

ศึกษาคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ภายในปริมาตรจำกัดภายใต้สภาวะการหมุนควง แบบอุณหภูมิคงที่

Study of Aerodynamic Characteristics in a Confined Isothermal Swirling flow

ปรเมศ อาราม¹, มงคล พฤษุมวกุลชัย¹, สุริยา ทองคำ¹, พิชัย อัษฎมงคล², อนรรักษ์ อรรถสิทธิ์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 Email: anurak@ku.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขต องค์กรักษ์

ถนนรังสิต-นครนายก คลอง 16 อำเภอองค์กรักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

โทรศัพท์ 0-2664-1000 โทรสาร 0-3732-2616 E-mail: pichaias@yahoo.co.uk

Porrarnade Aram¹, Monkol Phruethiworakulchai¹, Suriya Thongkam¹, Pichai Asadamongkon² and Anurak Atthasit¹

¹Department of Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University,

Bangkheng, Bangkok 10900, Thailand

Tel: 0-29428555 ext 1719, Fax: 0-2549-3422, Email: anurak@ku.ac.th

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Aongkarak campus,

Rangsit-Nakhonnayok St., Khong 16, Aongkarak, Nakhonnayok 26120

Tel: 0-2664-1000, Fax: 0-3732-2616, E-mail: pichaias@yahoo.co.uk

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการไหลแบบหมุนควงต่อการผสมในระดับ Large scale ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงก่อนทำการจุดระเบิดภายในห้องเผาไหม้ โดยทำการแทนที่เชื้อเพลิงด้วยอากาศที่มีการเปรียบเทียบด้วยค่าของเลขโบลต์เดียวกัน ในการศึกษาเบื้องต้นอยู่ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ โดยทำการวัดความเร็วของกระแสการไหลภายในห้องเผาไหม้ด้วยวิธี Particle Image Velocimetry (PIV) แบบ 2 มิติ สนามการไหลที่ได้ทำการศึกษาภายในห้องทดสอบมีต้นกำเนิดอากาศมาจาก 2 แหล่ง คือ อากาศจากตัวสร้างกระแสอากาศแบบหมุนควงและเจ็ทอากาศบริเวณตรงกลางตัวสร้างกระแสการไหลแบบหมุนควง การทดลองได้กระทำกับความแรงของการหมุนควง 3 ระดับ คือ 0.2 0.6 และ 1.2 ผลการศึกษาเชิงคุณภาพได้พบว่าการไหลแบบหมุนควงส่งอิทธิพลเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลย้อนกลับ 2 บริเวณ คือ บริเวณตรงกลางห้องเผาไหม้ที่เรียกว่า Central Toroidal Recirculation Zone (CTRZ) และบริเวณตรงมุมของห้องเผาไหม้ที่เรียกว่า Corner Recirculation Zone (CRZ) การศึกษาเชิงปริมาณได้วิเคราะห์ขนาดความแตกต่างของความเร็วระหว่างกระแสอากาศหมุนควงและเจ็ทอากาศที่ตำแหน่งเดียวกัน โดยที่ระดับความแตกต่างของความเร็วจะสูงในบริเวณที่เกิดการไหลย้อนกลับตรงมุมห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าการผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศจะสูงในบริเวณนี้ด้วย ที่ระดับความแรงของการหมุนควง 0.6 ส่งผลให้มีการเพิ่มบริเวณ

การผสมบริเวณเขตผิวห้องเผาไหม้เหมาะสมที่สุด ส่วนระดับความแรงของการหมุนควง 1.2 พบว่าการบานออกของกระแสหมุนควงเร็วเกินไปและกระแสอากาศไหลย้อนกลับมีขนาดความเร็วแตกต่างที่ต่ำลงจึงลดศักยภาพการผสมบริเวณเขตผิวห้องเผาไหม้ลงไป

