการเผาไหม้ที่ได้พัฒนาในระดับหนึ่งก่อนหน้านี้ [2] พร้อมทั้งหาทางปรับปรุงสมรรถนะการทำงานให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดแต่ปลดปล่อยมลพิษต่ำสุดเท่าที่จะทำได้และหาทางนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในอนาคตต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลองซึ่งมีรายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญพร้อมทั้งมิติ หลักการทำงาน วิธีการทดลอง ตลอดจนเครื่องมือที่ใช้วัดค่าต่างๆ ได้แก่อุณหภูมิ T ความเข้มข้นแก๊สไอเสีย CO และ NO_x ความแตกต่างของความดันในห้องเผาไหม้กับบรรยากาศ ΔP อัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงเหลว (kerosene) ยังคงเหมือนกับที่ใช้ในระบบก่อนหน้า [2] ทุกประการ ยกเว้นมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 3 ประการคือ (1) ติดตั้งคอยล์น้ำ (water coil) ทำด้วยสแตนเลสฝังอยู่ใน porous emitter (PE) เพิ่มเติมเข้ามาเพื่อเป็นภาชนะความร้อนนอกเหนือจาก water jacket ที่มีอยู่เดิม ทั้งนี้เพื่อหาทางนำความร้อนจากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น ระยะเวลาที่คอยล์น้ำฝังลึกเข้าไปในตัว PE (ระบุโดยระยะ X_c) นับเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ในที่นี้จะอาศัยประสบการณ์และกำหนดให้ $X_c = 225$ mm คงที่ตลอดการทดลอง หาก X_c มีค่าน้อยกว่านี้คอยล์น้ำอาจเข้าไปอยู่ในบริเวณเปลวไฟและเพิ่มอิทธิพลการเย็นตัว (quenching effect) ที่มากเกินไปให้กับบริเวณการเผาไหม้ (reaction zone) จนเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ได้ในทางตรงกันข้ามหาก X_c มีค่ามากเกินไป คอยล์น้ำอาจอยู่ห่างจากบริเวณการเผาไหม้มากเกินไปจนส่งผลให้การถ่ายโอนความร้อนลดลงได้ (2) เปลี่ยนขนาดความถี่ของตาข่ายสแตนเลสที่นำมาทำ เป็น porous burner (PB) จากเดิม 40 mesh/inch มาเป็น 100 mesh/inch

ทั้งนี้เพื่อให้ได้การระเหยที่สม่ำเสมอตลอดหน้าตัดของ PB และได้การผสมที่ดีระหว่างไอระเหยน้ำมันกับอากาศในห้องเผาไหม้ (3) ลดระยะห่าง d ระหว่าง PB และ PE จากเดิม 80 mm [2] เป็น 50 mm เพื่อเพิ่ม shape factor ของการแผ่รังสีความร้อน ผลจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้เงื่อนไขการทดลอง ค่าคงตัวและค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม [2] บ้างเล็กน้อยดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. เงื่อนไขการทดลอง

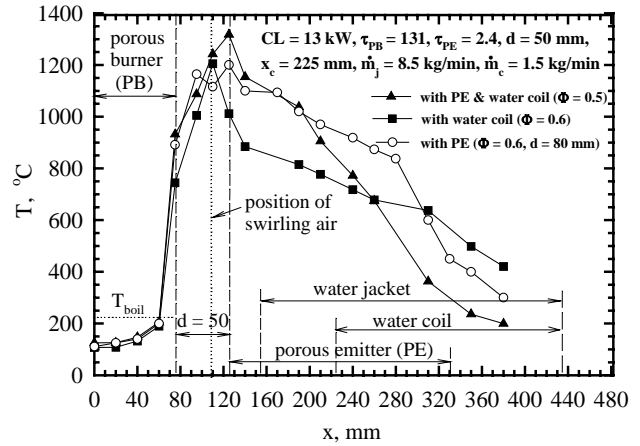
ปริมาณ	ค่า
Absorption coefficient of the porous emitter, K_{PE}	11.68 1/m
Absorption coefficient of the porous burner, K_{PB}	1,750 1/m
Average diameter of alumina sphere of the porous emitter, d_p	19 mm
Cooling water mass flow rate of water coil, \dot{m}_c	1.5 kg/min
Distance between porous burner and emitter, d	50 mm
Equivalence ratio, Φ	0.37–0.64
Length of the porous emitter (PE), L_{PE}	205 mm
Lower heating value of kerosene	42 MJ/kg
Mesh size of the porous burner (PB), ms	100 mesh/inch
Optical thickness of the porous emitter, $\tau_{PE} = K_{PE}L_{PE} = 2.4$	
Optical thickness of the porous burner, $\tau_{PB} = K_{PB} \times 0.075 = 131$	
Thermal input, CL	10–15 kW
Total cooling water mass flow rate of water jacket, \dot{m}_j	8.5 kg/min

