

ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงขนาดเมโสโดยใช้หัวฉีดแบบการไหลมัว

Meso-Scale Combustion System with a Flow-Blurring Nozzle

ธนากร แสนภักย์¹, James C. Moran¹ และ ระดม พงษ์วุฒิศรรม^{1*}¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

*ติดต่อ: radomp@gmail.com, 089-6356401

บทคัดย่อ

จากผลงานวิจัยแหล่งต้นกำลังในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ ต้นกำลังขนาดเล็กเช่น แบตเตอรี่ที่ให้กำลังไม่เกิน 100 วัตต์ และต้นกำลังขนาดใหญ่เช่น เครื่องยนต์ให้กำลังมากกว่า 1,000 วัตต์ สำหรับต้นกำลังขนาดกลางหรือขนาดเมโสที่ให้พลังงานในช่วงระหว่าง 100 ถึง 1,000 วัตต์ ยังไม่มีการผลิตออกมามากนัก เนื่องจากแบตเตอรี่มีข้อจำกัดที่มีค่าพลังงานต่อน้ำหนักน้อยและมีราคาแพง เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์จึงไม่เป็นที่นิยมสำหรับแหล่งต้นกำลังขนาดใหญ่ ในขณะที่เครื่องยนต์ขนาดเล็กส่วนใหญ่มีกำลังในช่วง 2,000 ถึง 4,000 วัตต์ ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและออกแบบระบบจ่ายเชื้อเพลิงที่ใช้หัวฉีดแบบไหลมัวเพื่อที่จะนำไปใช้ร่วมกับเครื่องยนต์สันดาปภายนอก ที่คาดว่าจะให้กำลังต่อน้ำหนักเทียบเคียงกับกำลังต่อน้ำหนักที่ได้จากเครื่องยนต์สันดาปภายใน หัวฉีดที่ใช้การไหลมัวเป็นหัวฉีดรูปแบบใหม่ ที่มีการศึกษายังไม่มากนัก และหัวฉีดชนิดนี้เป็นหัวฉีดที่สามารถทำให้เชื้อเพลิงกระจายตัวเป็นละอองที่มีความละเอียดสูง จากผลการทดสอบ พบว่าระบบเผาไหม้ที่ออกแบบสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้ปริมาณเชื้อเพลิงต่ำที่อัตราการไหลช่วง 4 ถึง 8 mL/min ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงช่วงนี้มีความเหมาะสมสำหรับเป็นแหล่งต้นกำลังขนาดเมโสได้

คำหลัก: ต้นกำลังขนาดเมโส, ระบบจ่ายเชื้อเพลิง, ระบบเผาไหม้, หัวฉีดแบบไหลมัว

Abstract

There was a study showing that power sources, currently available, usually falls into two sizes, small-scale power source (<100W), such as battery and large-scale power source (>1,000W), such as internal combustion engine. However, a medium size or meso-scale power source is not readily available. Since batteries have a low power-to-weight ratio and is relatively expensive compared to internal combustion engine, producing a battery power source bigger than 100 W is usually not very efficient and expensive and the power of small internal combustion engines is typically between 2,000-4,000W.

This paper studies meso-scale combustion system with a flow-blurring nozzle that can be used with an external combustion engine for a meso-scale power source. By using a new type of fuel nozzle, flow-blurring nozzle, the system could potentially have a high power-to-weight ratio similar to power sources with internal combustion engines. The flow-blurring nozzle can produce highly atomized fuel spray which can be easily combusted. Experimental results showed that the proposed system can produce continuous combustion at a very low fuel rate of 4-8 mL/min.

Keywords: Meso-scale power resource, Fuel flow loop system, Combustion system, Flow-blurring nozzle

