สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งเป็น 5 ส่วน ส่วนแรกเป็นผลการศึกษาการกระจายตัวของปริมาณ scalar จากภาพ ส่วนที่สองเป็นผลการศึกษาการกระจายตัวของปริมาณ scalar ที่หน้าตัดต่างๆ ส่วนที่สามเป็นผลการศึกษาเส้นทางเดินของเจ็ต ส่วนที่สี่เป็นผลการศึกษาขอบของเจ็ต และส่วนสุดท้ายเป็นผลการศึกษาความสามารถในการผสมกันของ Jet กับ Crossflow (Flame length) โดยมีรายละเอียดดังนี้

PASSIVE SCALAR TECHNIQUE

สัญญาณ C_N หรือ $\overline{C_N}$ จากภาพ passive scalar จะแสดงอาณาบริเวณที่แพร่กระจายของเจ็ตทั้งหมด

ในงานวิจัยนี้ใช้ phenolphthalein ผสมกับสารละลายเบส NaOH เจือจาง 0.01 โมล/ลิตร มีสีแดงเป็นเจ็ต และ crossflow ใช้น้ำเปล่า

ACTIVE SCALAR TECHNIQUE

สัญญาณ C_N หรือ $\overline{C_N}$ จากภาพ active scalar จะแสดงถึงอาณาบริเวณที่เจ็ตยังผสมกับ Crossflow ได้ไม่ถึง stoichiometric ratio

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ phenolphthalein เป็น pH indicator ในการบอกถึงการทำปฏิกิริยากันทางโมเลกุล ในการทดลองต้องการเตรียมสารละลายเบส NaOH ให้ได้สารละลายเจือจาง 0.01 โมล/ลิตร และต้องการเตรียมสารละลายกรด HNO_3 ให้ได้สารละลายเจือจาง 0.01 โมล/ลิตร เพื่อให้ผสมกันที่ stoichiometric ratio 1:1 (ภาคผนวก ข) แล้วทำให้สารละลายที่ได้เปลี่ยนจากแดงเป็นใสไม่มีสี แต่จากการทดลองพบว่าในการไตเตรทจริงนั้น stoichiometric ratio ที่เกิดขึ้นจริงระหว่าง กรด:เบสเป็น 1.25:1

PASSIVE AND ACTIVE SCALAR TECHNIQUE

เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกันทำให้สามารถแบ่งแยกได้ระหว่างบริเวณที่มีการผสมกันในระดับโมเลกุลถึง Stoichiometric ratio ไปแล้วกับบริเวณที่ยังผสมกันไม่ถึง Stoichiometric ratio โดยผลต่างของอาณาบริเวณของ passive scalar technique กับ active scalar technique แสดงถึงอาณาบริเวณที่เจ็ตผสมกับ crossflow ถึง stoichiometric ratio ไปแล้ว

สัญญาณ extinction เฉลี่ย

เนื่องจาก phenolphthalein จะ absorb แสงสีเขียวมาก ในงานวิจัยนี้จึงนำสัญญาณแสงสีเขียวมาวิเคราะห์เป็นหลัก

4.1 Instantanenous, Mean, and Contour Images

Sideview

รูปที่ 4.1 ภาพถ่าย instantaneous และภาพเฉลี่ยจาก passive scalar technique แสดงบริเวณที่เจ็ตแพร่กระจายทั้งหมด พบว่า JICF จะมี penetration depth มากกว่าและสีของ phenolphthalein จางกว่ากรณี SJICF

รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย instantaneous และภาพเฉลี่ยจาก active scalar technique แสดงบริเวณที่เจ็ตยังผสมกับ crossflow ได้ไม่ถึง stoichiometric ratio จากภาพจะเห็นได้ว่าเจ็ตนั้นมีระยะทางไปตามทาง downstream ได้ไม่ไกลเท่า passive scalar technique เนื่องจากการผสมของเจ็ตตามแนว downstream ทำให้สีของ phenolphthalein หายไป เมื่อพิจารณาที่ JICF จะเห็นได้ว่าเจ็ตมี penetration depth มากกว่า และสัญญาณสีที่เห็นในภาพนั้นจางกว่ากรณี SJICF และ กรณีที่มี swirl สูงๆนั้นก็จะเห็นสีของ phenolphthalein นั้นเข้มกว่า