3. ผลการทดลอง

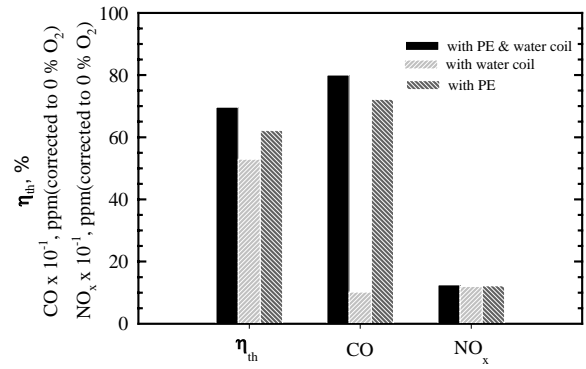
3.1 สมรรถนะการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เนื่องจากการติดตั้ง water coil ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่าน \dot{m}_c ที่เหมาะสมเสียก่อนซึ่งกระทำโดยการแปรเปลี่ยนค่า \dot{m}_c จาก 1 - 4 kg/min ในขณะที่กำหนดให้ $\dot{m}_j = 8.5$ kg/min คงที่เหมือนงานก่อนหน้า [2] เงื่อนไขการทดลองอื่นๆ คือ $CL = 13$ kW, $\Phi = 0.50$, $\tau_{PE} = 2.4$, $\tau_{PB} = 131$ และ $X_c = 225$ mm ผลการทดลองทราบว่าเมื่อ \dot{m}_c เพิ่มขึ้น CO มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากอิทธิพลการทำให้เย็น (quenching effect) ที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกค่า $\dot{m}_c = 1.5$ kg/min คงที่ตลอดการทดลองเพราะเป็นค่าที่ให้ปริมาณ CO อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (<1,000 ppm @ 0 % O₂)

รูปที่ 2 เปรียบเทียบโปรไฟล์อุณหภูมิ T ตามแนวแกนของเตาของการทดลองที่มีเงื่อนไขต่างกัน 3 กรณี กรณีที่ 1 (with PE) มีการติดตั้งเฉพาะ PE และภาวะความร้อนมาจาก water jacket แต่เพียงอย่างเดียว ผลของกรณีนี้ได้จากผลงานก่อนหน้า [2] ซึ่งแสดงไว้เพื่อการเปรียบเทียบ กรณีที่ 2 (with water coil) มีการติดตั้ง water coil แต่ไม่



