



การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวบนหัวเผาช่องสี่เหลี่ยม Wolfhard Parker
Investigation of Liquid Petroleum Gas Combustion Characteristics on Wolfhard Parker Slot
burner

อมรรัตน์ แก้วประดับ¹ และ สำเร็จ จักรใจ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

*ติดต่อ: amornrat.kae@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวบนหัวเผาช่องสี่เหลี่ยม Wolfhard Parker ซึ่งเป็นต้นแบบหัวเผาที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรม หัวเผาแบบช่องสี่เหลี่ยมแบบ Wolfhard Parker มีการใช้งานในการเผาไหม้แบบไม่ผสมมาก่อนโดยสามารถให้ความร้อนสม่ำเสมอและมีความปลอดภัยต่อการใช้งานจากการเกิดเปลวไฟย้อนกลับได้ อย่างไรก็ตามการเผาไหม้แบบไม่ผสมมาก่อนส่งผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ รวมถึงองค์ประกอบที่แตกต่างกันของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนผสมเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราส่วนอากาศที่ใช้และประสิทธิภาพการเผาไหม้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวบนหัวเผาช่องสี่เหลี่ยม Wolfhard Parker จากอิทธิพลขององค์ประกอบก๊าซปิโตรเลียมเหลว ได้แก่ ก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทน ที่อัตราส่วน 70:30, 60:40 และ 40:60 อิทธิพลของอัตราความร้อนป้อน 2.0–4.0 kW และอิทธิพลของอัตราส่วนผสมที่ 1.00–2.00 ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนผสม 1.00 หรืออัตราความร้อนป้อน 2.0 kW ที่องค์ประกอบ 70:30 มีอัตราส่วนความยาวเปลวไฟสีน้ำเงินสูงที่สุดและมีอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุด (940°C) ที่องค์ประกอบ 60:40 พบว่ามีช่วงการติดไฟเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนโมโนออกไซด์ต่ำสุดที่องค์ประกอบ 40:60 จากผลการศึกษาการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวบนหัวเผาช่องสี่เหลี่ยม Wolfhard Parker องค์ประกอบก๊าซปิโตรเลียมเหลว อัตราส่วนผสม และอัตราความร้อนป้อน มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิเปลวไฟ อัตราส่วนความยาวเปลวไฟสีน้ำเงิน ช่วงการติดไฟ ปริมาณก๊าซคาร์บอนโมโนออกไซด์ แต่มีอิทธิพลน้อยต่อปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน

คำหลัก: หัวเผาช่องสี่เหลี่ยม Wolfhard Parker, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว, อัตราส่วนผสม, อัตราส่วนความยาวเปลวไฟสีน้ำเงิน, อุณหภูมิเปลวไฟ, ช่วงการติดไฟ

ABSTRACT

This research is to study the combustion characteristics of liquefied petroleum gas (LPG) on a Wolfhard Parker slot burner, which is a prototype burner using in the industrial sector. The Wolfhard Parker slot burner applied with non-mixed combustion can provide the uniform heat flux, and it is safe to use with less chance of flash back flame.

However, non-premixed combustion usually affects the incomplete combustion, combustion efficiency and combustion characteristics such a diffusion flame due to the fuel compositions and equivalence ratios. This research focuses on the combustion of liquefied petroleum gas on a Wolfhard Parker slot burner due to the influence of LPG composition (propane and butane ratio) in applications according to the ratios of 70:30, 60:40, 40:60, heat input rates of 2.00–4.00 kW and equivalence ratios of 1.00–2.00. As the results, it was found at $\Phi=1.00$ or a heat input rate of 2.0 kW with a LPG composition ratio of 70:30, the highest premixed flame ratio and the maximum flame temperature (940°C). For LPG composition ratio of 60:40 the flammability limit was wider. In addition, the lowest carbon monoxide was emitted at LPG composition ratio of 40:60. As the results of LPG combustion on a Wolfhard Parker slot burner, the composition of LPG, equivalence ratio and heat input rate could effect on the flame temperature, premixed flame length ratio, flammability limit and carbon monoxide content however it has slight influence on oxide of nitrogen content.

Keywords: Wolfhard Parker slot burner, Liquefied Petroleum Gas, Equivalence ratio, Premixed flame ratio, Flame temperature, Flammability limit

