

คุณสมบัติการไหลของเจ็ทอากาศร้อนจากห้องเผาไหม้แบบพัลส์ Flow Characteristics of Hot Air Jet from Pulse Combustor

ปฐมพร นระระโต, มัฏฐาร์ แวหะยี, กิตตินันท์ มลิวรรณ และ ชยุต นันทดูลิต*

สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงานและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90112

*ติดต่อ: E-mail: chayut@me.psu.ac.th โทรศัพท์: 074 287 036, โทรสาร: 074 558 830

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องเผาไหม้ ความถี่และระดับความดันเสียงที่มีผลมาจากการทำงานของห้องเผาไหม้แบบพัลส์ โดยห้องเผาไหม้ที่ใช้ศึกษาเป็นชนิด Helmholtz แบบไร้วาล์วที่มีท่อส่งแบบท่อเดี่ยว ในการทดลองได้ศึกษาผลของจำนวนท่อทางเข้าอากาศที่ต่อเข้ากับห้องเผาไหม้และความยาวท่อส่งที่มีต่อความเร็วและอุณหภูมิลมร้อนที่ทางออกท่อส่งในช่วงอัตราการไหลของแก๊ส LPG ที่ $Q_{LPG} = 21-30$ ลิตร/นาที่ โดยใช้ Pitot tube ในการวัดความเร็วและหัววัดเทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิ ในการวัดความถี่ของการสั่นของเจ็ทลมร้อนโดยใช้หัววัดความดันติดตั้งในห้องเผาไหม้ และวัดระดับความดันเสียงด้วย Sound pressure level จากการทดลองพบว่า การเพิ่มจำนวนท่อทางเข้าอากาศจากท่อเดี่ยวเป็น 2 ท่อมีผลให้ความเร็ว อุณหภูมิ ความดัน ระดับความดันเสียงและความถี่เพิ่มสูงขึ้น

คำหลัก: ห้องเผาไหม้แบบพัลส์, เจ็ทลมร้อน, ความดันในห้องเผาไหม้, ความถี่ในห้องเผาไหม้

Abstract

This article presents the pressure variation in pulse combustor, frequency and sound pressure levels that result from the pulse combustion chamber. The combustion chamber is valveless Helmholtz-type with single tailpipe. In the experiments, the effect of number of air inlet pipes connected to combustion chamber on the velocity and temperature of air jet was studied with flow rate of LPG fuel at $Q_{LPG} = 21-30$ L/min. The jet velocity was measured using a Pitot tube and the temperature of jet was measured using a thermocouples. To measure the frequency of pulsating jet, a pressure transducer was installed on the combustion chamber wall. Sound pressure level was used for sound pressure level of jet from tailpipe. The results showed that increasing the air inlet pipe with two air inlet pipes give higher temperature, pressure, sound pressure level and frequency.

Keyword: Pulse Combustor, Hot air jet, Pressure in combustion chamber, Frequency in combustion chamber