รูปที่ 2. การเปรียบเทียบโปรไฟล์อุณหภูมิตามแนวแกนเตา



รูปที่ 3. การเปรียบเทียบปริมาณ CO, NO_x และ η_{th}

มี PE และภาวะความร้อนมาจากทั้ง water jacket และ water coil และสุดท้าย กรณีที่ 3 (with PE & water coil) มีการติดตั้งทั้ง PE และ water coil และภาวะความร้อนมาจากทั้ง water jacket และ water coil การพัฒนาสมรรถนะการเผาไหม้และการถ่ายโอนความร้อนที่ดีขึ้นกว่าผลงานเดิม [2] สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนจากการเปรียบเทียบกรณีที่ 3 กับกรณีที่ 1 กล่าวคือ กรณีที่ 3 ให้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่าซึ่งแสดงถึงการหมุนเวียนความร้อนที่ดีขึ้นเนื่องจากการลดค่า d ยิ่งกว่านั้น กรณีที่ 3 ยังให้ความลาดชันของอุณหภูมิตลอดความยาว PE (L_{PE}) ที่สูงกว่าอีกด้วยซึ่งหมายความว่าให้อัตราการถ่ายโอนความร้อนที่สูงกว่า อุณหภูมิไอเสียออกจากเตาจึงต่ำกว่าอย่างที่ปรากฏ อิทธิพลของ PE ที่มีต่อโปรไฟล์อุณหภูมิ T สามารถทราบได้จากการเปรียบเทียบกรณีที่ 3 กับกรณีที่ 2 หากไม่มีการติดตั้ง PE แล้วการหมุนเวียนความร้อนภายในระบบจะเลวลงอย่างมากจนอุณหภูมิ T ตลอดแกน X ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ผิวด้านหน้าของ PB และที่บริเวณก่อนเข้า water jacket ในทางตรงกันข้ามกลับให้อุณหภูมิทางออกเตาที่สูง ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียความร้อนไปกับไอเสียอย่างมาก

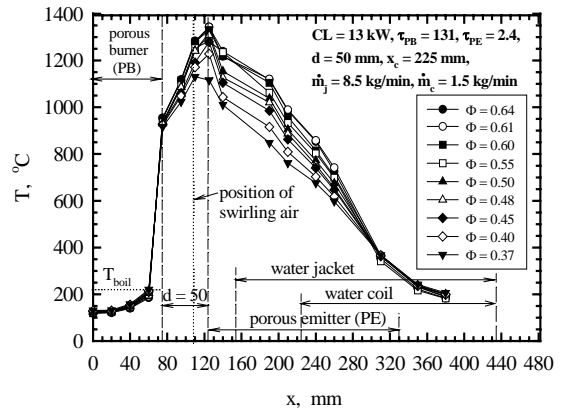
รูปที่ 3 เปรียบเทียบสมรรถนะการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อน η_{th} (อัตราส่วนระหว่างผลรวมของความร้อนของน้ำที่ water jacket และ water coil ต่อความร้อนป้อน (CL)) ของกรณีทั้งสาม พบว่าในบรรดาค่าทั้งหมด กรณีที่ 2 (with water coil) ให้ปริมาณ CO

ต่ำสุดประมาณ 100 ppm ขณะเดียวกันก็ให้ η_{th} ต่ำสุดเช่นกันประมาณ 52 % ในทางตรงกันข้าม กรณีที่ 3 ให้ทั้ง CO และ η_{th} มีค่าสูงสุดประมาณ 70 % และ 800 ppm ตามลำดับ สำหรับกรณีที่ 1 นั้นให้ปริมาณ CO และ η_{th} อยู่ระหว่างค่าของกรณีที่ 3 กับกรณีที่ 2 สาเหตุที่ทำให้ปริมาณ CO ของกรณีที่ 3 และกรณีที่ 1 สูงกว่ามากเมื่อเทียบกับกรณีที่ 2 เพราะอิทธิพลการทำให้เย็นอันเนื่องมาจาก PE และ water coil แม้ว่ากรณีที่ 3 จะให้อุณหภูมิการเผาไหม้ค่อนข้างสูงกว่ามากเมื่อเทียบกับกรณีอื่น แต่ปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเกือบคงที่และมีค่าน้อยไม่เกิน 120 ppm เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากรูปแบบการเผาไหม้ (combustion regime) ที่เปลี่ยนไป จากเดิมที่เกิดบางส่วนภายใน PE ได้กลายมาเกิดภายใน PE มากยิ่งขึ้นตามระยะ d ที่ลดลงจากเดิม $d = 80$ mm เป็น $d = 50$ mm ถ้าหากสามารถลดระยะ d ให้เหลือน้อยกว่านี้จนได้การเผาไหม้เกิดขึ้นภายใน PE อย่างสมบูรณ์แล้ว คาดได้ว่า η_{th} ยังมีค่าสูงขึ้นโดยที่ปริมาณ NO_x แทบจะไม่เปลี่ยนแปลง นับเป็นข้อเด่นของการเผาไหม้ภายในวัสดุพรุน (combustion within porous medium) และได้รับการพิสูจน์มาแล้วจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในอดีต [2] อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้ภายในวัสดุพรุนได้ก่อให้เกิดอิทธิพลการทำให้เย็นจนทำให้ปริมาณการปลดปล่อย CO มีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับระบบการเผาไหม้ทั่วไปที่เกิดในปริมาตรว่างเปล่า (free flame combustion) ดังนั้น การระบุเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม (optimum operating condition) ของระบบการเผาไหม้ภายในวัสดุพรุนนับเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง

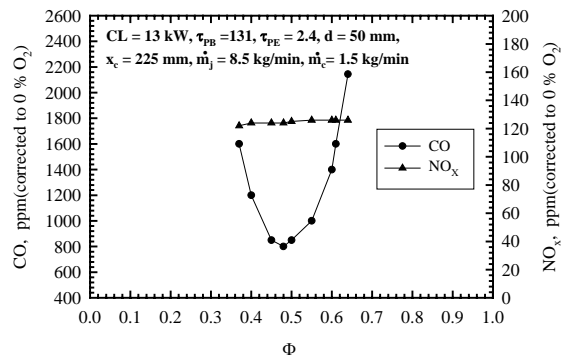
3.2 อิทธิพลของ Φ

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างอิทธิพลของ Φ ต่อโพรไฟล์อุณหภูมิ T ตามแนวแกนเตาเพื่อทราบช่วง Φ ที่เหมาะสมของระบบ เป็นที่ทราบกันดีว่าอุณหภูมิการเผาไหม้ขึ้นกับค่า Φ อย่างมาก ดังนั้นขณะทดลองต้องควบคุมอุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ไม่ให้เกินค่าที่เทอร์โมคัปเปิลจะทนได้ (1,400 °C) ในทางกลับกันต้องไม่ทดลองภายใต้สภาวะอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำเกินไปจนอาจเกิดการเผาไหม้ที่ไม่เสถียรได้ การลดค่า Φ จาก 0.64 ถึง 0.37 ให้โพรไฟล์อุณหภูมิลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากตำแหน่งผิวหน้าของ PB ไปทางด้านปลายน้ำจนถึงทางออกของ PE นอกจากนี้ตำแหน่งเปลวไฟ (ระบุโดยตำแหน่งอุณหภูมิสูงสุด) มีแนวโน้มเลื่อนเข้าใกล้ผิวหน้าของ PB เพราะการผสม (mixing) ที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม มีสิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับโพรไฟล์อุณหภูมิภายใน PB ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นโดยแทบไม่ขึ้นกับค่า Φ ทั้งนี้เนื่องเพราะความหนาแข็งแสงที่มากเพียงพอของ PB และการหมุนเวียนความร้อนที่ดีจาก PE ไปยัง PB โดยการแผ่รังสีความร้อน ดังนั้นการระเหย (evaporation) ของเชื้อเพลิงเหลวภายใน PB การติดไฟ (ignition) ของส่วนผสมระหว่างไอน้ำมันกับอากาศหมุนวน และการเผาไหม้ จึงยังคงดำเนินไปด้วยดีอย่างต่อเนื่องแม้ว่าส่วนผสมจะอยู่ในสภาวะไอดีค่อนข้างบาง ($\Phi = 0.37$) ก็ตาม

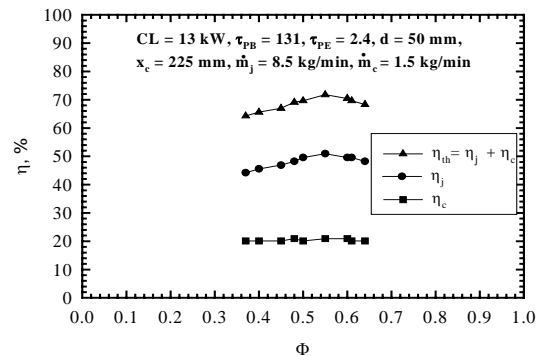
รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของ Φ ต่อ CO และ NO_x พบว่าช่วง Φ ที่เหมาะสมคือ 0.37-0.64 เท่านั้น หากอยู่นอกช่วงนี้แล้ว CO จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว CO มีค่าต่ำสุดประมาณ 800 ppm ที่ $\Phi \approx 0.5$ ถ้า