1. บทนำ

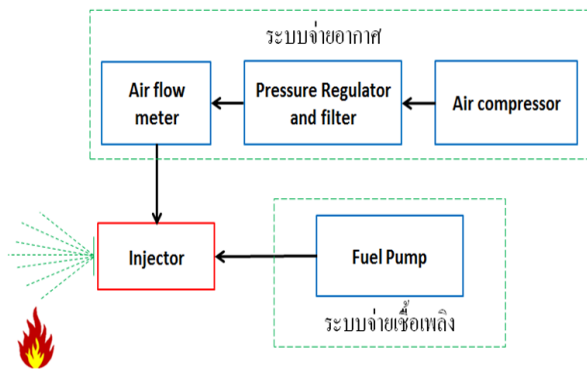
อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน ได้ถูกออกแบบให้มีขนาดที่เล็กลงและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก แหล่งต้นกำลังสำหรับอุปกรณ์ใช้พลังงานโดยทั่วไปมีสองประเภทคือ ต้นกำลังขนาดเล็กอาทิเช่นต้นกำลังรูปแบบของแบตเตอรี่ที่ให้กำลังไม่เกิน 100 วัตต์ และต้นกำลังขนาดใหญ่อาทิเช่นต้นกำลังจากเครื่องยนต์ให้กำลังมากกว่า 1,000 วัตต์ สำหรับต้นกำลังขนาดกลางหรือขนาดเมโสที่ให้พลังงานในช่วงระหว่าง 100 ถึง 1,000 วัตต์ ยังไม่มีการผลิตออกมามากนัก หากต้องการพลังงานช่วงเมโสนี้ แหล่งพลังงานรูปแบบที่มีข้อยุ่งยากจะไม่มี ความเหมาะสม เนื่องจากแบตเตอรี่มีข้อจำกัดที่มีค่าพลังงานต่อน้ำหนักน้อย ดังนั้นต้นกำลังที่ใช้แบตเตอรี่จะมีค่ากำลังต่อน้ำหนักโดยรวมน้อยกว่าต้นกำลังที่ใช้เครื่องยนต์ ในขณะที่การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ขนาดเล็กยังมีปัญหาอาทิเช่น การปล่อยมลพิษ ความต้องการสร้างต้นกำลังให้พลังงานขนาดเมโส ที่ให้ค่ากำลังต่อน้ำหนักเทียบเคียงกับกำลังต่อน้ำหนักที่ได้จากเครื่องยนต์ จำเป็นต้องพิจารณาแหล่งให้พลังงานที่สูง ซึ่งปัจจุบันนี้แหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงเหลวไฮโดรคาร์บอนมีพลังงานต่อน้ำหนักสูงสุด (45 MJ/kg) เมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานหลายรูปแบบในปัจจุบัน ขณะที่แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่(ลิเธียม) ที่ให้พลังงานสูงที่สุดมีพลังงานต่อน้ำหนักเพียง 1.2 MJ/kg[6] ดังนั้นแหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงเหลวไฮโดรคาร์บอนจึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงของต้นกำลัง ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวให้มีประสิทธิภาพนั้น ต้องทำให้เชื้อเพลิงเหลวแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรให้สูงขึ้น ช่วยให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนจากบรรยากาศร้อนโดยรอบสู่ผิวละออง ทำให้การระเหยเป็นไปอย่างรวดเร็ว มีการกระจายของไอเชื้อเพลิงอย่างสม่ำเสมอและการผสมระหว่างไอเชื้อเพลิงกับออกซิโดเซอร์เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์[1] จากการศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวที่อัตราการไหลต่ำ และเป็นไปอย่างต่อเนื่อง การนำหัวฉีดของเครื่องยนต์สันดาปภายในมาใช้ยังไม่มี ความเหมาะสม เนื่องจากฉีดเชื้อเพลิงปริมาณมากและใช้ความดันสูง[7] จึงไม่สามารถทำการเผาไหม้ที่ความดันสูงได้ จากงานวิจัยการทำให้เชื้อเพลิงเหลวแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็กและใช้อัตราการไหลต่ำ Kyritsis และคณะ[5] ได้ศึกษาวิธีการที่จะทำให้เชื้อเพลิงเหลวกระจายตัวออกเป็นละออง โดยการให้

ประจุไฟฟ้าแรงดันสูง (Electrospray) และผสมกับอากาศเพื่อทำปฏิกิริยาเผาไหม้ แต่มีข้อจำกัดในการให้อัตราการไหลเชื้อเพลิงที่ต่ำเกินไป Gomez และคณะ [3] ได้พัฒนาระบบเพื่อให้สามารถเพิ่มอัตราการไหลและปฏิกิริยาเผาไหม้ โดยการเพิ่มท่อลำเลียงเชื้อเพลิงและสามารถใช้ร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ส่วนการศึกษาการระเหยของเชื้อเพลิงเหลวในท่อความร้อนขนาดเล็ก ที่สร้างความร้อนจากการจ่ายกระแสไฟฟ้ายังไม่เหมาะสม ระบบสามารถทำให้เชื้อเพลิงระเหยเป็นละอองได้ในระยะเวลาอันสั้น เนื่องจากเกิดเขม่าอุดตันในท่อ ทำให้จ่ายเชื้อเพลิงไม่ต่อเนื่อง[4] ไม่นานมานี้มีการศึกษาเทคนิคที่ทำให้เชื้อเพลิงแตกตัวเป็นละอองที่มีความละเอียดสูง จากหัวฉีดขนาดเล็กในรูปแบบใหม่มีการศึกษายังไม่มากนัก เรียกว่าหัวฉีดแบบการไหลมัว (Flow-Blurring Nozzle) หัวฉีดนี้มีประสิทธิภาพสูงทำให้เชื้อเพลิงกระจายตัวเป็นละอองที่มีความละเอียด หัวฉีดสามารถใช้อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่ำ หลักการของหัวฉีดคือใช้อากาศไหลเข้าผสมกับเชื้อเพลิงด้วยความเร็วสูงในลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน ที่ก่อให้เกิดการแตกตัวแบบรุนแรงของเชื้อเพลิง หัวฉีดแบบการไหลมัวนี้ศึกษาโดย Alfonso[2] ทำการทดสอบหัวฉีดโดยใช้ของไหลเป็นน้ำและเอทานอลในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและออกแบบระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง ที่ใช้หัวฉีดแบบการไหลมัวให้ละอองเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และให้พลังงานความร้อนในช่วงเมโสได้อย่างต่อเนื่อง สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์แปลงพลังงานรูปแบบอื่นได้อาทิเช่น ให้พลังงานความร้อนกับเครื่องยนต์สันดาปภายนอกอย่างเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

2. ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง

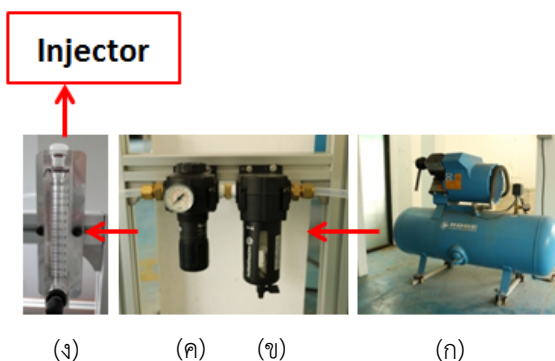
ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงขนาดเมโสจัดรูปที่ 1 ประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ ส่วนจ่ายอากาศ, ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงและส่วนหัวฉีด ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงนี้เป็นระบบเผาไหม้ที่ให้พลังงานรูปแบบพลังงานความร้อนเชื้อเพลิงที่ใช้คือน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ 91 การทำงานของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงคือ ทั้งสามส่วนทำงานร่วมกันโดยที่อากาศจากส่วนจ่ายอากาศ และเชื้อเพลิงจากส่วนจ่ายเชื้อเพลิงจะไหลไปผสมกันที่ส่วนหัวฉีด ในส่วนของหัวฉีดนี้จะทำให้เชื้อเพลิงผสมอากาศเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นฉีดเชื้อเพลิงผสมอากาศออกมาในลักษณะละอองที่มีขนาดเล็ก หรือฉีดแบบการไหลมัว จากนั้นทำการเผาไหม้

โดยการจุดติดไฟ จากแหล่งความร้อนภายนอกที่ทางออกของหัวฉีด



รูปที่ 1 ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง

ส่วนจ่ายอากาศออกแบบให้ควบคุมการจ่ายอากาศได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถกำหนดอัตราการไหลได้ อุปกรณ์ประกอบด้วย เครื่องอัดอากาศ BOGE แบบลูกสูบ ขนาด 4 kW ให้อัตราการไหล 700 L/min ความดัน 1 MPa, กรองอากาศ Norgren ความละเอียด 40 μ m, ตัวควบคุมความดัน Norgren 1 MPa และตัวควบคุมอัตราการไหลอากาศ Omega แบบโรตารีเมตร ช่วง 0.1 ถึง 1.2 SCFM อุปกรณ์ระบบจ่ายอากาศตามรูปที่ 2 การทำงานของส่วนจ่ายอากาศ เครื่องอัดอากาศจะส่งอากาศผ่านไปยังกรองอากาศและตัวควบคุมความดัน จากนั้นผ่านตัวควบคุมอัตราการไหลอากาศแบบโรตารีเมตรและเข้าสู่ส่วนหัวฉีด



รูปที่ 2 อุปกรณ์ระบบจ่ายอากาศ
(ก) เครื่องอัดอากาศ, (ข) กรองอากาศ ,
(ค) ตัวควบคุมความดัน และ
(ง) ตัวควบคุมอัตราการไหลอากาศ แบบโรตารีเมตร

3. ออกแบบส่วนจ่ายเชื้อเพลิงและการทดสอบ

ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบให้สามารถกำหนดอัตราการไหลได้ช่วง 2 ถึง 8 mL/min และจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง ระบบจ่ายเชื้อเพลิงได้ทำการออกแบบ พัฒนาและทดสอบทั้งหมดสามรูปแบบได้แก่ แบบปั๊มรีดยาง, แบบปั๊มไดอะแฟรม (ปั๊มส่งน้ำมันจากรถยนต์) และแบบกระบอกฉีด ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงทั้งสามแบบได้ดำเนินการออกแบบและทดสอบตามลำดับ

