

การเปรียบเทียบการทำงานของหัวเผาแอลพีจีก่อนและหลังปรับปรุง : ลักษณะลำเจ็ทของ เชื้อเพลิงและสมรรถนะของหัวเผา

Comparison of Conventional and the Developed LPG Burner Operating: Fuel Jet Shape and Burner Performance

อาวุธ ลภีรัตน์ภูล^{1*}, ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตน์ภูล², วทัญญู ไพโรจน์² และ จารุวัตร เจริญสุข²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพฯ 10530

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

*Email: umkmitl39@hotmail.com โทรศัพท์: 029 883 655 ต่อ 3106

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะของหัวฉีดและสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผาแอลพีจีในระดับอุตสาหกรรมทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง (มีค่าความแข็งสปริง 0.65 N/m) โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาลักษณะของลำเจ็ทเชื้อเพลิง ความดันในท่อเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งที่ถูกเหนี่ยวนำ โดยศึกษาภายใต้เงื่อนไขการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิงตั้งแต่ 1.5 – 4.5 L/min และสำหรับการทดลองส่วนที่สองคือ การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการเผาไหม้ ซึ่งสังเกตจากลักษณะเปลวไฟที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า การกระจายตัวของอุณหภูมิก๊าซไอเสียตามระดับความสูง และปริมาณก๊าซไอเสียหลังการเผาไหม้ โดยศึกษาภายใต้เงื่อนไขการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิงตั้งแต่ 1.5 – 4.5 L/min และยังมีมีการปรับเปลี่ยนอากาศส่วนที่สองตั้งแต่ 50 -200 SCFH ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอากาศส่วนเกินอีกด้วย จากการทดสอบคุณลักษณะของหัวฉีด พบว่าความดันในท่อของหัวฉีดก่อนการปรับปรุงสูงกว่าที่ปรับปรุงแล้วที่ทุกอัตราการไหลเชื้อเพลิง เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของหัวฉีดหลังการปรับปรุงมีขนาดใหญ่กว่าซึ่งเป็นข้อจำกัดด้านการผลิต นอกจากนี้ยังพบว่าหัวฉีดหลังการปรับปรุงมีลักษณะเจ็ทที่มีมุมการฉีดกว้างและปริมาณเชื้อเพลิงเบาบาง ส่งผลให้เหนี่ยวนำอากาศได้ดีกว่าทุกอัตราการไหลเชื้อเพลิง ส่วนในด้านสมรรถนะการเผาไหม้พบว่าหัวฉีดที่ปรับปรุงแล้วมีเปลวไฟเป็นสีฟ้าอมส้ม สั้นและมีเสถียรภาพมากกว่า รวมถึงให้อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่สูงและปริมาณมลพิษที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการปรับปรุงในทุกอัตราการไหลเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังพบว่าการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สองส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเปลวไฟ อุณหภูมิและปริมาณก๊าซไอเสียของหัวฉีดทั้ง 2 กรณีอีกด้วย

คำหลัก: ลำเจ็ท, การเหนี่ยวนำอากาศ, หัวฉีดแอลพีจี, เซรามิกส์

Abstract

To compare the characteristic and performance between conventional and developed LPG burner (spring constant 0.65 N/m) is purpose of this research. There are two parts of experiment, the first, to investigate fuel jet shape, supply pressure and primary air entrainment while adjusting fuel flow rate from 1.5 L/Min up to 4.5 L/Min by 0.5 L/Min increment. And the second, to observe the performance such as visible flame shape, flue gas temperature distribution and emission while adjusting fuel (as before) and secondary air flow rate from 50-200 SCFH in order to study the excess air influence. It is found that conventional burner has higher supply pressure due to less nozzle diameter. And the new burner has higher primary air entrainment because of expanded jet and low fuel density. In second part, the new burner has shorter, more stable blue flame length and produce higher

temperature including lower emission than the old one. In addition, it is found that the secondary air has an effect on flame shape, temperature and emission for both burners.

Keywords: Jet, Entrainment, LPG burner, Ceramics.

1. บทนำ

ลักษณะหัวเผาเซรามิกส์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้นเป็นแบบเปลวไฟผสมก่อน (Premixed Flame) ที่ใช้หลักการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อเหนี่ยวนำอากาศ (Primary air entrainment) เข้าสู่ห้องผสมในย่านอัตราการไหลเชื้อเพลิงสูงจึงจะมีความเร็วเชื้อเพลิงที่เพียงพอต่อการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งในปริมาณที่พอดีต่อการเผาไหม้ ทำให้จำเป็นต้องบริโภคแอลพีจีในปริมาณมากเพื่อรักษาอุณหภูมิของอากาศในห้องเผาไหม้ให้อยู่ที่ 750-800 °C สำหรับการเผาติด และ 950 °C สำหรับการเผาเคลือบซึ่งเป็นย่านอุณหภูมิที่เหมาะสม แต่ด้วยวิกฤตการณ์พลังงานส่งผลให้เกิดการขาดแคลนก๊าซแอลพีจี ดังนั้นผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิกส์หลายรายได้มีการปรับตัวเพื่อรองรับมาตรการการปรับขึ้นราคาของก๊าซแอลพีจีในภาคอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงและพัฒนาเตาเผาเซรามิกส์ให้มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากเตาและปริมาณการใช้ก๊าซแอลพีจี ซึ่งการปรับปรุงดังกล่าวให้ผลเป็นไปตามเป้าหมายแต่ยังคงทำได้เพียงในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ขนาดเล็กเท่านั้น [1] นอกจากนี้ยังมีการสร้างแบบจำลองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพให้กระบวนการเผาทำให้ได้ผลผลิตจำนวนมากขึ้น แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดของประเภทวัสดุที่ใช้ในการสร้างเตาและปริมาณการบริโภคพลังงานที่สูง ทั้งหมดจึงยังคงเป็นเพียงการวิเคราะห์ในเชิงทฤษฎี [2]

โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้โดยตรงคืออัตราส่วนปริมาณเชื้อเพลิงต่ออัตราการเหนี่ยวนำอากาศต้องมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric) ดังนั้นการเพิ่มอัตราการเหนี่ยวนำอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทำให้ส่วนผสมบางลง (Lean mixture) และเพิ่มความปั่นป่วน คลุกเคล้าระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงอาจส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มีมลพิษต่ำและยังบริโภคแอลพีจี้น้อยลง เหล่านี้สามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของหัวฉีด ซึ่งการใช้หัวฉีดที่มีลักษณะการพ่นเชื้อเพลิงแบบสเปรย์และลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ทางออกเชื้อเพลิงหรือแม้แต่การใช้หัวฉีดที่มีลักษณะที่ทำให้เกิดความดันแตกต่างระหว่างอากาศโดยรอบหัวฉีดกับ