TSF-2011

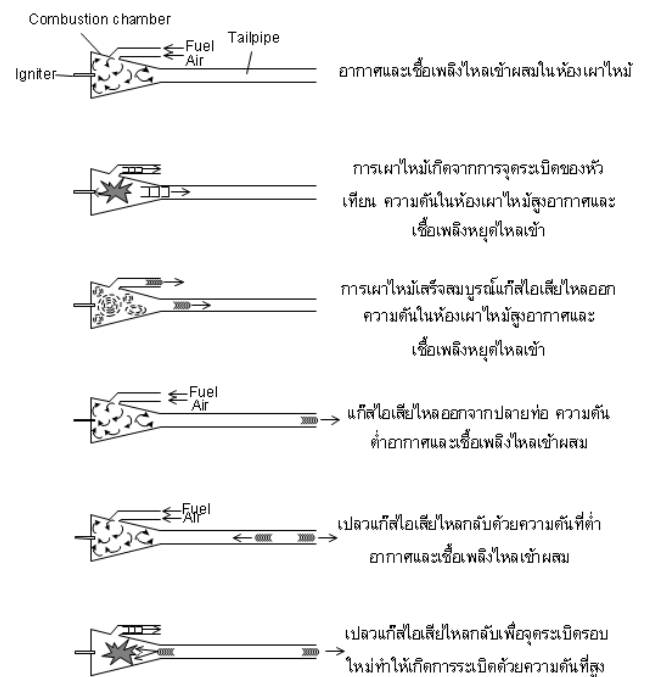
1. บทนำ

ในระบบการให้ความร้อนที่ใช้อยู่ทั่วไปจะใช้พัดลมในการเป่าเพิ่มความเร็วในอากาศ และใช้หัวเผาเชื้อเพลิงหรือฮีตเตอร์ไฟฟ้าในการเพิ่มอุณหภูมิให้อากาศ เกิดเป็นลมร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการอบหรือให้ความร้อนผลิตภัณฑ์ ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันดีเซล หรือก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงให้กับหัวเผา แต่ปัจจุบันราคาของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น ทำให้โรงงานแบกภาระต้นทุนการผลิตมากขึ้น ในงานวิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบสร้างลมร้อนแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง แทนระบบเผาไหม้แบบเดิมซึ่งเป็นการเผาไหม้แบบต่อเนื่อง ระบบการเผาไหม้แบบพัลส์ (Pulse Combustion) เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจ สามารถนำมาใช้ในการสร้างอากาศร้อนที่มีความเร็วสูงหรือเจ็ทอากาศร้อนได้ โดยไม่ใช้เครื่องเป่าอากาศหรือเครื่องอัดอากาศ นอกจากนี้ปรากฏการณ์ของการสั่นที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของการเผาไหม้ (Combustion Intensity) ลดปริมาณการเกิดแก๊สมลพิษ เช่น NO_x และการไหลของเจ็ทแบบพัลส์ที่ออกจากห้องเผาไหม้ช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนไปยังโหลดด้วยเมื่อเทียบกับระบบเผาไหม้แบบต่อเนื่อง ทำให้สามารถประหยัดการใช้เชื้อเพลิงได้ [1]

2. หลักการทำงานของห้องเผาไหม้แบบ Helmholtz

รูปที่ 1 แสดงลักษณะห้องเผาไหม้แบบ Helmholtz ซึ่งประกอบด้วยห้องเผาไหม้และท่อส่ง และการทำงานของห้องเผาไหม้แบบ Helmholtz ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการเผาไหม้แบบเป็นจังหวะและการส่งผ่านคลื่นเสียงจากห้องเผาไหม้ไปยังท่อส่ง กระบวนการเผาไหม้จะเริ่มจากอากาศและเชื้อเพลิงแก๊สหรือละอองเชื้อเพลิงของเหลวถูกพ่นเข้าไปผสมกับอากาศในห้องเผาไหม้ แล้วถูกจุดระเบิดด้วยหัวเทียน (Spark plug) ทำให้เกิดการจุดระเบิดในห้องเผาไหม้ ในจังหวะนี้ทางเข้าของอากาศและเชื้อเพลิงจะถูกปิดโดยวาล์วหรือด้วย

ความดันที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ทำให้อากาศและเชื้อเพลิงหยุดไหลเข้าห้องเผาไหม้ และแรงดันที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้จะดันให้แก๊สไอเสียไหลออกผ่านท่อส่งออกไปภายนอก การไหลออกของแก๊สไอเสียจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงที่ความดันภายในห้องเผาไหม้สูงกว่าความดันตกที่เกิดขึ้นจากการไหลผ่านท่อส่ง จนกระทั่งความดันภายในห้องเผาไหม้ลดลงต่ำสุด วาล์วอากาศและเชื้อเพลิงจะเปิดอีกครั้งทำให้อากาศและเชื้อเพลิงใหม่ไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้อีกครั้ง โดยการจุดติดไฟครั้งใหม่จะเกิดขึ้นเองอีกโดยไม่ต้องใช้หัวเทียน การจุดติดไฟเกิดโดยแก๊สร้อนที่ไหลย้อนกลับมายังห้องเผาไหม้ ในจังหวะที่ความดันในห้องเผาไหม้ต่ำสุด วัฏจักรการเผาไหม้นี้จะเกิดซ้ำเองด้วยความถี่ค่าหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบห้องเผาไหม้และท่อส่ง สัดส่วนการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ชนิดของวาล์วเปิดปิดของอากาศและเชื้อเพลิง

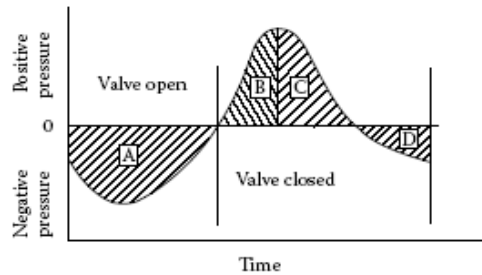


รูปที่ 1 หลักการทำงานของห้องเผาไหม้แบบพัลส์
[1]

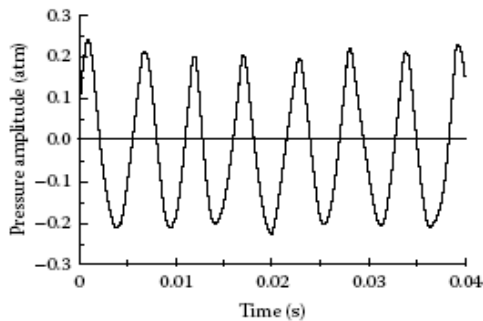
รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความดันภายในห้องเผาไหม้ที่เวลาต่างๆ โดยที่ในรูป (a) บริเวณ A เป็นช่วงที่อากาศและเชื้อเพลิงไหลเข้าห้องเผาไหม้