3.1 อุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มรีดยาง

เนื่องจากต้องการอัตราการไหลเชื้อเพลิงต่ำที่ช่วง 2 ถึง 8 mL/min และจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง จึงเลือกอุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มรีดยางชนิดสองลูกกลิ้ง Eldex รุ่น ND-9000B ดังรูปที่ 3 เป็นอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับจ่ายของเหลวในอัตราการไหลต่ำ ปั๊มสามารถกำหนดอัตราการไหลช่วง 0.041 ถึง 900 mL/min ซึ่งครอบคลุมในช่วงอัตราการไหลที่ออกแบบ การทำงานของปั๊มรีดยางจะลำเลียงเชื้อเพลิงจากภาชนะบรรจุเชื้อเพลิงผ่านท่ออย่างที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น จากนั้นมอเตอร์ในตัวอุปกรณ์จะหมุนให้ลูกกลิ้งรีดส่งเชื้อเพลิงด้วยความเร็วตามการกำหนดอัตราการไหลเชื้อเพลิง ไปสู่ส่วนหัวฉีดโดยตรง



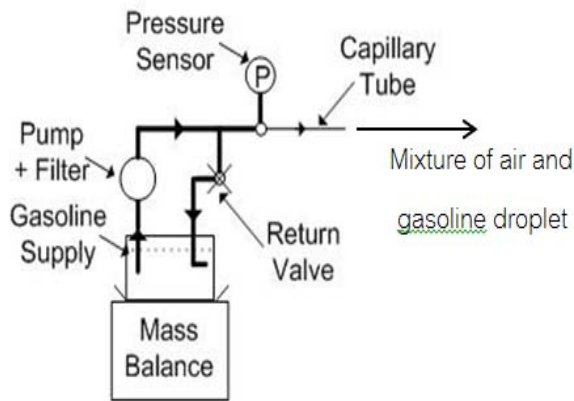
รูปที่ 3 อุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มรีดยาง

ผลการทดสอบอุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มรีดยางจะให้อัตราการไหลเชื้อเพลิงไม่คงที่ เนื่องจากหลักการการทำงานโดยการรีดสายยางที่มีความยืดหยุ่นด้วยลูกกลิ้งที่หมุนตามมอเตอร์ จึงทำให้จ่ายเชื้อเพลิงในอัตราที่สูงและต่ำสลับกัน ข้อดีของส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มรีดยางคือสามารถเติมเชื้อเพลิงที่ภาชนะบรรจุและทำงานได้ต่อเนื่อง

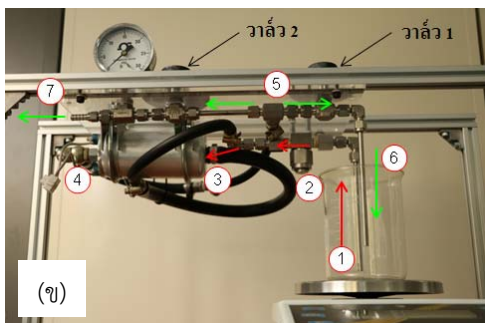
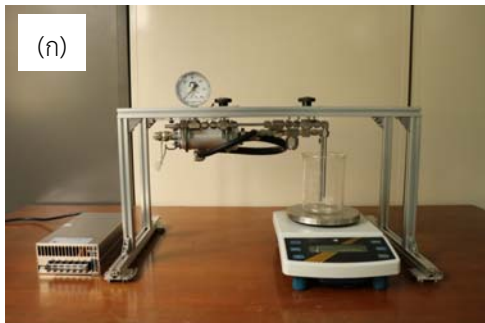
3.2 อุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มไดอะแฟรม

ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มไดอะแฟรมออกแบบเพื่อแก้ปัญหาการจ่ายเชื้อเพลิงไม่คงที่ ระบบจ่ายเชื้อเพลิงติดตั้งปั๊มขนาดเล็กแบบไดอะแฟรม เป็นปั๊มจ่ายน้ำมันใน

รถยนต์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและจ่ายเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากพอสำหรับระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง ใช้วาล์วสำหรับควบคุมอัตราการไหล อัตราการไหลจะวัดจากน้ำหนักเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนแปลงในภาชนะบรรจุที่วางบนตาชั่งแบบดิจิตอล และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับสัญญาณที่ส่งมาจากตราชั่ง เพื่อแสดงผลอัตราการไหลเชื้อเพลิงจากคอมพิวเตอร์ ผังการทำงานดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผังระบบส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มไดอะแฟรม



รูปที่ 5(ก) ระบบส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มไดอะแฟรม,
5(ข) การทำงานของระบบส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มไดอะแฟรม

