บทที่ 3

ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นผลการวัดสภาวะเริ่มต้นในการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย สภาวะเริ่มต้นของกระแสลมขวาง ที่ถูกสร้างขึ้นจากชุดทดลองการไหล และสภาวะเริ่มต้นของเจ็ตอากาศที่ปากทางเจ็ต ส่วนที่สองเป็นผลการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะหน้าตัด (Local characteristics) ซึ่งประกอบด้วย การพัฒนาตัวของเจ็ต และการเปรียบเทียบผลการทดลองที่หน้าตัดต่างๆ และส่วนที่สาม เป็นผลการศึกษาคุณลักษณะโดยรวม (Global characteristics) ซึ่งจะพิจารณาจาก อัตราการลดลงของอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละหน้าตัด (Decay rate) อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่ำสุดในแต่ละหน้าตัด (Increase rate) อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละหน้าตัด (Average increase rate) และเส้นทางการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด (Trajectory) ของเจ็ตตามแนวแกนการไหล โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ผลการวัดสภาวะเริ่มต้น

3.1.1 ผลการวัดสภาวะเริ่มต้นของกระแสลมขวาง

สำหรับสภาวะเริ่มต้นของกระแสลมขวางได้ทำการวัดการกระจายตัวของความเร็วในแนวแกน (u), ความเร็วในแนวสัมผัส (w) (ในกรณีที่มีการหมุนควง) และการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวรัศมีของชุดทดสอบการไหลตามแนวรัศมี โดยมีรายละเอียดดังนี้

รูปที่ 3.1ก แสดงผลการวัดการกระจายตัวของความเร็วในแนวแกน (u) ตามแนวรัศมี ที่ตำแหน่ง $0.25D$ ก่อนกึ่งกลางเจ็ต ทั้งกรณีเจ็ตหนึ่งตัวและเจ็ตสองตัว ในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง ($S0$) และกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควง ($S18$) พบว่าในแต่ละกรณีมีขนาดของความเร็วต่างกันเล็กน้อย โดยมีความเร็วเฉลี่ยแบบพื้นที่ ($\overline{u_{ef}}$) ประมาณ 1.4 ± 0.1 เมตรต่อวินาที หรือมีความแตกต่างกันไม่เกิน ± 7 % ระหว่างกรณี นอกจากนี้ยังได้แสดงเป็นค่าที่สเกลด้วยค่าสูงสุดในการวัดแต่ละแนว (u/u_{max}) ดังรูปที่ 3.1ข พบว่าในทุกกรณีรูปร่างการกระจายตัวมีลักษณะเดียวกันคือเป็นแบบ Top hat และค่อนข้างสมมาตรตามแนวรัศมี โดยมีความหนาของชั้นขอบเขตประมาณ 9 มิลลิเมตร

โดยที่สัญลักษณ์ต่างๆในรูปที่ 3.1 แทนด้วย Sx_a ($x.xx$) โดยที่ Sx_a แสดงถึงการวัดกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง ($S0$) หรือกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง ($S18$) โดยวัดค่าตามแนวแกน a ที่ตำแหน่ง $x/D = x.xx$ เช่น $S0_y$ (-0.25) หมายถึงการวัดกรณี

ที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง โดยวัดค่าตามแนวแกน y ที่ตำแหน่ง x/D = -0.25 หรือ $S18_{-}$ (0.15) หมายถึงการวัดกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง โดยวัดค่าตามแนวแกน z ที่ตำแหน่ง x/D = 0.15 เป็นต้น

รูปที่ 3.2 แสดงผลการวัดการกระจายของความเร็วในแนวสัมผัส (w) ตามแนวรัศมีเฉพาะกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควง ที่ตำแหน่ง 0.25D ก่อนถึงเจ็ตตัวแรก ในกรณีที่ยังไม่มีการฉีดเจ็ต โดยแสดงผลการวัด ณ ตำแหน่งหน้าเจ็ตตัวแรก ทั้งในกรณีเจ็ตหนึ่งตัว *S18rd00* (x/D = -0.25) และกรณีเจ็ตสองตัว *S18rdxx* (x/D = -0.25) และตำแหน่งหน้าเจ็ตตัวที่สองทั้งกรณีการทดลอง *S18rd05* (x/D = 0.15) และ *S18rd10* (x/D = 0.56) พบว่าในทุกกรณีการไหลมีลักษณะการกระจายตัวใกล้เคียงกับการกระจายตัวแบบเชิงเส้นนั่นคือมีการไหลเป็นแบบ Solid-body rotationโดยที่ค่าความเร็วในแนวสัมผัสตามแนวรัศมีในกรณี *S0rd00* และ *S18rdxx* (x/D = -0.25) (ตำแหน่งก่อนเจ็ตตัวแรก) นั้นมีค่าสูงสุด รองลงมาคือค่าความเร็วในแนวสัมผัสตามแนวรัศมีที่ตำแหน่งก่อนเจ็ตตัวที่สอง ในกรณี *S18rd05* (x/D = 0.15) และรองลงมาคือค่าความเร็วในแนวสัมผัสตามแนวรัศมีที่ตำแหน่งก่อนเจ็ตตัวที่สองในกรณี *S18rd10* (x/D = 0.56) โดยที่มีค่าการหมุน (Swirl ratio, Sr ($w_R/\overline{u_{cf}}$)) เท่ากับ 1.80, 1.34 และ1.23 ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับ Swirl number (Sn) (ดังที่นิยามไว้ในบทที่ 1) เท่ากับ 0.85, 0.72 และ 0.66 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าการไหลแบบหมุนควงมีค่าลดลงตามแนวการไหลที่เพิ่มขึ้น คือการลดลงของการไหลแบบหมุนควงตามแนวแกนการไหลทำให้ค่า Sr ลดลงจาก 1.80 ที่ x/D = -0.25 เหลือ 1.23 ที่ x/D = 0.56

รูปที่ 3.3 แสดงผลการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิของกระแสลมขวางตามแนวรัศมี โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ (C_T) ซึ่งนิยามเป็น

$$C_{T_{cf}} = \frac{T - T_a}{\overline{T_{cf}} - T_a} \qquad (3.1)$$

โดยที่ T คืออุณหภูมิที่ทำการวัดตามแนวรัศมีของกระแสลมขวาง

$\overline{T_{cf}}$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ตามแนวรัศมีของกระแสลมขวาง

T_a คืออุณหภูมิอากาศข้างนอกขณะที่ทำการวัด (อุณหภูมิอากาศข้างนอกขณะที่ทำการวัดมีค่าประมาณอุณหภูมิที่ขอบท่อ)

พบว่าลักษณะการกระจายตัวของกระแสลมขวางในกรณีที่มีการหมุนควงและไม่มีการหมุนควงแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควงลักษณะการกระจายตัวคล้ายแบบ Fully-developed flow ในขณะที่กรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควง

ลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบเป็นแบบ Top hat ที่มีความสมมาตรมากกว่า โดยในกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ มีค่าความแตกต่างกันเล็กน้อยโดยมีค่าความแตกต่างกันไม่เกิน $\pm$ 0.02 ระหว่างกรณี สำหรับค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของ C_{I_u} ข้างต้นมีค่าประมาณ 0.05 (แสดงในภาคผนวก จ.)