1. บทนำ

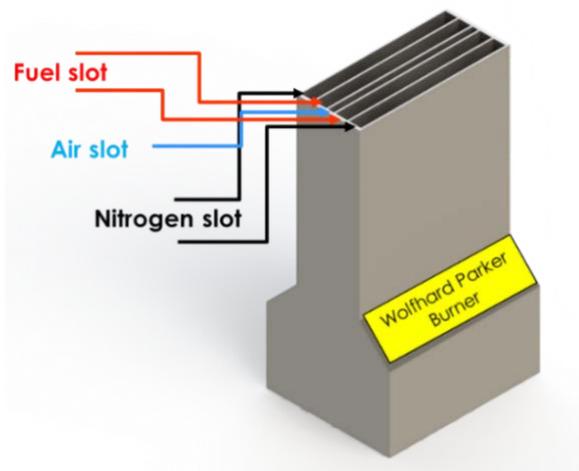
ปัจจุบันก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas ,LPG) มีความต้องการใช้งาน 10.3% จากการบริโภคพลังงานภายในประเทศไทยทั้งหมด [1] ซึ่งใช้ทั้งในภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ภาคปิโตรเคมีและในประเทศไทยยังเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้มากที่สุดในการครัวเรือน สำหรับก๊าซปิโตรเลียมเหลวในประเทศไทย มีสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทนที่ต่างกันตามมาตรฐานอุตสาหกรรม โดยกำหนดให้มีก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทนไม่ต่ำกว่า 30% และไม่เกิน 70% [2] ปัจจุบันการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลวส่วนใหญ่เป็นการเผาไหม้แบบผสมกันบางส่วน (Partial premixed Combustion) ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่มีการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศกันบางส่วนช่วยส่งเสริมการเผาไหม้แต่อาจเกิดการไหลย้อนกลับของเปลวไฟและเกิดความไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงเป็นที่มาในงานวิจัยนี้ซึ่งมุ่งเน้นความปลอดภัยในการใช้งาน [3] การเผาไหม้แบบไม่ผสมก่อน (Non-Premixed Combustion) และในงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงความปลอดภัยเพียงอย่างเดียวแต่ได้คำนึงถึงการลดการปล่อยมลพิษ โดยเน้นการใช้งานในช่วงการเผาไหม้แบบบาง (Lean- Combustion) เพราะมีการปล่อยมลพิษที่น้อยกว่าแต่ด้วยอัตราส่วนของเชื้อเพลิงที่น้อยจึงทำให้เกิดความไม่เสถียรของเปลวไฟ ดังนั้นเราจึงเลือกหัวเผาแบบ Wolfhard Parker (WP) เนื่องจากสามารถควบคุมอัตราการไหลได้ง่าย เพื่อนำมาช่วยเพิ่มความเสถียรของเปลวไฟ นักวิจัย Yasuhiro Otakeyama และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาความหนาของขอบเขตส่งผลต่อการเสถียรภาพของก๊าซมีเทนเจือจางด้วยไนโตรเจนโดยใช้ Wolfhard Parker Burner การศึกษาอิทธิพลของความหนาของขอบเขตซึ่งได้ทดลองในหลายระดับของความหนาของขอบเขตที่บางแสดงให้เห็นการเกิดการเป่าดับ (Blow off) ที่มีขอบเขตความเสถียรภาพหลังจากเกิดการยกของเปลวไฟ (lift flame) ความหนาของขอบเขตหนาเปลวไฟที่ฐานขอบเขตยังอยู่ดีในช่วง wake region แล้วเกิดการเป่าดับขึ้นทันทีทันใดโดยไม่ผ่านการเกิดการยกของเปลวไฟ (lift flame) และสำหรับความหนาของขอบเขตที่มีความหนาปานกลาง เปลวไฟเปลี่ยนจาก wake เป็น lift flame และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเปลวไฟเกิดการเป่าดับ นักวิจัย P. Muthukumar และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาพัฒนาและทดสอบสมรรถนะของเตาเผาชนิดพรุน (Porous- radiant burner) และหาประสิทธิภาพทางความร้อนของหัวเผา เพื่อศึกษาความพรุนจึงใช้วัสดุพรุนที่มีความพรุนต่างกันและทดสอบในอัตราส่วนผสมและกำลังไฟฟ้าที่เท่ากัน ซึ่งได้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 75% ซึ่งสูงกว่าเตาเผา LPG ทั่วไปที่ประเทศอินเดียถึง 10% ปริมาณ CO และ NO_x ที่วัดได้อยู่ในช่วง $10\text{--}160\text{ mg/m}^3$ และ $0\text{--}0.9\text{ mg/m}^3$ ในขณะที่เตาเผา LPG ทั่วไปจะปล่อยปริมาณ CO และ NO_x อยู่ในช่วง $250\text{--}650\text{ mg/m}^3$ และ $4\text{--}7\text{ mg/m}^3$ ตามลำดับ ในช่วงที่อัตราส่วนผสม (0.5–0.7) และกำลังไฟฟ้า (1.3–1.7 kW) PRB แสดงให้เห็นถึงการทำงานที่เสถียรภาพโดยไม่เกิดเปลวไฟย้อนกลับโดยมีประสิทธิภาพทางความร้อนดีกว่า 72% นักวิจัย R.Kh. Abdrakhmanov

และคณะ [7] ได้ทำการการศึกษาลักษณะทั่วไปของเซลล์เปลวไฟแบบเซลล์ลูลาร์ (cellular flame) โดยพารามิเตอร์ที่จะศึกษาคือรูปร่าง ลักษณะและส่วนประกอบของเปลวไฟเซลล์ลูลาร์, อุณหภูมิ, ความเร็ว, การปลดปล่อยความร้อนและความดัน ในการศึกษาจะใช้เตาเผาแบบ Bunsen Burner หัวเผาเป็นทองเหลืองขนาด 57 mm และใช้ฝาครอบเพื่อให้เกิดไฟเซลล์เดียว โดยจะปรับขนาดฝาครอบตั้งแต่ 10–40 mm โดยใช้เชื้อเพลิงเป็น LPG ที่มี ก๊าซโพรเพน 75 % และก๊าซบิวเทน 25% โดยการทดลองจะใช้อัตราการไหลของอากาศคงที่และลดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงลง โดยเปลวไฟที่ส่วนผสมแบบ rich mixture โดยจะมีลักษณะเป็น 2 ชั้นชั้นนอกจะเป็นกรวยหัวเปิดชั้นในจะมีไฟที่ถูกจุดขึ้น จากเชื้อเพลิงส่วนเกินที่อยู่ตรงยอดและเปลวไฟด้านในจะเล็กกลายไปเป็นรูปพีระมิดและเห็นเป็นเปลวไฟเซลล์ลูลาร์ชัดเจนและเมื่อลดอัตราส่วนผสมลงจนเป็น Stoichiometric mixture เปลวไฟจะขยายตัวออกไปใกล้หัวเผาจนเปลวไฟเปลี่ยนรูปร่างกลายเป็นแผ่นแบนที่ส่องสว่างจากนั้นเมื่ออัตราส่วนผสมเข้าสู่ส่วนผสมแบบบาง เปลวไฟจะยกตัวขึ้นลอยออกจากหัวเผา นักวิจัย S. Mahesh และคณะ [8] ได้ทำการศึกษา Diffusion flame ของการเผาไหม้เชื้อเพลิง LPG โดยความยาวของเปลวไฟมีการลดลง ด้วยการเพิ่มความเร็วกวอากาศโดยที่ความเร็วของเชื้อเพลิงคงที่ พบว่าความยาวของเปลวไฟสั้นลงเพิ่มขึ้นในขณะที่ความยาวของส่วนบนของเปลวไฟแบบแพร่สั้นลง หากความเร็วลมพัดจะเพิ่มขึ้นจากความเร็วของอากาศซึ่งจะทำให้เกิดแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นระหว่างความเร็วของอากาศสูงกับความเร็วของเชื้อเพลิงต่ำ ทำให้เกิดการผสมระหว่างกันทำให้เกิดเปลวไฟที่สั้นลง การผสมผสานระหว่างอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นจะเห็นได้จากการเปลี่ยนสีของพื้นที่ส่องสว่างจากสีเหลืองเป็นสีม่วงซึ่งบ่งชี้ว่ามีเขม่าเล็กน้อย จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น องค์ประกอบเชื้อเพลิงมีความสำคัญต่อการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ องค์ประกอบเชื้อเพลิง อัตราส่วนผสม และอัตราความร้อนป้อน ที่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ได้แก่ อุณหภูมิเปลวไฟ อัตราส่วนผสมเปลวไฟสีน้ำเงิน ช่วงการติดไฟ ก๊าซคาร์บอนโมโนออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน ต่อการเผาไหม้แบบไม่ผสมมาก่อนบนหัวเผา Wolfhard Parker