Abstract

Studied the effect of swirling to the large-scale mixing of air and fuel in a dump combustor before a reaction. It was assumed that the large-scale mixing of air and fuel was similar to that of air and air; hence this experiment studied only the large-scale mixing of a swirling air jet coming out from a swirler and non swirling air jet coming out from a fuel injector at a room temperature and an atmosphere pressure. Swirl numbers were set to be 0.2, 0.6 and 1.2 in the experiment. Velocity fields were measured by a non-intrusive two-component planar particle image velocimetry (PIV) system. The result qualitatively suggested that the swirl induced two recirculation zones i.e. a recirculation zone on the axial of the combustor, called the central toroidal recirculation zone (CTRZ), and the recirculation zones at the upstream corners of the combustor, called the corner recirculation zone (CRZ). Quantitative study focused on the mixing activity quantified the

velocity difference between the swirling jet and the non-swirling jet at the same location. The corner recirculation zone has a large velocity difference; indicating that the mixing activity is high in that zone. Furthermore, the swirl number of 0.6 produces the best mixing as indicated by the largest velocity difference in the corner recirculation zone. The spreading rate of the swirling jet at the swirl number of 1.2, on the contrary, is too fast that the velocity difference in the CTRZ is drastically reduced; reducing the mixing activity in the corner recirculation.

1. บทนำ

ในการพัฒนาเครื่องยนต์กังหันก๊าซจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจกับลักษณะการไหลของของไหลที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อผลการผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิง การผสมจำเป็นต้องอาศัยการไหลแบบปั่นป่วนที่สูงและมีการไหลแบบหมุนวนย้อนกลับ ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างการไหลแบบปั่นป่วนถูกนำมาประยุกต์ใช้มากขึ้นเพื่อที่จะทำให้มั่นใจว่าการผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเพิ่มเสถียรภาพในการติดไฟซึ่งจะส่งผลทำให้ห้องเผาไหม้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและลดการใช้เชื้อเพลิง

การศึกษาลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ภายในห้องเผาไหม้ โดยเฉพาะการไหลแบบหมุนวนมีความจำเป็นที่จะนำไปใช้ในการออกแบบและเพิ่มประสิทธิภาพของห้องเผาไหม้ซึ่งสามารถศึกษาได้จาก Beer และ Chigier [2] Greitzer และคณะ [3] Lefebvre [4] และ Schlüter [5]

Wicker และ Eaton [6] ได้แสดงให้เห็นถึงข้อดีของการใช้ตัวสร้างการไหลแบบหมุนวนซึ่งทำให้การกระจายตัวของอากาศเกิดอย่างรวดเร็วและช่วยให้เกิดการผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิงดีขึ้น Sadd A.Ahmed [7] แสดงให้เห็นว่าการไหลแบบหมุนวนจะทำให้เกิดการผสมกันที่ดี H.Altgeld [8] ได้ทำการศึกษาผลของการไหลแบบหมุนวนที่เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการผสม โดยกล่าววาระดับของการปั่นป่วนในบริเวณซัดผิวและกึ่งกลางห้องเผาไหม้ที่มีการฉีดของกระแสอากาศและเชื้อเพลิงพร้อมกันทั้ง 2 flux จะมีค่าสูงกว่าที่มีการฉีดเฉพาะกระแสอากาศผ่านตัวป่วนอากาศเท่านั้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าบริเวณซัดผิวและกึ่งกลางจะมีการผสมกันของกระแสอากาศและเชื้อเพลิงที่ดีขึ้น ซึ่งเป็นเหตุผลที่สำคัญที่จะทำการศึกษารวมกันของกระแสอากาศ 2 flux ดังกล่าว ที่มีระดับของการหมุนวนที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ระดับของการหมุนวนที่เหมาะสมที่สุดต่อการผสมภายในห้องเผาไหม้ สำหรับเทคนิคการวัดแบบไม่ทำลายกระแสของการไหล เช่น Particle Image Velocimetry (PIV) ที่สามารถวัดกระแสการไหลแบบ 2 มิติ ศึกษาได้จาก [9, 10] ได้ถูกนำมาใช้สำหรับวัดความเร็วของกระแสอากาศภายในห้องทดสอบ อันส่งผลถึงความสามารถในการผสมของอากาศ 2 กระแสดังกล่าว

