

การศึกษาความสามารถในการหรี่แรงเชื้อเพลิงของหัวเผาแอลพีจีแบบกึ่งอัตโนมัติที่ใช้ใน อุตสาหกรรมเซรามิกส์ : Part 2

The study of capable in LPG turn up/down of semi-automatic LPG Burner in Ceramics industry: Part 2

อาวุธ ลภิตานากุล¹ และ จารุวัตร เจริญสุข²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 10530

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 029 883 655 ต่อ 3106

E-mail: umkmitl39@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากการพัฒนาหัวเผาในส่วนที่ 1 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของหัวเผาแอลพีจีแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ทำการปรับเปลี่ยน ค่าความแข็งของสปริงเท่ากับ 0.57 0.65 และ 0.85 N/m ตามลำดับ ทำการปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงตั้งแต่ 0.5 – 5 L/m เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.5 L/m ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 2 บาร์ จากนั้นบันทึกเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนก่อนการเผาไหม้และการกระจายตัวของอุณหภูมิ พร้อมทั้งสังเกตความยาว สี และรูปแบบของเปลวไฟ จากการทดสอบพบว่าสปริงที่ $k = 0.57$ N/m มีย่านการทำงานค่อนข้างแคบในช่วงกิโลวัตต์ความร้อนต่ำ สามารถหรี่แรงได้อยู่ในช่วง 1.5 - 4.6 kw (1-3 L/m) เนื่องจากอิทธิพลของการพาส่งผลให้เกิดเปลวไฟหลุดลอย ที่อัตราการไหลสูง ในขณะที่ $k = 0.65$ และ 0.85 N/m มีย่านการทำงานที่กว้างกว่า และสามารถหรี่แรงได้อยู่ในช่วง 2.3-6.9 kw (1.5-4.5 L/m) ปริมาณ O_2 ที่เหลือจากการเผาไหม้ มีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณ CO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการไหลเชื้อเพลิงในสปริงทุกกรณี ลักษณะของเปลวไฟที่เกิดขึ้นของสปริงทั้งสามกรณี มีสีน้ำเงิน มีการสั่นกระเพื่อมน้อยและเปลวไฟมีความยาวเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการไหล มีอุณหภูมิเปลวไฟที่ตำแหน่งปลายหัวเผามีค่าอยู่ในช่วง 500-800°C

คำสำคัญ: หัวเผาแอลพีจีกึ่งอัตโนมัติ เตาเผาเซรามิกส์ การเหนี่ยวนำอากาศ

Abstract

This paper is a continuous research that aims to find the optimum operating condition of semi-automatic LPG burner by spring constants variance as: 0.57, 0.65 and 0.85 N/m. Oxygen concentration prior to combustion, temperature distribution including the visible flame length, illuminating color and shape of flame were observed while adjusting fuel flow rate from 0.5 L/Min up to 5 L/Min by 0.5 L/Min

increment. The supply pressure was at 2 bars. It is found that the turn-up and down of burner at $k=0.57$ is narrow than the burner at higher spring constants due to effect of convection term. This effect leads to flame lift off from tip of burner for high flow rate case. The operating ranged is 1.5 - 4.6 kw (1-3 L/m) at $k=0.57$ and 2.3-6.9 kw (1.5-4.5 L/m) at higher spring constants. When increasing in LPG flow rate, the O_2 concentration trends to decrease while the CO concentration increases for all spring constants. The visible flames are short and stable blue flame length. In addition, the flue gas temperature at tip of burner has about 500-800°C.

Keywords: Semi-automatic LPG burner, Ceramics furnace, Primary air entrainment

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆ ภายในประเทศเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีการบริโภคพลังงานเพิ่มมากขึ้น เมื่อพลังงานน้ำมันยังมีน้อยลงตรงข้ามกับราคาที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องผู้ประกอบการต่างก็ได้รับผลกระทบไม่เว้นแม้แต่อุตสาหกรรมเซรามิกส์ซึ่งใช้ก๊าซแอลพีจี (Liquefied petroleum gas, LPG) เป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาเผา ดังนั้นผู้ประกอบการที่สามารถแก้ไขปัญหาในส่วนนี้ได้ก็จะเป็นผลดีกับธุรกิจมากขึ้น และการแก้ไขปัญหาที่ยังรวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของหัวเผาให้มีการเผาไหม้ที่ดีและลดการใช้ก๊าซแอลพีจีอย่างสิ้นเปลืองด้วย โดยหัวเผาก๊าซแอลพีจี ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เป็นแบบเปลวไฟผสมก่อนการเผาไหม้(ในย่านอัตราการไหลสูง) ใช้หลักการพ่นเชื้อเพลิงผ่านหัวฉีดและเหนี่ยวนำอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ซึ่งจะเผาไหม้ได้ดีในย่านอัตราการไหลสูง เพราะสามารถเหนี่ยวนำอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้มาก แต่เมื่อทำการลดอัตราการไหลลง จะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่ดีกลายเป็นการเผาไหม้แบบเปลวไฟผสมกันขณะเผาไหม้ ซึ่งการเพิ่มอัตราการเหนี่ยวนำอากาศ (primary air entrainment) ในย่านที่มีอัตราการไหลต่ำถือเป็นทางเลือกหนึ่ง ที่ควรได้รับการพัฒนาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ และนอกจากนี้ยังช่วยยืดระยะเวลาในการก่อตัวของเขม่า จากการศึกษพบว่า การเพิ่มอัตราการเหนี่ยวนำอากาศ 10% จากปริมาณอากาศ ที่ ต้องการ ใช้ ใน ปริมาณ สัม พัน ธ์ (stoichiometric) สามารถลดการเกิดเขม่าได้มากที่สุด