2. ระเบียบวิธีวิจัย

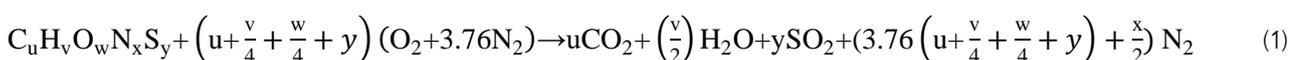
2.1 หัวเผาช่องสี่เหลี่ยม Wolfhard Parker

หัวเผาช่องสี่เหลี่ยมแบบ Wolfhard Parker เป็น เป็นหัวเผาที่เป็นต้นแบบหัวเผาแบบช่องสี่เหลี่ยมที่ใช้ในอุตสาหกรรม ให้ความร้อนสม่ำเสมอ หัวเผาช่องสี่เหลี่ยมแบบ Wolfhard Parker มีลักษณะช่องสี่เหลี่ยม มีช่องจ่ายก๊าซไนโตรเจน จำนวน 2 ช่อง เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนสู่อากาศรอบนอก ช่องจ่ายเชื้อเพลิง จำนวน 2 ช่อง และช่องจ่ายอากาศ จำนวน 1 ช่องจ่าย ที่อยู่ช่องจ่ายตรงกลางเพื่อให้เชื้อเพลิงได้รับการผสมจากทั้งอากาศส่วนกลางและอากาศจากรอบนอก ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หัวเผาช่องสี่เหลี่ยมชนิด Wolfhard Parker

2.2 สมการการเผาไหม้



สมการการเผาไหม้เชื้อเพลิงทางทฤษฎี (Stoichiometric combustion reaction) ซึ่งมีองค์ประกอบ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน(H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) และอากาศดังสมการที่ 1 นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว-อากาศ โดยมีองค์ประกอบก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทน 70:30 60:40 40:60 โดยปริมาตร

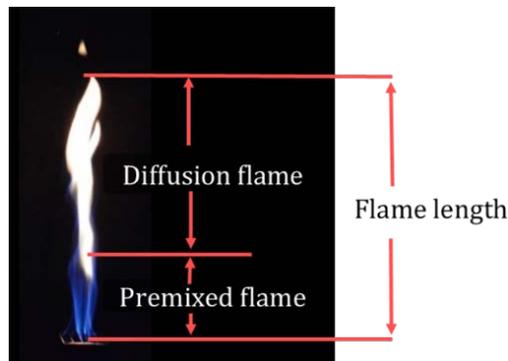
2.3 อัตราส่วนสมมูล

อัตราส่วนสมมูล (Φ) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ออากาศที่ใช้งานต่ออัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชื้อเพลิงต่ออากาศทางทฤษฎี ดังสมการที่ 2 โดยศึกษาอัตราส่วนสมมูลในช่วง 1.00–2.00 ซึ่งมีอัตราความร้อนป้อนในช่วง 2.00–4.00 kW ตามลำดับ

$$\Phi = \frac{(\dot{m}_{fuel}/\dot{m}_{air})_{actual}}{(\dot{m}_{fuel}/\dot{m}_{air})_{stoi}} \quad (2)$$

2.4 ความยาวเปลวไฟ

ความยาวเปลวไฟ (Flame length) สามารถวัดจากเปลวไฟเหนือหัวเผาถึงปลายยอด เปลวไฟจากการเผาไหม้สามารถแบ่งเป็น เปลวไฟสีน้ำเงิน (Premixed flame) ซึ่งเป็นเปลวไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงและสารออกซิไดเซอร์จะถูกผสมกันก่อนติดไฟ ลัดส่วนของส่วนผสมสามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่อออกซิไดเซอร์ และเปลวไฟชนิดแพร่ (Diffusion flame) ซึ่งมีการจ่ายเชื้อเพลิงให้กับหัวเผาเท่านั้น (เชื้อเพลิงและก๊าซเฉื่อยที่เจือจาง เช่น ไนโตรเจน) สารออกซิไดเซอร์จะจ่ายมาจากอากาศโดยรอบ และปฏิกิริยาการผสมและการเผาไหม้จะเกิดขึ้นพร้อมกัน โครงสร้างของเปลวไฟซึ่งมีแกนเชื้อเพลิงตรงกลางและโซนปฏิกิริยาภายนอกสามารถมองเห็นได้โดยดูจากสีที่เกี่ยวข้องกับบริเวณเหล่านี้ สีเหลืองของบริเวณภายนอกและบริเวณที่สูงกว่าของเปลวไฟบ่งบอกถึงการมีอยู่ของเขม่า โดยอัตราส่วนความยาวเปลวไฟสีน้ำเงินสามารถแสดงถึงการเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งสามารถหาอัตราส่วนความยาวเปลวไฟสีน้ำเงินได้จากความยาวเปลวไฟสีน้ำเงินต่อความยาวเปลวไฟทั้งหมด ดังรูปที่ 2