รูปที่ 3.4 แสดงผลการเปรียบเทียบกับการกระจายตัวของความเร็วกับการกระจายตัวของอุณหภูมิของกระแสลมขวางในแนวแกน พบว่าในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง (*S0*) (รูปที่ 3.4 ก) ลักษณะการกระจายตัวมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แต่ในกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควง (*S18*) (รูปที่ 3.4 ข) ลักษณะการกระจายตัวมีลักษณะคล้ายกัน โดยชั้นขอบเขตของอุณหภูมินั้นมีความหนามากกว่าชั้นขอบเขตของความเร็วในแนวแกน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปร่างของการกระจายตัวของอุณหภูมิมีการพัฒนาตัวมากกว่ารูปร่างของความเร็วในแนวแกน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใส่ลวดตาข่าย (Screen) เพื่อปรับการไหลภายในส่วนของท่อหมุน ส่งผลต่อการพัฒนาตัวของความเร็ว คือมีผลทำให้ความเร็วสม่ำเสมอมากขึ้นแต่ไม่ส่งผลต่อการพัฒนาตัวของอุณหภูมิ

โดยที่สัญลักษณ์ต่างๆในรูปที่ 3.4 แทนด้วย u_a (*x.xx*) โดยที่ u_a แสดงถึงการวัดความเร็วโดยวัดค่าตามแนวแกน *a* ที่ตำแหน่ง *x/D* = *x.xx* เช่น u_y (-0.25) หมายถึงการวัดความเร็ว โดยวัดค่าตามแนวแกน *y* ที่ตำแหน่ง *x/D* = -0.25 หรือ u_z (0.15) หมายถึงการวัดความเร็ว โดยวัดค่าตามแนวแกน z ที่ตำแหน่ง *x/D* = 0.15 เป็นต้น และ C_{Ta} (*x.xx*) โดยที่ C_{Ta} แสดงถึงการวัดอุณหภูมิโดยวัดค่าตามแนวแกน *a* ที่ตำแหน่ง *x/D* = *x.xx* เช่น C_{Ty} (-0.25) หมายถึงการวัดอุณหภูมิ โดยวัดค่าตามแนวแกน *y* ที่ตำแหน่ง *x/D* = -0.25 หรือ C_{Tz} (0.15) หมายถึงการวัดอุณหภูมิ โดยวัดค่าตามแนวแกน z ที่ตำแหน่ง *x/D* = 0.15 เป็นต้น

3.1.2 ผลการวัดสภาวะเริ่มต้นของเจ็ต

สำหรับสภาวะเริ่มต้นของเจ็ตได้ทำการวัดการกระจายตัวของความเร็วในแนวแกน (u). และการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวรัศมี โดยมีรายละเอียดดังนี้

รูปที่ 3.5ก แสดงผลการวัดการกระจายตัวของความเร็วในแนวแกน (u) ตามแนวรัศมีในกรณีเจ็ตหนึ่งตัวและเจ็ตสองตัว ทั้งกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง และในกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควง พบว่าในแต่ละกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควงมีขนาดของความเร็วต่างกันเล็กน้อย และแต่ละกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงก็มีขนาดของความเร็วต่างกันเล็กน้อยเช่นกัน โดยในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง มีความเร็วเฉลี่ยแบบพื้นที่ ($\overline{u_j}$) ประมาณ 9.23 $\pm$ 0.15 เมตรต่อวินาที หรือมีความแตกต่างกันไม่เกิน $\pm$ 2 % ระหว่างกรณี และ

กรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควง มีความเร็วเฉลี่ยแบบพื้นที่ ($\overline{u_j}$) ประมาณ 19.01 ± 0.20 เมตรต่อวินาที หรือมีความแตกต่างกันไม่เกิน ± 2 % ระหว่างกรณี สำหรับค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของ ($\overline{u_j}$) ข้างต้นมีค่าประมาณ 0.15 (แสดงในภาคผนวก จ.)

รูปที่ 3.5ข แสดงรูปร่างความเร็วในแนวแกนของเจ็ตอากาศที่ตำแหน่งปากทางออก โดยแสดงอยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติระหว่างค่า u/u_{max} กับ r/R โดยที่ R คือ รัศมีของปากเจ็ต โดยนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลเฉลยการไหลภายในท่อที่พัฒนาตัวอย่างเต็มที่แล้วทั้งแบบ Laminar (Laminar fully-developed flow) และแบบ Turbulent (Turbulent fully-developed flow) โดยที่ผลเฉลยการไหลแบบ Laminar fully-developed flow จะเป็นดังสมการ

$$\frac{u}{u_{max}} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \tag{3.2}$$

และผลเฉลยการไหลแบบ Turbulent fully-developed flow เป็นดังสมการ

$$\frac{u}{u_{max}} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \tag{3.3}$$

จากผลการทดลองพบว่า รูปร่างความเร็วของเจ็ตอากาศที่ตำแหน่งปากทางออกในแต่ละกรณีจะมีลักษณะการไหลที่คล้ายคลึงกัน และมีรูปร่างความเร็วสอดคล้องกับผลเฉลยการไหลแบบ Turbulent fully-developed flow ดังสมการที่ 3.3 โดยได้ค่า n จากการ Fit สมการในแต่ละกรณี การทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.5 ± 0.04

โดยที่สัญลักษณ์ต่างๆในรูปที่ 3.5 แทนด้วย $Sx_a\,rdxx/x$ โดยที่ Sx_a แสดงถึงการวัดกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง (*S0*) หรือกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง (*S18*) โดยวัดค่าตามแนวแกน a สำหรับกรณีการทดลอง *rdxx* ต่างๆ และ x ตัวสุดท้ายบอกว่าเป็นเจ็ตตัวที่เท่าไร เช่น $S0_y\,rd00/1$ หมายถึงการวัดกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง โดยวัดค่าตามแนวแกน y สำหรับกรณี *rd00* ที่เจ็ตตัวที่หนึ่ง หรือ $S18_z\,rd05/2$ หมายถึงการวัดกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง โดยวัดค่าตามแนวแกน z สำหรับกรณี *rd05* ที่เจ็ตตัวที่สอง เป็นต้น

สำหรับรูปร่างการกระจายตัวของสภาวะเริ่มต้นของเจ็ตในกรณี *S0rd05* เหมือนกับกรณี *S0rd10* และกรณี *S18rd05* เหมือนกับกรณี *S18rd10*

รูปที่ 3.6 แสดงผลการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวรัศมี โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ (C_{T_j}) ซึ่งนิยามเป็น

$$C_{T_j} = \frac{T - T_a}{\overline{T_j} - T_a} \tag{3.4}$$

โดยที่ T คืออุณหภูมิที่ทำการวัดตามแนวรัศมีของเจ็ต

$\overline{T_j}$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ตามแนวรัศมีของเจ็ต

T_a คืออุณหภูมิบรรยากาศขณะที่ทำการวัด

พบว่าในแต่ละกรณีนั้นจะมีค่า C_{T_j} ที่ตำแหน่งเดียวกันแตกต่างกันเล็กน้อยโดยค่าความแตกต่างของ C_{T_j} มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน ± 0.08 และ C_{T_j} นี้จะมีค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ประมาณ 0.05 (แสดงในภาคผนวก จ)

เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิดังรูปที่ 3.6 กับการกระจายตัวของความเร็วในแนวแกนดังรูปที่ 3.5 พบว่า ลักษณะการกระจายตัวมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน คือลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเป็นแบบ Top hat ในขณะที่ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วมีลักษณะคล้ายคลึงกับผลเฉลยการไหลแบบ Turbulent fully-developed flow ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปร่างของการกระจายตัวของอุณหภูมิมีการพัฒนาตัวเต็มที่ช้ากว่ารูปร่างของความเร็วในแนวแกน ซึ่งแตกต่างจากกรณีของกระแสลมขวาง เนื่องจากเจ็ตใช้ลักษณะของท่อยาวโดยไม่มี Screen ในการปรับแต่งการไหล และทิ้งไว้ให้รูปแบบการไหลของความเร็วเข้าสู่ Turbulent fully-developed flow

โดยการศึกษาวิจัยนี้จะใช้อุณหภูมิเฉลี่ยของเจ็ต ($\overline{T_j}$) ในการทดลองมีค่าประมาณ $97.3 \pm 0.5\,^{o}C$ หรือมีความแตกต่างกันไม่เกิน ± 1 % และมีอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเจ็ตประมาณ $100 \pm 1\,^{o}C$ หรือมีความแตกต่างกันไม่เกิน ± 1 %

3.2 การศึกษาคุณลักษณะเฉพาะหน้าตัด (Local characteristics)

ในการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะหน้าตัด (Local characteristics) แสดงโดยการกระจายของอุณหภูมิเป็นหน้าตัดนั้น พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม (Global coefficient of temperature; C_{TG}) ซึ่งนิยามเป็น

$$C_{TG} = \frac{T - \overline{T_{cf}}}{\overline{T_j} - \overline{T_{cf}}} \tag{3.5}$$

โดย T คืออุณหภูมิที่ทำการวัด

$\overline{T_j}$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ที่ปากเจ็ต

$\overline{T_{cf}}$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ของกระแสลมขวางที่ตำแหน่ง $0.25D$ ก่อนเจ็ต

โดยค่า C_{TG} ดังกล่าวจะแสดงระดับของอุณหภูมิส่วนเกิน (Excess temperature) ที่ตำแหน่งใดๆเทียบกับระดับของอุณหภูมิส่วนเกินที่ปากเจ็ต ซึ่งเป็นพารามิเตอร์รวม (Global parameter) ของการไหล นอกจากนี้ค่า C_{TG} ยังบ่งชี้ถึงคุณลักษณะการผสมที่ตำแหน่งหน้าตัดใดๆ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากแบบจำลองดังนี้

พิจารณาปริมาตรควบคุม (Control volume) ดังรูปที่ 3.7 จากกฎการอนุรักษ์มวลและกฎการอนุรักษ์พลังงานในรูปอินทริกรัล แสดงดังสมการ

$$0 = \frac{\partial}{\partial t}\oint_{CV} \rho dV + \oint_{CS}\left(\rho \bar{u}\cdot d\bar{A}\right) \tag{3.6}$$

$$\dot{Q}+\dot{W} = \frac{\partial}{\partial t}\oint_{CV}\left(e+\frac{u^2}{2}+gz\right)\left(\rho dV\right)+\oint_{CS}\left(h+\frac{u^2}{2}+gz\right)\left(\rho \bar{u}\cdot d\bar{A}\right) \tag{3.7}$$

โดยให้มีข้อสมมติ (Assumption) คือ

1. การไหลเป็นแบบสภาวะคงตัวโดยเฉลี่ย การไหลอยู่ตัวโดยเฉลี่ย (Steady-state and Steady flow in mean)
2. ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ($\dot{Q}=0$) และการทำงาน ($\dot{W}=0$) ผ่านพื้นผิวของปริมาตรควบคุม
3. ละทิ้งการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ระหว่างการเข้าและออกปริมาตรควบคุม
4. ปริมาณต่างๆคิดเป็นค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัด
5. ในกรณีเจ็ตสองตัว อัตราการไหลโดยมวลของเจ็ตตัวแรกเท่ากับอัตราการไหลโดยมวลของเจ็ตตัวที่สอง ($\dot{m}_{j1}=\dot{m}_{j2}$) และแต่ละตัวเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราการไหลโดยมวลกรณีเจ็ตหนึ่งตัว ($\dot{m}_{j1}+\dot{m}_{j2}=\dot{m}_{j}$)
6. ในกรณีของเจ็ตสองตัว อุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ที่ปากเจ็ตตัวแรก เท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ที่ปากเจ็ตตัวที่สอง และเท่ากับกรณีเจ็ตหนึ่งตัว ($\overline{T_{j1}}=\overline{T_{j2}}=\overline{T_{j}}$)
7. สภาวะคงตัวของการไหลที่ทางเข้า (เจ็ตและกระแสลมขวาง) และทางออก (Uniform state and flow)

จากข้อสมมติข้างต้น สมการ 3.6 และ 3.7 จะลดรูปเป็น

$$0 = \dot{m}_{j1}+\dot{m}_{j2}+\dot{m}_{cf}-\dot{m} \tag{3.8}$$

$$0 = \dot{m}_{j1}\,h_{j1}+\dot{m}_{j2}\,h_{j2}+\dot{m}_{cf}\,h_{cf}-\dot{m}\,h \tag{3.9}$$

โดยการแทนสมการ 3.8 ในสมการ 3.9 จะได้

$$0 = \dot{m}_{j1} h_{j1} + \dot{m}_{j2} h_{j2} + \dot{m}_{cf} h_{cf} - (\dot{m}_{j1} + \dot{m}_{j2} + \dot{m}_{cf})h$$

$$\dot{m}_{j1}(h_{j1} - h) + \dot{m}_{j2}(h_{j2} - h) = \dot{m}_{cf}(h - h_{cf})$$

$$\dot{m}_{j1}(h_{j1} - h_{cf}) - \dot{m}_{j1}(h - h_{cf}) + \dot{m}_{j2}(h_{j2} - h_{cf}) - \dot{m}_{j2}(h - h_{cf}) = \dot{m}_{cf}(h - h_{cf})$$

เนื่องจาก $dh = c_p dT$ โดยที่ c_p คือความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ และกำหนดให้ c_p เป็นค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ สมการข้างต้นจะเขียนได้เป็น

$$\dot{m}_{j1}(\overline{T_{j1}} - \overline{T_{cf}}) - \dot{m}_{j1}(T - \overline{T_{cf}}) + \dot{m}_{j2}(\overline{T_{j2}} - \overline{T_{cf}}) - \dot{m}_{j2}(T - \overline{T_{cf}}) = \dot{m}_{cf}(T - \overline{T_{cf}})$$

จากสมมุติฐานที่ 6

$$\overline{T_{j1}} = \overline{T_{j2}} = \overline{T_j}$$

$$\frac{(T - \overline{T_{cf}})}{(\overline{T_j} - \overline{T_{cf}})} = \frac{(\dot{m}_{j1} + \dot{m}_{j2})}{(\dot{m}_{j1} + \dot{m}_{j2} + \dot{m}_{cf})} = C_{TG} \qquad (3.10)$$