TSF-2011

บริเวณ B เป็นช่วงที่เชื้อเพลิงใหม่จุดติดเกิดความร้อนทำให้ความดันภายในห้องเผาไหม้สูง อากาศและเชื้อเพลิงหยุดไหลเข้าห้องเผาไหม้ บริเวณ C เป็นช่วงที่การเผาไหม้เสร็จสมบูรณ์ แก๊สไอเสียไหลออกทางท่อส่ง ความดันในห้องเผาไหม้ลดลง บริเวณ D เป็นช่วงที่โมเมนตัมของแก๊สไอเสียที่ปล่อยออกสร้างความดันติดลบภายในห้องเผาไหม้



(a)



(b)

รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความดันภายในห้องเผาไหม้ (a) การเปลี่ยนแปลงความดันในแต่ละกระบวนกร (b) การเปลี่ยนแปลงความดันตามเวลา [1]

3. ชุดการทดลองและวิธีการทดลอง

3.1 ชุดการทดลองและโมเดลที่ใช้ในการทดลอง

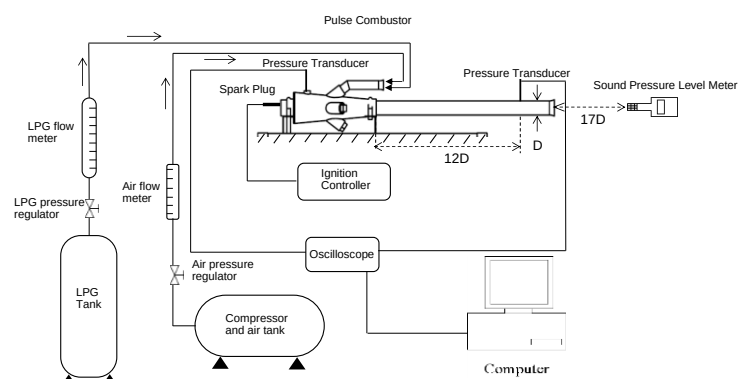
สำหรับชุดทดลองที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ห้องเผาไหม้ ชุดจ่ายเชื้อเพลิงและชุดจุดเดินเครื่อง ชุดอุปกรณ์วัดความเร็ว อุณหภูมิ ระดับความดันเสียงและความดันภายในห้องเผาไหม้ รูปที่ 3 แสดงแผนภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบระบบสร้างลมร้อน

สำหรับชุดจุดจ่ายเชื้อเพลิง แก๊ส LPG จะถูกส่งออกจากถังแก๊ส LPG ผ่านวาล์วควบคุมความดันและอุปกรณ์ป้องกันย้อนกลับของเปลวไฟ ผ่านโรตา

มิเตอร์เพื่อวัดอัตราการไหลของแก๊สก่อนที่จะจ่ายผ่านท่อที่ติดตั้งภายในท่อทางเข้าของอากาศ โดยแก๊ส LPG จะถูกฉีดเข้าไปที่กลางของท่อส่งอากาศเพียงท่อเดียว

สำหรับชุดจุดเดินเครื่อง ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัวเทียนที่ติดตั้งท้ายของห้องเผาไหม้ซึ่งจะติดต่อกับชุดวงจรไฟฟ้าสำหรับจุดหัวเทียน และส่วนจ่ายอากาศผ่านท่อส่งซึ่งอากาศจะถูกส่งจากถังอัดอากาศผ่านท่อส่งไปยังท่อทางเข้าของอากาศร่วมกับท่อแก๊ส LPG แต่หลังจากที่จุดติดแล้วจะหยุดจ่ายอากาศ และหัวเทียนถูกใช้จุดระเบิดตอนเริ่มต้นเพียงครั้งเดียวเท่านั้น หลังจากนั้นห้องเผาไหม้จะเดินเครื่องต่อเนื่องด้วยตัวเอง

สำหรับชุดอุปกรณ์วัดประกอบด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วและอุณหภูมิของเจ็ทลมร้อนจากท่อส่งที่ระยะห่างจากท่อส่งต่างๆ โดยใช้ Pitot-static tube ในการวัดความเร็ว และใช้หัววัดเทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิใกล้กับปากทางออกเจ็ท และอุปกรณ์วัดระดับความดันเสียงซึ่งวางห่างจากปากท่อส่งเป็นระยะ 17 เท่าของขนาดท่อส่ง ส่วนความดันในห้องเผาไหม้ใช้ Pressure Transducer วัดความดันโดยอ่านค่าผ่าน Oscilloscope และเก็บข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 3 แผนภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบระบบสร้างลมร้อน

3.2 โมเดลและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

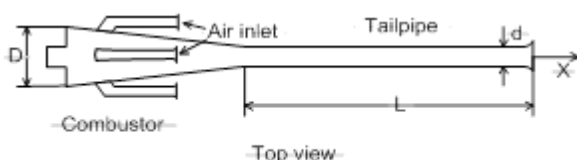
ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบห้องเผาไหม้ขึ้นมา เพื่อศึกษาผลของจำนวนทางเข้า