เชื้อเพลิงที่ออกมาจากรู nozzle (Pressure drop) จะส่งผลให้อากาศโดยรอบหัวฉีดถูกเหนี่ยวนำด้วยความเร็วที่มากกว่าหัวฉีดทั่วไป กล่าวคือปริมาณอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำจะมีมากขึ้น เนื่องจากลักษณะทางกายภาพที่กล่าวมานี้ทำให้เกิดการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนโมเมนตัม (Momentum rate) ระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศโดยรอบลำเจ็ท [3],[4],[5]

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยพัฒนาระบบหัวฉีดของหัวเผาก๊าซแอลพีจีในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ส่วนที่ 1 และ 2 ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างและพัฒนาหัวฉีดก๊าซแอลพีจีที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์โดยมุ่งเน้นให้มีการบริโภคก๊าซแอลพีจีน้อยลงและมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ดีขึ้นด้วยการเพิ่มอัตราการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่ง [6],[7] ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้หัวฉีดที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมีอัตราการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งเพิ่มขึ้นและมีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น รวมถึงศึกษาอิทธิพลจากการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สองอีกด้วย

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) ซึ่งจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของ LPG มีก๊าซไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ไม่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนและซัลเฟอร์

3. หัวฉีดเชื้อเพลิง

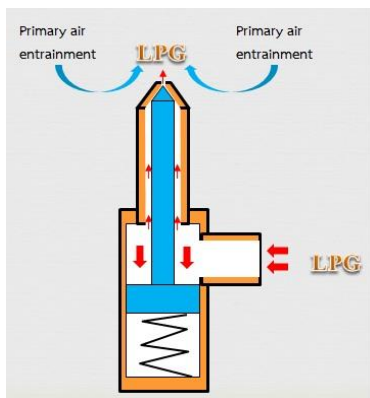
หัวฉีดที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ หัวฉีดยังไม่ได้รับการพัฒนาที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในภาคอุตสาหกรรม โดยจากการศึกษาพบว่าจะใช้งานได้ดีในย่านอัตราการไหลเชื้อเพลิงสูงๆ ซึ่งในที่นี้เลือกใช้หัวฉีดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของทางออกขนาด 0.8 mm. ในขณะที่หัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้ว ซึ่งนำหลักการสมมูลของสปริงที่สัมพันธ์กับพื้นที่ทางออกของหัวฉีดมาประยุกต์ใช้ โดยสันนิษฐานว่า ที่อัตราการไหล

เชื้อเพลิงต่างๆ พื้นที่ทางออกของหัวฉีดจะแคบ สามารถเหนี่ยวนำอากาศเข้าสู่ห้องผสมได้มากกว่าหัวฉีดที่ไม่ได้รับการพัฒนา ช่วยให้อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงขึ้น เกิดเปลวไฟที่มีเสถียรภาพและสามารถลดการใช้ก๊าซแอลพีจีลงได้อีกด้วย โดยในการทดลองได้ใช้ค่าคงที่สปริง 0.65 N/m ในรูปที่ 1. แสดงลักษณะเปรียบเทียบระหว่างหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาและที่ได้รับการพัฒนาแล้ว และรูปที่ 2. แสดงแผนภาพหลักการทำงานของหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้ว

แต่อย่างไรก็ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของหัวฉีดที่ได้รับการออกแบบนี้มีขนาด 1.4 มม. ไม่สามารถออกแบบให้มีขนาดเดียวกันกับหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาได้เนื่องจากข้อจำกัดด้านการผลิต



รูปที่ 1 แสดงลักษณะ ก.) หัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนา และ ข.) หัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้ว



รูปที่ 2 แสดงแผนภาพการทำงานของหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้ว

4. วิธีการทดลอง

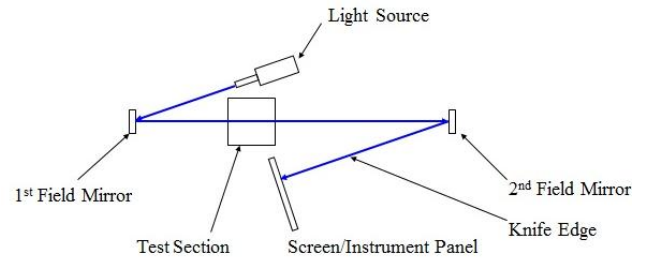
การทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ทดลองเพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะของหัวฉีด และการทดลองเพื่อ

เปรียบเทียบสมรรถนะการเผาไหม้ ระหว่างหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาและที่ได้รับการพัฒนาแล้ว

4.1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของหัวฉีด

ในการทดสอบคุณลักษณะของหัวฉีดทำโดยการสังเกตลักษณะรูปร่างของลำเจ็ทของหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาและได้รับการพัฒนาแล้วที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงเดียวกัน โดยใช้อุปกรณ์ชูลีเรนในการบันทึกคุณลักษณะของของไหล ดังแสดงในรูปที่ 3. ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการเลี้ยวเบนของแสงที่สัมพันธ์กับดัชนีหักเห (Reflective index) จะส่งผลให้ของไหลที่มีค่าความหนาแน่นไม่เท่ากันปรากฏบนฉากรับแสงเป็นลักษณะของเงาที่มีความเข้มไม่เท่ากัน โดยที่ความหนาแน่นต่ำจะปรากฏเป็นเงาสว่างบนฉากและความหนาแน่นสูงจะปรากฏเป็นเงาเข้ม ซึ่งอุปกรณ์ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสง กระบอกแก้ว 2 บาน และฉากรับแสงซึ่งในที่นี้ใช้กล้องถ่ายรูป

ในการทดลองใช้อัตราการไหลเชื้อเพลิง 1.5 L/min และบันทึกภาพลำเจ็ทโดยใช้กล้องถ่ายรูป Cannon EOS 450D โดยไม่ใช้เลนส์ จากนั้นปรับเปลี่ยนอัตราการไหลจนถึง 4.5 L/min โดยเพิ่มทีละ 0.5 L/min



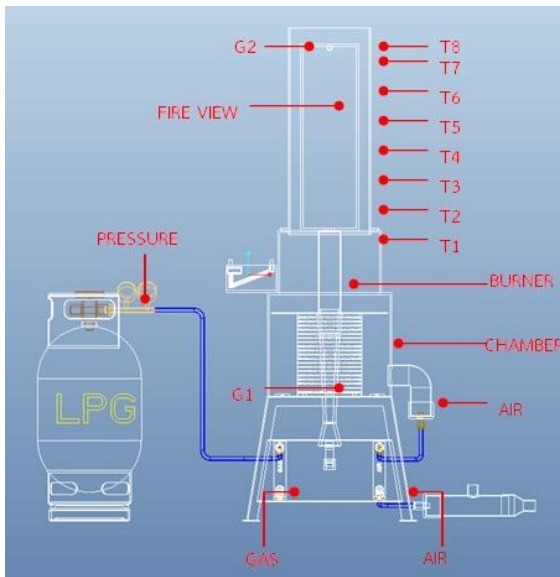
รูปที่ 3 แสดงแผนภาพระบบชูลีเรน (Schlieren), (Cr: Aerospace Engineering, Iowa State University)