ถึง 70% [1] และยังพบว่าอุณหภูมิของอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำก็มีผลต่อการเหนี่ยวนำเช่นกัน ซึ่งอากาศโดยรอบหัวฉีดแอลพีจีที่มีอุณหภูมิต่ำสามารถถูกเหนี่ยวนำได้มากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูงถึง 22% [4] อีกทั้งลักษณะทางกายภาพของหัวเผายังถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาเพื่อเพิ่มอัตราการเหนี่ยวนำอากาศ กล่าวคือถ้าหากนอซเซิลทำให้เกิดความดันแตกต่างสูงก็จะทำให้เกิดสุญญากาศและเหนี่ยวนำอากาศได้มากนั่นเอง ซึ่งจากการเปรียบเทียบนอซเซิลแบบคอนเวอร์เจนซ์และแบบออร์ฟิส พบว่าแบบออร์ฟิสสามารถเหนี่ยวนำอากาศได้มากกว่าและหากยิ่งลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และเพิ่มอัตราการไหลก็ยิ่งเหนี่ยวนำได้มากขึ้นเช่นกัน [2] นอกจากนี้ศึกษาอัตราการเหนี่ยวนำอากาศที่เป็นผลเนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนประเภทของนอซเซิลแล้วยังได้มีการศึกษา หัวฉีดที่เป็น group hole nozzle และ single hole nozzle ปรากฏว่าแบบแรกสามารถสเปรย์ได้สั้น แต่สามารถเพิ่มอัตราการเหนี่ยวนำได้มากกว่า single hole เนื่องจากบริเวณที่เกิดการสเปรย์กว้างทำให้สามารถเพิ่มอัตราการเกิดโมเมนตัมซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำที่เพิ่มมากขึ้น [3], [4]

โดยงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากการพัฒนาหัวเผาแบบกึ่งอัตโนมัติ (part I) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการทำงานที่เหมาะสมของหัวเผาที่ถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งทำการทดสอบหาแนวทางการทำงานของหัวเผาเมื่อใช้สปริงที่มีค่าความแข็งต่างกัน มีค่าเท่ากับ 0.57 0.65 และ 0.85 N/m ตามลำดับ โดยคาดว่าค่า

ความแข็งต่างกัน จะส่งผลให้ ย่านการทำงานของหัวเผาอยู่ในช่วงต่างกัน ซึ่งผลการทดสอบที่ได้น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและพัฒนาหัวเผาแบบกึ่งอัตโนมัติในรุ่นต่อไป

2. องค์ประกอบเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ LPG โดยในการทดลองจะใช้ก๊าซหุงต้มของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ซึ่งประกอบไปด้วย โพรเพน (C_3H_8) 60% mol และบิวเทน (C_4H_{10}) 40% โดยมีค่าความร้อน (HHV) เท่ากับ 45.6 MJ/kg (ที่มา: การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย) ซึ่งจะเห็นได้ว่า องค์ประกอบของ LPG มีก๊าซไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ไม่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนและซัลเฟอร์

3 วิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงชุดทดสอบพฤติกรรมการเผาไหม้และสมรรถนะของหัวเผาแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยชุดทดสอบถูกสร้างให้มีการเผาไหม้แบบผสมก่อน (premixed) ซึ่งชุดทดสอบสามารถแบ่งได้เป็นสามส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นท่อผสม (mixing pipe) ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนที่หนึ่ง ทำมาจากเหล็กหล่อ มีลักษณะคล้ายรูปทรงกรวย สูง 375 mm ปลายท่อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 40 mm โดยที่บริเวณด้านยอดกรวย ได้ทำการติดตั้งหัวฉีดที่ถูกพัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 2 ติดตั้งอยู่ห่างจากท่อผสมเป็นระยะ 60 mm เพื่อให้อากาศส่วนที่หนึ่งถูกเหนี่ยวนำเข้าสู่ท่อผสม โดยอาศัยแรงดันสถิตยอากาศที่เกิดขึ้นจากการฉีดเชื้อเพลิงด้วยความเร็วสูง

ส่วนที่สองคือหัวเผา (Burner) ทำจากสแตนเลส มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 mm สูง 200 mm ส่วนสุดท้ายคือท่อสำหรับเก็บบันทึกอุณหภูมิและก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ (Measuring pipe) ทำจากเหล็ก มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 154 mm สูง 750 mm โดยทำการติดตั้งห่างจากปลายของหัวเผาเป็นระยะ 90 mm เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่สองที่ใช้ในการเผาไหม้