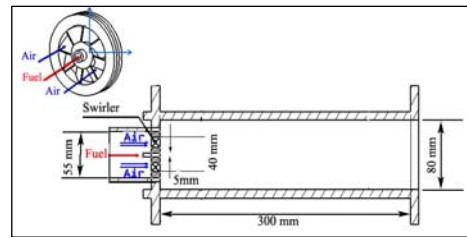
2 การเตรียมการทดลอง

2.1 แบบจำลองห้องเผาไหม้

แบบจำลองห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการศึกษาเป็นลักษณะกล่องสี่เหลี่ยมตั้งรูปที่ 1 โดยแบ่งส่วนประกอบออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1.1 ทางเข้า ทำจากท่อ PVC ที่มีความยาว 150 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 50.8 mm ภายในท่อ PVC ที่บริเวณทางออกมีตัวสร้างการไหลแบบหมุนวนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ 40 mm และ 56 mm ตามลำดับ

2.1.2 ห้องเผาไหม้ มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 80x80 mm ยาว 300 mm ทำจากแผ่นอะคริลิกใสหนา 10 mm ซึ่งถูกออกแบบเพื่อให้สามารถวัดความเร็วของของไหลใน 2 มิติ ด้วยวิธี PIV



รูปที่ 1 แบบจำลองห้องเผาไหม้

2.2 ตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน

การออกแบบตัวสร้างการไหลแบบหมุนวนให้มีความเหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพของห้องเผาไหม้ที่สูงที่สุดศึกษาได้จาก [4, 11, 12] โดยที่ขนาดของมุม จำนวนและขนาดของใบพัด จะส่งผลถึงความแรงของการหมุนวนและบ่งบอกถึงขนาดของการไหลวนกลับของกระแสอากาศตรงกลางห้องเผาไหม้

ตัวเลขการหมุนวนจะถูกแนะนำโดย Chigier และ Beer [13] โดยที่ความรุนแรงของการไหลแบบหมุนวนจะบ่งบอกด้วยตัวเลขสวิร์ล (S_w) ซึ่งการไหลภายในห้องเผาไหม้จะถูกนิยามด้วยอัตราส่วนของโมเมนตัมเชิงมุม (G_θ) ต่อโมเมนตัมเชิงเส้น (G_x) ทารด้วยคุณสมบัติเชิงความยาว (ในที่นี้คือรัศมีรัศมีภายในตัวสร้างการหมุนวน " R_{sw} ")

$$S_w = \frac{G_\theta}{R_{sw} \times G_x} \quad (1)$$

$$G_\theta = \int_0^R W r \rho U^2 2\pi r dr, \quad G_x = \int_0^R U \rho U^2 2\pi r dr \quad (2)$$

โดยที่ U และ W คือความเร็วตามแนวแกนและแนวสัมผัสรัศมีตามลำดับ

โดยที่ Beer และ Chigier [2] ได้ทำการประยุกต์นำ Guide vane cascade ในการไหลผ่าน annular swirler โดยที่มีรัศมีของดุม (R_{hub}) และรัศมีรัศมีภายในตัวสร้างการหมุนวน (R_{sw}) ซึ่งสามารถที่จะแสดงได้ดังรูปที่ 2 ดังนั้นจะได้ว่า

$$G_\theta = \int_{R_{hub}}^{R_{sw}} W r \rho U^2 2\pi r dr \quad (3)$$

สำหรับกลีบใบพัดที่บางมาก ๆ และมีความยาวคอรัตและมุมที่คงที่ การกระจายตัวของความเร็วตามแนวแกนจะสม่ำเสมอทั้งหน้าตัด ดังนั้น

$$G_\theta = 2\pi \rho U_0^2 \tan \theta \frac{R_{sw}^3 - R_{hub}^3}{3} \quad (4)$$