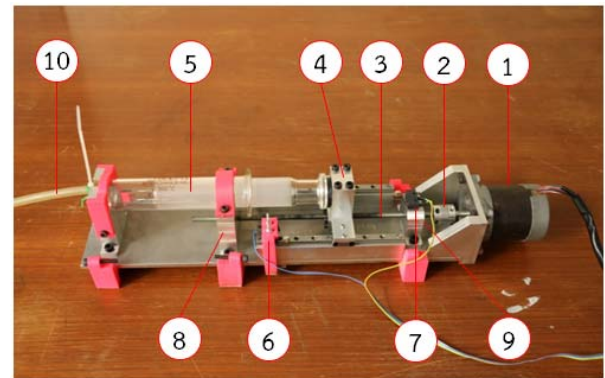
การทำงานของระบบส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มไดอะแฟรมจากรูปที่ 5(ข) เมื่อปั๊มทำงานจะดูดเชื้อเพลิงจากภาชนะบรรจุ ตามหมายเลข 1 ผ่านกรองน้ำมัน

หมายเลข 2 ไหลเข้าและออกจากปั๊มหมายเลข 3 และ 4 ตามลำดับ จากนั้นเข้าสู่ท่อสามทางหมายเลข 5 ตำแหน่งนี้จะแบ่งไหลสองทาง คือกลับสู่ภาชนะบรรจุหมายเลข 6 ที่ตำแหน่งนี้จะมีวาล์ว 1 สำหรับควบคุมอัตราการไหล และอีกส่วนจะไปสู่ส่วนหัวฉีดตามหมายเลข 7

ผลการทดสอบระบบส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มไดอะแฟรมยังไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากแรงดันปั๊มน้อยกว่าแรงดันอากาศที่ส่วนหัวฉีด ข้อดีของส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบปั๊มไดอะแฟรมคือ เป็นระบบจ่ายเชื้อเพลิงที่ราคาไม่แพง สามารถเติมเชื้อเพลิงที่ภาชนะบรรจุและทำงานได้ต่อเนื่อง

3.3 อุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีด

ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีดดังรูปที่ 6 ออกแบบให้สามารถกำหนดอัตราการไหลเชื้อเพลิงได้ และจ่ายเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องคงที่ ระบบจ่ายเชื้อเพลิงนี้ใช้การบรรจุเชื้อเพลิงในกระบอกฉีด กลไกการฉีดเชื้อเพลิงสองทิศทางคือ ดันฉีดและถอยกลับ จากการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์ ระบบความปลอดภัยมีการติดตั้งสวิทช์ตัดวงจรที่ตำแหน่งกระบอกฉีดเลื่อนเข้าสุดและออกสุด

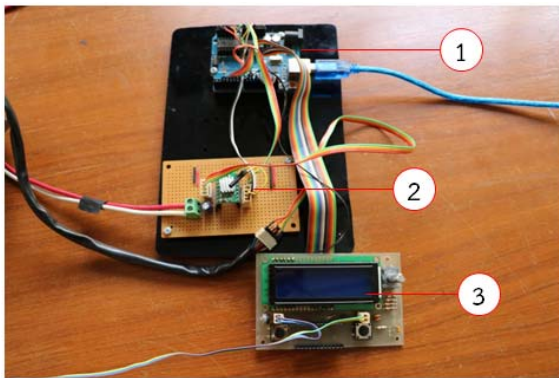


รูปที่ 6 ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีด

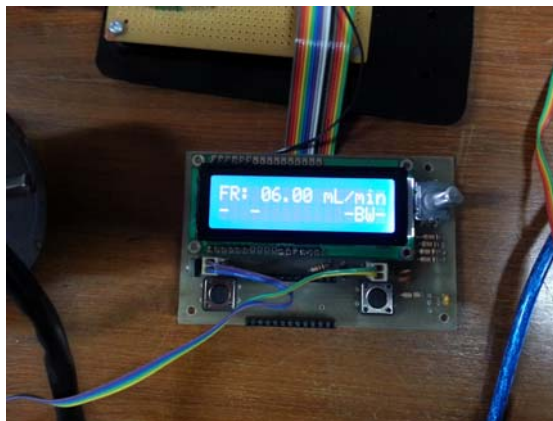
ส่วนประกอบของส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีดจากรูปที่ 6 ประกอบด้วย 1.สเต็ปปีงมอเตอร์ขนาด 12 V, 2.คัมปลิ่งสำหรับส่งต่อกำลังจากสเต็ปปีงมอเตอร์ไปยังเกลิยว, 3.เกลิยวขนาด 6 mm. ระยะพิชต์เกลิยว 1 mm., 4.ชุดดันกระบอกฉีดและ Linear guide 2 ชั้นวางขนานกัน, 5.กระบอกฉีดขนาด 50 mL, 6,7.สวิทช์ตัดวงจรที่ตำแหน่งกระบอกฉีดเลื่อนเข้าสุดและออกสุดตามลำดับ, 8,9.ชุดแบร์ริงประคองเกลิยวส่วนหน้าและหลังตามลำดับ, 10.สายยางลำเลียงเชื้อเพลิงจากกระบอกฉีดไปสู่ส่วนหัวฉีด ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีดนี้