Topview

รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย instantaneous และภาพเฉลี่ยจาก passive scalar technique เมื่อพิจารณาที่ JICF จะเห็นว่าความเข้มของสัญญาณได้เอียงไปทางด้าน -z/rd ขณะที่กรณี SJICF นั้นเห็นสัญญาณสีเขียวที่เข้มที่สุดทางด้าน suction ทั้งนี้ จะได้เห็นชัดเจนกว่านี้ เมื่อดูในรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย instantaneous และภาพเฉลี่ยจาก active scalar technique จากภาพจะเห็นได้เนื่องจากการผสม เจ็ตจึงมีระยะทางไปตามทาง downstream ได้ไม่ไกลเท่า passive scalar technique และ กรณีเห็นสีของ phenolphthalein นั้นเจือจางพอๆกันทุกกรณี เมื่อพิจารณาที่สัญญาณสีเขียวที่เห็นในภาพพบว่าสัญญาณสีเขียวที่มีสัญญาณความเข้มสูงอยู่ทางด้าน suction ค่อนข้างชัดกว่า กรณีของ passive scalar technique

contour

รูปที่ 4.5-4.8 แสดง Contour ของ $\overline{C_N}$ ของสัญญาณสีเขียว โดยได้แสดงเส้นขอบของเจ็ตตามนิยามในหัวข้อที่ 3.4 พื้นที่ของ contour ในกรณี Passive scalar technique แสดงบริเวณของเจ็ตที่

แพร่กระจายออกไปทั้งหมด และ อินทิกรัลของ $\overline{C_N}$ บนพื้นที่นี้ แสดงปริมาณ scalar ทั้งหมดในบริเวณนั้น ในขณะที่พื้นที่ของ contour ในกรณี Active scalar technique แสดงบริเวณของเจ็ตที่ยังผสมไม่ถึงอัตราส่วนการผสมที่กำหนด (Stoichiometric ratio Crossflow:Jet = 1.25:1) และอินทิกรัลของ $\overline{C_N}$ บนพื้นที่นี้ แสดงปริมาณ scalar ของเจ็ตที่ยังผสมไม่ถึงอัตราส่วนการผสมที่กำหนด

รูปที่ 4.5 แสดงบริเวณของเจ็ตที่แพร่กระจายออกไปทั้งหมดจากภาพที่ด้าน Side view จาก Passive scalar technique พบว่าเมื่อพิจารณาด้วยคร่าวๆจะเห็นได้ว่าพื้นที่ของ $\overline{C_N}$ ที่มีอยู่เรียงจากค่ามากที่สุดไปน้อยสุดเป็นดังนี้ P*08≈P08>P05>P0

เมื่อพิจารณาที่บริเวณปากของเจ็ต จะพบว่า swirl ratio 0.8 มีอาณาบริเวณ ของ $\overline{C_N}$ มากกว่ากรณีไม่มี swirl และแผ่กว้างในแนว x/rd และ –x/rd ทำให้ดูเหมือนว่า ปากทางออกของเจ็ตนั้นกว้างประมาณ 0.5 rd ซึ่งกรณีไม่มี swirl นั้น อาณาบริเวณที่ปากเจ็ต เจ็ตแผ่กว้างในทิศ x/rd และ –x/rd เท่ากับความกว้างของปากเจ็ตคือ 0.25 rd

รูปที่ 4.6 แสดงบริเวณของเจ็ตที่ยังผสมกับ crossflow ยังไม่ถึง stoichiometric ของภาพถ่ายด้านข้างกรณี active technique เมื่อพิจารณาในช่วง near field พบบริเวณที่เหลืออยู่มีมากเรียงจากมากที่สุดไปน้อยสุดเป็นดังนี้ A08>A*08>A05>A0 ซึ่งสอดคล้องกับ รูปที่ 4.9 a) ว่าปริมาณ scalar ที่เหลืออยู่สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ A08>A*08>A05>A0 เมื่อพิจารณาที่ขอบของเจ็ต (y_L ถึง y_U) A0 และ A05 พบว่าขอบของเจ็ตจะบานออกอย่างต่อเนื่องจนถึง x/rd ประมาณ 3 ก็จะลู่เข้าหากันระหว่างขอบด้านนอก กับ ขอบด้านใน ขณะที่ขอบของเจ็ต A08 และ A*08 จะเริ่มลู่เข้าหากันที่ x/rd ประมาณ 5 บ่งชี้ว่าที่ far field นั้น swirl ratio 0.8 ยังคงมีปริมาณ scalar ที่มากกว่า swirl ratio 0.5 หรือ JICF

รูปที่ 4.7 บริเวณที่เจ็ตแผ่กระจายทั้งหมดของภาพถ่ายด้านบนจาก passive scalar technique เมื่อพิจารณาที่พื้นที่ที่มีค่าของระดับ $\overline{C_N}$ สูงสุดพบว่าในกรณีของ swirl ratio 0 นั้นพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ทางด้านทิศ -z/rd ขณะที่กรณีมี swirl นั้น พบว่าพื้นที่ที่มีค่าของระดับ $\overline{C_N}$ สูงสุดส่วนใหญ่อยู่ทางด้าน suction