และ

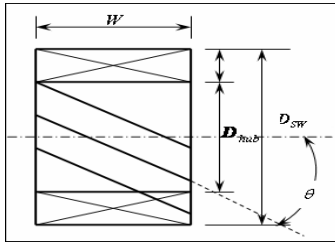
$$G_x = \pi \rho U_0^2 (R_{sw}^2 - R_{hub}^2) \quad (5)$$

อาจจะนำมาเขียนเป็นความสัมพันธ์ว่า

$$G_\theta = G_x \tan \theta \frac{2}{3} \left[\frac{1 - (R_{hub} / R_{sw})^3}{1 - (R_{hub} / R_{sw})^2} \right]$$

หรือ

$$S_w = \frac{2}{3} \left[\frac{1 - (D_{hub} / D_{sw})^3}{1 - (D_{hub} / D_{sw})^2} \right] \tan \theta \quad (6)$$



รูปที่ 2 แสดง Axial Swirler

โดยที่

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกแกนกลางหัวฉีดเจ็ท (D_{hub}) = 15 mm

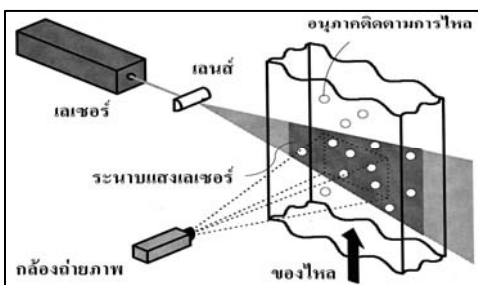
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในตัวสร้างการหมุนควง (D_{sw}) = 40 mm

รัศมีภายนอกตัวสร้างการหมุนควง (R) = 28 mm

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวัดค่าความเร็วของกระแสอากาศภายในห้องทดสอบที่ไหลผ่านตัวหมุนควงอากาศและกระแสการไหลอากาศที่ผ่านเจ็ทตรงกลางตัวหมุนควงอากาศที่มีตัวเลขสเวิร์ล 0.2, 0.6 และ 1.2

2.3 Particle Image Velocimetry

Particle Image Velocimetry เป็นเทคนิคการวัดความเร็วชนิดที่ไม่มีกรอบการไหล โดยทำการวัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดเล็ก หรืออนุภาคติดตามการไหลที่ใส่ร่วมกับของไหลดังรูปที่ 3 ซึ่งมีหน้าที่ในการสะท้อนแสงเมื่อได้รับระนาบของแสงเลเซอร์ โดยตำแหน่งของอนุภาคที่เวลาต่างๆจะถูกบันทึกโดยการถ่ายภาพด้วยความเร็วสูง ทำให้เราสามารถวัดการกระจัดของอนุภาคขนาดเล็กที่ไปกับของไหลได้ทำให้เราวัดความเร็วของการไหลได้จากสมการที่ (7)



รูปที่ 3 การวัดความเร็วอากาศด้วยวิธี Particle Image Velocimetry

$$speed = v(t) = \frac{dis \tan ce}{time} = \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (7)$$