สมการ 3.10 แสดงว่าค่า C_{TG} เฉลี่ยบนพื้นที่หน้าตัดบ่งบอกถึงอัตราการไหลโดยมวลของเจ็ตเริ่มต้นเทียบกับอัตราการไหลโดยมวลของเจ็ตผสมที่หน้าตัดใดๆ หรืออีกนัยหนึ่งแสดงถึงอัตราการดึงมวลของกระแสลมขวางเข้าไปในเจ็ตผสม (Entrainment) ที่หน้าตัดใดๆ นั่นคือเมื่อมีการดึงมวลของกระแสลมขวางเข้าไปในตัวเจ็ตผสมมากขึ้น จะส่งผลทำให้ C_{TG} มีค่าลดลง

สำหรับกรณีการทดลองการไหลของเจ็ตในกระแสลมขวางแบบพื้นที่จำกัด (ดังรูปที่ 3.7) มีความแตกต่างกับกรณีการไหลของเจ็ตในกระแสลมที่กระแสลมขวางมีพื้นที่ไม่จำกัด (JICF) คือ กรณีเจ็ตในกระแสลมขวาง (JICF) เจ็ตสามารถดึงมวลอากาศเข้ามาผสมได้อย่างไม่จำกัด ดังนั้น (จากสมการ 3.10) กรณีเจ็ตในกระแสลมขวาง ค่า C_{TG} จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง และเมื่อมวลของกระแสลมขวางมีค่ามากเมื่อเทียบกับมวลเจ็ต ค่า C_{TG} ก็จะเป็นศูนย์ในที่สุด ในขณะที่กรณีเจ็ตในกระแสลมขวางแบบพื้นที่จำกัด ที่มีอัตราส่วนการไหลโดยมวลของกระแสลมขวางต่ออัตราส่วนการไหลโดยมวลเจ็ตคงที่ เมื่อเจ็ตดึงมวลของกระแสลมขวางเข้าไปผสมจนหมดแล้ว ทำให้เกิดอุณหภูมิเฉลี่ยที่ค่าหนึ่ง โดยคำนวณได้จาก

$$\overline{C_{TG}} = \frac{(\dot{m}_{j1} + \dot{m}_{j2})}{(\dot{m}_{j1} + \dot{m}_{j2} + \dot{m}_{cf})}$$

I20831523

และจากสมมุติฐานที่ 5 $(\dot{m}_{j1} + \dot{m}_{j2} = \dot{m}_j)$

แทนค่า $\frac{\dot{m}_j}{\dot{m}_{cf}} = \frac{1}{2.55}$

ได้ค่า $\overline{C_{TG}} = 0.28$

กล่าวคือกรณีการไหลของเจ็ตในกระแสลมที่กระแสลมขวางมีพื้นที่ไม่จำกัด (JICF) สำหรับการทดลองนี้ ค่า C_{TG} จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในขณะที่กรณีการทดลองนี้ จะมีค่าเข้าสู่ $C_{TG} = 0.28$

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการกระจายของอุณหภูมิบนหน้าตัดโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ (Local coefficient of temperature; C_{TL}) ซึ่งนิยามเป็น

$$C_{TL} = \frac{T - \overline{T_{cf}}}{T_m - \overline{T_{cf}}} \qquad (3.13)$$

โดย T คืออุณหภูมิที่ทำการวัด

T_m คืออุณหภูมิสูงสุดในแต่ละหน้าตัด

$\overline{T_{cf}}$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ของกระแสลมขวางที่ตำแหน่ง $0.25D$ ก่อนเจ็ต

โดยค่า C_{TL} จะแสดงระดับของอุณหภูมิเกิน (Excess temperature) ที่ตำแหน่งใดๆ $(T - \overline{T_{cf}})$ เทียบกับระดับของอุณหภูมิเกินสูงสุดที่หน้าตัดนั้น $(T_m - \overline{T_{cf}})$ ดังนั้น C_{TL} จึงเป็นพารามิเตอร์เฉพาะที่หน้าตัดใดๆ (Local parameter) ของการไหล ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัว (Spreading) และอัตราการกระจายตัว (Spread rate) และสามารถนำมาเปรียบเทียบรูปร่างของการกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัดต่างๆได้

3.2.1 การพัฒนาตัวของเจ็ต

ในการศึกษาคุณลักษณะการพัฒนาตัวของเจ็ตสามารถพิจารณาได้จาก Contour ด้าน End view ของค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิรวม C_{TG} และ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ C_{TL} ดังรูปที่ 3.8 ถึง 3.13 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงขนาดรูปร่างลักษณะการไหล, การกระจายตัว และลักษณะที่เจ็ตดึงอากาศเข้ามาผสม โดยในรูปที่ 3.8 ถึง 3.10 เป็นผลการทดลองในกรณีการไหลของเจ็ตในท่อที่ไม่มีการไหลแบบหมุนควง (*S0rdxx*) ซึ่งประกอบไปด้วยกรณีการไหลแบบเจ็ตหนึ่งตัว (*S0rd00*) และและกรณีการไหลแบบเจ็ตสองตัว (*S0rd05* และ *S0rd10*) รูปที่ 3.11 ถึง 3.13 เป็นผลการทดลองในกรณีการไหลของเจ็ตในท่อที่มีการไหลแบบหมุนควง (*S18rdxx*) ซึ่งประกอบไปด้วยกรณีการ

ไหลแบบเจ็ตหนึ่งตัว (*S18rd00*) และกรณีการไหลแบบเจ็ตสองตัว (*S18rd05* และ *S18rd10*) ตามลำดับ โดยผลการทดลองแต่ละกรณีจะแสดงที่ตำแหน่ง Downstream ต่างๆกัน เนื่องจากการทดลองนี้มีลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวาง จึงเลือก $r_{eff}d$-scale เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ นอกจากนี้เมื่อคำนึงถึงลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้ D-scale จึงเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่เลือกใช้ คือ ในกรณี *S0rd00* และ *S18rd00* ทำการวัดที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25, 0.50, 0.75, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 และที่ x/D = 2.52 และ 3.36 ในกรณี *S0rd05* และ *S18rd05* ทำการวัดที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25, 0.75, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 และที่ x/D = 2.52 และ 3.36 และในกรณี *S0rd10* และ *S18rd10* ทำการวัดที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25, 0.50, 1.25, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 และที่ x/D = 2.52 และ 3.36 โดยกราฟที่ใช้แสดงผลนั้นได้ทำการ Normalized scale ให้อยู่ในเทอมไร้มิติ และแสดงผลถึงที่ตำแหน่งวัดจริงตามแนวรัศมี ดังนั้นขนาดของกราฟตามแนวรัศมีจึงมีขนาดไม่ถึงหนึ่ง สำหรับค่าความไม่แน่นอนของ C_{TG} นั้นมีค่าประมาณ 0.05 และค่าความไม่แน่นอนของ C_{TL} นั้นมีค่าประมาณ 0.10 (แสดงในภาคผนวก จ)ในการนำเสนอผลของค่า C_{TG} และ C_{TL} นี้ได้ใช้ความละเอียดของระดับ Contour เท่ากับ 0.10 ซึ่งเท่ากับค่าความไม่แน่นอนของ C_{TL} โดยมีรายละเอียดดังนี้

การพัฒนาตัวของเจ็ตในท่อที่ไม่มีการไหลแบบหมุนควง (*S0rdxx*)