ออกแบบให้ฉีดตามแนวระดับ การทำงานของระบบจ่ายเชื้อเพลิงควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 7

อุปกรณ์ควบคุมการทำงานระบบจ่ายเชื้อเพลิงประกอบด้วย 1.ไมโครคอนโทรลเลอร์, 2.ไดรฟ์สเต็ปปีงมอเตอร์ โมดูล A4988 และ 3.แผงปั๊มควบคุมและจอแสดงผล การควบคุมการทำงานจะดำเนินการผ่านแผงปั๊มควบคุมตามรูปที่ 8 ประกอบไปด้วยสามปั๊มควบคุมคือ ปั๊มดันฉีด ถอยกลับ และปั๊มหมุนปรับอัตราการไหลเชื้อเพลิงช่วง 1 ถึง 50 mL/min แสดงผลอัตราการไหลของเชื้อเพลิงทางจอแอล ซี ดี



รูปที่ 7 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีด



รูปที่ 8 แผงปั๊มควบคุมและจอแสดงผลแอล ซี ดี

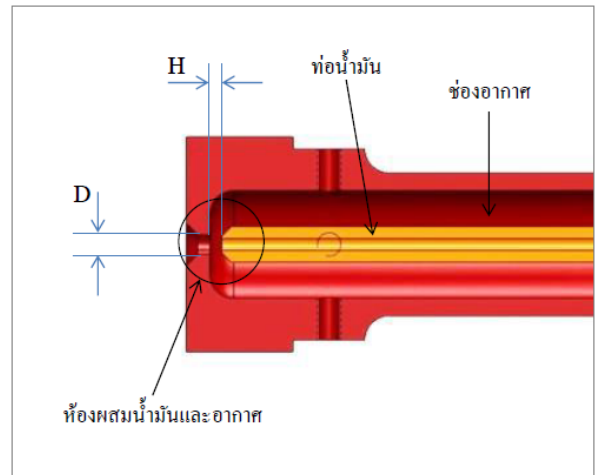
ผลการทดสอบส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีดสามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง ในอัตราการไหลที่กำหนดได้ และการทำงานของระบบมีความเสถียร ส่วนข้อจำกัดของระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีดคือสามารถบรรจุเชื้อเพลิงต่อครั้งได้ในปริมาณเท่ากับขนาดกระบอกฉีดเท่านั้น ซึ่งออกแบบใช้ขนาด 50 mL

สำหรับส่วนจ่ายเชื้อเพลิงของระบบเผาไหม้ จะใช้ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีด เนื่องจากสามารถให้

อัตราการไหลเชื้อเพลิงตามกำหนด การจ่ายเชื้อเพลิงเป็นไปอย่างต่อเนื่องและอัตราการไหลคงที่

4.ออกแบบหัวฉีดเชื้อเพลิง

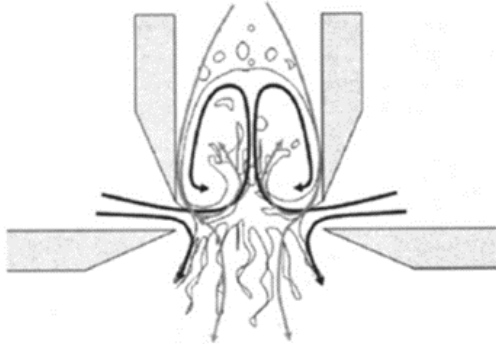
การออกแบบหัวฉีดเชื้อเพลิงจะใช้หัวฉีดรูปแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการฉีดละอองที่มีความละเอียดสูงหรือเรียกว่าหัวฉีดแบบการไหลมั่ว แสดงดังรูปที่ 9 หัวฉีดประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ (1)ตัวหัวฉีดมีลักษณะทรงกระบอกกลวง พื้นที่ภายในตัวหัวฉีดเป็นช่องอากาศสำหรับส่งอากาศ และ (2)ท่อเชื้อเพลิงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดคือ 0.9 mm. ลักษณะการวางท่อเชื้อเพลิงอยู่ในตัวหัวฉีด โดยที่เส้นศูนย์กลาง (Center line) ของท่อเชื้อเพลิงและตัวหัวฉีดอยู่ในระดับเดียวกัน