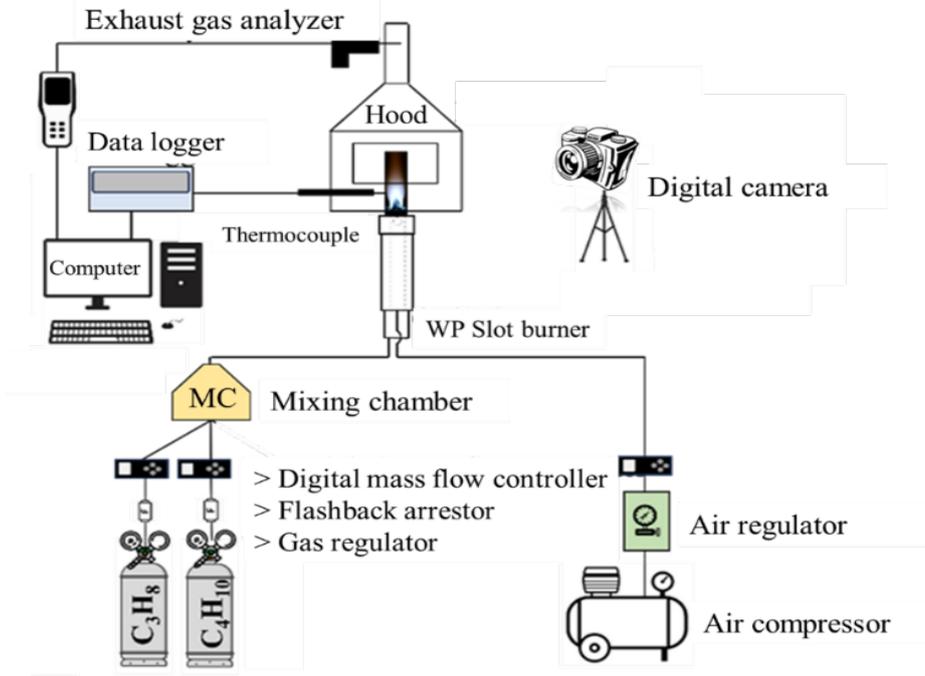


รูปที่ 2 ลักษณะความยาวเปลวไฟแบบแพร่ (Diffusion flame) เปลวไฟสีน้ำเงิน (Premixed flame)

2.5 เงื่อนไขการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงแผนภาพการทดลองการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวบนหัวเผาของสีเหลี่ยม Wolfhard Parker โดยคำนวณอัตราการไหลเชิงมวล สำหรับก๊าซโพรเพน และก๊าซบิวเทน ตามสมการ (2) และนำมาคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตร สำหรับอากาศที่อุณหภูมิ 25°C และความดัน 2 bar และอัตราการไหลเชิงปริมาตร สำหรับเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 15°C และความดัน 1 bar ผ่าน Digital mass flow controller ตามเงื่อนไขการทดลอง มีความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัด $\pm 1.0\%$ ที่อัตราส่วนสมมูลประมาณ 1.00–2.00 ที่อัตราการไหลอากาศ 20 L/min ที่องค์ประกอบก๊าซโพรเพน ก๊าซบิวเทน 70:30, 60:40, 40:60 โดยปริมาตร ดังตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ โดยมีอัตราการไหลรวมก๊าซไนโตรเจน 10 L/min เมื่ออากาศและส่วนผสมไหลผ่านและเผาไหม้บนหัวเผาของสีเหลี่ยม Wolfhard Parker โดยมีการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด B ตรวจวัด Light emission ด้วย

Photodiode (Hamamatsu) ถ่ายภาพเปลวไฟด้วยกล้องดิจิทัล เก็บข้อมูลการตรวจวัดด้วย Data logger และตรวจวัดมลพิษด้วย Exhaust gas analyzer ซึ่งใช้การเก็บก๊าซไอเสียจาก Probe ที่ตำแหน่งดังรูปที่ 3 ภายในด้านบนของ Hood โดยไม่มีอากาศภายนอกเข้ามาบรรจบวนการเก็บตัวอย่างก๊าซไอเสียที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยปริมาณก๊าซไอเสียที่ปรากฏคำนวณจาก 21% ก๊าซออกซิเจนในอากาศ



รูปที่ 3 แผนภาพการทดลอง

ตารางที่ 1 อัตราการไหลเชื้อเพลิง อากาศ อัตราส่วนผสม ที่องค์ประกอบก๊าซโพรเพน ก๊าซบิวเทน 70:30

Firing rate [kW]	Φ [-]	Propane [L/min]	Butane [L/min]	Air [L/min]
4.21	2.00	1.55	1.03	20
4.00	1.90	1.47	0.98	20
3.79	1.80	1.39	0.93	20
3.58	1.70	1.32	0.88	20
3.37	1.60	1.24	0.83	20
3.16	1.50	1.16	0.77	20
2.95	1.40	1.08	0.72	20
2.74	1.30	1.01	0.67	20
2.53	1.20	0.93	0.62	20
2.32	1.10	0.85	0.57	20
2.11	1.00	0.77	0.52	20
1.90	0.90	0.70	0.46	20

ตารางที่ 2 อัตราการไหลเชื้อเพลิง อากาศ อัตราส่วนผสม ที่องค์ประกอบก๊าซโพรเพน ก๊าซบิวเทน 60:40

Firing rate [kW]	Φ [-]	Propane [L/min]	Butane [L/min]	Air [L/min]
4.21	2.00	1.55	1.03	20
4.00	1.90	1.47	0.98	20
3.79	1.80	1.39	0.93	20
3.58	1.70	1.32	0.88	20
3.37	1.60	1.24	0.83	20
3.16	1.50	1.16	0.77	20
2.95	1.40	1.08	0.72	20
2.74	1.30	1.01	0.67	20
2.53	1.20	0.93	0.62	20
2.32	1.10	0.85	0.57	20
2.11	1.00	0.77	0.52	20
1.90	0.90	0.70	0.46	20

ตารางที่ 3 อัตราการไหลเชื้อเพลิง อากาศ อัตราส่วนผสม ที่องค์ประกอบก๊าซโพรเพน ก๊าซบิวเทน 40:60