TSF-2011

อากาศและรูปแบบการติดตั้งทางเข้าที่มีต่ออุณหภูมิและความเร็วเฉลี่ยของเจ็ทอากาศร้อนที่ออกจากท่อส่ง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องเผาไหม้

รูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงรายละเอียดและภาพถ่ายของห้องเผาไหม้แบบพัลส์ที่ใช้ในการศึกษา โดยกำหนดให้ปริมาตรของห้องเผาไหม้คงที่ ห้องเผาไหม้ทำจากแผ่นสแตนเลส ด้านท้ายห้องเผาไหม้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 mm ยาว 300 mm และด้านท้ายของห้องเผาไหม้ติดตั้งหัวเทียนสำหรับจุดระเบิดเชื้อเพลิงตอนเริ่มเดินเครื่อง ส่วนอีกด้านของห้องเผาไหม้ที่ต่อกับท่อส่งจะมีลักษณะเป็นท่อลดหน้าตัด ส่วนของห้องเผาไหม้ที่ต่อกับท่อส่งออกแบบให้เป็นข้อต่อเกลียวในสามารถเปลี่ยนท่อส่งได้ ท่อส่งทำจากท่อสเตเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $d=47$ mm ยาว $L=750$ mm (ประมาณ 16 d) สำหรับท่อทางเข้าอากาศได้ออกแบบให้ติดตั้งเข้าสู่ห้องเผาไหม้ทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ท่อทางเข้าอากาศทำจากท่อสเตเลส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 mm ยาว 165 mm ถูกงอให้ปลายชี้ไปทิศทางเดียวกับท่อส่ง ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งท่อทางเข้าอากาศสามารถติดตั้งปิดในกรณีที่ไม่ใช้งานได้

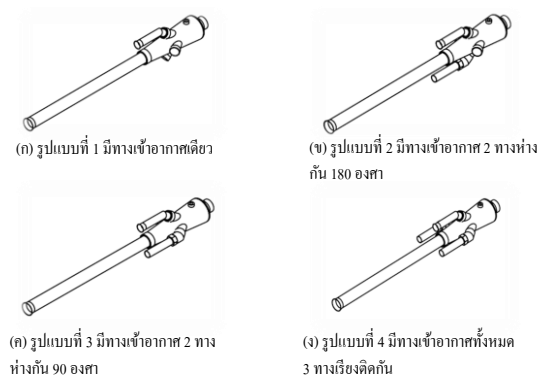
ในการทดลองศึกษาผลของจำนวนทางเข้าอากาศและรูปแบบการติดตั้งทางเข้าได้ศึกษาทั้งหมด 4 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 6 คือ รูปแบบที่ 1 มีทางเข้าอากาศทางเดียว รูปแบบที่ 2 มีทางเข้าอากาศ 2 ทาง เยื้องกัน 180 องศา (ทางเข้าอากาศอยู่ตรงข้ามกันพอดี) รูปแบบที่ 3 มีทางเข้าอากาศ 2 ทาง เยื้องกัน 90 องศา และรูปแบบที่ 4 มีทางเข้าอากาศทั้งหมด 3 ทางเรียงติดกัน วางเยื้องกัน 90 องศา



รูปที่ 4 โมเดลของห้องเผาไหม้



รูปที่ 5 ภาพถ่ายของห้องเผาไหม้



รูปที่ 6 รูปแบบทางเข้าอากาศที่ศึกษา

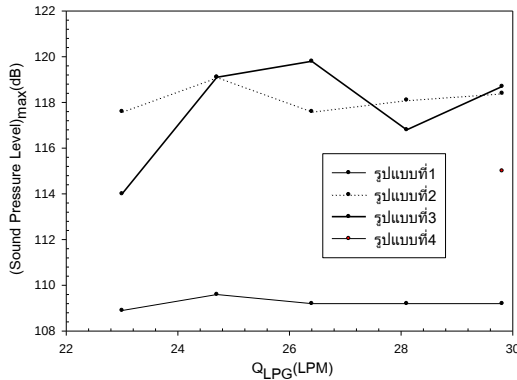
4. ผลการทดลอง

4.1 ผลของระดับความดันเสียง

จากรูปที่ 7 เป็นผลของระดับความดันเสียงสูงสุดที่เกิดขึ้นกับรูปแบบของห้องเผาไหม้ในแต่ละรูปแบบโดยจะวัดระดับความดันเสียงห่างออกจากปากทางออกของท่อส่ง (Tailpipe) เป็นระยะ 17D และการทดลองของห้องเผาไหม้ในรูปแบบที่ 4 สามารถทดลองได้เพียงแค่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ได้เพียงแค่อัตราการไหลเดียวทำให้เห็นแค่เพียงจุดเดียว จากกราฟพบว่าระดับความดันเสียงสูงสุดจะเกิดขึ้นกับห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 3 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 90 องศา) 119.8 dB ที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG 26.4 ลิตรต่อนาที ระดับความดันเสียงต่ำสุดจะเกิดขึ้นกับห้องเผาไหม้