รูปที่ 3.8 แสดงการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก Contour ของ C_{TG} และ C_{TL} สำหรับกรณี *S0rd00* ซึ่งเป็นกรณีของเจ็ตหนึ่งตัวที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง พบว่า Contour ของ C_{TL} ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 ถึง 3.00 ทุกหน้าตัดมีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูง (นิยามจากบริเวณที่มีค่า C_{TL} สูงสุด 2 Level ในแต่ละหน้าตัด) (บริเวณอุณหภูมิสูงคือบริเวณที่ Jet Fluid มาก) อยู่ด้านบนและบริเวณของอุณหภูมิต่ำ (นิยามจากบริเวณที่มีค่า C_{TL} ต่ำสุด 2 Level ในแต่ละหน้าตัด) (บริเวณอุณหภูมิต่ำคือบริเวณที่ Crossflow Fluid มาก) อยู่ด้านล่าง และจำนวน Level ของ Contour C_{TL} ที่มีค่าลดลงจาก 10 Level ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 จนเหลือ 3 Level ที่ $x/r_{eff}d$ = 3.00 แสดงให้เห็นถึงหน้าตัดบริเวณ Upstream มี Gradient ของ C_{TL} ที่ตำแหน่งต่างๆในหน้าตัดสูงกว่าที่หน้าตัดบริเวณ Downstream โดย Gradient จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามแนว Downstream โดยในช่วงต้น $x/r_{eff}d$ ระหว่าง 0.25 ถึง 1.50 บริเวณอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณขอบท่อด้านบน (Quadrant ที่ 1 และ Quadrant ที่ 2) เมื่อเจ็ตพัฒนาตัวไป $x/r_{eff}d$ ระหว่าง 2.00 ถึง 3.00 จะมีการสลับบริเวณอุณหภูมิสูงตามเข็มนาฬิกาเล็กน้อย โดยบริเวณอุณหภูมิสูงเคลื่อนตัวหมุนจากบริเวณขอบท่อด้านบน (Quadrant ที่ 1 และ Quadrant ที่ 2) มาอยู่ที่บริเวณขอบท่อด้านข้าง (Quadrant ที่ 2 และ Quadrant ที่ 3) และบริเวณอุณหภูมิต่ำก็เคลื่อนตัวหมุนทวนเข็มนาฬิกาจากบริเวณขอบท่อด้านล่าง (Quadrant ที่ 3 และ Quadrant ที่ 4) มาอยู่ที่บริเวณขอบท่อด้านข้าง

(Quadrant ที่ 4 และ Quadrant ที่ 1) ทำให้เกิดบริเวณอุณหภูมิสูงบริเวณข้างท่อด้านซ้าย และบริเวณอุณหภูมิต่ำบริเวณข้างท่อด้านขวา (เมื่อมองจาก Downstream) ที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d = 3.00$

เนื่องจากในกรณีการทดลองนี้ เป็นการทดลองโดยให้ความร้อนกับ Jet fluid ดังนั้นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง (บริเวณที่มี Jet fluid มาก) น่าจะเกิดจากเจ็ต ดังนั้นผลการทดลองสามารถบ่งชี้ได้ว่าบริเวณอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นบริเวณของเจ็ต โดยในกรณี *S0rd00* นี้ลักษณะการพัฒนาตัวของอุณหภูมิ แสดงว่าเจ็ตจะพุ่งจากบริเวณด้านล่างแล้วชนผนังด้านบน (การชนผนังดูจากบริเวณที่มีค่า C_{TL} สูงสุดในแต่ละหน้าตัด) ที่ระยะประมาณ $x/r_{eff}d = 0.25$ แล้วไหลไปตามผนังท่อด้านบนตาม Downstream

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งการพุ่งชนผนังด้านบนกับการทดลองของ Stoy and Ben-Haim 1973 โดยการประมาณ Trajectory ใช้สมการ Trajectory ของเจ็ตในกระแสลมขวาง (Smith and Mungal 1998) $\frac{y}{rd} = A(\frac{x}{rd})^m$ (แสดงในภาคผนวก ค) พบว่า ในกรณี *S0rd00* เจ็ตจะพุ่งชนผนังที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d$ ประมาณ 0.13 ซึ่งเป็นระยะที่ใกล้กว่าตำแหน่งวัด ดังนั้นที่ระยะประมาณ $x/r_{eff}d = 0.25$ เจ็ตจึงพุ่งชนผนังด้านบนแล้ว

เมื่อพิจารณาอย่างสังเขปถึงค่า C_{TG} ในแต่ละหน้าตัดนั้นๆ พบว่าค่า C_{TG} สูงสุดมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามแนว Downstream ในขณะที่ C_{TG} ต่ำสุดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิจะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางตาม Downstream เพิ่มมากขึ้น และบ่งชี้ให้เห็นถึงการผสมที่มากขึ้นตามแนว Downstream

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก สัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ C_{TG} พบว่า Contour ของ C_{TG} ที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ ถึง 3.00 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่ด้านบนและบริเวณของอุณหภูมิต่ำอยู่ด้านล่าง เช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงโดย C_{TL} และจำนวน Level ของ Contour C_{TG} จะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางตาม Downstream เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

สำหรับในกรณีนี้ที่หน้าตัดหลังๆ โดยเฉพาะที่หน้าตัด $x/r_{eff}d = 2.00$ เป็นต้นไป เมื่อพิจารณาค่า C_{TG} พบว่า บริเวณอุณหภูมิสูงมีการหมุนไปจากแนวแกนกลางโดยจะหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเช่นเดียวกับ C_{TL} และเมื่อสังเกตจากบริเวณอุณหภูมิต่ำ จะเห็นว่าตั้งแต่หน้าตัด $x/r_{eff}d = 0.50$ บริเวณอุณหภูมิต่ำก็มีการหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเช่นกันจากลักษณะดังกล่าว อาจเกิดจาก 1) การตั้งแกนของเจ็ตไม่ผ่านศูนย์กลางโดยเจ็ตที่พุ่งออกมาไม่อยู่ในแนวดิ่ง (ดังรูปที่ 4.1ก) คือเจ็ตพุ่งเอียงขึ้นไปชนผนังท่อด้านบนที่มีมุมน้อยกว่า 90 องศา (เมื่อมองจาก Downstream) เล็กน้อย และเนื่องจากเจ็ตมีโมเมนตัมสูง ดังนั้นการตั้งแนวแกนเจ็ตที่ไม่ตรงศูนย์กลางท่อพอดีอาจมีผลจากความไม่สมมาตรทำให้เจ็ตชนผนังท่อด้านบนอย่างไม่สมมาตรและทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลแบบหมุนวน(Induced swirl) หรือ 2) ปากเจ็ตไม่ตรงศูนย์กลาง แต่เจ็ตที่พุ่งออกมาอยู่แนวดิ่ง (ดังรูปที่ 4.1ข) คือเจ็ตพุ่งตรงขึ้นไปชนผนังท่อด้านบนที่มีมุมน้อยกว่า

90 องศา (เมื่อมองจาก Downstream) เล็กน้อย และ3) เป็นผลรวมทั้งข้อ 1) และข้อ 2) (ดังรูปที่ 4.1ค)