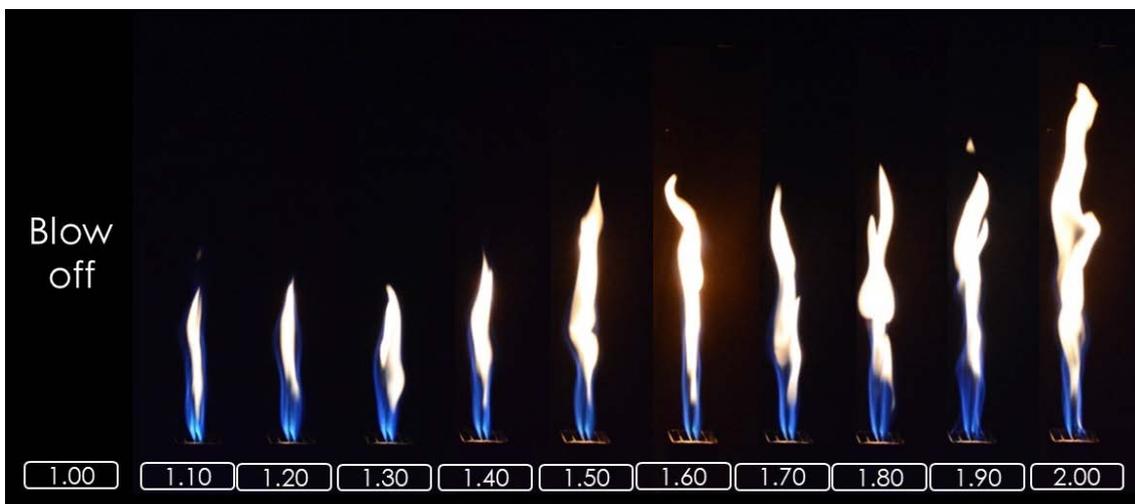
Firing rate [kW]	Φ [-]	Propane (L/min)	Butane (L/min)	Air (L/min)
4.46	2.00	1.04	1.55	20
4.23	1.90	0.98	1.48	20
4.01	1.80	0.93	1.40	20
3.79	1.70	0.88	1.32	20
3.56	1.60	0.83	1.24	20
3.34	1.50	0.78	1.16	20
3.12	1.40	0.72	1.09	20
2.90	1.30	0.67	1.01	20
2.67	1.20	0.62	0.93	20
2.45	1.10	0.57	0.85	20
2.23	1.00	0.52	0.78	20
2.00	0.90	0.47	0.70	20

3. ผลและวิจารณ์การทดลอง

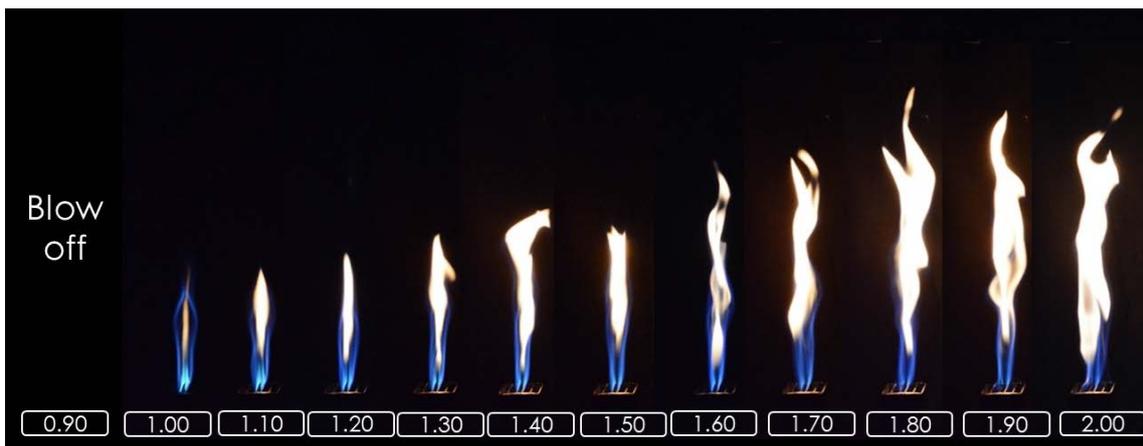
3.1 ลักษณะเปลวไฟ

ผลการทดลองการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวบนหัวเผาของสี่เหลี่ยม Wolfhard Parker ภาพเปลวไฟก๊าซปิโตรเลียมเหลวบนหัวเผาของสี่เหลี่ยม Wolfhard Parker ที่องค์ประกอบ 70:30, 60:40 และ 40:60 ดังรูปที่ 4-6 พบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมมากขึ้น

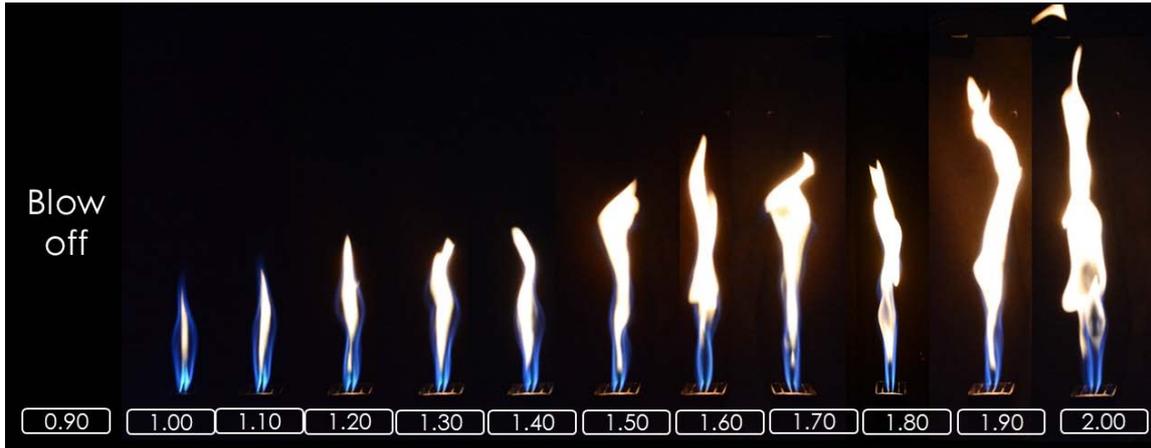
อัตราส่วนเปลวไฟสีน้ำเงิน (Premixed flame) ลดลงเนื่องจากเปลวไฟแบบแพร่ (Diffusion flame) มีความยาวมากขึ้น ซึ่งมีสาเหตุจากส่วนผสมเชื้อเพลิงมากกว่าอากาศทางทฤษฎีทำให้เชื้อเพลิงแพร่ไปตามเปลวไฟเพื่อต้องการอากาศในการผสมทำให้เปลวไฟแบบแพร่ยาวขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาความยาวเปลวไฟยาวขึ้นเมื่อก๊าซออกซิเจนลดลงหรืออัตราส่วนสมมูลมากขึ้น [11] ที่องค์ประกอบ 70:30 มีช่วงการติดไฟที่ $1.10 \leq \Phi \leq 2.00$ เนื่องจากพบเปลวไฟเป่าดับที่ $\Phi=1.00$ ดังรูปที่ 4 ที่องค์ประกอบ 60:40 และ 40:60 มีช่วงการติดไฟที่ขยายเพิ่มขึ้นที่ $1.00 \leq \Phi \leq 2.00$ เนื่องจากพบเปลวไฟเป่าดับที่ $\Phi \leq 1.00$ ดังรูปที่ 5 และ 6 เนื่องจากอิทธิพลของส่วนผสมระหว่างก๊าซโพเทนและก๊าซบิวเทนส่งผลต่อการขยายช่วงการติดไฟ และส่งผลต่อการเพิ่มช่วงการใช้งานในส่วนผสมแบบบาง (Lean mixture) ได้ นอกจากนี้ผลการศึกษาอัตราส่วนเปลวไฟสีน้ำเงิน (Premixed flame ratio) พบว่าอัตราส่วนเปลวไฟสีน้ำเงินจากการศึกษาการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่องค์ประกอบ 70:30, 60:40 และ 40:60 ดังรูปที่ 7 ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนเปลวไฟสีน้ำเงินลดลงเมื่ออัตราส่วนสมมูลเพิ่มขึ้นหรือเป็นส่วนผสมหนาขึ้น เนื่องจากความยาวเปลวไฟแบบแพร่เพิ่มขึ้น