รูปที่ 4.8 บริเวณที่เจ็ตผสมกับ crossflow ยังไม่ถึง stoichiometric ของภาพถ่ายด้านบนจาก active scalar technique เมื่อพิจารณาที่พื้นที่ที่มีค่าของระดับ $\overline{C_N}$ สูงสุดพบว่าในกรณีของ swirl ratio 0 นั้นพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ทางด้านทิศ z/rd ขณะที่กรณีมี swirl นั้น พบว่าพื้นที่ที่มีค่าของระดับ $\overline{C_N}$ สูงสุดส่วนใหญ่อยู่ทางด้าน suction

รูปที่ 4.9 a) ปริมาณ scalar ทั้งหมดที่มองเห็นได้ในทั้งสอง technique ซึ่งแสดงด้วย area integral ของ $\overline{C_N}$ b) ปริมาณ scalar ที่ได้ผสมถึง stoichiometric แล้ว ซึ่งแสดงด้วยผลต่างของ

area integral ของ $\overline{C_N}$ ของ passive และ active ของกรณี swirl ratio ต่างๆ ในที่นี้ได้ใช้ข้อมูลจาก 4.9 a) ของ passive ลบ active technique เมื่อพิจารณาที่รูปที่ 4.9 a) พบว่าปริมาณ scalar ที่เรียงจากค่ามากที่สุดไปน้อยสุดเป็นดังนี้ P08>P*08> P05>P0 ซึ่งสอดคล้องกับภาพ contour ในรูปที่ 4.5 และเมื่อพิจารณาสัดส่วนของ area integral ของ $\overline{C_N}$ ของ active ต่อ passive ในรูปที่ 4.9 c พบว่า Sr08>Sr*08>Sr0> Sr05

จากภาพถ่ายด้านบนของทั้ง active และ passive พบว่า พื้นที่ที่มี $\overline{C_N}$ สูงๆส่วนใหญ่วางตัวทางด้าน suction ซึ่งปริมาณ scalar นั้นคือผลรวมของ $\overline{C_N}$ ในพื้นที่ จึงสรุปว่า ด้าน suction มีปริมาณ scalar ที่มีค่า $\overline{C_N}$ สูงๆ อยู่มากกว่าทางด้าน pressure นอกเหนือจากนั้น เมื่อพิจารณาสัดส่วนของปริมาณ scalar ที่เหลืออยู่ (ตามรูป 4.9c) พบว่า Sr08> Sr*08> Sr0> Sr05

4.2 Traverse

รูปที่ 4.10 การพัฒนาตัวของเจ็ตในมุมมองภาพด้านข้างของ active และ passive เมื่อพิจารณาที่กรณี passive- JICF นั้นจะมีฐานที่โตขึ้นเมื่อ x/rd ไกลออกไปจากปากเจ็ต ขณะเดียวกันก็จะมีค่า $\overline{C_{N_T}}$ ($\overline{C_{N_T}}$ คือค่า $\overline{C_N}$ ที่มากที่สุดเมื่อดูตามแนว y/rd ณ ตำแหน่ง x/rd ใดๆ) ลดต่ำลงเช่นกัน เมื่อพิจารณาที่พื้นที่ใต้กราฟจะเห็นว่าจะมีพื้นที่ใต้กราฟใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณา SJICF พบว่าจะมีการพัฒนาตัวคล้ายกับ JICF ต่างที่มีค่า $\overline{C_{N_T}}$ ที่ต่างกัน คือเมื่อ swirl เพิ่มขึ้นทำให้มีค่า $\overline{C_{N_T}}$ สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาที่กรณี active กรณี JICF สังเกตเห็นว่าการพัฒนาตัวคล้ายกับ passive ต่างกันที่ความกว้างของฐานนั้นน้อยกว่าอันเนื่องมาจากการผสม และ $\overline{C_{N_T}}$ นั้นลดลงเร็วกว่า passive มาก เมื่อพิจารณาที่ SJICF พบว่าความกว้างของฐานพอๆกับ JICF แต่ $\overline{C_{N_T}}$ ในช่วง near field นั้นมีค่ามากกว่า JICF เมื่อไปที่ far field ไปไกลๆพบว่า $\overline{C_{N_T}}$ ลดลงไปเหลือใกล้เคียง JICF (รูป 4.20)

