การศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลในประเทศไทยกับแก๊สหุงต้มในหัวเผาวัสดุพรุน

The Study of Combustion of Mixed-Fuel between Producer Gas from Thai Biomass and LPG within Porous Burner

กนกกาญจน์ ว่องวัชรพร ธวัชชัย วงศ์ช่าง ดวงกมล เขียวภักดี สถิตย์พร เสาว์เฉลิม เชี่ยวชาญ ห้าวหาญ
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันกับแก๊สหุงต้มในหัวเผาวัสดุพรุน ระบบประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญสองส่วนคือ แก๊สซิไฟเออร์แบบดาวน์ดราฟท์ และหัวเผาวัสดุพรุนแบบสองชั้น แก๊สซิไฟเออร์ถูกออกแบบให้มีการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลอย่างต่อเนื่องด้วยสกรู ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ไม้ก้ามปูเป็นเชื้อเพลิงโดยกำหนดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่รีแอคเตอร์ 600-700 ^{o}C ในส่วนของหัวเผาวัสดุพรุนถูกออกแบบให้เป็นสองชั้น โดยวัสดุพรุนทางด้าน upstream จะถูกออกแบบให้มีขนาดของช่องว่างเล็ก (Pe < 65) ทำหน้าที่เป็นตัวกันไม่ให้เกิดการย้อนกลับของเปลวไฟ ในขณะที่วัสดุพรุนที่ติดตั้งอยู่ทางด้าน downstream จะมีขนาดของช่องว่างที่ใหญ่กว่า (Pe > 65) เพื่อทำหน้าที่เป็นบริเวณเผาไหม้ โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ชนิดของเชื้อเพลิง สัดส่วนระหว่างแก๊สสังเคราะห์กับแก๊สหุงต้ม และอัตราการป้อนอากาศ จากผลการทดลองพบว่า การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมระหว่างแก๊สสังเคราะห์กับแก๊สหุงต้ม และเชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์ 100% สามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีเสถียรภาพภายในหัวเผาวัสดุพรุน โดยอัตราการป้อนอากาศที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น

คำสำคัญ : หัวเผาวัสดุพรุน การเผาไหม้ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สสังเคราะห์

Abstract

An objective of this work is to study combustion of mixed-fuel of synthetic gas from gasification and liquid filed petroleum gas (LPG) within porous burner. The system consist of two main components i.e., downdraft gasifier and bilayer porous burner. The biomass is continuously supplied by screw and the temperature within the reactor is considered 600-700 ^{o}C. The upstream porous medium was designed to be Pe < 65 for preventing flame flashback while the downstream one was designed to be Pe > 65 for flame stabilization. The parametric study is fuel type, LPG and synthetic gas ratio and volume flow rate of combustion air. The results indicated that not only stabilized combustion of mixed fuel but also stabilized combustion of pure synthetic gas can be achieved within the porous burner.