รูปที่ 2 แสดงหัวฉีดเชื้อเพลิงที่พัฒนาขึ้นและสปริงที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งนำหลักการสมดุลของสปริงที่สัมพันธ์กับพื้นที่ทางออกของหัวฉีดมาประยุกต์ใช้ โดยที่อัตราการไหลต่ำ พื้นที่ทางออกของหัวฉีดจะแคบเนื่องจากแรงดันของเชื้อเพลิงไม่สามารถเอาชนะแรงต้านของสปริง ส่งผลให้เชื้อเพลิงมีความเร็วสูง จึงเกิดการเหนี่ยวนำอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เข้าสู่หัวเผาได้มาก ในขณะที่เมื่อใช้งานที่อัตราการไหลสูง หัวเผาก็สามารถเหนี่ยวนำอากาศเข้าสู่หัวเผาได้มากเช่นกัน เพราะความเร็วของเชื้อเพลิงมีค่ามากตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น

ในการทดลอง ได้ทำการปรับเปลี่ยนสปริงที่มีความแข็งต่างกัน 0.57 0.65 และ 0.85 N/m ตามลำดับ โดยในทุกสปริง ทำการปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงตั้งแต่ 0.5 – 5 L/m เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.5 L/m โดยใช้ Flow meter (0-5 L/m) เป็นอุปกรณ์ในการวัดและควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิง ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 2 บาร์ ส่วนในการบันทึกค่าอุณหภูมิจะบันทึกอุณหภูมิทั้งหมด 9 ระดับความสูงแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งตำแหน่งวัด T1 อยู่ที่ทางออกหัวเผา ที่ระดับความสูง 550 mm จากหัวฉีดเชื้อเพลิง ตำแหน่งวัด T2 อยู่ที่ทางเข้าของท่อบันทึกผล ที่ระดับความสูง 620 mm จากหัวฉีดเชื้อเพลิง ส่วนตำแหน่ง T3 –T9 อยู่ห่างจากตำแหน่งวัดก่อนหน้าเป็นระยะเท่าๆกัน 100 mm โดยใช้ Thermocouple type K และใช้ Data logger เป็นอุปกรณ์ในการบันทึกผล นอกจากนี้ทำการวัดก๊าซไอเสียโดยใช้เครื่องวัดก๊าซ (Testo 350XL) ที่บริเวณท่อทางออกของท่อบันทึกผล ที่ระดับความสูง 1290 mm จากหัวฉีดเชื้อเพลิง (G2) ซึ่งก๊าซไอเสียที่ทำการเก็บผลได้แก่ O_2 , CO_2 และ CO ตามลำดับ อีกทั้งได้ทำการบันทึกปริมาณ O_2 ก่อนการเผาไหม้ ที่บริเวณท่อผสม ที่ระดับความสูง 270 mm จากหัวฉีดเชื้อเพลิง (G1) เพื่อใช้ในการหาปริมาณอากาศส่วนหนึ่งที่ถูกเหนี่ยวนำเข้าสู่หัวเผาผสมกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ โดยคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\dot{Y}_{O_2, \text{premixed}} = \frac{21 \times \dot{m}_{Air}}{\dot{m}_{fuel} + \dot{m}_{Air}}$$

ดังนั้น

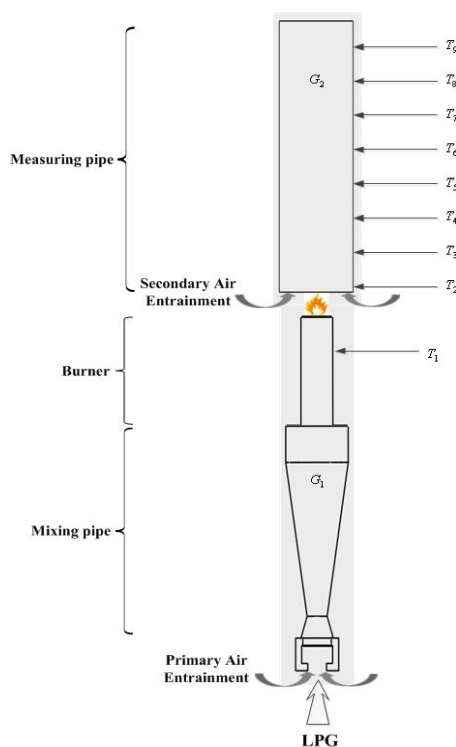
$$\dot{m}_{Air} = \frac{\dot{Y}_{O_2, \text{premixed}} \times \dot{m}_{fuel}}{21 - \dot{Y}_{O_2, \text{premixed}}} \quad (1)$$

เมื่อ

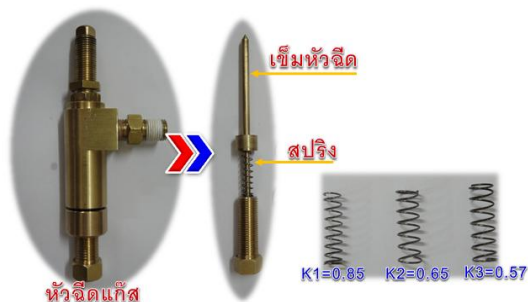
$\dot{Y}_{O_2, \text{premixed}}$ คือ ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ (%)