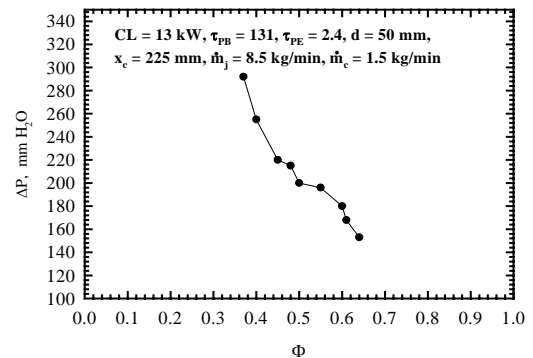
รูปที่ 4. ตัวอย่างอิทธิพลของ Φ ต่อ T



รูปที่ 5. ตัวอย่างอิทธิพลของ Φ ต่อ CO และ NO_x



รูปที่ 6. ตัวอย่างอิทธิพลของ Φ ต่อ η_{th}



รูปที่ 7. ตัวอย่างอิทธิพลของ Φ ต่อ ΔP

$\Phi < 0.5$ CO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพราะอากาศส่วนเกินที่มากเกินไป และอุณหภูมิที่ลดลงอย่างมาก ถ้า $\Phi > 0.5$ CO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันอุณหภูมิก็เพิ่มขึ้นเช่นกันตามรูปที่ 4 เพราะส่วนผสมเข้า ไกล่ค่าสโตยคิโอเมตริกมากขึ้น CO ที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการยืด ยาวออกของเปลวไฟในขณะที่ตำแหน่ง ท่อวัด (probe) ของเครื่องวัด แก๊สไอเสียยังอยู่ที่เดิม ค่า CO ที่วัดได้ของกรณีนี้จึงเป็นตัวแทนของ แก๊สไอเสียที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับบริเวณเผาไหม้ (local value) ซึ่งยัง เกิดไม่สมบูรณ์ หากเกิดจากการผสมที่เลวลงแต่อย่างใด NO_x ที่เกิด ขึ้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน 130 ppm และให้แนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ Φ เพิ่มขึ้นในช่วงที่ทดสอบ

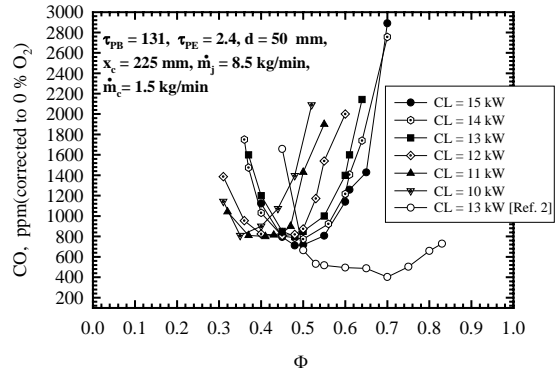
รูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของ Φ ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวม $\eta_{th} = \eta_j + \eta_c$ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนย่อยที่คอยล์น้ำ (η_c) และที่ water jacket (η_j) พบว่า η_{th} มีค่าสูงสุดเท่ากับ 70 % ที่ $\Phi = 0.55$ หาก Φ มากกว่านี้ η_{th} มีแนวโน้มลดลงอาจเนื่องมาจากการสูญเสียความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นที่ทางออกโดยการแผ่รังสีความร้อนของ PE คอยล์น้ำมีส่วนช่วยเพิ่มสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อนประมาณ 20 % จากความร้อนป้อนทั้งหมด

รูปที่ 7 แสดงความแตกต่างของความดันในห้องเผาไหม้กับ บรรยากาศ ΔP พบว่าความดันในห้องเผาไหม้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ Φ ลดลง อย่างไรก็ตามความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเพียง 290 mm H_2O เท่านั้น เป็นสิ่งยืนยันได้ว่าไม่จำเป็นต้องใช้ความดันที่สูงเพื่อการแตกตัว เป็นละอองและเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวอย่างมีประสิทธิภาพอีกต่อไป