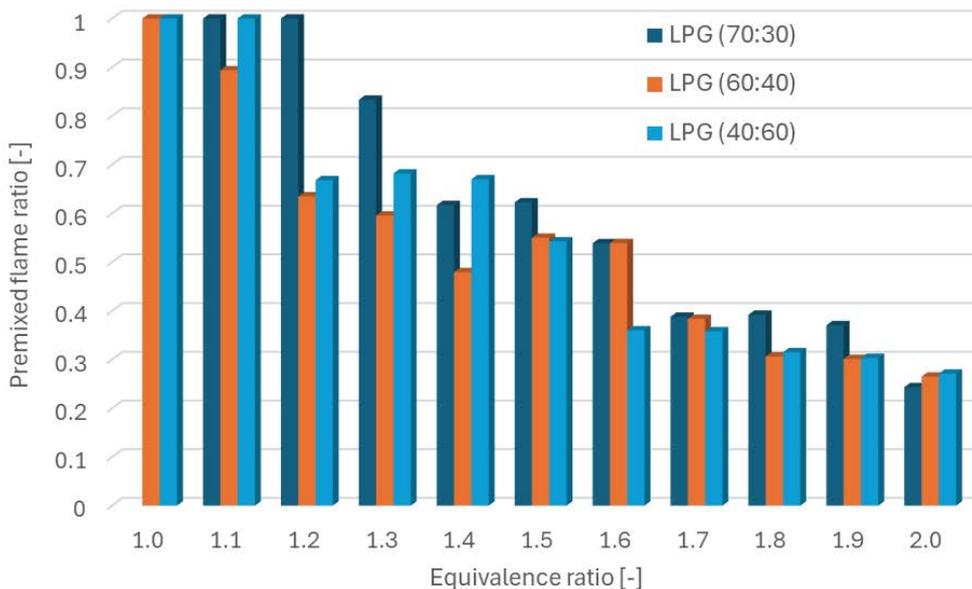
รูปที่ 4 ภาพเปลวไฟก๊าซปิโตรเลียมเหลวบนหัวเผาของสีเหลี่ยม Wolfhard Parker ที่องค์ประกอบ 70:30



รูปที่ 5 ภาพเปลวไฟก๊าซปิโตรเลียมเหลวบนหัวเผาของสีเหลี่ยม Wolfhard Parker ที่องค์ประกอบ 60:40



รูปที่ 6 ภาพเปลวไฟก๊าซปิโตรเลียมเหลวบนหัวเผาของสี่เหลี่ยม Wolfhard Parker ที่องค์ประกอบ 40:60



รูปที่ 7 อัตราส่วนเปลวไฟสีน้ำเงินจากการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่องค์ประกอบ 70:30, 60:40 และ 40:60

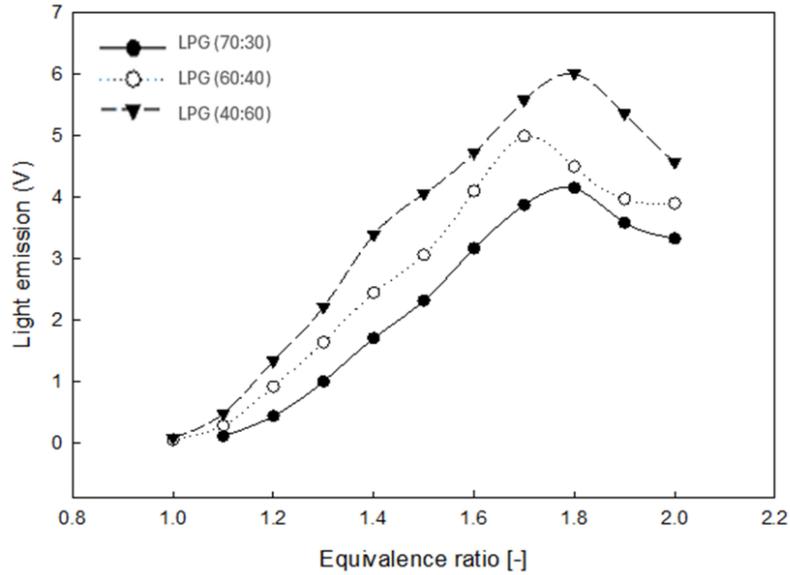
3.2 อัตราการปล่อยแสง (Light emission)