Keywords : Porous burner, combustion, Gasification, synthetic gas

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

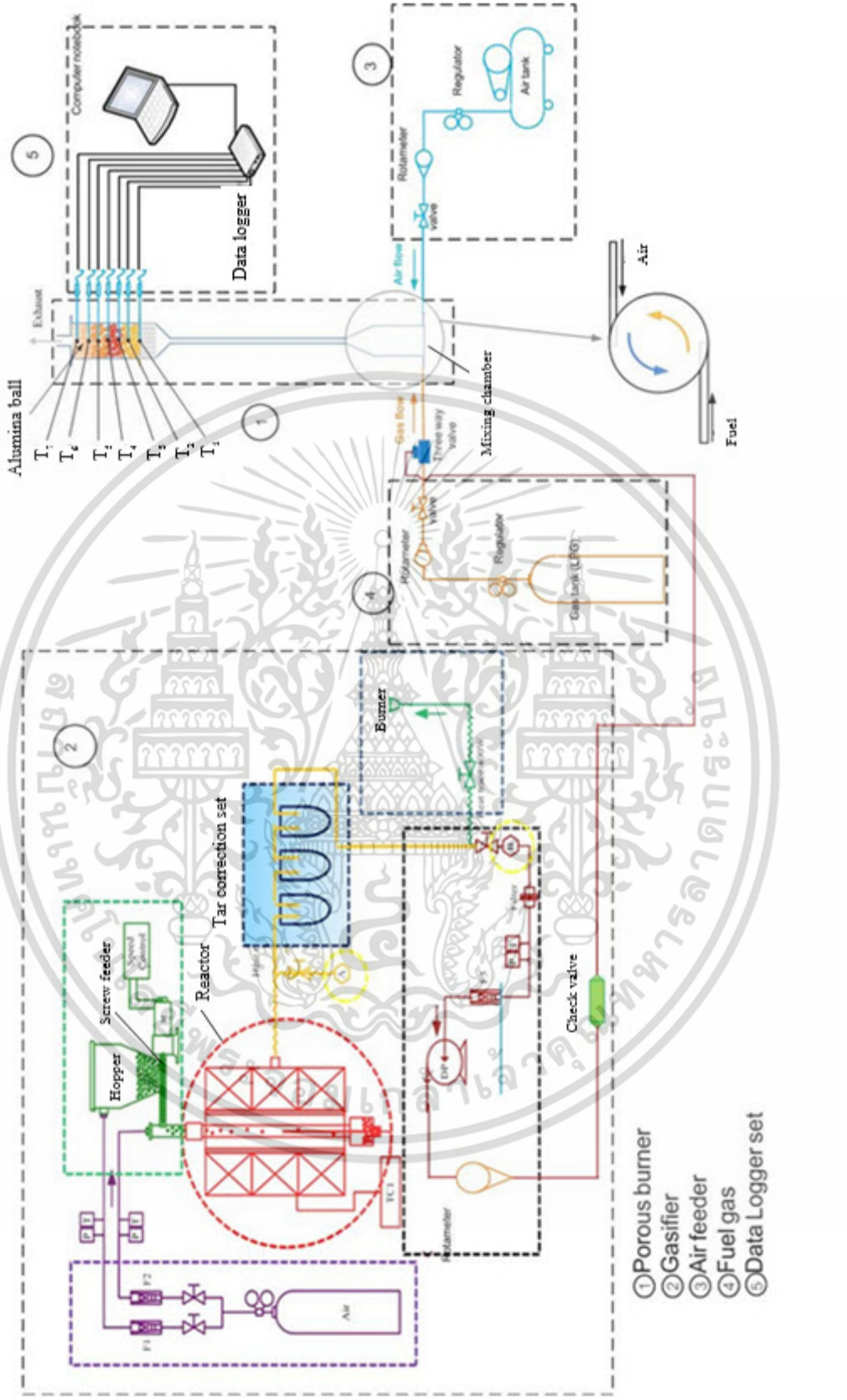
ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยีการเผาไหม้ในหัวเผาวัสดุพรุนได้รับความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมาก เนื่องจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาวัสดุพรุน จะมีการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียทางด้าน Downstream โดยอาศัยการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนมาตามโครงสร้างของเนื้อวัสดุพรุนที่เป็นของแข็ง ซึ่งมีค่ามากกว่าสถานะแก๊สมาก ไปใช้ในการอุ่นไอดีที่ไหลเข้ามาในหัวเผาทางด้าน Upstream โดยที่ไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มเติมแต่อย่างไร ซึ่งการเผาไหม้ที่ได้มีอุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้สูงกว่าการเผาไหม้ในหัวเผาบรรยากาศเปิดทั่วไป ในขณะที่มีอัตราการปลดปล่อยมลภาวะทั้งแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO) ที่ต่ำกว่า ทำให้สามารถออกแบบเตาที่มีขนาดกะทัดรัด ช่วยลดต้นทุนในการผลิตและติดตั้งหัวเผาลงได้ จากข้อดีดังกล่าวจึงมีนักวิจัยจำนวนมากมายที่สนใจและศึกษาเกี่ยวกับการเผาไหม้ในวัสดุพรุน [1-7] ผลการศึกษาสรุปได้ว่า การผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในวัสดุพรุนมีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่าอุณหภูมิการเผาไหม้แอเดียแบติก (Adiabatic flame temperature) ความเร็วในการเผาไหม้ (Burning velocity) สูงกว่าการเผาไหม้ในบรรยากาศปกติ รวมถึงมีค่าความเข้มของการเผาไหม้ (Combustion intensity) และความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนที่สูง ทำให้สามารถใช้เผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำๆ ที่ไม่สามารถเผาไหม้ในอุปกรณ์การเผาไหม้แบบปกติ (Conventional burner) ได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมามุ่งเน้นไปที่การศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สและเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากแหล่งปิโตเลียมที่มีราคาแพงและต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ การศึกษาเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลด้วยหัวเผาวัสดุพรุนยังไม่ได้ทำการศึกษา