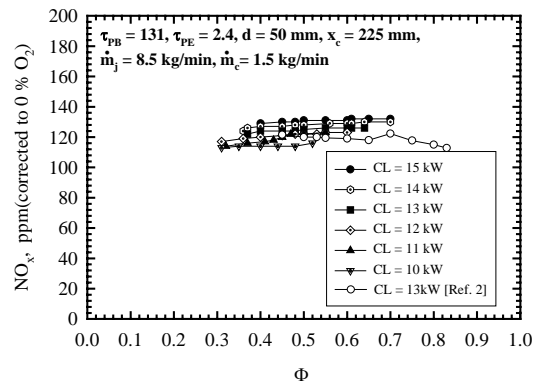
รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของ Φ ต่อปริมาณ CO ที่ค่า CL ต่างๆ กัน พบว่าค่า Φ ที่เหมาะสมและให้ปริมาณ CO ต่ำสุด (Φ_{COmin}) ขึ้นกับ CL อย่างมาก เมื่อ CL เพิ่มจาก 10 ถึง 15 kW ค่า Φ_{COmin} จะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เพิ่มขึ้น เช่น ที่ CL = 10 kW $\Phi_{COmin} \approx 0.35$ ถ้า CL = 15 kW $\Phi_{COmin} \approx 0.5$ ปริมาณ CO ต่ำสุดมีค่าต่ำกว่า 800 ppm และมีแนวโน้มลดลงเมื่อ CL เพิ่มขึ้น หนึ่งปริมาณ CO ของผลการ ทดลองก่อนหน้านี้ [2] ก็แสดงไว้ด้วยเพื่อการเปรียบเทียบ พบว่าที่เงื่อนไข การทดลองเดียวกัน (CL = 13 kW) งานปัจจุบันให้ $\text{CO} \approx 800$ ppm ในขณะที่งานก่อนหน้านี้ให้ $\text{CO} \approx 400$ ppm ทั้งนี้เป็นสิ่งธรรมดาเพราะ อิทธิพลการทำให้เย็นเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการติดตั้งคอยล์น้ำที่เพิ่มเข้า มา

รูปที่ 9 แสดงอิทธิพลของ Φ ต่อ NO_x ที่ค่า CL ต่างๆ กัน พบว่า NO_x มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม Φ และ CL ที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตาม ปริมาณ NO_x สูงสุดไม่เกิน 140 ppm และมีค่าใกล้เคียงกับผล งานก่อนหน้านี้ [2]

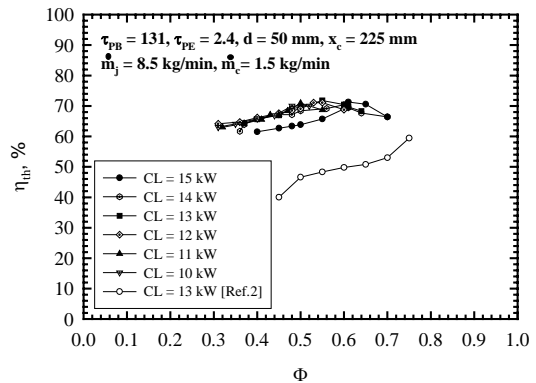
รูปที่ 10 แสดงอิทธิพลของ Φ ต่อ η_{th} ที่ค่า CL ต่างๆ กัน พบว่า η_{th} ขึ้นกับ Φ ค่อนข้างมาก ที่ $\Phi \approx 0.55$ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด เพราะให้ η_{th} สูงสุดกว่า 70 % อย่างไรก็ตาม หาก CL มีค่ามากกว่า 14 kW แล้ว ค่า Φ ที่ให้ η_{th} มีค่าสูงสุด หรือ $\Phi_{\eta_{thmax}}$ จะมีแนวโน้มเพิ่ม ขึ้น งานปัจจุบันให้ η_{th} สูงกว่างานก่อนหน้านี้ [2] อย่างเห็นได้ชัด