นอกจากนี้ยังมีการเก็บบันทึกความดันในท่อเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิงแล้ว และปริมาณอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำ ซึ่งถือเป็นคุณลักษณะสำหรับหัวฉีดแต่ละกรณี แต่เนื่องจากได้ติดตั้งอุปกรณ์การวัดปริมาณเหล่านี้ร่วมกับชุดอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ จึงจะกล่าวถึงการเก็บบันทึกปริมาณทั้ง 2 ปริมาณนี้ในหัวข้อถัดไป

4.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะการเผาไหม้

ชุดทดสอบถูกสร้างให้มีกรเผาไหม้แบบผสมก่อน ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ท่อผสม (Mixing pipe) ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนที่หนึ่ง ทำมาจาก

เหล็กหล่อมีลักษณะคล้ายรูปทรงกรวย สูง 375 มิลลิเมตร ปลายท่อมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 40 มิลลิเมตร โดยที่บริเวณด้านยอดกรวยได้ติดตั้งหัวฉีดแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งห่างจากท่อผสมเป็นระยะ 60 มิลลิเมตร ส่วนที่สองคือ หัวเผา (Burner) ทำจากสแตนเลส มีลักษณะเป็น ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร สูง 200 มิลลิเมตร ส่วนที่สามคือท่อสำหรับเก็บบันทึก อุณหภูมิและก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ รวมถึง รูปร่างของเปลวไฟ โดยที่ติดตั้งด้านหนึ่งของท่อด้วยอะคริลิกโปร่งใส มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 154 ม.ม. และสูง 730 ม.ม. โดยมีช่องตรวจวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 100 และส่วน สุดท้ายที่เพิ่มเติมจากชุดทดสอบเดิมคือห้องที่ทำหน้าที่ ควบคุมปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่สอง มีเส้นผ่าน ศูนย์กลางส่วนและส่วนบน 300 ม.ม. และ 250 ม.ม. ตามลำดับ และสูง 400 ม.ม. ซึ่งจะเชื่อมต่อกับปั๊มลมเพื่อ ป้อนอากาศเข้าสู่ห้อง โดยภายในจะถูกควบคุมความดันให้ ใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศเพื่อจำลองให้เหมือน สภาพแวดล้อมเมื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง



รูปที่ 4 แสดงแผนภาพอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้

ในการทดสอบทำโดยการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิง 1.5 – 4.5 L/min โดยเพิ่มทีละ 0.5 L/min รวมถึงปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สองตั้งแต่ 50 – 200 SCFH โดยเพิ่มทีละ 50 SCFH และเก็บบันทึก ลักษณะเปลวไฟ อุณหภูมิไอเสียตามระดับความสูงและ ปริมาณก๊าซไอเสียหลังการเผาไหม้

นอกจากนี้ยังเก็บบันทึกผลความดันในท่อเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิง และปริมาณอากาศ

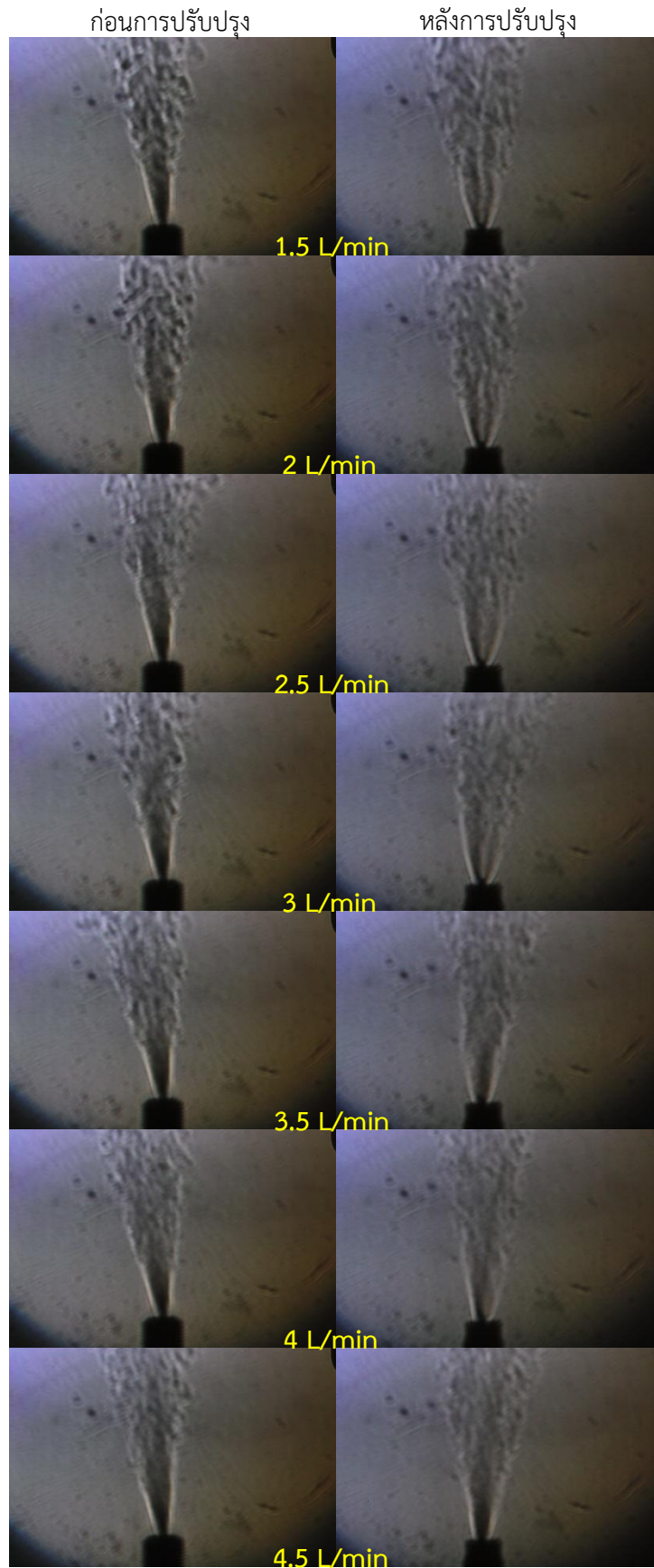
ส่วนที่หนึ่ง ซึ่งเป็นข้อมูลที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะของหัวฉีดอีกด้วย

5. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

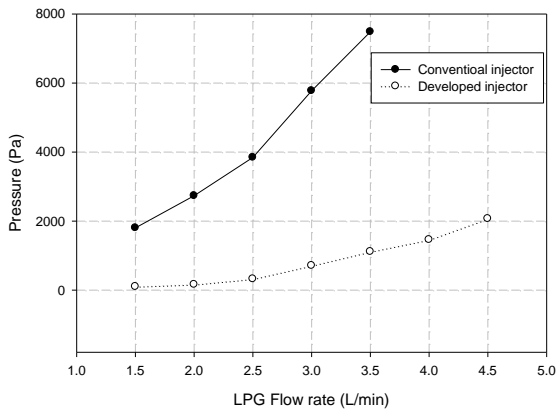
5.1 การศึกษาคุณลักษณะของหัวฉีด

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของลำเจ็ทของหัวฉีดทั้ง 3 กรณีเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลตั้งแต่ 1.5 – 4.5 L/min จากการศึกษาในกรณีหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาพบว่าลำเจ็ทโดยรวมมีมุมการฉีดที่แคบและมีความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่โคนของเจ็ทมากเมื่อสังเกตจากเงาที่มีความเข้มมากกว่าส่วนอื่น ซึ่งมุมการแผ่ของเจ็ทจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยรวมถึงเงาของลำเจ็ทมีแนวโน้มจางลงตามลำดับเมื่อเพิ่มอัตราการไหล เมื่อเปรียบเทียบกับหัวฉีดที่มีค่าคงที่สปริง 0.65 N/m พบว่ามีลักษณะการกระจายของลำเจ็ทคล้ายดอกบัวตูมและเงาจางลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้ที่อัตราการไหล 1.5 – 3 L/min ยังสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนจากเงาลำเจ็ทมีลักษณะที่เป็นช่องอากาศตรงกลาง เนื่องมาจากที่อัตราการไหลต่ำแรงดันของเชื้อเพลิงไม่สามารถเอาชนะแรงต้านสปริงได้ทำให้พื้นที่ทางออกแคบและมีลักษณะเป็นวงแหวน ต่างกับที่ย่านอัตราการไหล 3.5 – 4.5 L/min เนื่องจากแรงดันของเชื้อเพลิงมีมากพอทำให้เข็มถูกกดเป็นระยะห่างมากพอที่ไม่ทำให้ลักษณะของเจ็ทเป็นเหมือนที่อัตราการไหลต่ำ

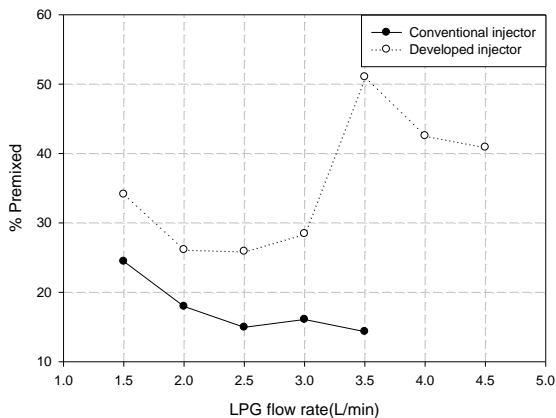
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความดันในท่อของเชื้อเพลิงหลังจากปรับเปลี่ยนอัตราการไหลแล้ว จากการทดลองพบว่าความดันในท่อเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการไหลในทุกกรณีของหัวฉีด และยังพบอีกว่าหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนา มีความดันเกิดขึ้นในท่อสูงกว่าหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้ว ที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรเดียวกัน ตลอดย่านที่ทำการศึกษา ซึ่งบ่งชี้ว่า ช่องการไหลของหัวฉีดก่อนการพัฒนามีความดันตกคร่อมสูงกว่า เป็นผลเนื่องมาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของหัวฉีดก่อนการพัฒนามีขนาดเล็กกว่าหัวฉีดที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว แต่อย่างไรก็ตามหัวฉีดก่อนการปรับปรุงสามารถเก็บบันทึกผลได้ในช่วง 1.5 – 3.5 L/min เท่านั้น เนื่องจากที่อัตราการไหล 4 – 4.5 L/min ให้เปลวไฟที่ยาวมากและไม่มีเสถียรภาพ ทำให้อุปกรณ์ (อะคริลิก) ที่ติดตั้งไว้เพื่อสังเกตลักษณะเปลวไฟเกิดการบิดเบี้ยวและเสียหาย



รูปที่ 5 แสดงแผนภาพอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้



รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบความดันในท่อเมื่อปรับอัตราการไหลแล้ว



รูปที่ 7 แสดงเปอร์เซ็นต์การผสมก่อนการเผาไหม้

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การผสมก่อนการเผาไหม้ของหัวฉีดทั้ง 2 กรณี เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหล 1.5 – 4.5 L/min จากกราฟสังเกตเห็นว่าหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนานั้นมีเปอร์เซ็นต์การผสมก่อนเผาไหม้น้อยกว่าหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้วทุกๆ อัตราการไหลโดยอยู่ในช่วง 14 – 24 % และมีแนวโน้มต่ำลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่กรณีค่าคงที่สปริง 0.65 N/m มีเปอร์เซ็นต์การผสมก่อนเผาไหม้มากกว่าหัวฉีดก่อนการพัฒนาที่ทุกอัตราการไหล โดยมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณอากาศอย่างชัดเจนระหว่างอัตราการไหลเชื้อเพลิง 3 – 3.5 L/min ซึ่งตรงกับช่วงการเปลี่ยนแปลงของลักษณะของลำเจ็ท ที่เปลี่ยนจากลักษณะเป็นช่องอากาศตรงกลางกลายเป็นไม่มีช่องอากาศตรงกลาง

5.2 การศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้

ในการศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้จะแบ่งพิจารณาอิทธิพลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ 2 ชนิด คือ อัตราการไหลเชื้อเพลิง และอากาศส่วนที่สอง

5.2.1 การศึกษาอิทธิพลเนื่องจากอัตราการไหลเชื้อเพลิง

ในหัวข้อนี้จะทดลองโดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิงโดยคงที่อัตราการไหลอากาศส่วนที่สองที่ 50 SCFH รูปที่ 8 พบว่าในกรณีหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาพบว่ามีลักษณะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์น้อยกว่า เนื่องจากเปลวไฟมีลักษณะเป็นสีฟ้าเล็กน้อยบริเวณฐานของเปลวไฟ ส่วนนอกจากนี้เป็นสีส้มและไม่มีเสถียรภาพสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การผสมก่อนเผาไหม้ที่ต่ำกว่ากรณีที่ได้รับการพัฒนา ตามรูปที่ 7 รวมถึงมีลักษณะความยาวที่มากขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหล ซึ่งมีความสูงตั้ง 20 – 50 cm. จากตำแหน่งหัวเผา ส่วนในกรณีหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้วให้ลักษณะเปลวไฟส่วนใหญ่เป็นสีฟ้า มีเสถียรภาพและมีขนาดเปลวไฟสั้นมาก โดยรวมแล้วมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาที่อัตราการไหลเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไอเสียหลังการเผาไหม้ในรูปที่ 12 และ 13

เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวอุณหภูมิระหว่างหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงดังรูปที่ 9 และที่ได้รับการปรับปรุงแล้วในรูปที่ 10 เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิง พบว่าหัวฉีดก่อนการพัฒนามีแนวโน้มการกระจายตัวอุณหภูมิตามระดับความสูงไม่เป็นระเบียบ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะเปลวไฟที่มีลักษณะเป็นสีส้มและไม่มีเสถียรภาพ จึงทำให้อุณหภูมิไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ ในขณะที่หัวฉีดที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมีแนวโน้มที่เป็นระเบียบมากกว่า รวมถึงมีช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่แคบเมื่อปรับอัตราการไหลเชื้อเพลิง

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวอุณหภูมิที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 3 L/min พบว่าหัวฉีดที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมีอุณหภูมิสูงกว่าในช่วงตำแหน่งการวัด T1 – T2 และลดลงอย่างรวดเร็วที่ตำแหน่ง T3 – T8 สอดคล้องเปลวไฟที่มีขนาดสั้นและเป็นสีฟ้าอมส้มมากกว่าหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนา

รูปที่ 12 แสดงเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนเปรียบเทียบระหว่างหัวฉีด 2 กรณี พบว่าในกรณีหัวฉีดที่ปรับปรุงแล้วมีปริมาณออกซิเจนเหลือจากการเผาไหม้มากกว่าหัวฉีดที่ยังไม่ปรับปรุงที่ทุกอัตราการไหลเชื้อเพลิง สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การผสมก่อนเผาไหม้ และจากรูปที่ 13 พบว่าหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนามีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่ากรณีก่อนการพัฒนาที่ทุกอัตราการไหลอีกด้วย

5.2.2 การศึกษาอิทธิพลเนื่องจากอัตราการไหล อากาศส่วนที่สอง

ในหัวข้อนี้จะทดลองโดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สองโดยคงที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงที่ 1.5 L/min ในรูปที่ 14 แสดงลักษณะเปลวไฟเปรียบเทียบระหว่างหัวฉีดทั้ง 2 กรณี เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สองต่างๆ ซึ่งในกรณีหัวฉีดที่ยังไม่ได้ปรับปรุงพบว่าเปลวไฟมีลักษณะไม่มีเสถียรภาพ สีเปลวไฟเป็นสีส้มและขอบด้านล่างเป็นสีฟ้าเล็กน้อยที่ทุกอัตราการไหลอากาศ มีความยาวเปลวไฟประมาณ 17 - 20 cm. และมีเสถียรภาพมากขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอัตราการไหลอากาศ สันนิษฐานได้ว่าเปลวไฟเกิดการกระเพื่อมที่ความถี่สูงจนไม่สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่า

ในขณะที่หัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้วโดยรวมมีลักษณะเปลวไฟที่มีเสถียรภาพและมีลักษณะเป็นสีส้มที่ถูกหุ้มด้วยชั้นสีฟ้าที่ทุกๆ อัตราการไหลอากาศ และยังพบอีกว่ารูปร่างของเปลวไฟมีการเกาะกลุ่มกันอย่างชัดเจนคือที่อัตราการไหลอากาศ 50 - 100 SCFH เปลวไฟมีลักษณะเป็นรูปโคนคว่ำ มีความยาวประมาณ 10 cm. ในขณะที่อัตราการไหล 150 - 200 SCFH เป็นรูปโคนคว่ำที่บริเวณปลายมีลักษณะเปลวไฟแตก มีความยาวประมาณ 15 cm. และยิ่งสังเกตเป็นบริเวณที่เป็นสีส้มได้ชัดเจนมากขึ้นอีกด้วย

รูปที่ 15 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิของหัวฉีดก่อนการปรับปรุงเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สอง จากลักษณะโดยรวมของกราฟพบว่า แนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิค่อนข้างเป็นระเบียบและก๊าซไอเสียมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการไหลอากาศด้วย อิทธิพลจากการพัฒนาเนื่องจากอัตราการไหลอากาศที่ไหลผ่านห้องเผาไหม้ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอยู่ในช่วง 780 - 850 °C

รูปที่ 16 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิของหัวฉีดหลังการปรับปรุงเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สอง พบว่าอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุดที่ตำแหน่ง T1 โดยช่วงอัตราการไหลอากาศ 50 - 150 SCFH มีค่าประมาณ 850 °C ในขณะที่อัตราการไหล 200 SCFH มีค่าประมาณ 820 °C เนื่องจากอากาศส่วนเกินในปริมาณมากเกินไปพอที่จะมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิ เมื่อพิจารณาตำแหน่ง T2 พบว่าอุณหภูมิมืดมีความสอดคล้องกับลักษณะของเปลวไฟซึ่งถูกแบ่งเป็น 2 ช่วงอัตราการไหลอากาศ เนื่องจากช่วง 50 - 100 SCFH ให้เปลวไฟสีฟ้าอมส้มและสั้นกว่าตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิลที่