พลังงานจากชีวมวลนับเป็นพลังงานทางเลือกที่ดีสำหรับประเทศเกษตรกรรมอย่างประเทศไทย เนื่องจากมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย เป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งนับเป็นแหล่งพลังงานราคาถูก และหากมีการนำมาใช้ประโยชน์ไม่ไกลจากแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลก็จะเป็นการลดต้นทุนในการขนส่งอีกด้วย นอกจากการใช้ชีวมวลจะช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิง การใช้ชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนยังเป็นการสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่นอีกด้วย ซึ่งการใช้พลังงานจากชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม จะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือนกระจก เนื่องจากสามารถปลูกทดแทนและมีการหมุนเวียนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยไม่มีการปลดปล่อยเพิ่มเติม ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีในการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีจากชีวมวลมาใช้ประโยชน์นั้นมีอยู่ 4 ประเภทได้แก่ การเผาไหม้ชีวมวลโดยตรง การผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว การผลิตแก๊สโดยการหมัก และการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน [8]

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ เนื่องจากแก๊สสังเคราะห์ (Synthesis gas) ที่ผลิตได้นี้สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปต่างๆที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิงมีข้อดีเหนือการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็งหลายประการ กล่าวคือ การเผาไหม้มีความสม่ำเสมอดี มีประสิทธิภาพสูง ต้องการอากาศส่วนเกินน้อยมาก การควบคุมทำได้ง่าย ปลดปล่อยมลภาวะต่ำ อย่างไรก็ตามแก๊สสังเคราะห์ที่ผลิตได้นั้นยังมีค่าความร้อนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สหุงต้ม ซึ่งอาจทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่ค่อยมีเสถียรภาพหากนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในหัวเผาบรรยากาศเปิดทั่วไป