เมื่อพิจารณาค่า C_{TG} พบว่า ค่าC_{TG} สูงสุดมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามแนว Downstream แสดงให้เห็นว่า เจ็ตสามารถดึงเอากระแสลมขวางเข้ามาผสม (Entrain) ในตัวเจ็ตได้เพิ่มขึ้นเมื่อพัฒนาตัวไปตาม Downstream ซึ่งเป็นไปตามการวิเคราะห์ในสมการ 3.10 ในขณะที่ C_{TG} ต่ำสุดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ากระแสลมขวางที่ถูกเหนี่ยวนำให้เข้าไปผสมกับเจ็ตจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และค่า C_{TG} สูงสุดและค่าC_{TG} ต่ำสุด ก็จะลู่เข้าสู่ค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.31 และเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ในสมการ 3.12 ($\overline{C_{TG}}$ เท่ากับ 0.28 ซึ่งจะแสดงระดับการผสมที่เจ็ตอากาศดึงกระแสลมเข้ามาผสมกันจนหมด) พบว่าค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้มีค่ามากกว่าการคำนวณ

อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองนั้นอาจมี error เนื่องจากคำนวณโดยใช้สมการ $\overline{C_{TG}} = \frac{1}{A}\int C_{TG} dA$ แต่ก็ยังไม่เกินค่าความไม่แน่นอนของ C_{TG} (ค่าความไม่แน่นอนของC_{TG} นั้นมีค่าประมาณ 0.05 แสดงในภาคผนวก จ)

รูปที่ 3.9 แสดงการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก Contour ของ C_{TG} และ C_{TL} สำหรับกรณี *S0rd05* ซึ่งเป็นกรณีเจ็ตสองตัววางห่างกัน $0.5r_{eff}d$ ในกระแสลมขวางที่ไม่มีการไหลแบบหมุนควง ในการพิจารณาการพัฒนาตัวของเจ็ต จาก $x/r_{eff}d$ = 0.25 ถึง $x/r_{eff}d$ = 3.00 พบว่า Contour ของ C_{TL} ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 (ระยะระหว่าเจ็ตตัวแรกและตัวที่สอง) มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิคล้ายลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวาง คือมีรูปร่างเป็นรูปไต (Kidney-shape) ที่ค่า $x/r_{eff}d$ นี้มีจำนวน Level ของ Contour C_{TL} เท่ากับ 10 Level ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 0.75 (หลังเจ็ตตัวที่สอง) พบบริเวณอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณด้านบน และบริเวณอุณหภูมิต่ำอยู่บริเวณด้านล่างเช่นเดียวกับกรณี *S0rd00*

ส่วนที่ $x/r_{eff}d$ = 1.50 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณขอบท่อที่มุมตั้งแต่ 280 ถึง 0 องศา และ 0 ถึง 220 องศา (คล้าย ∩) และบริเวณอุณหภูมิต่ำมีลักษณะพุ่งขึ้น (ระหว่างขาตัว ∩) ที่ $x/r_{eff}d$ = 2.00 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณขอบท่อที่มุมประมาณ 140 ถึง 220 องศา และ 260 ถึง 20 องศา โดยมีลักษณะการไต่ขอบท่อมาด้านล่างทั้งสองข้าง และบริเวณอุณหภูมิต่ำถูกเบียดให้ลอยขึ้นด้านบน ที่ $x/r_{eff}d$ = 2.12 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิคล้ายกับที่ $x/r_{eff}d$ = 2.00 แต่เคลื่อนตัวไปเล็กน้อย คือบริเวณอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณขอบท่อที่มุมประมาณ 150 ถึง 230 องศา และ 250 ถึง 10 องศา และบริเวณอุณหภูมิต่ำถูกเบียดให้ลอยสูงขึ้น ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 2.50 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณด้านล่างของท่อ คือบริเวณ Quadrant ที่ 3 และ 4 โดยอุณหภูมิสูงมีลักษณะการไต่ขอบท่อมาด้านล่างทั้งสองข้าง ถัดจากนั้นที่ $x/r_{eff}d$ = 2.83 และ 3.00 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงคล้ายลักษณะ

เปลวไฟบนเทียนไข โดยที่ตั้งแต่ $x/r_{eff}d$ = 2.50 ถึง 3.00 บริเวณอุณหภูมิสูงจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากที่มีความกว้างมากกว่าความสูง (อ้วน-เตี้ย) เป็นความสูงมากกว่าความกว้าง (ผอม-สูง)

จากลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตามหน้าตัด Downstream ต่างๆ สามารถทำให้เห็นลักษณะการพัฒนาตัวของเจ็ตในกรณี *S0rd05* คือ เจ็ตตัวแรกพุ่งมาจากด้านล่าง เมื่อมาถึงที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 จะเห็นลักษณะรูปไตแสดงว่าไม่มีผลจากเจ็ตตัวที่สอง และที่ตำแหน่งนี้ค่า C_{TL} สูงสุดไม่ได้อยู่ที่ผนังท่อด้านบน บ่งชี้ว่าเจ็ตที่ออกมาไม่ได้พุ่งชนผนังท่อด้านบนโดยตรง ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 0.50 เจ็ตตัวที่สองจะพุ่งขึ้น โดยเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สองจะรวมตัวกัน (นิยามการรวมตัวกันจากแนวโน้มเส้นทางการเคลื่อนที่ของค่า C_{TL} สูงสุด) ที่ผนังด้านบนที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.75 ทำให้เจ็ตแบ่งเป็นสองส่วน และที่ตำแหน่งนี้ค่า C_{TL} สูงสุดอยู่ที่ผนังท่อด้านบน บ่งชี้ว่าเจ็ตที่ออกมาไม่ได้พุ่งชนผนังท่อด้านบนโดยตรง โดยส่วนหนึ่งจะวิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และอีกส่วนหนึ่งจะวิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จนมาชนกันอีกครั้งหนึ่งที่บริเวณด้านล่างของท่อที่ระยะประมาณที่ $x/r_{eff}d$ = 2.50 จากผลการชนกันอีกครั้งดังกล่าวมีผลทำให้เจ็ตรวมตัวกันพุ่งขึ้นด้านบน

จากผลการพิจารณารูปร่างการพัฒนาตัวของเจ็ต พบว่าในกรณีนี้มีการชนกันของเจ็ตสองครั้ง โดยผลของการชนกันครั้งแรกที่บริเวณขอบท่อด้านบน มีผลทำให้มีบริเวณอุณหภูมิสูงอยู่ด้านบน และบริเวณอุณหภูมิต่ำอยู่ด้านล่าง และไหลไปตามขอบท่อทำให้เกิดการชนอีกครั้งหนึ่งที่บริเวณขอบท่อด้านล่าง มีผลทำให้มีบริเวณอุณหภูมิสูงอยู่ด้านล่าง และบริเวณอุณหภูมิต่ำอยู่ด้านบน ทำให้เกิดการสลับกันของอุณหภูมิ สูง-ต่ำ เป็น ต่ำ-สูง ตามแนวแกนท่ออย่างชัดเจน (ดังรูปที่ 3.44)