$\dot{m}_{Air}$ คือ ปริมาณอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำ (kg/s)

$\dot{m}_{fuel}$ คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg/s)



รูปที่ 1 แสดงส่วนต่างประกอบต่างๆ ในชุดทดลอง

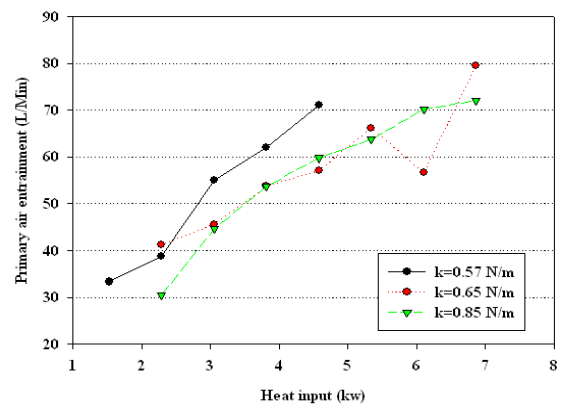


รูปที่ 2 แสดงหัวฉีดเชื้อเพลิงที่พัฒนาขึ้นและสปริงที่ใช้ในการทดลอง

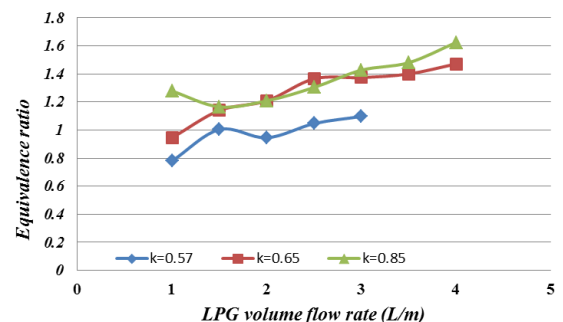
ในการวิเคราะห์งานการทำงานจะพิจารณาจากพฤติกรรมของการเกิดเปลวไฟย้อนกลับและเปลวไฟหลุดลอยออกจากฐานของหัวเผาซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วยุติเปลวไฟแบบลามินาร์ของเชื้อเพลิงแอลพีจี โดยบ่งบอกถึงความสามารถในการห่อหุ้มของหัวเผา นอกจากนี้ยังได้ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิและปริมาณก๊าซไอเสียรวมถึงสังเกตความยาว สีและรูปแบบของเปลวไฟ

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 อัตราการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งและความเร็วยุติเปลวไฟแบบลามินาร์



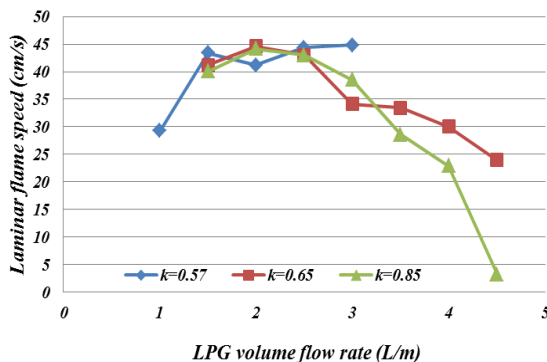
รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของค่าความแข็งสปริงต่อปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งที่ถูกเหนี่ยวนำเข้าสู่หัวเผาระดับพลังงานความร้อนต่างๆ



รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของค่าความแข็งสปริงต่ออัตราส่วนสมมูลที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ

การทดสอบทำโดยการเพิ่มอัตราการไหลของเชื้อเพลิง (กิโลวัตต์ความร้อนที่ป้อนให้แก่หัวเผา) จาก

การทดสอบพบว่าเมื่อใช้สปริงที่ $k = 0.57$ N/m มีย่านการทำงานค่อนข้างแคบในช่วงกิโลวัตต์ความร้อนต่ำสามารถหีแร่ได้อยู่ในช่วง 1.5-4.6 kw (1-3 L/m) ในขณะที่ $k = 0.65$ และ 0.85 N/m มีย่านการทำงานที่กว้างกว่า และสามารถหีแร่ได้อยู่ในช่วง 2.3-6.9 kw (1.5-4.5 L/m) ซึ่งพบว่าถ้าทำการทดลองสปริงทั้งสามต่ำกว่าย่านดังกล่าวจะเกิดปรากฏการณ์เปลวไฟย้อนกลับ (flash back) ในขณะเดียวกัน ถ้าทำการทดลองที่ย่านสูงกว่า ก็เกิดปรากฏการณ์เปลวไฟหลุดลอย (Lift off) ออกจากฐานหัวเผา



รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของค่าความแข็งสปริงต่อความเร็วเปลวไฟแบบลามินาร์ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ

โดยการออกแบบหัวฉีดเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ มีสมมุติฐานว่า ที่อัตราการไหลเดียวกัน สปริงที่มีความแข็งมากจะสามารถเหนี่ยวอากาศเข้าสู่หัวเผาได้ดีกว่าสปริงที่มีความแข็งน้อย เนื่องจากพื้นที่ทางออกของหัวฉีดแคบ เพราะแรงดันของเชื้อเพลิงไม่สามารถเอาชนะแรงต้านของสปริง ส่งผลให้เชื้อเพลิงมีความเร็วสูง ซึ่งหมายความว่าสปริงแข็ง ทำให้เกิดการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเป็นแบบส่วนผสมบาง (Lean mixture) ในทางตรงกันข้ามจะเกิดผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเป็นแบบส่วนผสมหนา (Rich mixture) ในกรณีที่เลือกใช้สปริงที่มีค่าความแข็งน้อย

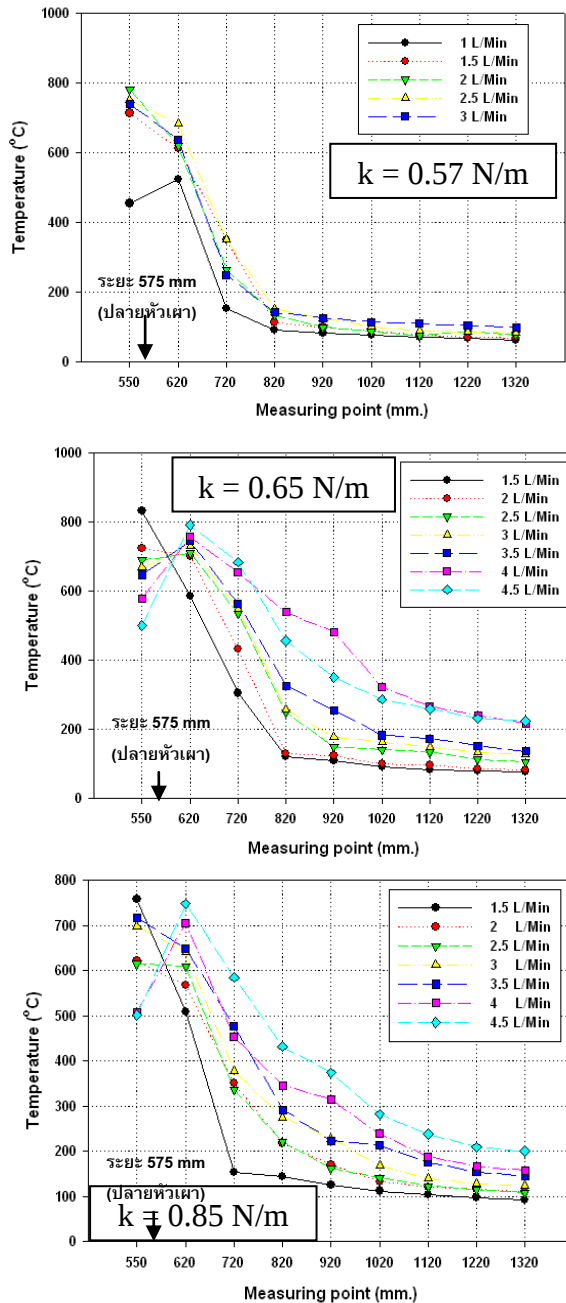
เมื่อนำหลักการดังกล่าวมาวิเคราะห์เชื่อมโยงกับผลการทดลองที่แสดงดังรูป 3 พบว่าเมื่อทำการทดสอบสปริงที่ $k = 0.57$ N/m อัตราการเหนี่ยวนำ

อากาศส่วนที่หนึ่งกลับมีค่ามากกว่าการทดสอบด้วยสปริงที่แข็งกว่า ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมุติฐานของการศึกษา โดยสปริงที่ $k = 0.57$ มีสัดส่วนการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศส่วนที่หนึ่ง ในทุกเงื่อนไขการทดลองใกล้เคียงกับส่วนผสมแบบพอดี (stoichiometric) ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณเป็นความเร็วเปลวไฟแบบลามินาร์พบว่ามีความสูงประมาณ 30-45 cm/s ดังแสดงในรูปที่ 5 ส่งผลให้เปลวไฟสามารถอยู่ติดกับฐานได้ดี ดังนั้นย่านการทำงานควรจะกว้าง แต่ผลการทดลองที่ได้ ย่านการทำงานค่อนข้างแคบ สามารถหีแร่ได้อยู่ในช่วง 1.5-4.6 kw (1-3 L/m) เหตุที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเป็นผลมาจากอิทธิพลของการพา (convection) ที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสมเช่นเดียวกัน ซึ่งมีอิทธิพลมากกว่าอิทธิพลของความเร็วเปลวไฟแบบลามินาร์ จึงส่งผลให้เปลวไฟเกิดการหลุดลอยออกจากฐาน เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาสปริงที่ $k = 0.65$ และ 0.85 N/m ดังรูป 3-5 พบว่ามีแนวโน้มเดียวกันและย่านการทำงานที่กว้าง สามารถหีแร่ได้อยู่ในช่วง 2.3-6.9 kw เนื่องจากอิทธิพลของความเร็วเปลวไฟแบบลามินาร์ มีอิทธิพลมากกว่าอิทธิพลการพา ดังนั้นจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์เปลวไฟหลุดลอย เมื่อความเร็วเปลวไฟแบบลามินาร์มีค่าต่ำลง ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงสูงๆ ส่วนเกิดปรากฏการณ์เปลวไฟย้อนกลับที่เกิดขึ้นเมื่อทดลองสปริงทั้งสาม เกิดจากการที่ความเร็วเปลวไฟแบบลามินาร์มีค่ามาก ซึ่งคาดว่าจะมากกว่าความเร็วของของผสม แต่ทั้งนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งยังคงต้องทำการศึกษาต่อไป