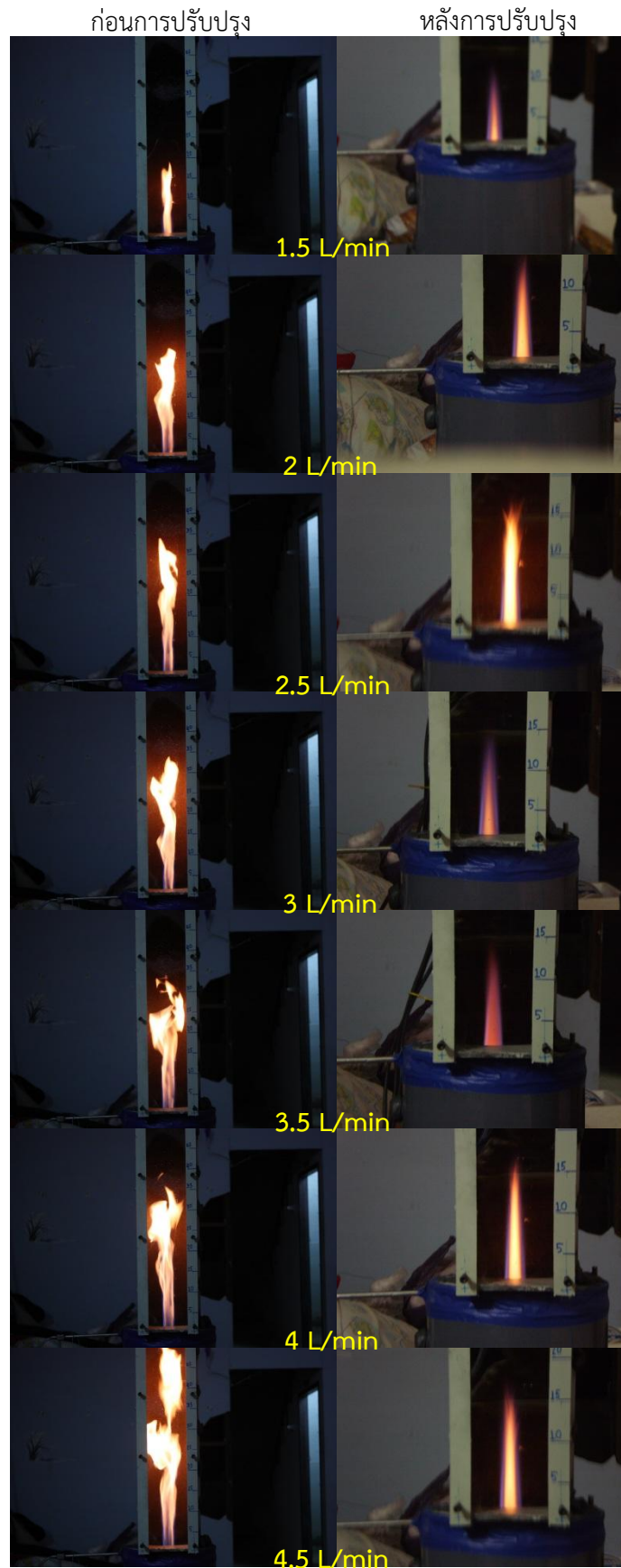
T2 จึงทำให้ได้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าช่วง 150 - 200 SCFH ที่มีเปลวไฟยาวและเกิดบริเวณสีส้มเป็นส่วนใหญ่

รูปที่ 17 แสดงเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่เหลือหลังการเผาไหม้ในกรณีหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนา จากกราฟโดยรวมพบว่าปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นเมื่อปรับอัตราการไหลอากาศส่วนที่สองตั้งแต่ 50 - 200 SCFH แต่เมื่อพิจารณาที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 1.5 L/min โดยละเอียด จะสังเกตเห็นว่าที่อัตราการไหลอากาศ 50 SCFH มีเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้สูงกว่ากรณี 100 SCFH สอดคล้องกับระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าในทุกตำแหน่งการวัดดังรูปที่ 15 แสดงถึงการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนในอากาศและเชื้อเพลิง ในกรณี 100 SCFH มีอัตราสูงกว่าทำให้เหลือออกซิเจนในปริมาณน้อย ส่วนในช่วงอัตราการไหลอากาศ 100 - 200 SCFH พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนมากขึ้นตามอัตราการไหลอากาศ

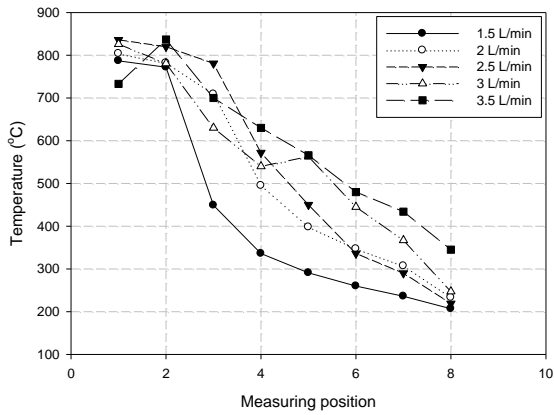
รูปที่ 18 แสดงเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลังการเผาไหม้กรณีหัวฉีดหลังการปรับปรุง เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนมากขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลเชื้อเพลิง ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การผสมก่อนเผาไหม้ในรูปที่ 7 และเมื่อพิจารณาที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 1.5 L/min พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มของเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนตามอัตราการไหลอากาศส่วนที่สอง

เมื่อพิจารณาหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาเปรียบเทียบกับหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้ว พบว่าหัวฉีดที่ยังไม่ได้รับการพัฒนามีช่วงการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่กว้างกว่าเมื่อปรับอัตราการไหลอากาศ รวมถึงเหลือปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าในทุกอัตราการไหลเชื้อเพลิงอีกด้วย

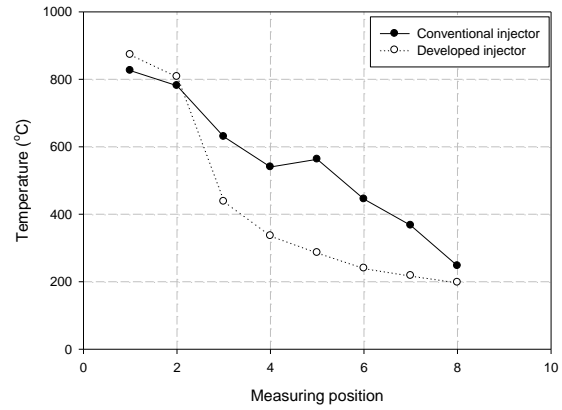
รูปที่ 19 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์หลังการเผาไหม้กรณีหัวฉีดก่อนการปรับปรุง โดยพบการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 3 L/min ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในรูปที่ 17 ในขณะที่ช่วงอัตราการไหลเชื้อเพลิงอื่น มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาที่อัตราการไหล 1.5 L/min พบปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์มากที่สุดที่อัตราการไหล 100 SCFH สอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนที่มีค่าน้อยสุดเมื่อเทียบกับช่วงอัตราการไหลอากาศอื่น ในรูป 17



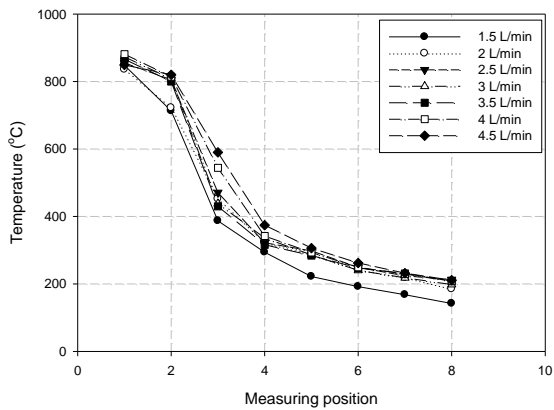
รูปที่ 8 แสดงลักษณะเปลวไฟเปรียบเทียบระหว่างหัวฉีดทั้ง 2 กรณี ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ



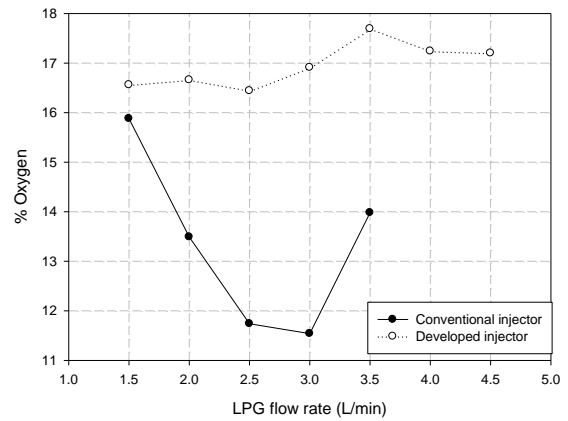
รูปที่ 9 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิของหัวฉีดก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 11 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิเปรียบเทียบที่อัตราการไหล 3 L/min

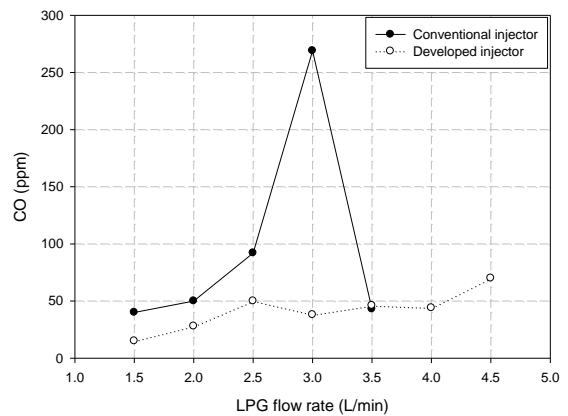


รูปที่ 10 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิของหัวฉีดหลังการปรับปรุง



รูปที่ 12 แสดงเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลังการเผาไหม้

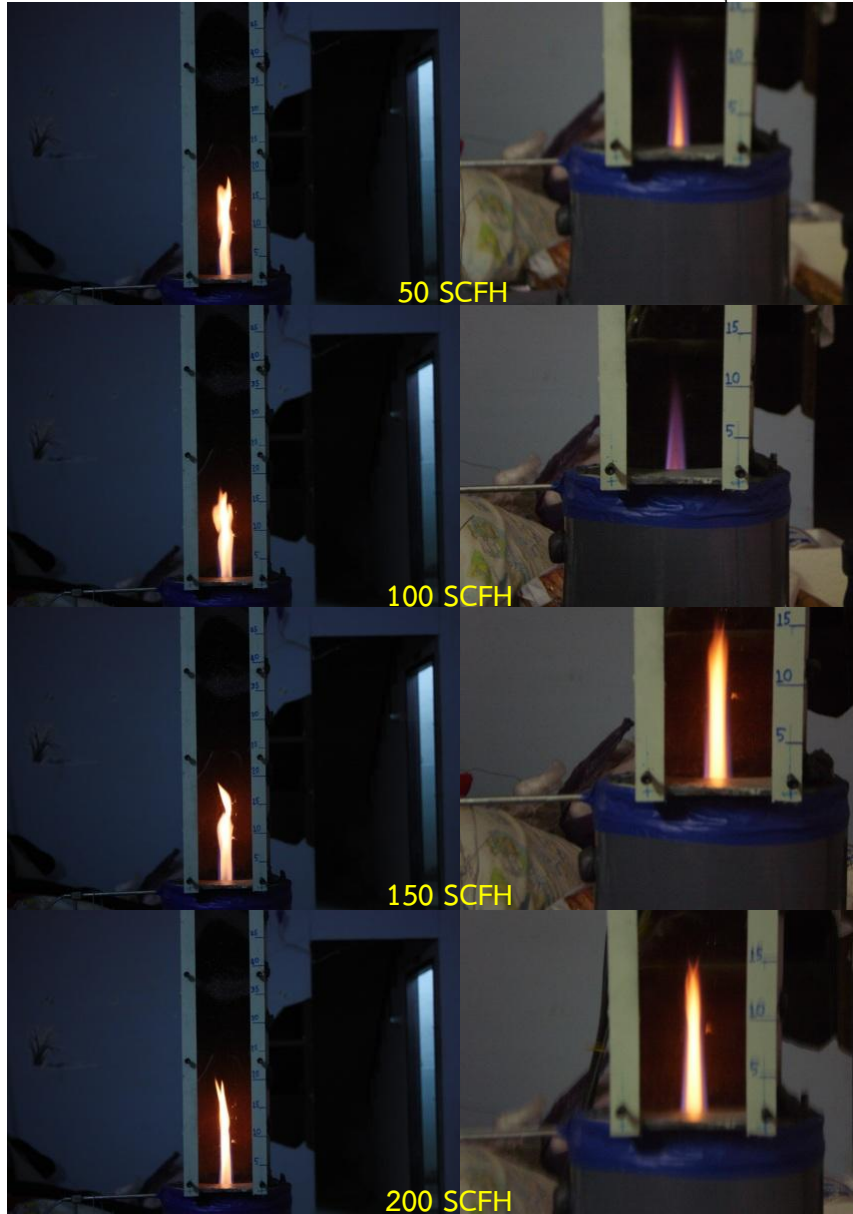
รูปที่ 20 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์หลังการเผาไหม้กรณีหัวฉีดหลังการปรับปรุง พบว่ามีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มตามอัตราการไหลเชื้อเพลิงที่ทุกๆ อัตราการไหลอากาศและไม่สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในรูป 18



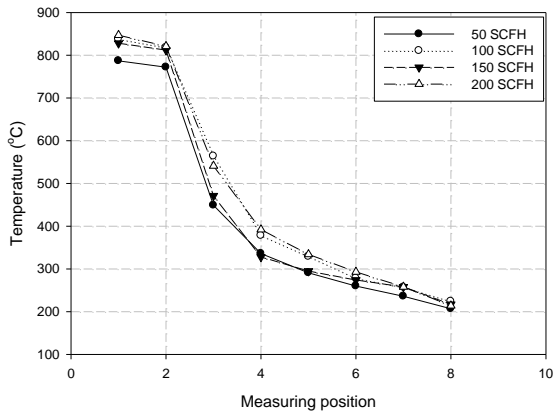
รูปที่ 13 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์หลังการเผาไหม้