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำหลักการของหัวเผาวัสดุพรุนมาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวล (ไม้ก้ามปู)ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับแก๊สหุงต้ม เพื่อลดการใช้แก๊สหุงต้มที่มีราคาสูง โดยใช้แก๊สซิไฟเออร์แบบดาวน์ดราฟท์และหัวเผาวัสดุพรุนแบบสองชั้น วัสดุพรุนชั้นแรกจะมีขนาดช่องว่างเล็กเพื่อทำหน้าที่ป้องกันการย้อนกลับของเปลวไฟ ส่วนวัสดุพรุนชั้นที่สองจะถูกออกแบบให้มีขนาดช่องว่างที่ใหญ่กว่าวัสดุพรุนชั้นแรกเพื่อทำหน้าที่เป็นบริเวณเผาไหม้ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดของเชื้อเพลิง สัดส่วนระหว่างแก๊สสังเคราะห์กับแก๊สหุงต้ม และอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงหลักการทำงานอุปกรณ์ทดลอง ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลักสองส่วนคือ แก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง (Downdraft gasifier) และหัวเผาวัสดุพรุนแบบสองชั้น (Bilayer porous burner) โดยชีวมวลซึ่งในงานวิจัยนี้คือเศษไม้ก้ามปูที่ปลูกภายในประเทศ จะถูกลำเลียงเข้าสู่ Hopper พร้อมกับอากาศส่วนแรกที่ใช้ในปฏิกิริยา จากนั้นไม้ก้ามปูและอากาศจะไหลลงมายังท่อและห้องปฏิกรณ์ (Reactor)ที่ให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ เมื่อเชื้อเพลิงและอากาศได้รับความร้อนจะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะได้ความร้อนและแก๊สสังเคราะห์ออกมา โดยแก๊สสังเคราะห์ที่ผลิตได้นี้จะผ่านระบบบำบัดแก๊สที่ทำหน้าที่ในการกำจัดทาร์ (Tar correction set) ส่วนหนึ่งจะถูกเก็บไปทำการวิเคราะห์องค์ประกอบ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกป้อนเข้าสู่ชุดหัวเผาวัสดุพรุน ในกรณีที่ยังไม่มีการติดตั้งชุดหัวเผาวัสดุพรุน แก๊สที่ผลิตได้จะถูกเผาทิ้งที่หัวเผาที่ติดตั้งอยู่หลังชุดกำจัดทาร์

ในส่วนของชุดหัวเผาวัสดุพรุน (Porous burner)นั้น วัสดุพรุนที่ติดตั้งอยู่ทางด้าน upstream ทำจากชั้นของตะแกรงสเตนเลสที่วางประกบกันและถูกอัดด้วยหน้าแปลนสองด้าน โดยถูกออกแบบให้มีขนาดของช่องว่างรูพรุนที่เล็กและมีค่า $Pe < 65$ ทำหน้าที่เป็นตัวกันไม่ให้เกิดการย้อนกลับของเปลวไฟ ในขณะที่วัสดุพรุนชั้นที่สองที่ติดตั้งอยู่ทางด้าน downstream เป็นpacked bed ของอะลูมินาออกไซด์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm โดยขนาดของช่องว่างระหว่างรูพรุนมีขนาดใหญ่กว่า และมีค่า $Pe > 65$ เพื่อทำหน้าที่เป็นบริเวณเผาไหม้ โดยที่ ตัวแปรไร้หน่วย Pe (Peclect number) ถูกนิยามได้ ดังนี้ [7]

$$Pe = \frac{s_L d_M \rho c_p}{k} \quad (1)$$

โดยที่

s_L = Laminar flame speed

d_M = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องว่างเสมือน (Equivalent pore diameter)

c_p = ความจุความร้อนจำเพาะของแก๊ส

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแก๊ส

ρ = ความหนาแน่นของแก๊ส

ภายในหัวเผาวัสดุพรุนจะทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล 7 จุด โดยตำแหน่งที่ติดตั้งแสดงไว้ ในรูปที่ 1 ข้อมูลของอุณหภูมิที่วัดจะถูกบันทึกด้วย Data logger เพื่อสังเกตโครงสร้างทางความร้อนที่เกิดขึ้น โดยองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครโมโตกราฟฟีเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงและประเมินหาค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า ค่าความร้อนขั้นต่ำของแก๊สสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากไม้ก้ามปู มีค่า 5,842.138 $kJ/kg_{เชื้อเพลิง}$ ซึ่งน้อยกว่า แก๊สหุงต้ม ประมาณ 8 เท่าตัว แก๊สสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากชุดแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) ที่ผ่านการบำบัดให้สะอาดแล้ว จะถูกป้อนเข้าไปผสมกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่ถูกป้อนและควบคุมอัตราการไหลด้วยอุปกรณ์ป้อนอากาศ (Air feeder) และแก๊สหุงต้มในห้องผสม (Mixing chamber) ก่อนที่จะไหลเข้าไปเกิดการเผาไหม้ในหัวเผาวัสดุพรุน (Porous burner) กลายเป็นไอเสียและถูกปล่อยทิ้งออกไปนอกระบบทางด้าน downstream ของหัวเผาวัสดุพรุน ในตอนเริ่มต้นของการทดลองนั้นหัวเผาวัสดุพรุนจะถูกอุ่นด้วยความร้อนจากการเผาไหม้แก๊สหุงต้ม เมื่อเกิดการเผาไหม้ได้อย่างมีเสถียรภาพแล้วก็จะปรับลดปริมาณการป้อนแก๊สหุงต้มและปริมาณอากาศลงไปที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำสุด และอัตราส่วนสมมูลสูงสุดเท่าที่การเผาไหม้จะสามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีเสถียรภาพ จากนั้นจึงทำการป้อนแก๊สสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นเพิ่มเติมเข้าไป จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ก็จะทำการเก็บผลการทดลอง ก่อนที่จะเปลี่ยนไปทดลองที่เงื่อนไขอื่นต่อไป