4.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิและลักษณะของเปลวไฟ

จากรูปที่ 6 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิตามระดับความสูง วัดจากหัวฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงลักษณะโครงสร้างของเปลวไฟที่เปลี่ยนแปลงเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิง โดยพิจารณาสอดคล้องกับลักษณะของเปลวไฟที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยการวัด

ความยาวของเปลวไฟ วัดเทียบจากปลายของหัวเผา (ความผิดพลาด (error) ในการวัดและอ่านค่าประมาณ ± 10 mm)



รูปที่ 6 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิตามความสูง ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงและความเข้มของสปริงต่างๆ

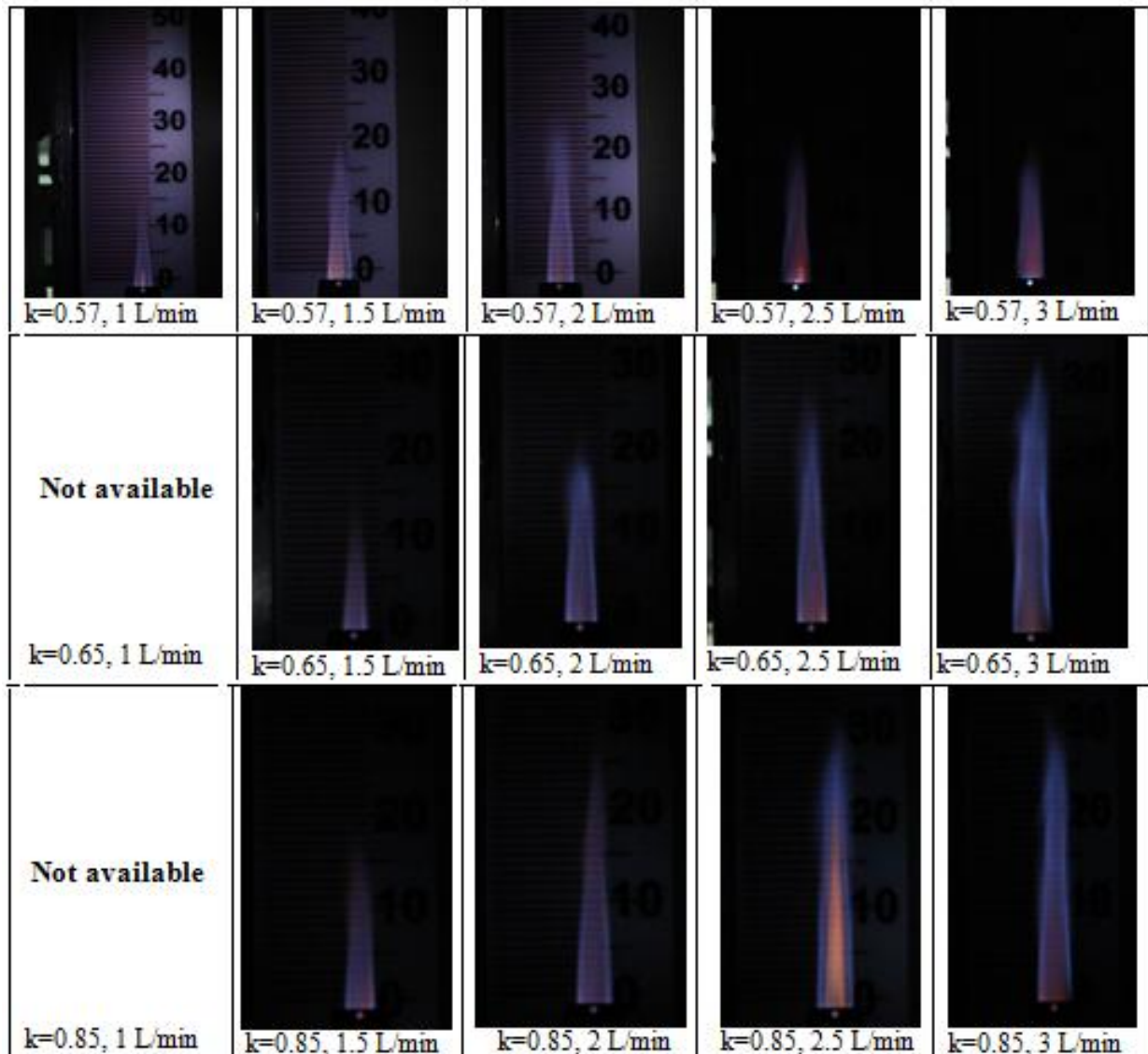
กรณีทำการทดสอบสปริงที่ $k=0.57$ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลเชื้อเพลิง ตั้งแต่ 1.5-3 L/m พบว่าที่บริเวณปลายหัวเผา อุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 700 – 800 °C และมีแนวโน้มเดียวกัน คือ