TSF-2011

ในรูปแบบที่ 1 (ทางเข้าอากาศเดียว) 108.9 dB ที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG 23 ลิตรต่อนาที จากผลที่ได้พบว่าระดับความดันเสียงสูงสุดในแต่ละรูปแบบห้องเผาไหม้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 ระดับความดันเสียงสูงสุดกับอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่เพิ่มขึ้นและรูปแบบของห้องเผาไหม้ที่ต่างกัน

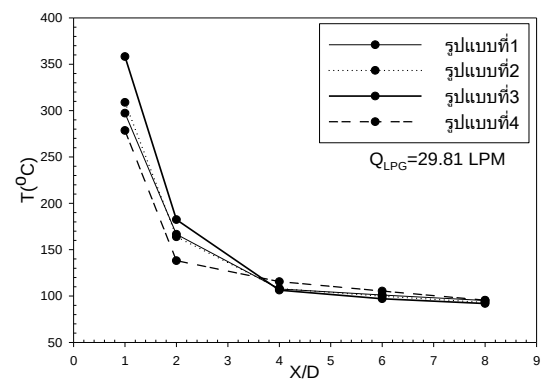
4.2 ผลของความเร็วเฉลี่ยและอุณหภูมิของเจ็ทลมร้อน

จากรูปที่ 8 เป็นผลของอุณหภูมิเฉลี่ยของเจ็ทลมร้อนที่ระยะ X/D ต่างๆ โดยรูปแบบของห้องเผาไหม้ที่เปลี่ยนไปแต่ละค่าที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ไว้ที่ 29.81 ลิตรต่อนาที พบว่าอุณหภูมิของเจ็ทลมร้อนลดลงตามระยะ X/D และอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่ระยะ $X/D=1$ ในทุกรูปแบบของห้องเผาไหม้ โดยอุณหภูมิสูงสุดจะเท่ากับ 358.23°C จากห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 3 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 90 องศา) ในขณะที่อุณหภูมิของเจ็ทที่ตำแหน่ง $X/D=1$ และ 2 ลดลงอย่างชัดเจนแต่ที่ระยะ $X/D=4, 6$ และ 8 อุณหภูมิของเจ็ทลมร้อนจะใกล้เคียงกันทุกรูปแบบของห้องเผาไหม้

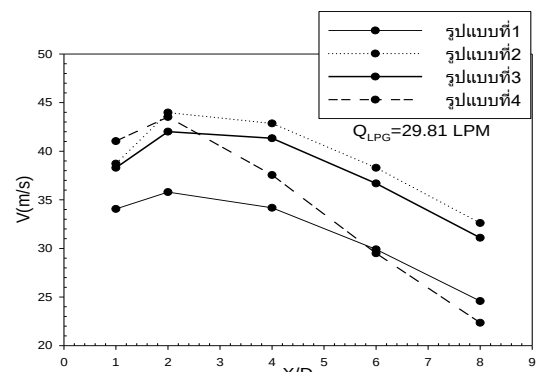
จากรูปที่ 9 เป็นผลของความเร็วเฉลี่ยของเจ็ทลมร้อนที่ปากทางออกที่ระยะ X/D ต่างๆ โดยรูปแบบของห้องเผาไหม้ที่เปลี่ยนไปแต่ละค่าที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ไว้ที่ 29.81 ลิตรต่อนาที พบว่าความเร็วเฉลี่ยของเจ็ทลมร้อนจะสูงสุดที่ $X/D=2$ ทุกรูปแบบของห้องเผาไหม้และจะลดลงตาม X/D ที่เพิ่มขึ้นโดยความเร็วสูงสุดเท่ากับ 43.9 m/s จากห้อง

เผาไหม้ในรูปแบบที่ 2 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 180 องศา)

จากรูปที่ 10 แสดงผลของความเร็วเฉลี่ยและอุณหภูมิของเจ็ทลมร้อนที่ระยะ $X/D=1$ โดยรูปแบบของห้องเผาไหม้ที่ต่างกันแต่ละค่าที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ไว้ที่ 29.81 ลิตรต่อนาที พบว่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 358.23°C จากห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 3 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 90 องศา) และความเร็วเฉลี่ยของเจ็ทลมร้อนสูงสุดอยู่ที่ 41 m/s จากห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 4 (มีทางเข้าอากาศทั้งหมดสามทางเรียงติดกัน) จะเห็นว่าผลของการเพิ่มจำนวนท่อทางเข้าอากาศส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยและอุณหภูมิของเจ็ทลมร้อนเพิ่มสูงขึ้นเทียบกับทางเข้าอากาศแบบท่อเดียว