อัตราการปล่อยแสงเปลวไฟจากการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวสามารถตรวจวัดได้จาก Photodiode เพื่อรับแสงจากเปลวไฟแล้วแปลงความเข้มแสงเป็นแรงดันทางไฟฟ้า (Voltage) ผลการศึกษาการเพิ่มอัตราส่วนผสมจาก $\Phi=1.00-2.00$ พบว่าที่ $\Phi=1.00$ มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.08 โวลต์ อัตราการปล่อยแสงเปลวไฟจากการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเพิ่มขึ้นโดยมีสาเหตุจากอัตราการไหลเชื้อเพลิงมากกว่าอัตราการไหลอากาศส่งผลให้มีแสงจากเปลวไฟแบบแพร่มากขึ้นและอัตราการปล่อยแสงมากขึ้น นอกจากนี้ที่องค์ประกอบ 70:30 และ 40:60 พบว่ามีอัตราการปล่อยแสงสูงสุด 4.0 โวลต์ และ 6.0 โวลต์ ที่ $\Phi=1.80$ สำหรับองค์ประกอบ 60:40 อัตราการปล่อยแสงสูงสุด 5.0 โวลต์ ที่ $\Phi=1.70$ รายละเอียดแสดงในรูปที่ 8

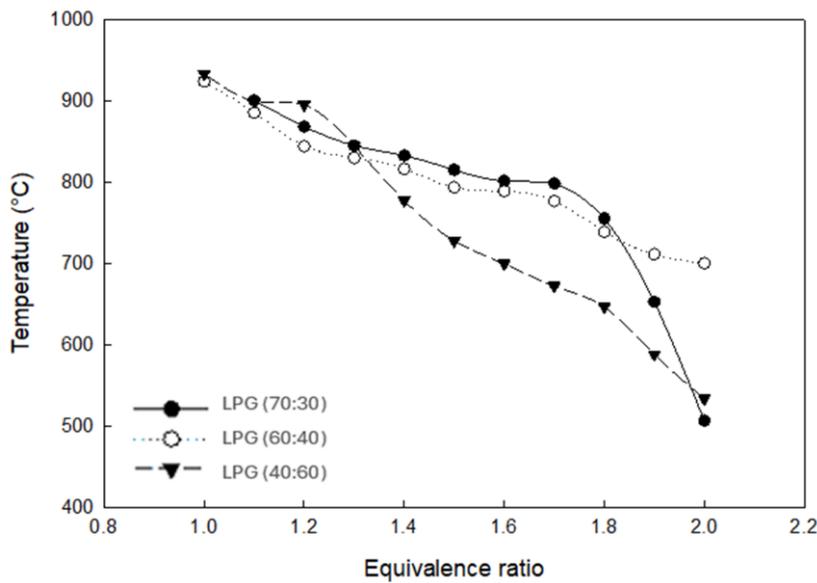
3.3 อุณหภูมิเปลวไฟ (Flame temperature)

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสม $\Phi=1.00 - 2.00$ อุณหภูมิเปลวไฟที่วัดได้จาก Thermocouple ที่จุดกึ่งกลางของหัวเผาที่มีอุณหภูมิสูงสุด ส่วนตำแหน่งของ Thermocouple ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางหัวเผาเป็นระยะ 6.00 cm มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่จุดกึ่งกลาง

ซึ่งพบว่าที่ $\Phi=1.00$ แสดงอุณหภูมิของเปลวไฟสูงสุดที่องค์ประกอบ และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสม ส่งผลให้อุณหภูมิลดลง เนื่องจากส่วนผสมของเชื้อเพลิงมากกว่าอากาศทางทฤษฎี รูปที่ 9 แสดงอุณหภูมิเปลวไฟสีน้ำเงินที่ $\Phi=1.00$ จากการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่องค์ประกอบ 70:30, 60:40 และ 40:60 ผลการศึกษาที่องค์ประกอบ 70:30 พบว่ามีอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุด 940°C



รูปที่ 8 การปล่อยแสงจากการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่องค์ประกอบ 70:30, 60:40 และ 40:60

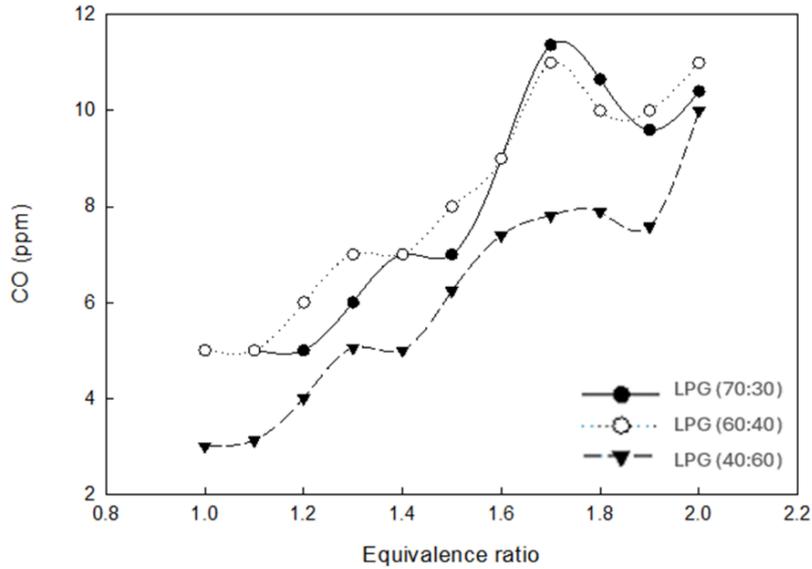


รูปที่ 9 อุณหภูมิเปลวไฟสีน้ำเงินจากการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่องค์ประกอบ 70:30, 60:40 และ 40:60