อุณหภูมิมีค่าลดลงตามระดับสูง โดยฐานเปลวไฟอยู่ในหัวเผาและยอดของเปลวไฟอยู่ที่ระดับความสูงอยู่ในช่วง 620-820 mm จากหัวฉีดเชื้อเพลิง สังเกตจากมีความยาวเปลวไฟ ที่มีความยาวประมาณ 200 -250 mm จากปลายหัวเผา ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเปลวไฟมีลักษณะเป็นสีฟ้า ค่อนข้างแข็งแรง ในขณะที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิง 1 L/m อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 580 °C อยู่ที่ระดับความสูง 620 mm จากหัวฉีดเชื้อเพลิง เปลวไฟมีความยาวน้อยประมาณ 150 mm จากปลายหัวเผา อีกทั้งเมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T1 (550 mm จากหัวฉีดเชื้อเพลิง) พบว่าอุณหภูมิที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงตั้งแต่ 1.5-3 L/m มีค่ามากกว่าที่อัตราการไหล 1 L/m แสดงถึงการขยายตัวของฐานของเปลวไฟสูงขึ้นจากเดิม บ่งบอกถึงความยาวของเปลวไฟที่เพิ่มขึ้น

กรณีทำการทดสอบสปริงที่ $k=0.65$ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลเชื้อเพลิง ตั้งแต่ 1.5-4.5 L/m พบว่าตั้งแต่ระดับความสูง 620 mm เป็นต้นไป (T2-T9) พบว่าอุณหภูมิมีแนวโน้มเดียวกัน คือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการไหลและมีค่าลดลงตามระดับสูง มีอุณหภูมิสูงสุดที่ระดับความสูง 620 mm มีค่าอยู่ในช่วง 600 – 800 °C ในขณะเดียวกันที่ระดับความสูง 550 mm (T1) อุณหภูมิมีค่าลดลงตามการเพิ่มอัตราการไหล แสดงถึงการขยายตัวของฐานของเปลวไฟสูงขึ้นจากเดิม บ่งบอกถึงความยาวของเปลวไฟที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับลักษณะของเปลวไฟดังรูปที่ 7 ที่มีความยาวเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการไหล นอกจากนี้เมื่อพิจารณากรณีการปรับสปริง ในทุกๆ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่เท่ากัน พบว่าสปริงที่ $k=0.65$ และ 0.85 N/m การกระจายอุณหภูมิตามระดับความสูงและลักษณะของเปลวไฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งถ้าพิจารณาจากผลของการกระจายอุณหภูมิ สามารถบ่งบอกถึงลักษณะโครงสร้างของเปลวไฟ ที่มีความยาวเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการไหล สอดคล้องกับลักษณะเปลวไฟในรูปที่ 7 แต่ผลที่ได้จะไม่เป็นในแนวโน้มเดียวกันในกรณีสปริงที่ $k=0.57$ N/m เป็นผลเนื่องมาจากความสามารถในการ

เหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งได้มากกว่า สปริงกรณีอื่น

ดังแสดงรูปที่ 3



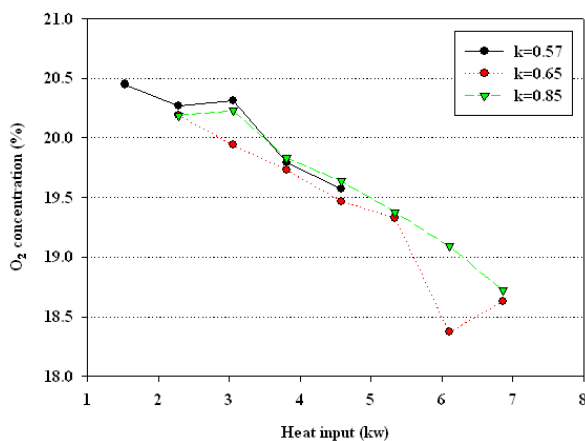
รูปที่ 7 แสดงอิทธิพลของความแข็งสปริงที่ส่งผลต่อลักษณะของเปลวไฟที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ

4.4 ปริมาณก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้

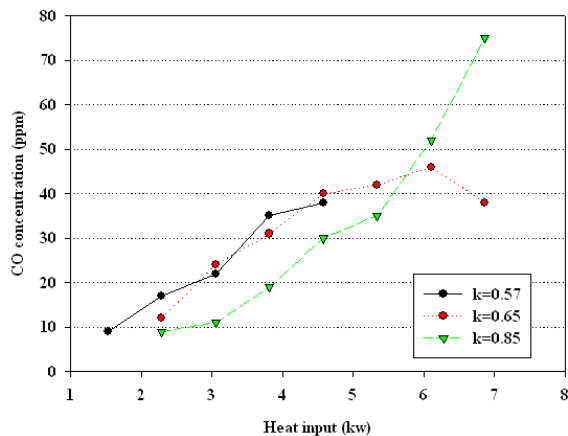
จากรูปที่ 8 พบว่า ที่สปริงทั้งสามกรณี เมื่อกลีโวลต์ความร้อนเพิ่มขึ้นปริมาณ O_2 ที่เหลือจากการเผาไหม้ มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการบริโภค O_2 เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของเชื้อเพลิง ซึ่งสอดคล้องกับความยาวเปลวไฟที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 5 โดย O_2 ที่ใช้เผาไหม้มาจากอากาศส่วนที่สองที่ถูกเหนี่ยวนำเข้าผสมกับก๊าซไอเสียที่ยังคงเผาไหม้ได้ (ที่เกิดจากการเผาไหม้

ในช่วงแรก (ภายในหัวเผา)) เกิดการเผาไหม้แบบเปลวไฟผสมกันขณะเผาไหม้ (Diffusion flame) นอกจากนี้ยังพบว่า O_2 มีปริมาณมากเมื่อใช้สปริงที่ $k=0.57$ มากกว่าปริมาณ O_2 ในกรณีใช้สปริงแข็งกว่า เนื่องจากที่อัตราการไหลเดียวกัน ความยาวเปลวไฟมีค่าน้อยกว่า ซึ่งการเผาไหม้เกิดขึ้นค่อนข้างสมบูรณ์ในช่วงแรก ดังนั้นความต้องการ O_2 ในการเผาไหม้จึงมีปริมาณน้อย

จากรูปที่ 9 เมื่อทำการทดลองสปริงทั้งสามกรณีพบว่า ปริมาณ CO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มกิโลวัตต์ความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับความยาวเปลวไฟที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการไหลเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 7 ส่วนเมื่อพิจารณาการอิทธิพลการปรับเปลี่ยนสปริงพบว่าในทุกที่ระดับพลังงานความร้อน ปริมาณ CO มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน



รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของความแข็งสปริงที่ส่งผลต่อปริมาณ O₂ ที่ได้จากเผาไหม้ ที่ระดับพลังงานความร้อนต่างๆ



รูปที่ 9 แสดงอิทธิพลของความแข็งสปริงที่ส่งผลต่อปริมาณ CO ที่ได้จากเผาไหม้ ที่ระดับพลังงานความร้อนต่างๆ

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดการทำงานที่เหมาะสมของหัวเผาที่ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าความแข็งของสปริงเท่ากับ 0.57 0.65 และ 0.85 ซึ่งจากการทดลองพบว่า

1. สปริงที่ $k = 0.57$ N/m มีขนาดการทำงานค่อนข้างแคบในช่วงกิโลวัตต์ความร้อนต่ำสามารถหรี่แรงได้อยู่ในช่วง 1.5-4.6 kw (1-3 L/m) ในขณะที่ $k = 0.65$ และ 0.85 N/m มีขนาดการทำงานที่กว้างกว่า และสามารถหรี่แรงได้อยู่ในช่วง 2.3-6.9 kw (1.5-4.5 L/m)
2. การกระจายอุณหภูมิตามระดับความสูงและลักษณะของเปลวไฟ ในกรณี $k = 0.65$ และ 0.85 N/m มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งถ้าพิจารณาจากผลของการกระจายอุณหภูมิ สามารถบ่งบอกถึงลักษณะโครงสร้างของเปลวไฟ สอดคล้องกับลักษณะเปลวไฟ มีอุณหภูมิสูงสุดที่ระดับความสูง 620 mm จากหัวฉีดเชื้อเพลิง มีค่าอยู่ในช่วง 600 – 800 °C แต่ผลที่ได้จะไม่เป็นในแนวโน้มเดียวกันในกรณีสปริงที่ $k = 0.57$ N/m เป็นผลเนื่องมาจากความสามารถในการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งได้มากกว่า สปริงกรณีอื่น
3. สปริงทั้งสามกรณี เมื่อกิโลวัตต์ความร้อนเพิ่มขึ้นปริมาณ O₂ ที่เหลือจากการเผาไหม้ มีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณ CO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และบริษัท Happy one ที่เอื้อเฟื้อชุดหัวเผาที่ใช้ในการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Shahad, Haroun.A.K., Mohammed, Yassar.K.A. (2000). Investigation of soot formation and temperature field in laminar diffusion flames of LPG-air mixture, Energy Conversion and Management, vol. 41(17), November 2000, pp.1897-1916.
- [2] Rahman, F., Umesh, D.B., Subbarao, D., Ramasamy, M. (2010). Enhancement of entrainment rates in liquid-gas ejectors, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, vol. 49(10), October 2010, pp. 1128-1135
- [3] Moon, S., Matsumoto, Y., Nishida, K. and Gao, J. (2010). Gas entrainment characteristics of diesel spray injected by a group-hole, vol. 89(11), November 2010, pp. 3287-3299.
- [4] Namkhat, A. and Jugjai, S. (2010). Primary air entrainment characteristics for a self-aspirating burner: Model and experiments, Energy, vol. 35(4), April 2010, pp. 1701-1708.