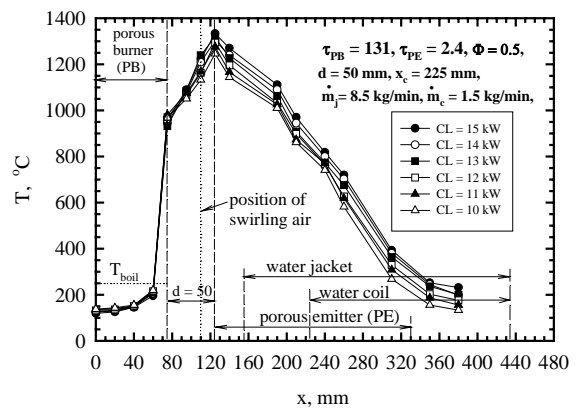
รูปที่ 8. อิทธิพลของ Φ ต่อ CO ที่ค่า CL ต่างๆ กัน



รูปที่ 9. อิทธิพลของ Φ ต่อ NO_x ที่ค่า CL ต่างๆ กัน



รูปที่ 10. อิทธิพลของ Φ ต่อ η_{th} ที่ค่า CL ต่างๆ กัน



รูปที่ 11. ตัวอย่างอิทธิพลของ CL ต่อ T

3.3 อิทธิพลของ CL

รูปที่ 11 แสดงตัวอย่างอิทธิพลของ CL ต่อ T พบว่าเมื่อ CL เพิ่มขึ้นจาก 10 kW ถึง 15 kW T จะเพิ่มสูงขึ้นโดยตลอดแกนเตา (ยกเว้นภายใน PE) ตำแหน่งอุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นที่ทางเข้าของ PE แสดงให้เห็นว่าเป็นบริเวณการเผาไหม้ และยืนยันได้อย่างดีว่าลักษณะการเผาไหม้ (combustion regime) ได้เปลี่ยนไป โดยมีส่วนหนึ่งได้เลื่อนไปเกิดขึ้นภายใน PE แทนที่จะเกิดขึ้นแต่เฉพาะภายในห้องเผาไหม้เท่านั้น

รูปที่ 12 แสดงอิทธิพลของ CL ต่อปริมาณ CO และ NO_x ของการทดลองเดียวกัน พบว่า CO มีแนวโน้มลดลงในขณะที่ NO_x มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น CL ที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 12-15 kW เพราะให้ CO ค่อนข้างต่ำไม่เกิน 800 ppm นอกเหนือจากช่วงนี้ไม่แนะนำเพราะการเผาไหม้เริ่มไม่เสถียรหรือให้อุณหภูมิสูงเกินค่าที่เทอร์โมคัพเฟิลจะทนได้

รูปที่ 13 และ 14 แสดงอิทธิพลของ CL ต่อ η_{th} และ ΔP ตามลำดับพบว่า η_{th} มีแนวโน้มลดลงเมื่อ CL เพิ่มขึ้น η_{th} สูงสุดมีค่าประมาณ 70 % ΔP มีแนวโน้มสูงขึ้นตาม CL ที่เพิ่มขึ้น แม้กระนั้นก็ยังไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเผาไหม้มากนักตลอดช่วงการทดลอง

3.4 ขอบเขตการติดไฟ

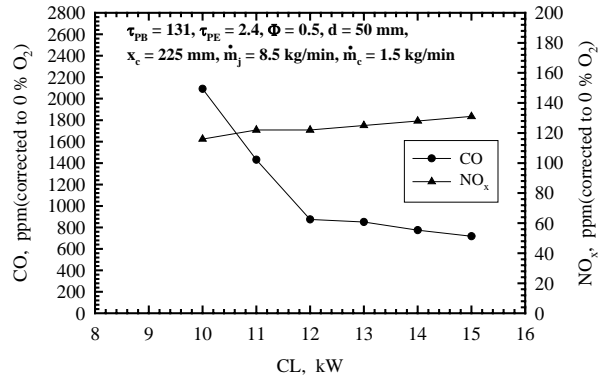
รูปที่ 15 แสดงขอบเขตการติดไฟของระบบการเผาไหม้ที่ติดตั้งและไม่ติดตั้ง PE ขอบเขตการติดไฟนี้ระบุโดยค่า Φ และ CL ที่ให้สมรรถนะการเผาไหม้ที่พึงประสงค์โดยมีอัตราส่วน CO/CO₂ < 0.002 (คิดที่ 0 % ของ O₂ ส่วนเกิน) ขอบเขตการติดไฟยิ่งกว้างเท่าไร ก็จะเป็นการดีมากขึ้นเท่านั้น พบว่ากรณีที่ยังไม่ติดตั้ง PE ขอบเขตการติดไฟอยู่ในช่วง 0.42 < Φ < 0.86 นับว่ากว้างใช้ได้ และ CL มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6 kW แต่เมื่อติดตั้ง PE แล้วทำให้ขอบเขตการติดไฟขยายกว้างออกทั้งตามแนวแกน CL และแกน Φ อย่างเห็นได้ชัด โดยอยู่ในช่วง 0.38 < Φ < 0.9 และ CL มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.2 kW ขณะเดียวกัน อุณหภูมิก็สูงขึ้นมากจนไม่สามารถทดลองที่ CL > 12 kW และ Φ > 0.9 ได้