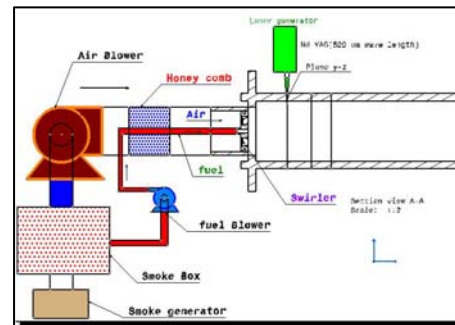
ในการทดลองครั้งนี้เราใช้ PIV ที่ผลิตโดยบริษัท TSI จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตตองครุภ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์รุ่น Mini YAG12 กำเนิดแสงเขียวที่มีความยาวคลื่น 529 nm กล้องถ่ายภาพ Nikon รุ่น 630046 PIVCAM ซึ่งมีระยะเวลาในการเปิดหน้ากล้อง 255 μs และ อัตราการถ่ายภาพ 30 Hz ตัวควบคุมการทำงานของกล้องถ่ายภาพและเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ให้ทำงานพร้อมกัน รุ่น Ver 7.00 06/13/00 และคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผล

2.4 การกำหนดอัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิง

ได้นำเงื่อนไขอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศของ สุรียาทองคำ และ อรรถผล เจริญผล[1] มาคำนวณหาอัตราการไหลใหม่โดยทำการเปรียบเทียบตัวเลขเรย์โนลด์ ทำให้ได้อัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงเป็น 4.07 m³/min และ 0.3 m³/min และได้ทำการทดลองโดยแทนเชื้อเพลิงด้วยอากาศที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน และทำการเทียบค่าของเรย์โนลด์ในการไหลของเชื้อเพลิงด้วยอากาศดังกล่าว

2.5 ชุดทดลอง

เมื่อมีการทำการออกแบบส่วนประกอบแต่ละส่วนแล้วได้นำมาทำการติดตั้งชุดทดลองตามแผนผังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อที่จะทำการศึกษาผลของอากาศพลศาสตร์ที่ไหลภายในแบบจำลองห้องเผาไหม้

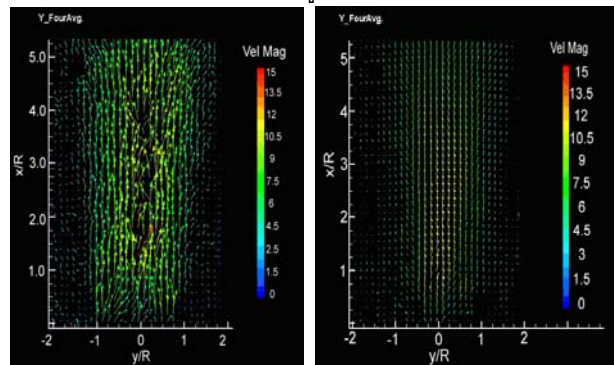


รูปที่ 4 แสดงชุดทดลองอากาศพลศาสตร์

3 ผลการทดลองและวิจารณ์

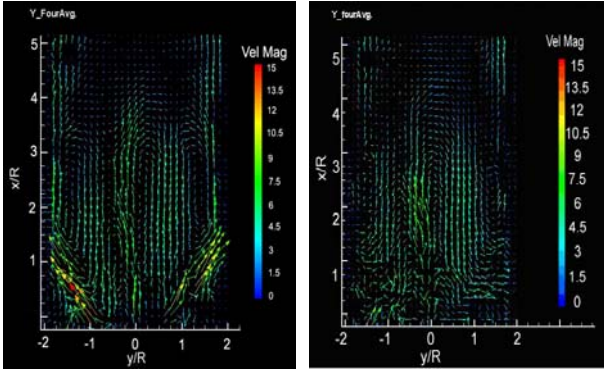
3.1 การศึกษาสนามการไหลของอากาศและเชื้อเพลิง

สนามการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงที่ได้รับอิทธิพลมาจากตัวสร้างการไหลแบบหมุนควงภายในห้องทดสอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ โดยที่สนามการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงนั้นได้มาจากการถ่ายภาพด้วยเทคนิค PIV แสดงดังรูปที่ 5