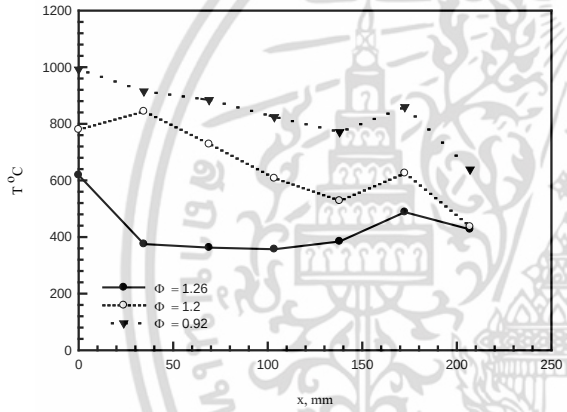
3. ผลการทดลอง

3.1 กรณีการเผาไหม้ของแก๊สหุงต้ม

รูปที่ 2 อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล (Φ) ที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิของการเผาไหม้แก๊สหุงต้ม ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 1.68 kW ที่ $\Phi = 0.92, 1.2$ และ 1.26 ตามลำดับ โดยการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนสมมูลในที่นี้ทำได้โดยการลดอัตราการไหลของอากาศ ในขณะที่ปริมาณเชื้อเพลิงคงที่ โดยแกน X และ แกน Y แสดงระยะทางตามแนวแกนและอุณหภูมิตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าเมื่อ Φ เพิ่มขึ้น อุณหภูมิมีแนวโน้มต่ำลง เนื่องจากปริมาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

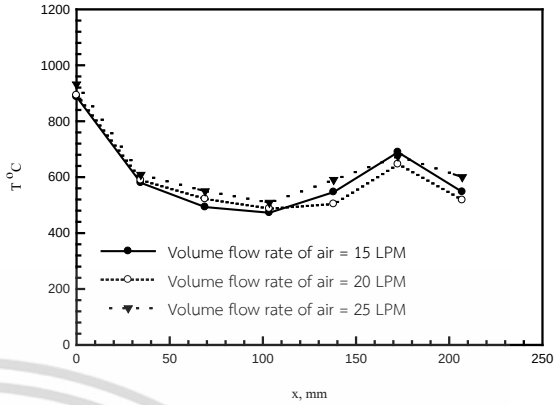
อากาศที่ลดลงจะทำให้การผสมแย่ลง เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ขึ้น อุณหภูมิโดยรวมจึงลดลง ตามการเพิ่มขึ้นของค่า Φ ในขณะที่ Φ ไม่มีผลต่อตำแหน่งของไฟ ซึ่งพิจารณาจากตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงที่สุด นอกจากนี้ที่ตำแหน่ง x = 170 mm นั้นมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ทั้งๆ ที่ไม่ใช่ตำแหน่งของเปลวไฟ ทั้งนี้เนื่องจากการไหลที่เกิดขึ้นภายในวัสดุพรุนมีความสลับซับซ้อนเป็นอย่างมาก ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ตำแหน่งกึ่งกลางเตาเป็นตัวแทนของอุณหภูมิที่หน้าตัดที่พิจารณา เนื่องจากข้อจำกัดในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล ซึ่งอาจทำให้อุณหภูมิที่วัดได้สูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยต่อหน้าตัด ซึ่งในอนาคตอาจจะต้องมีการศึกษาถึงโครงสร้างของอุณหภูมิตามแนวรัศมีเพิ่มเติมต่อไป