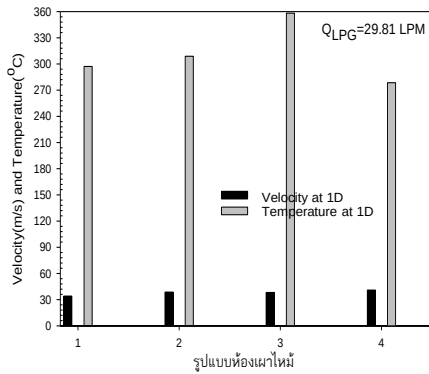


รูปที่ 8 อุณหภูมิเมื่อรูปแบบของห้องเผาไหม้เปลี่ยนไป



รูปที่ 9 ความเร็วเฉลี่ยของเจ็ทลมร้อนเมื่อรูปแบบห้องเผาไหม้เปลี่ยนไป

TSF-2011



รูปที่ 10 ความเร็วเฉลี่ยและอุณหภูมิของเจ็ทลมร้อนเมื่อรูปแบบห้องเผาไหม้เปลี่ยนไป

4.3 ผลของความดันและความถี่ในห้องเผาไหม้และท่อส่ง(Tailpipe)

จากรูปที่ 11 และรูปที่ 12 เป็นผลของความดันที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้โดยคงที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ไว้ที่ 29.81 ลิตรต่อวินาที พบว่าผลต่างของความดันสูงสุดอยู่ที่ 5.21 Bar อยู่ที่ห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 3 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 90 องศา) และรูปแบบที่ 2 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 180 องศา) ความดันสูงสุดอยู่ที่ 2.61 Bar โดยห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 4 (มีทางเข้าอากาศทั้งหมดสามทางเรียงติดกัน) และความเป็น Vacuum สูงสุด -3.06 Bar โดยห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 3 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 90 องศา) จากผลของความดันพบว่าการเพิ่มจำนวนท่อทางเข้าอากาศมีผลให้ความดันในห้องเผาไหม้มีค่าสูงขึ้นจากท่อเดียวเป็นสองท่อและสามท่อตามลำดับ

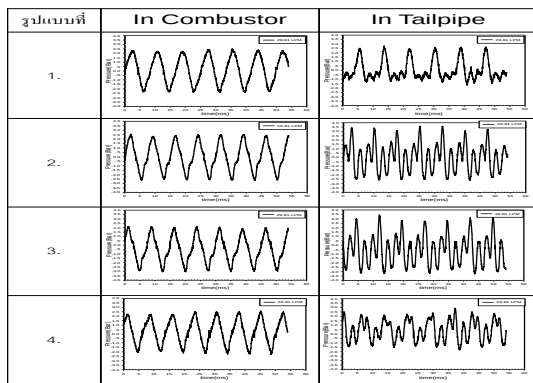
จากรูปที่ 11 และรูปที่ 13 เป็นผลของความดันที่เกิดขึ้นในท่อส่ง (Tailpipe) โดยใช้อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG 29.81 ลิตรต่อวินาที พบว่าผลต่างความดันในท่อส่ง (Tailpipe) สูงสุดอยู่ที่ 6.7 Bar โดยห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 3 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 90 องศา) ความดันสูงสุดอยู่ที่ 3.6 Bar โดยห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 2 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 180 องศา) และความเป็น Vacuum สูงสุดในท่อส่งอยู่ที่ -3.27 Bar โดยห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 3 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 90 องศา) จากผลของความดันในท่อส่งพบว่าการเพิ่มจำนวนท่อ

ทางเข้าอากาศจากท่อเดียวเป็นสองท่อและสามท่อมีผลให้ความดันในท่อส่งเพิ่มขึ้น

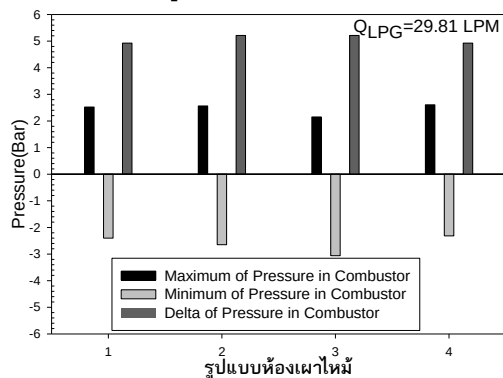
จากรูปที่ 14 และรูปที่ 15 เป็นผลของความถี่หลักที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้โดยคงที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ไว้ที่ 29.81 ลิตรต่อวินาที จากการวิเคราะห์โดย Fast Fourier transform พบว่าความถี่หลักของห้องเผาไหม้ทั้ง 4 รูปแบบมีค่าดังนี้ รูปแบบที่ 1 (มีทางเข้าอากาศเดียว) 127.5 Hz รูปแบบที่ 2 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 180 องศา) 129.5 Hz รูปแบบที่ 3 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 90 องศา) 130.5 Hz และรูปแบบที่ 4 (มีทางเข้าอากาศทั้งหมดสามทางเรียงติดกัน) 134.8 Hz จากผลการวิเคราะห์ความถี่ในห้องเผาไหม้ทำให้ทราบว่าการเพิ่มจำนวนท่อทางเข้าอากาศจากท่อเดียวเป็นสองท่อและสามท่อส่งผลให้ความถี่หลักในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น