รูปที่ 9 หัวฉีดเชื้อเพลิง

หัวฉีดแบบการไหลมั่วนี้สามารถใช้อัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่ำ และฉีดเชื้อเพลิงเป็นละอองขนาดเล็กที่มีหลักการโดยอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง อากาศจะไหลเข้าสู่ช่องอากาศของตัวหัวฉีดด้วยความเร็วสูง จากนั้นไหลเข้าปะทะกับเชื้อเพลิงซึ่งไหลออกจากท่อเชื้อเพลิงด้วยความเร็วต่ำที่บริเวณช่องว่างระหว่างปลายท่อน้ำมันกับรูหัวฉีด หรือห้องผสมน้ำมันและอากาศตามรูปที่ 9 ประสิทธิภาพในการฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นละอองขนาดเล็ก จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วน $\psi = H/D$ โดยที่ H คือ ระยะระหว่างรูหัวฉีดกับปลายท่อน้ำมันและ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด จากการศึกษาของ Alfonso (2005) ที่อัตราส่วน H/D มีค่าเท่ากับ 0.25 จะทำให้การฉีดแบบไหลมั่วมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เนื่องจากอากาศไหลผ่านช่องว่างที่แคบระหว่างปลายท่อน้ำมันกับรูหัวฉีด จะมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนที่บริเวณ

ปลายท่อเชื้อเพลิง การไหลของอากาศแบบปั่นป่วนเข้า
ประทะกับเชื้อเพลิง จะทำให้เชื้อเพลิงเกิดการฉีกขาดเสีย
รูปอย่างแรง และแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็กจากแรง
เฉือนของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศเข้าผสม
เชื้อเพลิงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ลักษณะการฉีดละอองเชื้อเพลิงที่ $\psi = 0.25$
ที่มา : Alfonso (2005)

5.การทดสอบระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง

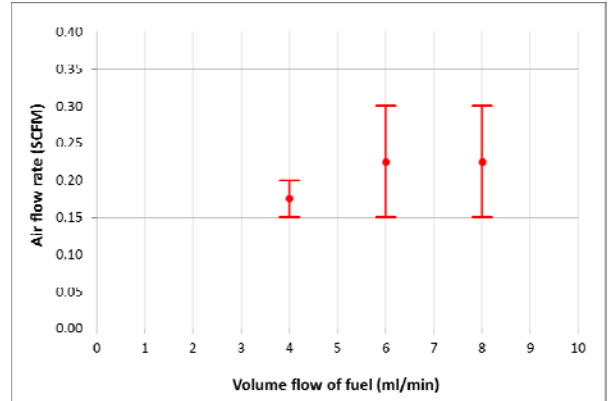
ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ออกแบบต้องทำการป้อนส่ง
อากาศและเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง อัตราการไหลเป็นไป
อย่างต่อเนื่อง และสามารถทดสอบเผาไหม้ได้ต่อเนื่อง
โดยทดสอบการเผาไหม้ของระบบที่อัตราการไหล
เชื้อเพลิง 2 ถึง 8 mL/min เพื่อหาช่วงอัตราการไหลของ
อากาศ และตัวแปร H ที่ทำให้ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง
สามารถทำการเผาไหม้ได้

ผลทดสอบระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ออกแบบ
สามารถเผาไหม้ได้ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 4, 6 และ 8
mL/min และอัตราการไหลอากาศช่วง 0.15 ถึง 0.30
SCFM ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลทดสอบระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง

Fuel Flow rate (mL/min)	H ($\mu\text{m.}$)	Air flow rate (SCFM)
4	600-1,000	0.15-0.20
6	200-1,000	0.15-0.30
8	200-1,000	0.15-0.30

จากข้อมูลผลทดสอบตารางที่ 1 สร้างกราฟความสัมพันธ์
ระหว่างอัตราการไหลเชื้อเพลิงและอากาศที่สามารถทำการ
ทดสอบได้ ดังรูปที่ 11