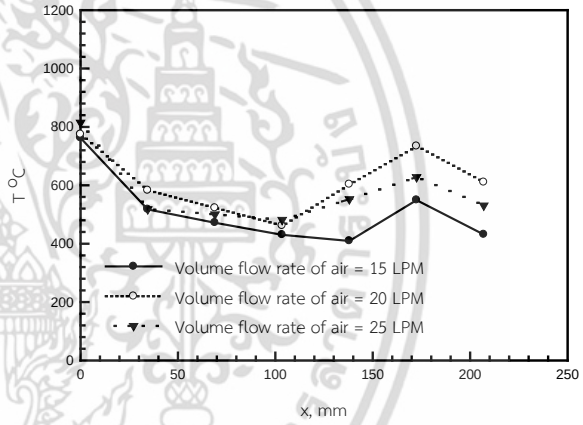
รูปที่ 2 อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล (Φ) ที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิของการเผาไหม้แก๊สหุงต้ม ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 1.68 kW

3.2 กรณีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสม

รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของปริมาณอากาศที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิของการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสม แก๊สหุงต้มกับแก๊สสังเคราะห์ที่ 2.97 kW โดยมีอัตราการป้อนแก๊สหุงต้ม กับแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 1.68 kW และ 1.29 kW ตามลำดับ ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 15, 20 และ 25 LPM จากผลการทดลองสรุปได้ว่าอุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้จะสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศ ทั้งนี้เนื่องจาก อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงที่ต่ำมากโดยแต่ละกรณีไม่เกิน 3 kW ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราการไหลของอากาศมีผลอย่างมากต่อการผสม ดังนั้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจึงทำให้การผสมดีขึ้น นำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น และอุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นนั่นเอง โดยปริมาณอากาศไม่มีผลต่อตำแหน่งของเปลวไฟ



รูปที่ 3 อิทธิพลของปริมาณอากาศที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิของการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสม แก๊สหุงต้มกับแก๊สสังเคราะห์ที่ 2.97 kW

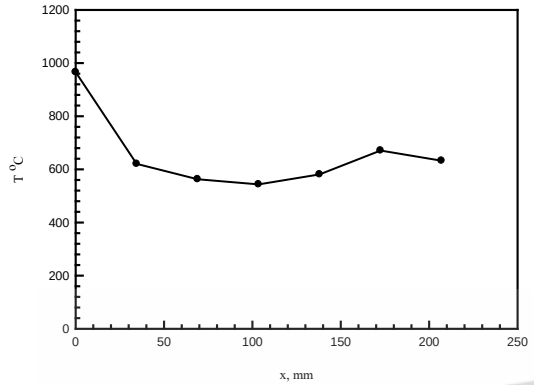


รูปที่ 4 อิทธิพลของปริมาณอากาศที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิของการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมแก๊สหุงต้มกับแก๊สสังเคราะห์ที่ 2.29 kW