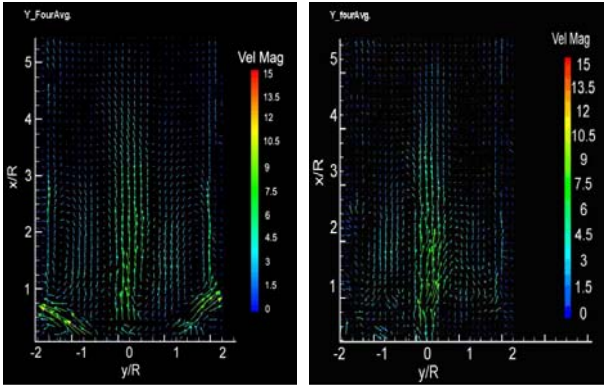
5(a)

5(b)



5(c)

5(d)



5(e)

5(f)

รูปที่ 5 สนามการไหลของของไหลภายในห้องเผาไหม้ a) ของอากาศ $S_w = 0.2$ b) ของเชื้อเพลิง $S_w = 0.2$ c) ของอากาศ $S_w = 0.6$ และ d) ของเชื้อเพลิง $S_w = 0.6$ e) ของอากาศ $S_w = 1.2$ f) ของเชื้อเพลิง $S_w = 1.2$

จากสนามของการไหลที่ได้จากรูปที่ 5(a), 5(c), 5(e) และ 5(b), 5(d), 5(f) จะแสดงให้เห็นถึงสนามการไหลของกระแสาอากาศที่ไหลผ่านตัวสร้างการไหลแบบหมุนควงและกระแสาอากาศที่ไหลผ่านเจ็ทตรงกลางตัวสร้างการไหลแบบหมุนควงตามลำดับ ที่มีความแตกต่างของความรุนแรงของการหมุนควง โดยที่รูป 5(a) และ 5(b) แสดงสนามการไหลที่มีค่าเลขเวิร์ล 0.2 ซึ่งเป็นค่าเลขเวิร์ลที่ต่ำ (weak swirl) และรูปที่ 5(c), 5(d) และ 5(e), 5(f) แสดงสนามการไหลที่มีค่าเลขเวิร์ล 0.6 และ 1.2 ซึ่งเป็นค่าเลขเวิร์ลที่สูง (strong swirl) [4]

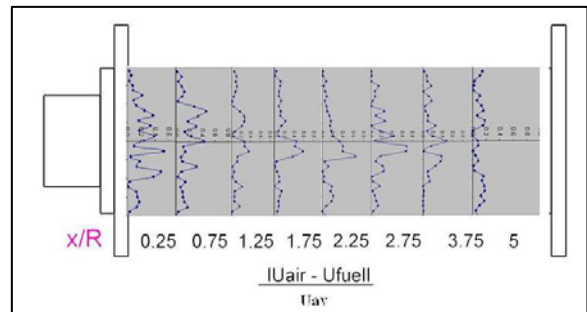
จากรูปที่ 5 จะสังเกตว่าเมื่อตัวเลขเวิร์ลมีค่าเท่ากับ 0.2 สนามการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงยังไม่เกิดการไหลหมุนวนกลับแต่เมื่อตัวเลขเวิร์ลมีค่าสูงขึ้น เป็น 0.6 จะทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนย้อนกลับเกิดขึ้น จึงเป็นบริเวณที่มีโอกาสผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิงเนื่องจากอากาศและเชื้อเพลิงมีเวลาผสมกันนานมากขึ้นแต่เมื่อเพิ่มตัวเลขเวิร์ลจนเป็น 1.2 การไหลแบบหมุนวนย้อนกลับและการบานออกของกระแสาอากาศหมุนควงมีมุมที่กว้างขึ้นจึงทำให้ความยาวของกระแสาการหมุนวนกลับลดลงและเลื่อนเข้ามาใกล้ส่วนต้นของห้องเผาไหม้ ส่งผลให้การผสมของอากาศและเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่จะเกิดได้เร็ว