รูปที่ 16 และรูปที่ 17 เป็นผลของความถี่ย่อยที่เกิดขึ้นในท่อส่ง (Tailpipe) โดยใช้อัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เท่ากับ 29.81 ลิตรต่อวินาที จากการวิเคราะห์ด้วย Fast Fourier transform พบว่าความถี่ย่อยในแต่ละรูปแบบของห้องเผาไหม้มีอยู่ด้วยกันสามความถี่ย่อย โดยความถี่ลำดับที่ 1 มีอยู่สี่ความถี่จาก 4 รูปแบบของห้องเผาไหม้คือ 127.5 Hz , 129.5 Hz , 130.5 Hz และ 134.8 Hz ตามลำดับความถี่ย่อยลำดับที่ 2 มีอยู่ด้วยกันสี่ความถี่ย่อยคือ 238.9 Hz , 277.5 Hz , 260.9 Hz และ 269.7 Hz ตามลำดับ และความถี่ย่อยลำดับที่ 3 มีอยู่ด้วยกันสี่ความถี่ย่อยคือ 366.4 Hz , 407.1 Hz , 391.3 Hz , และ 421.4 Hz ตามลำดับ ผลของความถี่ย่อยลำดับที่ 1 ในท่อส่ง (Tailpipe) มีค่าเท่ากับความถี่หลักที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้และพบว่าการเพิ่มจำนวนท่อทางเข้าอากาศที่ห้องเผาไหม้จากท่อเดียวเป็นสองท่อและสามท่อส่งผลให้ความถี่ย่อยที่เกิดขึ้นในท่อส่งมีค่าเพิ่มขึ้น

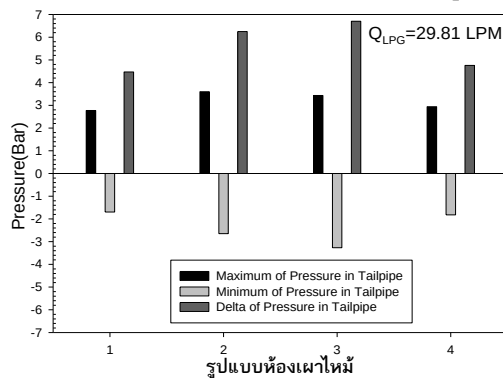
TSF-2011



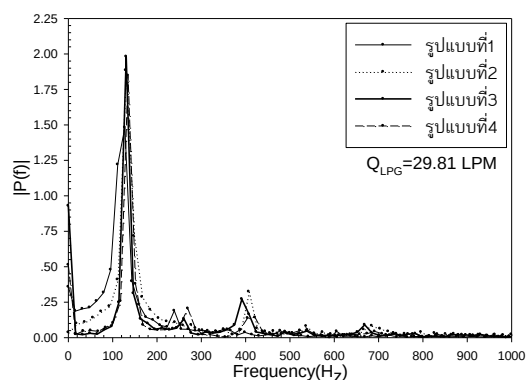
รูปที่ 11 ความดันในห้องเผาไหม้และในท่อส่ง (Tailpipe) โดยรูปแบบของห้องเผาไหม้ที่เปลี่ยนไป



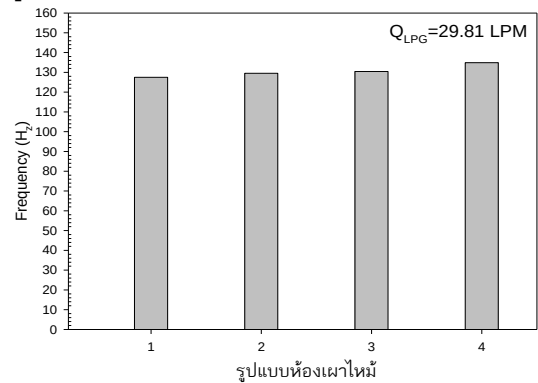
รูปที่ 12 ความดันสูงสุด ความดันต่ำสุดและผลต่างความดันที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ในแต่ละรูปแบบ



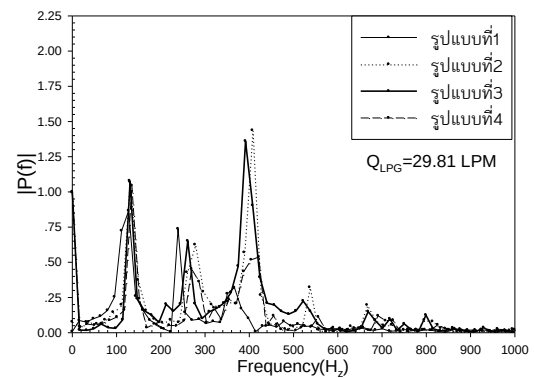
รูปที่ 13 ความดันสูงสุด ความดันต่ำสุด และผลต่างความดันที่เกิดขึ้นในท่อส่ง (Tailpipe) ในแต่ละรูปแบบของห้องเผาไหม้