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของปริมาณอากาศที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิของการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมแก๊สหุงต้มกับแก๊สสังเคราะห์ที่ 2.29 kW (อัตราการป้อนแก๊สหุงต้มกับแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 1.32 kW และ 0.97 kW ตามลำดับ) ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 15, 20 และ 25 LPM ผลการศึกษาพบว่าให้ผลสอดคล้องกันกับผลการทดลองที่ในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Firing rate) ที่ต่ำลง ก็ยังคงสามารถทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีเสถียรภาพขึ้นได้ และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการป้อนเชื้อเพลิงระหว่างรูปที่ 3 และ 4 พบว่า อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ต่ำลงส่งผลให้ระบบมีอุณหภูมิที่ต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กรณีการเผาไหม้แก๊สสังเคราะห์



รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิของการเผาไหม้แก๊สสังเคราะห์ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 1.132 kW อัตราการป้อนอากาศ 20 LPM

จากนั้นเมื่อเปลวไฟที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงผสมมีเสถียรภาพดีแล้วจึงได้ลองปรับปริมาณแก๊สหุงต้มให้ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งใช้แก๊สสังเคราะห์เป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 1.132 kW และอัตราการป้อนอากาศ 20 LPM ซึ่งแสดงในรูปที่ 5 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเปลวไฟจากการเผาไหม้แก๊สสังเคราะห์ที่มีค่าความร้อนต่ำ สามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีเสถียรภาพในวัสดุพรุน อย่างไรก็ตามการศึกษาในอนาคตควรมีการวัดมลภาวะที่เกิดจากการเผาไหม้ และการวิเคราะห์ปริมาณการแผ่รังสีจากหัวเผาวัสดุพรุนเพื่อขยายขอบเขตของความรู้ต่อไป

5. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความเป็นไปได้ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันกับแก๊สหุงต้มในหัวเผาวัสดุพรุน โดยใช้แก๊สซิไฟเออร์แบบดาวน์ ดราฟท์และหัวเผาวัสดุพรุนแบบสองชั้นด้วยการศึกษาโดยการทดลอง จากผลการศึกษาสามารถสรุปประเด็นหลักได้ ดังนี้

1. การศึกษาอิทธิพลของปริมาณการป้อนอากาศ ทั้งกรณีของการเผาไหม้ที่ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวและกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่าง แก๊สหุงต้มและแก๊สสังเคราะห์ ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือ เมื่อปริมาณอากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อตำแหน่งของเปลวไฟ

2. การเผาไหม้ในกรณีที่ใช้แก๊สสังเคราะห์ซึ่งมีค่าความร้อนต่ำมากเมื่อเทียบกับ แก๊สหุงต้ม เป็นเชื้อเพลิง100% สามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีเสถียรภาพในวัสดุพรุน

5. เอกสารอ้างอิง

[1] K. Wongwatcharaphon “High Performance Porous Burner”, Princess of Naradhiwas University journal, Vol.5, No.1, pp. 109-123, January, 2556.

[2] J.R. Howell, M.J. Hall, J.L. Ellzey, “Combustion of hydrocarbon fuels within porous inert media”, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 22, No.2, pp. 121-145, 1996.

[3] D. Trimis and F. Durst, “Combustion in a porous medium: Advance and applications”, Combustion Science and Technoloty, Vol. 121 , pp.153-168, 1996.

[4] M.M. Kamal and A.A. Mohamad, “Combustion in porous media”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A: Journal of Power Engineering, Vol. 220, No.5, pp. 487-508, August, 2006.

[5] S. Wood, and A.T. Harris, “Porous burners for lean-burn applications”, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 34, No. 5, pp. 667-684, October, 2008.

[6] K. Wongwatcharaphon, P. Tongtem, S. Jugjai, “Numerical and experimental study of late mixing porous burner”, Journal of Energy Institute, Vol. 86, No.1, pp. 15-23, 2013.

[7] V.S. Babkin, A.A. Korzhavin, V.A. Buner, V.A., “Propagation of premixed explosion flames in porous media”, Combustion and Flame, Vol. 87, No. 2, pp. 182-190, 1991.

[8] J.A. Ruiz, M.C. Juárez, M.P. Morales, P. Muñoz, and M.A. Mendívil, “Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers”, Vol. 18, pp. 174-183, February, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้