4. สรุป

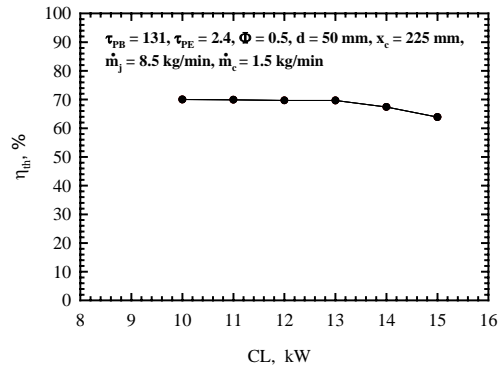
ประสบความสำเร็จอย่างสูงในการติดตั้งภาวะความร้อนแบบ water coil ฝั่งเพิ่มเติมลงใน PE สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนขึ้นมาจากเดิมมีค่าเท่ากับ 58 % เป็น 70 % หรือเพิ่มขึ้นถึง 12 % ในขณะที่ปริมาณ CO เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และมีศักยภาพสูงที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ในอนาคตอันใกล้

เอกสารอ้างอิง

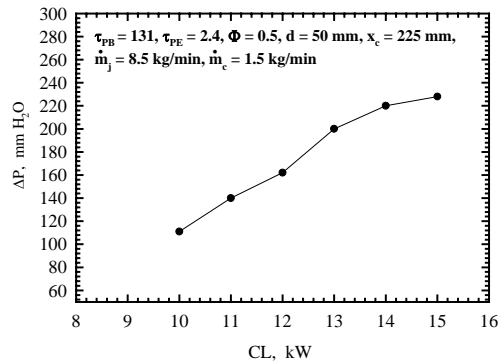
- [1] S. Jugjai, et al. "Enhancement of Evaporation and Combustion of Liquid Fuels through Porous Media", Experimental Thermal and Fluid Science, 2003, Vol. 27, No. 8, pp. 901-909.
- [2] S. Jugjai, et al. "Potential for Porous-Medium Combustion Technology As Applied to Liquid Fuel without Spray Atomization", 17th Symposium on Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), 2003, at Prachinburi, pp. IC-16-1 to 16-6.



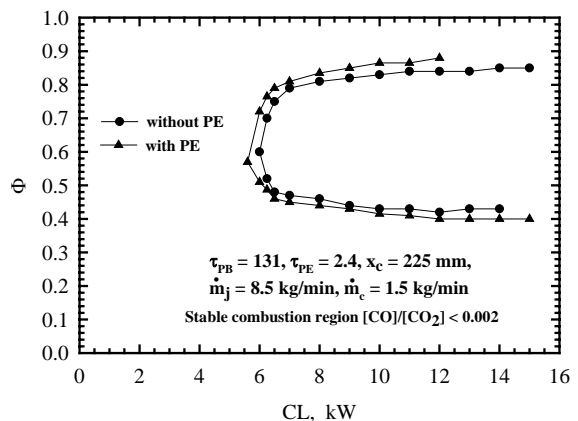
รูปที่ 12. ตัวอย่างอิทธิพลของ CL ต่อ CO และ NO_x



รูปที่ 13. ตัวอย่างอิทธิพลของ CL ต่อ η_{th}



รูปที่ 14. ตัวอย่างอิทธิพลของ CL ต่อ ΔP



รูปที่ 15. ขอบเขตการติดไฟ