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งการพุ่งชนผนังด้านบนกับการทดลองของ Stoy and Ben-Haim 1973 โดยการประมาณ Trajectory ใช้สมการ Trajectory ของเจ็ตในกระแสลมขวาง (Smith and Mungal 1998) $\frac{y}{rd} = A(\frac{x}{rd})^m$ (แสดงในภาคผนวก ค) พบว่า ในกรณี *S0rd05* เจ็ตจะพุ่งชนผนังที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d$ ประมาณ 0.33 โดยที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 ยังคงเห็นรูปร่างคล้ายเจ็ตในกระแสลมขวางอยู่ คือเจ็ตยังไม่พุ่งชนผนังด้านบน ในขณะที่ $x/r_{eff}d$ = 0.75 (หลังเจ็ตตัวทีสองเป็นระยะ $x/r_{eff}d$ = 0.25) กลับมองไม่เห็นรูปร่างเช่นเดียวกับที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25

เมื่อสังเกต จาก Level สูงสุดของ C_{TL} (0.9-1.0) ในแต่ละหน้าตัด พบว่าที่หน้าตัด $x/r_{eff}d$ = 1.50, 2.00 และ 2.12 Level สูงสุดของ C_{TL} อยู่บริเวณเจ็ตที่วิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางตามเข็มนาฬิกา แสดงให้เห็นถึงเจ็ตบริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิสูง นอกจากนี้ เมื่อสังเกตถึงบริเวณที่มีค่า C_{TL} ต่ำสุดในแต่ละหน้าตัด จะสังเกตเห็นลักษณะการเดินทางของบริเวณอุณหภูมิต่ำ โดยเริ่มแรกที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 บริเวณอุณหภูมิต่ำซึ่งประกอบด้วย Crossflow Fluid มาก จะกระจายอยู่บริเวณขอบๆด้านข้าง แล้วเคลื่อนที่มารวมตัวกันที่บริเวณด้านล่างแล้วลอยขึ้นด้านบนของท่อ โดยผ่านจุดศูนย์กลางท่อ แล้วไปชนผนังด้านบน (การชนผนังดูจากบริเวณที่มีค่า C_{TL} ต่ำสุดในแต่ละหน้าตัด)

ที่ $x/r_{eff}d$ ประมาณ 2.50 แต่เอียงไปทางด้านที่มีมุมน้อยกว่า 90 องศาแสดงว่าเจ็ตตัวใดตัวหนึ่งหรือเจ็ตทั้งสองตัววางตำแหน่งไม่ได้ศูนย์กลางโดยเจ็ตที่ชนผนังด้านบนน่าจะไปทางด้านที่มีมุมมากกว่า 90 องศา จึงทำให้เกิดการไหลวนที่ไม่สมมาตรดังกล่าว

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก สัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ C_{TG} พบว่า Contour ของ C_{TG} ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 ถึง 3.00 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงโดย C_{TL} และจำนวน Level ของ Contour C_{TG} จะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางตาม Downstream เพิ่มมากขึ้นเช่นกันแสดงให้เห็นว่า เจ็ตสามารถดึงเอากระแสลมขวางเข้ามาผสม (Entrain) ในตัวเจ็ตได้เพิ่มขึ้นเมื่อพัฒนาตัวไปตาม Downstream ซึ่งเป็นไปตามการวิเคราะห์ในสมการ 3.10 ในขณะที่ C_{TG} ต่ำสุดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ากระแสลมขวางที่ถูกเหนี่ยวนำให้เข้าไปผสมกับเจ็ตจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่า C_{TG} สูงสุดและค่าC_{TG} ต่ำสุด ก็จะลู่เข้าสู่ค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.26 และเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ในสมการ 3.12 ($\overline{C_{TG}}$ เท่ากับ 0.28 ซึ่งจะแสดงระดับการผสมที่เจ็ตอากาศดึงกระแสลมเข้ามาผสมกันจนหมด) พบว่าค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้มีค่าน้อยกว่าการคำนวณ

อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองนั้นอาจมี error เนื่องจากคำนวณโดยใช้สมการ $\overline{C_{TG}} = \frac{1}{A}\int C_{TG} dA$ แต่ก็ยังไม่เกินค่าความไม่แน่นอนของ C_{TG} (ค่าความไม่แน่นอนของC_{TG} นั้นมีค่าประมาณ 0.05 แสดงในภาคผนวก จ)

และเมื่อพิจารณารูปร่างการกระจายตัวของ C_{TG} ที่ $x/r_{eff}d$ = 2.00 และ 2.12 จะเห็นว่าบริเวณอุณหภูมิสูงซึ่งคาดว่าเป็นบริเวณของเจ็ตนั้น ไม่มีความสมมาตรตามแนวแกน (y =0) โดยเจ็ตที่วิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางตามเข็มนาฬิกาไปถึงบริเวณด้านล่าง (มุม 270 องศา) ก่อนเจ็ตที่วิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางทวนเข็ม ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณารูปร่างการกระจายตัวของ C_{TL} ที่ $x/r_{eff}d$ = 1.50, 2.00 และ 2.12

รูปที่ 3.10 แสดงการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก Contour ของ C_{TG} และ C_{TL} สำหรับกรณี *S0rd10* ซึ่งเป็นกรณีเจ็ตสองตัววางห่างกัน $1.0r_{eff}d$ ในกระแสลมขวางที่ไม่มีการไหลแบบหมุนควง ในการพิจารณาการพัฒนาตัวของเจ็ต จาก $x/r_{eff}d$ = 0.25 ถึง $x/r_{eff}d$ = 3.00 พบว่า Contour ของ C_{TL} ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 (ระยะระหว่าเจ็ตตัวแรกและตัวที่สอง) มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิคล้ายลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวาง คือมีรูปร่างเป็นรูปไต (Kidney-shape) ซึ่งคล้ายกับกรณี *S0rd05* สำหรับบริเวณอุณหภูมิต่ำมีการกระจายตัวอยู่บริเวณด้านล่าง ที่ค่า $x/r_{eff}d$ นี้มีจำนวน Level ของ Contour C_{TL} เท่ากับ 10 Level ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 0.50 ยังคงมีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ คล้ายลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวางอยู่ แต่บริเวณอุณหภูมิสูงลอยตัวสูงขึ้นกว่าที่หน้าตัด $x/r_{eff}d$ = 0.25 และบริเวณที่อุณหภูมิต่ำยังคงกระจายตัวอยู่บริเวณด้านล่าง $x/r_{eff}d$ = 1.25 (หลังเจ็ตตัวที่สอง) ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูง ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากเจ็ตตัวที่สอง เป็น

ลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวางคือมีรูปร่างเป็นรูปไต (Kidney-shape) แต่รูปร่างต่างกับที่หน้าตัด $x/r_{eff}d = 0.25$ เล็กน้อย และบริเวณอุณหภูมิสูงลอยตัวอยู่ใกล้เคียงกับหน้าตัด $x/r_{eff}d = 0.25$ ในขณะที่ลักษณะการกระจายตัวของบริเวณอุณหภูมิต่ำเริ่มมีการกระจายตัวแคบลงแต่ยังคงอยู่ที่บริเวณด้านล่างเช่นเดิมซึ่งแตกต่างกับกรณี *S0rd05* ที่ $x/r_{eff}d = 0.75$ (ตำแหน่งหลังเจ็ตตัวที่สองเท่ากับ $0.25r_{eff}d$) อย่างชัดเจน