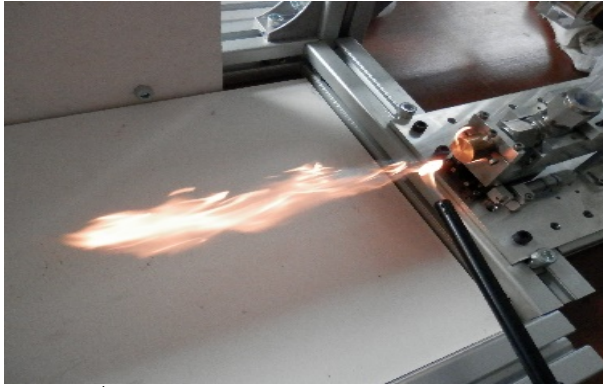


รูปที่ 11 อัตราการใช้เชื้อเพลิงและอากาศจากการทดสอบ

ลักษณะเปลวไฟที่ได้จากการทดสอบระบบเผาไหม้
เชื้อเพลิง เป็นเปลวไฟสีเหลืองที่มีความยาวของเปลวไฟ
ช่วง 10 ถึง 30 cm. เพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลเชื้อเพลิง
ตามรูปที่ 12, 13 และ 14 จากการทดสอบที่อัตราการ
ไหลเชื้อเพลิง 4 ถึง 8 mL/min ส่วนช่วงการให้อัตราการ
ไหลอากาศยังมีข้อจำกัด ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 4
mL/min ให้อัตราการไหลอากาศได้สูงที่สุดคือ 0.2
SCFM ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 6 ถึง 8 mL/min ให้อัตราการ
ไหลอากาศได้สูงที่สุดคือ 0.3 SCFM เป็นช่วงที่
ทำการเผาไหม้ได้ เปลวไฟยังไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจาก
ของไหลที่ออกจากหัวฉีดมีความเร็วสูงทำให้เกิดการเป่า
ดับของเปลวไฟ



รูปที่ 12 เปลวไฟจากการทดสอบระบบเผาไหม้
ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 4 mL/min
และอากาศ 0.15 - 0.20 SCFM



รูปที่ 13 เปลวไฟจากการทดสอบระบบเผาไหม้
ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 6 mL/min
และอากาศ 0.15 - 0.30 SCFM



รูปที่ 14 เปลวไฟจากการทดสอบระบบเผาไหม้
ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 8 mL/min
และอากาศ 0.15 - 0.30 SCFM

6.สรุป

ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ออกแบบประกอบด้วยสามส่วนที่ทำงานร่วมกันคือ ส่วนจ่ายอากาศ, ส่วนจ่ายเชื้อเพลิงแบบกระบอกฉีด และหัวฉีดแบบการไหลมัว (Flow-Blurring Nozzle) ใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เป็นเชื้อเพลิง ระบบเผาไหม้สามารถป้อนเชื้อเพลิง, อากาศเป็นไปอย่างต่อเนื่อง อัตราการไหลคงที่และทดสอบเผาไหม้ได้ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิง 4, 6 และ 8 mL/min ในช่วงอัตราการไหลของอากาศ 0.15 - 0.20 SCFM สำหรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิง 4 mL/min และ 0.15 - 0.30 SCFM สำหรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิง 6-8 mL/min ระยะระหว่างรูหัวฉีดและปลายท่อเชื้อเพลิง (H) ในช่วง 600 - 1,000 μm สำหรับอัตราการไหลเชื้อเพลิง 4 mL/min ช่วง 200 - 1,000 μm สำหรับอัตราการไหลเชื้อเพลิง 6-8 mL/min ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงให้เปลวไฟจากการทดสอบเผาไหม้เป็นสี

เหลือง ลักษณะเป็นแท่งมีความยาว 10 ถึง 30 cm. เพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเปลวไฟยังไม่มี ความเสถียรเกิดจากของไหลที่ออกจากหัวฉีดมีความเร็วสูง จึงทำให้เกิดการเป่าดับของเปลวไฟ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และทุนสนับสนุนสำหรับทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำเร็จ จักรใจ. (2547). *การเผาไหม้*. บ.แอดทีฟพริ้นท์ จำกัด:สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] Ganan-Calvo, Alfonso. Enhanced liquid atomization: From flow focussing to flow-blurring. *Applied Physics Letters*. 2005, Vol. 86.
- [3] Gomez, Alessandro, et al. From jet fuel to electric power using a mesoscale, efficient Stirling cycle. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2007, Vol. 31, 2, pp. 3251-3259.
- [4] Moran, James, et al. *Apparatus for generating power and hybrid fuel vaporization system*. 7,177,535 USA, 2007. Patent.
- [5] Kyritsis, Dimitrios C., et al. Mesoscale Power Generation by a Catalytic Combustor using Electro sprayed Liquid Hydrocarbons. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2002, Vol. 29, pp. 965-972.
- [6] *Micro-Power Generation Using Combustion: Issues and Approaches*. Fernandez-Pello, Carlos., Sapporo, Japan : Elsevier, 2002. 29th International Symposium on Combustion. Vol. 29, pp. 883-899.
- [7] Ian, W., T. David and S. William, "Advanced GDI Injector Control with Extended Dynamic Range," in SAE 2013 World Congress & Exhibition, Detroit, 2013.