รูปที่ 4.11 $\overline{C_N}$ ที่ swirl ratio ต่างๆ ของ Passive technique ของภาพถ่ายด้านข้าง เมื่อพิจารณาที่ JICF ในช่วง near field นั้น พบว่าลักษณะ curve นั้น skew มาทางด้านในของเจ็ต (ด้านในของเจ็ตคือด้านที่อยู่ทางด้านที่มีทิศมาทาง -y/rd เมื่อจุดแบ่งระหว่างด้านในและนอกคือตำแหน่ง y/rd ที่มีค่า $\overline{C_{N_T}}$) ขณะที่ far field ไปไกลๆแล้วพบว่าลักษณะ curve นั้น skew ไปทางด้านนอกเจ็ต (ด้านนอกของเจ็ตคือด้านที่อยู่ทางด้านที่มีทิศมาทาง y/rd เมื่อจุดแบ่งระหว่างด้านนอกและในคือตำแหน่ง y/rd ที่มีค่า $\overline{C_{N_T}}$)

เมื่อพิจารณาที่ SJICF พบว่า swirl ทำให้ curve นั้นสมมาตร มีฐานที่กว้างพอๆกับ JICF แต่มีค่า $\overline{C_{N_T}}$ มากกว่า เมื่อ swirl มีค่าเพิ่มขึ้น $\overline{C_{N_T}}$ ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อดูไปไกลถึง far field SJICF ก็ยังคงลักษณะเช่นนี้อยู่ คือ มีฐานพอๆกับ JICF แต่ยังคงมีค่า $\overline{C_{N_T}}$ มากกว่า

รูปที่ 4.12 ผลของ swirl ที่มีต่อ $\overline{C_N}$ ของ Active technique ภาพถ่ายด้านข้าง เมื่อพิจารณาที่ JICF ในช่วง near field นั้น พบว่าลักษณะ curve มีรอยบากทางด้านในที่บริเวณยอดของ curve เมื่อไปที่ far field นั้น ลักษณะการกระจายตัวของ curve ค่อนข้างสมมาตร

เมื่อพิจารณาที่ SJICF พบว่า swirl ratio 0.5 ทำให้ curve นั้นสมมาตรในช่วง near field แต่เมื่อถึง far field ไปแล้วพบว่า curve ทำได้มี skew ไปทางด้านนอกของตัวเจ็ต ขณะที่ swirl ratio 0.8 มีลักษณะ curve คล้าย swirl ratio 0.5 แต่มีค่า $\overline{C_{N_T}}$ ที่มากกว่าเท่านั้น

รูปที่ 4.13 การพัฒนาตัวของเจ็ตในมุมมองภาพถ่ายด้านบน เมื่อพิจารณา Passive กรณี JICF พบว่า peak ของ curve ที่ x/rd ใดๆ อยู่ทางด้านที่ -z/rd กรณีของ P05 และ P08 นั้นมี peak ของ curve อยู่ทางทิศ –z/rd (suction)ขณะที่กรณี swirl หมุนสวนทาง P*08 ในช่วง near field นั้นค่า peak ของ curve อยู่ทางทิศ +z/rd (suction)แต่ที่ far field curve มีลักษณะเริ่มจะสมมาตรมากขึ้น

สำหรับกรณีของ active เมื่อพิจารณาที่ JICF พบว่า peak ของ curve ที่ x/rd ใดๆ อยู่ทางด้านที่ +z/rd แต่กรณีของ A05 และ A08 มี peak ของ curve อยู่ทางทิศ –z/rd (suction) ขณะที่กรณี swirl หมุนสวนทาง A*08 นั้นค่า peak ของ curve อยู่ทางทิศ +z/rd (suction)

รูปที่ 4.14 รูปถ่ายด้านบนแสดงการเปรียบเทียบค่า $\overline{C_N}$ ที่ตำแหน่ง x/rd เดียวกันของ passive เมื่อพิจารณาในกรณีของ P0 ค่า $\overline{C_{N_T}}$ และพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ทาง –z/rd อย่างเห็นได้ชัดขณะที่ P05 นั้นมี curve ที่คล้ายกับ P0 มาก แต่ $\overline{C_{N_T}}$ น้อยกว่าเท่านั้น แต่ P08 และ P*08 มีลักษณะ curve อยู่กึ่งกลางของแกน z/rd ต่างเพียงเล็กน้อยที่ค่าของ $\overline{C_{N_T}}$ ที่อยู่ทางด้าน –z/rd และ z/rd ไปไม่มาก