3.2 การศึกษาการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง

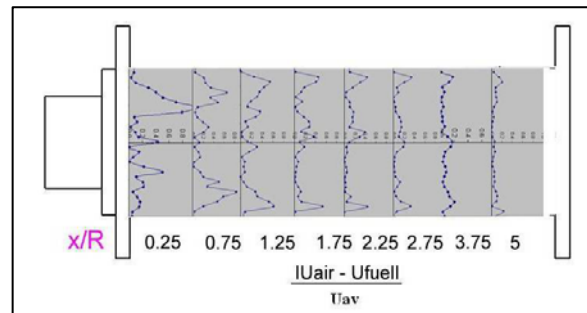
ในการศึกษาการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ในการทดลองครั้งนี้ จะพิจารณาจากความเร็วที่แตกต่างกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในพื้นที่เล็กๆภายในห้องเผาไหม้ (Integrate Area) แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการพาในแนวแกนโดยกระแสาอากาศหมุนควงซึ่งมีความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน เท่ากับ 11.38 m/s ดังนั้นในการศึกษาค้นนี้จะแสดงเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับความสามารถในการผสมต่อความสามารถในการพา $((U_{air}-U_{fuel})/U_{av})$ เป็นตัวบ่งบอกถึงโอกาสของบริเวณที่จะมีการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 6-8 ความสัมพันธ์ของศักยภาพการผสมต่อการพาภายในห้องเผาไหม้จะมีลักษณะคล้ายกับผลการทดลองของ Beer และ Chigier [2] แต่จะต่างที่จะมีความเร็วที่มีลักษณะเป็นระฆังคว่ำเพิ่มขึ้นมาเนื่องจากในการทดลองมีการฉีดเชื้อเพลิงตรงกึ่งกลางของแบบจำลองห้องเผาไหม้

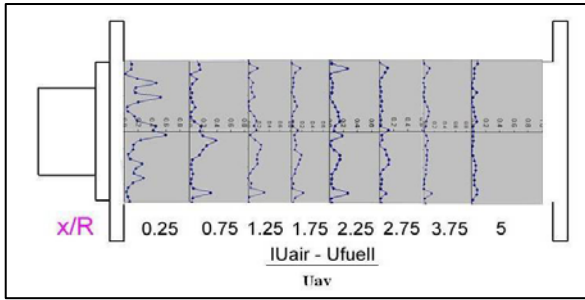
เมื่อเพิ่มตัวเลขเวิร์ลจะทำให้ศักยภาพในการผสมมีกระจายออกสู่ด้านข้างของห้องเผาไหม้มากขึ้นแต่หัดสั้นเข้าสู่ส่วนต้นของห้องเผาไหม้และจะมีความกว้างของบริเวณที่มีศักยภาพในการการผสมมากขึ้น กรณีที่ตัวสร้างการไหลแบบหมุนควงมีตัวเลขเวิร์ลต่ำ ความเร็วในช่วงของการผสมมีความเร็วสูงเนื่องจากไม่เกิดการไหลแบบหมุนวนย้อนกลับทำให้ไม่เหมาะแก่การติดไฟ แต่เมื่อตัวเลขเวิร์ลเพิ่มขึ้นความเร็วในบริเวณที่มีศักยภาพในการผสมจะมีค่าลดลงเนื่องจากเกิดการไหลแบบหมุนวนย้อนกลับในบริเวณด้านข้างของห้องเผาไหม้ซึ่งมีความสำคัญต่อการจุดติดไฟและทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องภายในห้องเผาไหม้