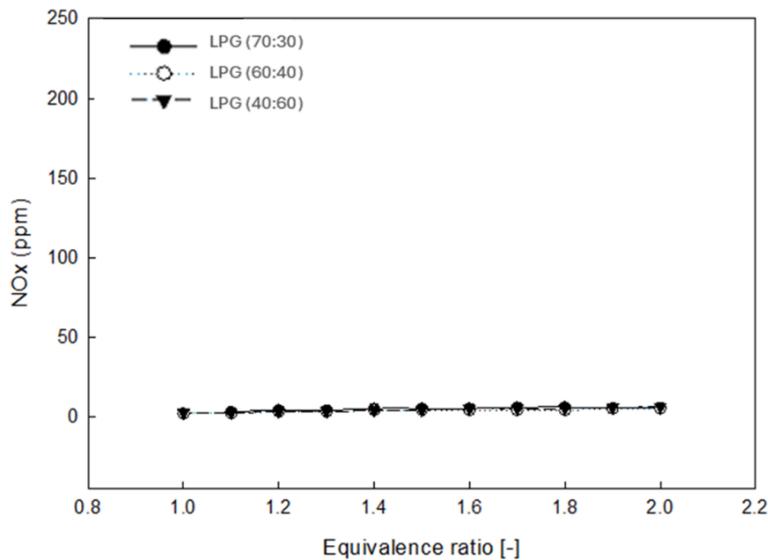
3.4 ก๊าซไอเสีย

การปลดปล่อยมลพิษเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสม $\Phi=1.00 - 2.00$ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน รูปที่ 10 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนที่ปริมาณออกซิเจน 21% จากการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่องค์ประกอบ 70:30, 60:40 และ 40:60 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อทำการปรับอัตราส่วนผสมสูงขึ้นส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนผสมไม่เพียงพอสำหรับอัตราอากาศเดิมและการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ที่องค์ประกอบเชื้อเพลิง 40:60 พบว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

มีค่าสูงสุดเท่ากับ 10.0 ppm ที่ $\Phi=2.00$ และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.0 ppm ที่ $\Phi=1.00$ เมื่อองค์ประกอบเชื้อเพลิงมีก๊าซโพรเพนมากขึ้นที่ 60:40 พบว่า ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.0 ppm ที่ $\Phi=1.70$ และและมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.0 ppm ที่ $\Phi=1.00$ นอกจากนี้ เมื่อเพิ่มก๊าซโพรเพนที่องค์ประกอบ 70:30 พบว่า ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.4 ppm ที่ $\Phi=1.70$ และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.0 ppm ที่ $\Phi=1.10$ นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่าปริมาณการปลดปล่อยสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนการเปลี่ยนแปลงน้อยมากที่ $\Phi=1.00-2.00$ และที่องค์ประกอบเชื้อเพลิงแตกต่างกัน ดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 ปริมาณก๊าซคาร์บอนโมโนออกไซด์ (CO) จากการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่องค์ประกอบ 70:30, 60:40 และ 40:60



รูปที่ 11 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จากการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่องค์ประกอบ 70:30, 60:40 และ 40:60

4. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบจากองค์ประกอบของก๊าซปิโตรเลียมเหลวต่อคุณลักษณะการเผาไหม้บนหัวเผาช่องสี่เหลี่ยม Wolfhard Parker โดยมีเป้าหมายหลักในการวิเคราะห์อิทธิพลของอัตราส่วนผสมและอัตราความร้อนป้อน (heat input) ต่ออุณหภูมิของเปลวไฟ อัตราส่วนความยาวของเปลวไฟสีน้ำเงิน ช่วงการติดไฟ และปริมาณก๊าซไอเสีย เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมมากกว่า 1.00 (เชื้อเพลิงมากกว่าอากาศ) อุณหภูมิเปลว

ไฟและอัตราส่วนเปลวไฟสีน้ำเงินลดลง ในขณะที่ปริมาณการปล่อยแสงจากเปลวไฟเพิ่มขึ้น สาเหตุเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีเชื้อเพลิงเกินกว่าที่จะทำปฏิกิริยากับอากาศทั้งหมดได้ สำหรับองค์ประกอบของก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่สัดส่วน 70:30 (โพรเพน:บิวเทน) พบว่าให้เปลวไฟสีน้ำเงินสูงสุดและอุณหภูมิเปลวไฟสูงถึง 940°C ในขณะที่สัดส่วน 60:40 มีช่วงการติดไฟกว้างขึ้น และสัดส่วน 40:60 พบว่ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำที่สุด งานวิจัยนี้แสดงผลกระทบขององค์ประกอบของ LPG และอัตราส่วนผสมมีผลกระทบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ เปลวไฟ อุณหภูมิเปลวไฟ เพื่อเป็นฐานข้อมูลประกอบการออกแบบหัวเผาแบบช่องสี่เหลี่ยมในอุตสาหกรรมได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณ นายสุจริต รักทอง นายอัครพล มาขนิ และนายสรวิชัย ทองบางไทร ที่ช่วยเก็บข้อมูลในการศึกษาและช่วยทดลองเพื่อเก็บผลการศึกษานำมาวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy statistics. 2566. Source: <https://www.eppo.go.th>.
- [2] Basic of Liquefied Petroleum Gas: LPG. 2566. Source: <http://www.thananangas.com/index>
- [3] Non-Premixed Combustion and Mixture Fraction Theory.2567. Source: <https://www.wafs.portici.enea.it>.
- [4] Otakeyama Y. Yokomori T. Mizomoto M. Stability of CH₄-N₂/air jet diffusion flame for various burner rim thicknesses. 2009; 32(1): 1091-1097.
- [5] Muthukumar P. Shyamkumar P.I. Development of novel porous radiant burners for LPG cooking applications. 2013; 112: 562-566.
- [6] Abdelaal M.M. El-Riedy M.K. El-Nahas A.M. Effect of oxygen enriched air on porous radiant burner performance and NO emissions. 2013; 45: 163-168
- [7] Abdrakhmanov R.Kh. Boyarshinov B.F. Fedorov S.Yu. Investigation of the local parameters of a cellular propane/butane/air flame. 2017; 109: 1172-1180
- [8] S.Mahesh, D.P.Mishra : Flame structure of LPG-Air Inverse Diffusion Flame in a backstep burner. 2010; 2145-2148
- [9] ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานด้านความร้อน.ทฤษฎีการเผาไหม้. <http://www2.dede.go.th>.
- [10] Strehlow, R.A. Combustion Fundamentals, McGraw-Hill Series in Energy, Combustion and Environment; McGraw-Hill College: New York, NY, USA, 1985; p. 27. ISBN 0-07-Y66599-0.
- [11] Mueller R., Kammler H.K., Pratsinis S.E., Vital A., Beaucage G., Burtscher P., Non-agglomerated dry silica nanoparticles, 2004, Powder Technol., 140, 40-48.