รูปที่ 4.15 รูปถ่ายด้านบนแสดงการเปรียบเทียบค่า $\overline{C_N}$ ที่ตำแหน่ง x/rd เดียวกันของ active เมื่อพิจารณาที่ค่า $\overline{C_{N_T}}$ สังเกตเห็นว่า ที่ x/rd 0.5 นั้น A0 มีค่าสูงที่สุดและอยู่ตรงกึ่งกลางหลังจากตำแหน่งนี้ไป A08 ก็มีค่ามากกว่าไปตลอด และทุกกรณีก็จะมีค่า $\overline{C_{N_T}}$ น้อยเหลือประมาณ 10% จากบริเวณ near field ประมาณ x/rd เท่ากับ 3 เป็นต้นไป

รูปที่ 4.16 ผลของ swirl ต่ออาณาบริเวณที่ผสมถึง stoichiometric ของภาพถ่ายด้านข้าง การผสมถึง stoichiometric พิจารณาจาก พื้นที่ใต้กราฟของ passive technique ลบกับพื้นที่ใต้กราฟของ actie technique

ในการพิจารณาการผสมนี้ จะพิจารณาแบ่งเป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณด้านนอก (outer region) และบริเวณด้านใน (inner region) โดยใช้ตำแหน่ง (y/rd) ของ $\overline{C_{N_T}}$ เป็นจุดแบ่งดังนั้น บริเวณด้านนอกนิยามเป็น บริเวณตั้งแต่ (y/rd) ของ $\overline{C_{N_T}}$ ไปทาง +y/rd (ออกจากผนัง) ในขณะที่ บริเวณด้านใน นิยามเป็นบริเวณตั้งแต่ (y/rd) ของ $\overline{C_{N_T}}$ ไปทาง –y/rd (เข้าสู่ผนัง) ตัวอย่างเช่น

บริเวณด้านนอกของ active หมายถึง บริเวณตั้งแต่ตำแหน่ง y/rd ของ $\overline{C_{N_T}}$ ของกรณี active ไปทาง +y/rd (ออกจากผนัง)

บริเวณด้านในของ passive หมายถึง บริเวณตั้งแต่ตำแหน่ง y/rd ของ $\overline{C_{N_T}}$ ของกรณี passive ไปทาง -y/rd (เข้าสู่ผนัง)

ในกรณีของ JICF พบว่า ตำแหน่ง $\overline{C_{N_T}}$ ของกรณี passive จะเยื้องไปทางขวาเมื่อเทียบกับตำแหน่ง $\overline{C_{N_T}}$ ของกรณี active และเมื่อพิจารณาที่พื้นที่ใต้กราฟพบว่าการผสมส่วนใหญ่เกิดขึ้นทางด้านนอกของ active

เมื่อพิจารณาที่ SJICF swirl ratio 0.5 ที่ตำแหน่ง $\overline{C_{N_T}}$ ของกรณี active กับตำแหน่ง $\overline{C_{N_T}}$ ของกรณี passive นั้นพบว่าอยู่ในตำแหน่งเดียวกันบนแกน y/rd ทั้งในช่วง near field และ far field และเมื่อพิจารณาที่พื้นที่ใต้กราฟพบว่าการผสมเกิดขึ้นทั้งด้านนอก และด้านในของ active ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาที่ SJICF swirl ratio 0.8 ที่ตำแหน่ง $\overline{C_{N_T}}$ ของกรณี active จะเห็นได้ว่าตำแหน่ง $\overline{C_{N_T}}$ ของกรณี passive ในช่วงแรกอยู่ตรงกันกับ $\overline{C_{N_T}}$ ของกรณี active คล้ายกรณี swirl ratio 0.5 แต่เมื่อไกลออกไปแล้วพบว่า ตำแหน่งของ $\overline{C_{N_T}}$ ของ passive ได้เยื้องไปทางขวาของ active คล้ายกรณี JICF และเมื่อพิจารณาที่พื้นที่ใต้กราฟพบว่าในช่วงแรกการผสมนั้นเกิดขึ้นส่วนใหญ่ทางด้านนอก และเมื่อไกลออกไปแล้วพบว่าการผสมเริ่มมีบ้างในทางด้านใน (ของ active)

รูปที่ 4.17 ผลของ swirl ต่ออาณาบริเวณที่ผสมถึง stoichiometric ของภาพถ่ายด้านบน เมื่อพิจารณาที่พื้นที่ใต้กราฟของ passive technique ลบกับ active technique โดยมีจุดแบ่งระหว่าง suction และ pressure ที่ z/rd เท่ากับศูนย์นั้นพบว่า

กรณีมี swirl ratio 0.5 ในช่วง near field นั้น การผสมทางด้าน suction และ pressure มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อไปถึง far field นั้น พบว่า การผสมทางด้าน suction มีมากกว่าทางด้าน pressure