รูปที่ 6 ผลความแตกต่างของความเร็วของอากาศกับเชื้อเพลิงที่มี $S_w=0.2$



รูปที่ 7 ผลความแตกต่างของความเร็วของอากาศกับเชื้อเพลิงที่มี $S_w=0.6$



รูปที่ 8 ผลความแตกต่างของความเร็วของอากาศกับเชื้อเพลิงที่มี $Sw=1.2$

4. สรุป

เมื่อมีการเพิ่มระดับของการหมุนจนถึงค่า 0.6 จะทำให้กระแสอากาศเกิดการไหลวนกลับบริเวณตรงกลางห้องทดสอบและเมื่อค่าการหมุนเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ขนาดของกระแสการไหลวนกลับกว้างและเข้าไปใกล้ทางออกของอากาศหมุนมากขึ้น ในทำนองเดียวกันจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของการผสมต่อการพา ($(|U_{air}-U_{fuel}|/U_{av})$) ภายในห้องทดสอบจะมีความเหมาะสมต่อการจุดระเบิดที่สุดเมื่อค่าการหมุนคงเท่ากับ 0.6 เนื่องมาจากระดับของการผสมต่อการพาจะมีค่าที่สูงในบริเวณชั้นขีดผิวห้องทดสอบและมีความเร็วกระแสอากาศต่ำ ส่วนระดับความแรงของการหมุนคง 1.2 พบว่าการบานออกของกระแสหมุนคงเร็วเกินไป

เนื่องจากการทดลองได้ทำการวิเคราะห์การผสมในระดับ Large scale ซึ่งสามารถที่จะบอกแนวโน้มของการผสมได้ในระดับหนึ่ง งานในระดับต่อไปจะมีการทำการทดลองและวิเคราะห์การผสมในระดับ Small scale คือทำการวัดค่าของระดับความหนาแน่นของการปั่นป่วน (Turbulent Intensity) เพื่อยืนยันการผสมในระดับ Local ต่างๆและนำมาสนับสนุนสรุปดังกล่าวต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการโครงการนี้ได้รับการสนับสนุน การช่วยเหลือและการอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตองครักษ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุริยา ทองคำ และ อรรถพล เจริญผล, การออกแบบเบื้องต้นของห้องเผาไหม้เครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็ก, โครงการภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- [2] Beer, J. M. and Chigier, N. A., Combustion Aerodynamics, Applied Science Publishers LTD, 1972.
- [3] Greitzer, E. M., Tan, C. S. and Graf, M. B., Internal Flow: Concepts and Applications, Cambridge University Press, 2004.

- [4] Lefebvre A. H., Gas Turbine Combustion 2nd Ed., Taylor & Francis, Philadelphia, 1999.
- [5] Schlüter, J. U., Large Eddy Simulations of Flow and Mixing in Jets and Swirl Flows: Application to a Gas Turbine, Doctorat de L'I.N.P.T, 2002.
- [6] Wicker, R.B. and Eaton, J.K., Structure of a swirling, recirculating coaxial free jet and its effect on particle motion, International of Multiphase Flow, Volume 27, Issue 6, June 2001, Page 949-970.
- [7] Saad A.Ahmed, Velocity measurement and turbulence statistics of a confined isothermal swirling flow, Journal of Experimental Engineering Thermal and Fluid Science 17 (1998) 256-264.
- [8] H. Altgeld, W.P.Jones and J.Wilhelmi, Velocity Measurements in a Confined Swirl Driven Recirculating Flow, Journal of Experiments in Fluids 1, 73-78 (1983).
- [9] Development of Particle Image Velocimetry (PIV) Code, Aerospace Digital Library Homepage, 2000. <<http://www.adl.gatech.edu/archives/piv/piv.html>>.
- [10] Particle Image Velocimetry measurement principles, Dantec dynamics Home Page, 2007. <<http://www.dantecdynamics.com/Default.aspx?ID=820>>.
- [11] C.A. Martin, Aspects of the design swirlers as used in fuel injector for gas turbine combustors, ASME Paper 87-GT-139, 1987.
- [12] S. Fuji, K. Eguchi, M. Gomi, Swirling jet with and without combustion, AIAA-85-1103, 1985b.
- [13] N.A. Chigier, J.M. Beer, Velocity and static pressure distribution in swirling air jet issuing from annular and divergent nozzles, Journal of Basic Engineering 4 (1964) 788-796