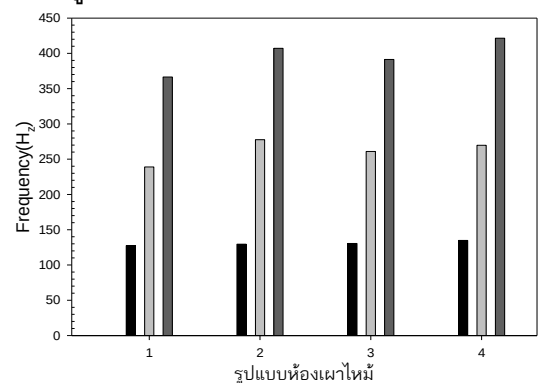
รูปที่ 14 ความถี่หลักที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ในแต่ละรูปแบบของห้องเผาไหม้



รูปที่ 15 ความถี่หลักในห้องเผาไหม้ในแต่ละรูปแบบของห้องเผาไหม้



รูปที่ 16 ความถี่ย่อยที่เกิดขึ้นในท่อส่ง (Tailpipe) ในแต่ละรูปแบบของห้องเผาไหม้



รูปที่ 17 ความถี่ย่อยที่เกิดขึ้นในท่อส่ง (Tailpipe) ในแต่ละรูปแบบของห้องเผาไหม้ ที่ $Q_{LPG}=29.81$ ลิตรต่อวินาที

TSF-2011

5.สรุปผลการศึกษา

(1) สำหรับระดับความดันเสียงสูงสุดในแต่ละรูปแบบของห้องเผาไหม้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงของแก๊สLPG ที่เพิ่มขึ้น

(2) สำหรับความเร็วเฉลี่ยที่วัดได้จะสูงที่สุดห่างจากปากทางออกเป็นระยะ 2 เท่าของขนาดท่อส่ง (Tailpipe) เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่ให้โมเมนตัมสูงที่สุดและห่างจากการรบกวนเนื่องจากการไหลกลับของเปลวไฟในขณะที่เกิดสภาวะการระเบิดรอบถัดไป

(3) ผลของการเพิ่มท่อทางเข้าอากาศที่ห้องเผาไหม้จากท่อเดียวเป็นสองท่อและสามท่อมีผลให้ความเร็วเฉลี่ยของเจ็ทลมร้อน อุณหภูมิของเจ็ทลมร้อน ความดันในห้องเผาไหม้ ความดันในท่อส่ง ความถี่ในห้องเผาไหม้ และ ความถี่ย่อยในท่อส่ง (Tailpipe) มีค่าเพิ่มขึ้น

(4) ผลของการเพิ่มท่อทางเข้าอากาศทำให้ความเร็วเฉลี่ยของเจ็ทลมร้อนเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากผลของความดันในท่อส่ง (Tailpipe) และความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากห้องเผาไหม้รูปแบบที่ 2 (มีทางเข้าอากาศ 2 ทางห่างกัน 180 องศา) โดยความดันในท่อส่งเท่ากับ 3.6 Bar ซึ่งสูงกว่าห้องเผาไหม้รูปแบบอื่นๆทำให้ความเร็วที่ออกจากปากทางออกมีค่าสูง (โดยความเร็วเฉลี่ยพิจารณาที่ระยะ $X/D=2$)

(5) ผลของการเพิ่มท่อทางเข้าอากาศที่ห้องเผาไหม้ทำให้อุณหภูมิของเจ็ทลมร้อนเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากผลของความถี่ย่อยในท่อส่งและความถี่หลักในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Kudra, T. and Mujumdar, A. S., 2009, Pulse combustion drying, In Advanced Drying Technologies, 2nd Edition, Taylor&Francis, pp.225-261.

[2] B.T., Zinn, 1986, Applications of pulse combustion in industry, In Industrial Combustion Technologies, M.A. Lukasiewicz, Ed., American Society of Metals, Warren, PA, pp. 55-61.

[3] Zinn, B.T., 1996, Pulse combustion applications: past, present and future, In Unsteady Combustion, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 113-137.

[4] Jambunathan, K., Lai, E., Moss, M.A., Button, B.L., 1992, A review of heat transfer data for single circular jet impingement, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol.13, pp. 106-115.

[5] Viskanta, R., 1993, Heat transfer to impinging isothermal gas and flame jets, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol.6, pp.111-134.

[6] Vejrazka, J., Tihon, J., Mart, P. and Sobolik, V., 2005, Effect of an external excitation on the flow structure in a circular impinging jet, Physics of Fluids, Vol. 17, 105102

[7] Keller, J.O., Eibeck, P.A., Bramlette, T.T., and Bar, P.K., 1993, Pulse combustion: tailpipe exit jet characteristics, Combustion Science and Technology, Vol. 94, pp. 167-192.

[8] Eibeck, P.A., Keller, J.O., Bramlette, T.T., and Sailor, D.J., 1993, Pulse combustion: impinging jet heat transfer enhancement, Combustion Science and Technology, Vol. 94, pp. 147-165.