กรณีมี swirl ratio 0.8 การผสมทางด้าน suction เทียบกับด้าน pressure พบว่าไม่แตกต่างกันมาก

อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณาจุดแบ่งระหว่างด้าน suction และ ด้าน pressure เป็นตำแหน่ง z/rd ที่ $\overline{C_N}$ มีค่ามากที่สุด จะพบว่า เมื่อมีผลของ swirl ดังในกรณี swirl ratio 0.5 และ 0.8 การผสมส่วนใหญ่จะอยู่ทางด้าน pressure ตลอดแนวการไหล สาเหตุที่เมื่อใช้เกณฑ์ z/rd = 0 เป็นจุดแบ่งแล้วได้ผลข้างต้นนั้นเป็นผลมาจากการที่ trajectory ของ SJICF บน x-z plane จะเยื้องมาทางด้าน –z (หรือด้าน suction)

JICF มีการ entrain ที่ดีทางด้านนอกของ active ขณะที่ด้านในมีการ entrain ไม่มาก เมื่อพิจารณา SJICF ที่ swirl ratio 0.5 มีการ entrain ได้ดีทั้งด้านนอกและด้านใน แต่ที่ swirl ratio 0.8

กลับพบว่า การ entrain ทางด้านในจะลดน้อยลงกว่า swirl ratio 0.5 มีเพียงทางด้านนอกเท่านั้นที่ยังมีการ entrain crossflow ได้ดี

การหมุนของเจ็ตทำให้เกิดบริเวณขึ้นสองด้าน คือ suction side และ pressure side เมื่อเจ็ตนั้นหมุนพบว่า ปริมาณ scalar ที่มีค่า $\overline{C_N}$ สูงๆ ส่วนมากอยู่ทางด้าน suction

เมื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลง trajectory บน x-z plane ด้วย พบว่า SJICF จะมีการผสมที่ดีทางด้าน pressure

4.3 Trajectory ของเจ็ต

รูปที่ 4.18 a) ผลของ Swirl ที่มีต่อ Trajectory เมื่อพิจารณาที่ trajectory ของกรณี passive technique นั้น swirl จะทำให้ trajectory ลดต่ำลงเกือบครึ่งของ trajectory ของ JICF และเมื่อ swirl ratio มีค่าสูงขึ้น trajectory ก็จะลดต่ำลงอีกเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาที่รูปที่ 4.18 b) ผลของ Swirl ที่มีต่อ Trajectory เมื่อพิจารณาที่กรณี active technique บริเวณ near field พบว่า trajectory ของเจ็ตโค้งขึ้นคล้ายๆกับช่วง near field ของ passive แต่ที่ far field ไปนั้นพบว่า trajectory นั้นราบเรียบคล้ายเส้นตรง โดยที่เจ็ตที่มี swirl จะมี trajectory ที่ต่ำกว่า JICF และเมื่อ swirl ที่มีค่าสูงขึ้นก็จะทำให้ trajectory ลดตัวต่ำลงไปอีก

รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบเส้นทางเดินของกรณี passive ที่ทดลองในงานวิจัย Renolds number 1300 กับเส้นทางเดินของ maximum centerplane-temperature ของ Wangjiraniran and Bunyajitradulya (2001) Renolds number ประมาณ 12000 พบว่ากรณี laminar นั้น swirl ทำให้เส้นทางเดินปรับตัวลดต่ำลงมาก ขณะที่เส้นทางเดินของเจ็ตของ SJICF ที่ Renolds 12000 นั้นจะไม่ค่อยแตกต่างกับกรณีที่ไม่มี swirl มากนัก

รูปที่ 4.20 การลดลงของ $\overline{C_{N_T}}$ ตามแนว downstream เมื่อพิจารณา passive scalar technique พบว่า curve ที่ได้มีลักษณะคล้ายๆกัน ต่างกันที่ ค่า $\overline{C_{N_T}}$ เท่านั้นที่กรณีมีค่า swirl ที่สูงนั้นทำให้เจ็ตมี $\overline{C_{N_T}}$ ที่สูงกว่ากรณีที่เจ็ตมี swirl ต่ำๆ

เมื่อพิจารณาที่ active scalar technique จะเห็นในช่วง near field นั้นเจ็ตที่มีค่า swirl สูงจะมี $\overline{C_{N_T}}$ สูงกว่า กรณีเจ็ตมี swirl ต่ำแต่เมื่อไปที่ far field แล้วจะเห็นได้ว่า มีค่า $\overline{C_{N_T}}$ ประมาณเท่าๆกัน