ก่อนการปรับปรุง

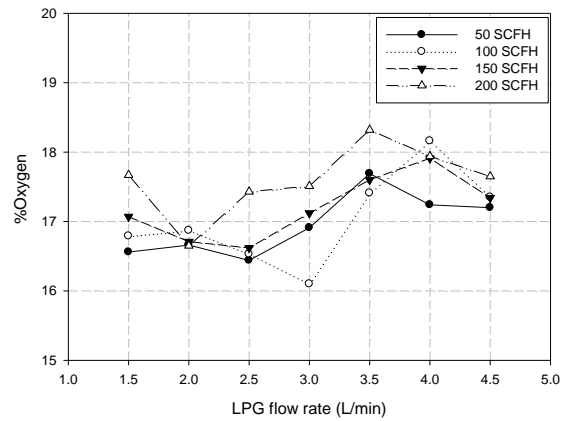
หลังการปรับปรุง



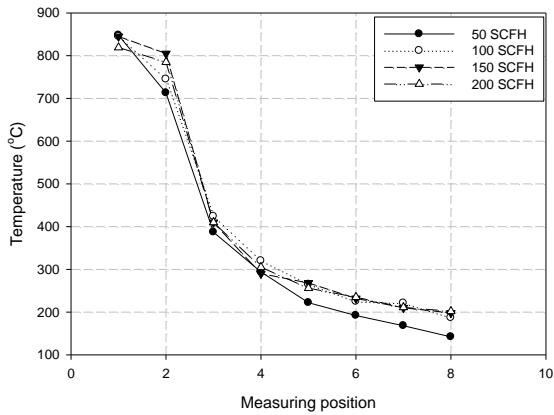
รูปที่ 14 แสดงลักษณะเปลวไฟเปรียบเทียบระหว่างหัวฉีดทั้ง 2 กรณี ที่อัตราการไหลอากาศส่วนที่สองต่างๆ



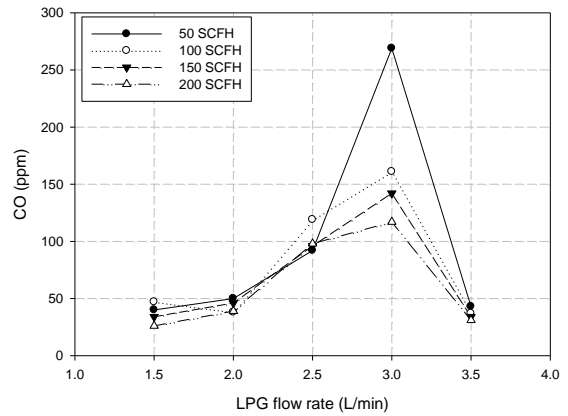
รูปที่ 15 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิของหัวฉีดก่อนการปรับปรุงเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สอง



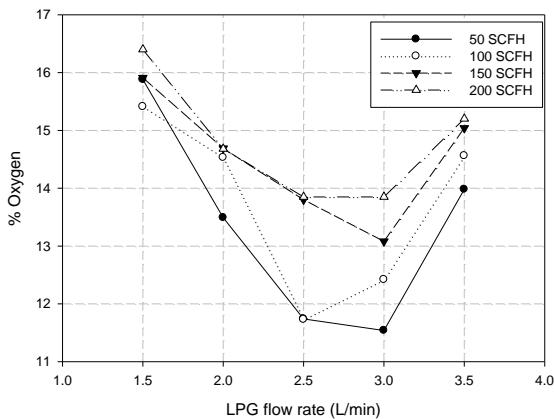
รูปที่ 18 แสดงเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลังการเผาไหม้กรณีหัวฉีดหลังการปรับปรุง



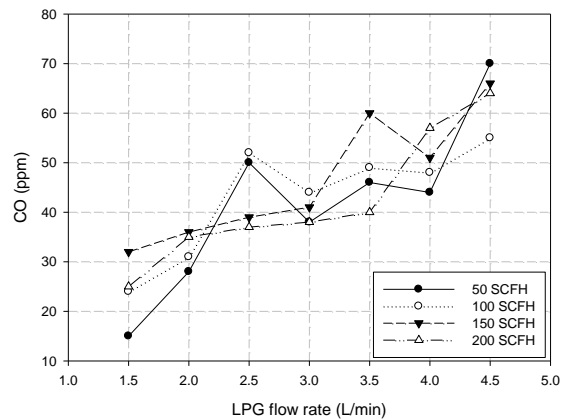
รูปที่ 16 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิของหัวฉีดหลังการปรับปรุงเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สอง



รูปที่ 19 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์หลังการเผาไหม้กรณีหัวฉีดก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 17 แสดงเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลังการเผาไหม้กรณีหัวฉีดก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 20 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์หลังการเผาไหม้กรณีหัวฉีดหลังการปรับปรุง

6. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้หัวฉีดที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมีอัตราการเหนียวนำอากาศส่วนที่หนึ่งเพิ่มขึ้นและมีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น รวมถึงศึกษาอิทธิพลจากการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สองอีกด้วย จากการศึกษาพบว่า

1. การปรับเปลี่ยนโครงสร้างหัวฉีดส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการเหนียวนำอากาศ สังเกตจากลำเจ็ทที่พุ่งกระจายและมีอัตราการสูญเสียของลำเจ็ทมากกว่าหัวฉีดก่อนการปรับปรุง จึงเป็นสาเหตุให้อัตราการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศโดยรวมสูงขึ้น
2. ความดันในท่อเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิงของหัวฉีดทั้ง 2 กรณีมีความแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลเชื้อเพลิงของแต่ละกรณีด้วย
3. หัวฉีดที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมีเปอร์เซ็นต์การผสมก่อนการเผาไหม้สูงกว่ากรณีก่อนการปรับปรุงที่ทุกอัตราการไหลเชื้อเพลิง
4. หัวฉีดที่ได้รับการปรับปรุงแล้วโดยรวมมีสมรรถนะการเผาไหม้เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิงดีกว่าหัวฉีดก่อนการปรับปรุง
5. โดยทั่วไปแล้วกรณีหัวฉีดที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมีสมรรถนะการเผาไหม้ที่ดีกว่าเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สอง
6. การเพิ่มอากาศส่วนที่สองมากเกินไปอาจส่งผลต่อระบบในแง่ของภาระ ทำให้อุณหภูมิไอเสียต่ำลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์และนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และบริษัท Happy one ที่เอื้อเฟื้อชุดหัวเผาที่ใช้ในการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท เอเอสทีวี (ประเทศไทย) จำกัด (2551). 'ศรวิวัฒนาเซรามิกส์' ปรับตัวสู้วิกฤตพลังงาน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.manager.co.th/SMEs>, เข้าดูเมื่อวันที่ 12/05/2555
- [2] Z. Liliana (2008). Mathematical modeling of the heat behavior in the ceramic chamber furnaces at different temperature baking curves,

Simulation Modelling Practice and Theory, vol.16 (10), November 2008, pp.1640-1653

[3] 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

[4] 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.

[5] 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.

[6] วรรณเพ็ญ ลภีรัตนากุล, จารุวัตร เจริญสุข (2554). การพัฒนาระบบหัวฉีดของหัวเผาแก๊สแอลพีจีในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ : Part 1, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, จังหวัดกระบี่

[7] อาวุธ ลภีรัตนากุล, จารุวัตร เจริญสุข (2554). การศึกษาความสามารถในการหรีแรงเชื้อเพลิงของหัวเผาแอลพีจีแบบกึ่งอัตโนมัติที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ : Part 2, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, จังหวัดกระบี่