รูปที่ 4.21 แสดง การ Fit curve เส้นทางเดิน เมื่อพิจารณากรณี passive ที่ P0 นั้นมีลักษณะ curve ของ Trajectory คล้ายกับ curve Temperature Trajectory ของ Kamotani and Greber(1972)แต่วางตัวสูงกว่า และวางตัวต่ำกว่าของ curve Trajectory ความเร็ว

เมื่อพิจารณาในกรณี active พบว่า ไม่สามารถนำ power law มา fit curve ได้ในกรณี A0, A0.8, A*0.8 เพราะ trajectory นั้นวางตัวราบเหมือนเส้นตรง

4.4 ขอบของเจ็ต

รูปที่ 4.22 ผลของ swirl ต่อขอบบนและล่างของเจ็ต เมื่อพิจารณาในกรณีของ passive technique พบว่า JICF มีขอบบนและล่าง ทอดตัวไปใน crossflow ได้ไกลที่สุด และSJICF ที่มี swirl ratio สูงขึ้น พบว่าทำให้ขอบบนและล่าง ทอดตัวไปใน crossflow ได้ไกลน้อยลง เมื่อพิจารณาที่รูปร่างของตัวเจ็ตพบว่า ความกว้างของเจ็ตที่ระยะไกลๆออกไป มีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาในกรณีของ active technique นั้น JICF มีขอบบนและล่าง ทอดตัวไปใน crossflow ได้ไกลที่สุด ในทิศแกน x ที่มากกว่า 3 rd ไปพบว่า เส้นทางเดินของขอบบนและล่างเริ่มกระจายตัวไม่เป็นระเบียบ ซึ่งจากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นค่าของ $\overline{C_N}$ ว่าไม่ได้มากไปกว่า noise มากนัก ซึ่งนับจาก x/rd นี้ไปจึงไม่สามารถเชื่อถือผลของขอบของ JICF ได้ แต่ SJICF โดยเฉพาะที่ swirl ratio สูงๆนั้นช่วยทำให้ขอบบนและขอบล่างวางตัวตรงไปได้ไกลขึ้นทาง downstream และจะเริ่มกระจายตัวไม่เป็นระเบียบเพราะผลของ noise ที่ประมาณ x/rd = 4 ไป

รูปที่ 4.23 ผลของ swirl ที่มีต่อความกว้างของเจ็ต เมื่อพิจารณาที่กรณี passive รูปที่ 4.23 a) พบว่าความกว้างของเจ็ตมีค่าประมาณเท่าๆกัน ขณะที่กรณี active รูปที่ 4.23 b) นั้น JICF มีความกว้างน้อยที่สุดขณะที่ SJICF มีความกว้างของเจ็ตมากกว่าในช่วง near field เมื่อไปถึง 3 rd แล้ว ในกรณี A0, A05 นั้นมีค่า $\overline{C_N}$ น้อยแล้ว จึงมีผลของ noise มาเกี่ยวข้องทำให้ข้อมูลความกว้างของเจ็ตหลังจากนี้ไปเชื่อถือไม่ได้

รูปที่ 4.24 แสดง การ Fit curve เส้นขอบของเจ็ตกรณี active และ passive ในกรณีของ passive เมื่อพิจารณาที่ degree ของกำลังพบว่า JICF จะมีค่ามากกว่า SJICF ของทั้งขอบบนและล่าง และ สัมประสิทธิ์ที่คูณก็มากกว่า SJICF จึงยืนยันได้ว่า JICF มีการพุ่งไปใน crossflow ได้ไกลกว่า SJICF และกรณี active สังเกตเห็นว่าที่ขอบด้านบนของ JICF นั้นจะมีทั้งสัมประสิทธิ์และ degree ของกำลังที่มากกว่า SJICF ซึ่งแสดงว่าพุ่งไปใน crossflow ได้ไกลกว่า SJICF

รูปที่ 4.25 แสดง การ Fit curve เส้นขอบของเจ็ตกรณี active และ passive ในกรณีของ passive เมื่อพิจารณาที่ degree ของกำลังพบว่า ทุกกรณีจะมีสัมประสิทธิ์ประมาณ 1.2 และยกกำลัง 0.24 ในกรณี active นั้น พบว่า A05 มีสัมประสิทธิ์และกำลังที่น้อยสุด แสดงว่าความกว้างของเจ็ตที่ far field นั้นน้อยกว่ากรณีอื่นๆ

Swirl ทำให้ trajectory ของ SJICF ปรับตัวต่ำลงกว่า trajectory ของ JICF และเมื่อเพิ่ม swirl ratio ให้มีค่าสูงขึ้นก็จะพบว่า trajectory ก็จะลดตัวต่ำลงไปอีกเล็กน้อย

4.5 Flame Length

Flame Length นิยามที่หนึ่งว่า ระยะทางที่ อัตราส่วนของปริมาณ scalar ที่เหลืออยู่ ต่อปริมาณ scalar ที่มีอยู่เดิม ณ หน้าตัดนั้นเป็น 0.2 (0.2 หรือ 20% คือค่า κ ที่ใช้ในการกำหนดขอบของเจ็ตในตอนหาขอบ (รายละเอียดอยู่ในบทย่อยที่ 3.4) แล้วเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาขอบของเจ็ตคือขอบของเจ็ตจะต้องอยู่ใน crossflow ซึ่งขอบของเจ็ตจะต้องไม่ติดกับผนังของ test section)

$$\Gamma_\delta = \frac{[I_\delta]_{Active}}{[I_\delta]_{Passive}}$$

Flame Length นิยามที่สองว่า ระยะทาง ที่อัตราส่วนของปริมาณ scalar ที่ตำแหน่ง ณ หน้าตัด x/rd นั้น ต่อปริมาณ scalar ที่หน้าตัด y/rd ที่ปากเจ็ตเป็น 0.2 (0.2 คือค่า κ ที่ใช้ในการกำหนดขอบของเจ็ตในตอนหาขอบ แล้วเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาขอบของเจ็ตคือขอบของเจ็ตจะต้องอยู่ใน crossflow ซึ่งขอบของเจ็ตจะต้องไม่ติดกับผนังของ test section (รายละเอียดอยู่ในบทย่อยที่ 3.4))

$$\Psi_\delta = \frac{I_\delta}{I_d}$$

รูปที่ 4.26 ผลรวมของปริมาณ scalar ทั้งหน้าตัด x/rd ใดๆ เมื่อพิจารณาที่ curve ของกรณี passive technique จะเห็นว่าปริมาณ scalar ที่มีมากนั้นเรียงตามลำดับได้ดังนี้ P08≈P*08>P05>P0

เมื่อพิจารณาที่ curve ของกรณี active technique จะเห็นว่าในช่วง x/rd < 1.8 นั้นปริมาณ scalar ที่หลงเหลือน้อยที่สุดเมื่อเรียงตามลำดับได้ดังนี้ A0<A05<A*08<A08 แต่เมื่อถึง x/rd ประมาณ 1.8 จะเห็นได้ว่าลำดับของปริมาณ scalar A0≈A05<A*08<A08 และ ที่ x/rd 2 ไปจนถึง 5 ปริมาณ scalar ที่หลงเหลือน้อยที่สุดเมื่อเรียงตามลำดับเป็น A05<A0<A*08<A08

รูปที่ 4.27 อัตราส่วนของปริมาณ scalar ที่เหลืออยู่ต่อปริมาณ scalar เดิม

เมื่อพิจารณาที่นิยามของ Flame Length ในนิยามที่หนึ่ง พบว่าสามารถเรียงตามลำดับของ Flame Length จากสั้นที่สุดไปยาวที่สุดได้ดังนี้ Sr05<Sr0<Sr*08<Sr08 (ตารางที่ 4.1)

รูปที่ 4.28 a) ปริมาณ scalar ที่ x/rd ใดๆ เทียบกับปริมาณ scalar ที่ปากเจ็ตกรณี passive พบว่ามีค่าประมาณคงที่เท่ากับ 3 หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า ปริมาณ scalar ตลอดทั้งหน้าตัดใดๆ มีค่าเป็น 3 เท่าของที่ปากเจ็ต $\langle C\delta \rangle = 3\langle Cd \rangle$

รูปที่ 4.28 b) ปริมาณ scalar ทั้งหน้าตัดที่ x/rd ใดๆเทียบกับที่ปากทางออกเจ็ตกรณี active เมื่อพิจารณาตำแหน่งที่อัตราส่วนเป็น 0.2 ตามนิยาม flame length ในนิยามที่สอง พบว่าผลของ swirl ทำให้ flame length ที่ได้สามารถเรียงจากน้อยไปหามากคือ A05<A0<A*08<A08 (ดูความยาว flame length ในตารางที่ 4.1)

swirl ratio ที่มีค่าน้อยๆ ประมาณ 0.5 ทำให้ได้ flame length สั้นลงกว่าของ JICF ได้แต่ไม่มาก ขณะที่เพิ่ม swirl ratio ให้สูงขึ้น จะทำให้ได้ flame length ที่ยาวกว่า JICF