ส่วนที่ $x/r_{eff}d = 1.50$ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงยังคงอยู่ด้านบน (คล้าย ∩) และบริเวณอุณหภูมิต่ำมีลักษณะพุ่งขึ้น (ระหว่างขาตัว ∩) โดยที่มีขนาดความกว้างของบริเวณอุณหภูมิต่ำลดลงเมื่อเทียบกับความสูง ที่ $x/r_{eff}d = 2.00$ เริ่มเห็นลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงไหลไปตามขอบของท่อบริเวณด้านบน โดยมีการกระจายตัวอยู่ระหว่างมุม 340 ถึง 220 องศา (คล้าย ∩) และบริเวณอุณหภูมิต่ำมีลักษณะพุ่งขึ้น (ระหว่างขาตัว ∩) เช่นเดียวกับที่ $x/r_{eff}d = 1.50$ ที่ $x/r_{eff}d = 2.12, 2.50, 2.83$ และ 3.00 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงคล้ายๆ กันคือ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงไหลไปตามขอบท่อบริเวณด้าน และที่ $x/r_{eff}d = 3.00$ บน มีจำนวน Level ของ Contour C_{TL} เหลือเพียง 3 Level โดยตั้งแต่ $x/r_{eff}d = 1.50$ เกิดลักษณะความมีเสถียรภาพของบริเวณอุณหภูมิสูงอยู่ด้านบน (คล้าย ∩) และบริเวณอุณหภูมิต่ำอยู่บริเวณด้านล่างตลอดแนวการเคลื่อนที่ จากลักษณะดังกล่าวจะเห็นความมีเสถียรภาพของบริเวณอุณหภูมิสูงเป็นรูปคล้าย ∩ อยู่ตามขอบท่อ

จากลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตามหน้าตัดต่างๆ สามารถทำให้เห็นลักษณะการพัฒนาตัวของเจ็ตในกรณี *S0rd10* คือ เจ็ตตัวแรกพุ่งมาจากด้านล่าง โดยชนผนังด้านบนที่ประมาณ $x/r_{eff}d = 0.50$ และเมื่อมาถึงที่ $x/r_{eff}d = 1.00$ เจ็ตตัวที่สองจะพุ่งขึ้น โดยเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สองจะรวมตัวกันที่ผนังด้านบนที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d = 1.50$ แล้วแบ่งเป็นสองส่วน โดยส่วนหนึ่งจะวิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และอีกส่วนหนึ่งจะวิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางตามเข็มนาฬิกา โดยส่วนทั้งสองไม่ได้แยกออกจากกันอย่างชัดเจน และเจ็ตทั้งสองวิ่งไปตามขอบได้ระยะหนึ่งเท่านั้น

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งการพุ่งชนผนังด้านบนกับการทดลองของ Stoy and Ben-Haim 1973 โดยการประมาณ Trajectory ใช้สมการ Trajectory ของเจ็ตในกระแสลมขวาง (Smith and Mungal 1998) $\frac{y}{rd} = A(\frac{x}{rd})^{m}$ (แสดงในภาคผนวก ค) พบว่า ในกรณี *S0rd10* เจ็ตจะพุ่งชนผนังที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d$ ประมาณ 0.33 ซึ่งเป็นระยะที่ใกล้กว่าตำแหน่งวัด ดังนั้นที่ระยะประมาณ $x/r_{eff}d = 0.50$ และ $x/r_{eff}d = 1.50$ เจ็ตจึงพุ่งชนผนังด้านบนแล้ว

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก สัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ C_{TG} พบว่า Contour ของ C_{TG} ที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ ถึง 3.00 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงโดย C_{TL} และจำนวน Level ของ Contour C_{TG} จะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางตาม

Downstream เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าเจ็ตสามารถดึงเอากระแสลมขวางเข้ามาผสม (Entrain) ในตัวเจ็ตได้เพิ่มขึ้นเมื่อพัฒนาตัวไปตาม Downstream ซึ่งเป็นไปตามการวิเคราะห์ในสมการ 3.10 ในขณะที่ C_{TG} ต่ำสุดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ากระแสลมขวางที่ถูกเหนี่ยวนำให้เข้าไปผสมกับเจ็ตจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และค่า C_{TG} สูงสุดและค่าC_{TG} ต่ำสุด ก็จะลู่เข้าสู่ค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.25 และเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ในสมการ 3.12 ($\overline{C_{TG}}$ เท่ากับ 0.28 ซึ่งจะแสดงระดับการผสมที่เจ็ตอากาศดึงกระแสลมเข้ามาผสมกันจนหมด) พบว่าค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้มีค่าน้อยกว่าการคำนวณ

อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองนั้นอาจมี error เนื่องจากคำนวณโดยใช้สมการ $\overline{C_{TG}} = \frac{1}{A}\int C_{TG} dA$ แต่ก็ยังไม่เกินค่าความไม่แน่นอนของ C_{TG} (ค่าความไม่แน่นอนของC_{TG} นั้นมีค่าประมาณ 0.05 แสดงในภาคผนวก จ)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณารูปร่างการกระจายตัวของ C_{TG} ที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ เทียบกับ ที่ $x/r_{eff}d = 1.25$ โดยดูจากมีจำนวน Level พบว่าที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ ระยะระหว่าเจ็ตตัวแรกและตัวที่สอง มีจำนวน Level เท่ากับ 4 ในขณะที่ ที่ $x/r_{eff}d = 1.25$ หลังตัวที่สอง กลับมีจำนวน Level เพิ่มขึ้นเป็น 5 และเมื่อสังเกตบริเวณอุณหภูมิต่ำสุดของ Contour C_{TG} ที่ $x/r_{eff}d = 2.00$ เทียบกับ ที่ $x/r_{eff}d = 2.12$ พบว่า บริเวณบริเวณอุณหภูมิต่ำสุดมีขนาดความกว้างลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับความสูง

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.8 ถึง 3.10 ซึ่งเป็นผลการทดลองในกรณีการไหลของเจ็ตในท่อที่ไม่มีการไหลแบบหมุนควง (*S0*) สามารถสรุปได้ว่า การพัฒนาตัวในกรณี *S0rd00* คือเจ็ตจะพุ่งจากบริเวณด้านล่างแล้วชนผนังด้านบนแล้วไหลไปตามผนังท่อด้านบนตาม Downstream สำหรับในกรณี *S0rd05* เจ็ตตัวแรกพุ่งมาจากด้านล่าง เมื่อมาถึงที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ จะเห็นลักษณะรูปไตแสดงว่าไม่มีผลจากเจ็ตตัวที่สอง และที่ $x/r_{eff}d = 0.50$ เจ็ตตัวที่สองจะพุ่งขึ้น โดยเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สองจะรวมตัวกัน ที่ผนังด้านบนที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d = 0.75$ ทำให้เจ็ตแบ่งเป็นสองส่วนโดยส่วนหนึ่งจะวิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และอีกส่วนหนึ่งจะวิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จนมาชนกันอีกครั้งหนึ่งที่บริเวณด้านล่างของท่อที่ระยะประมาณที่ $x/r_{eff}d = 2.50$ แล้วรวมตัวกันพุ่งขึ้นด้านบน และในกรณี *S0rd10* เจ็ตตัวแรกพุ่งมาจากด้านล่าง เมื่อมาถึงที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ จะเห็นลักษณะรูปไตเช่นกัน โดยชนผนังด้านบนที่ประมาณ $x/r_{eff}d = 0.50$ และเมื่อมาถึงที่ $x/r_{eff}d = 1.00$ เจ็ตตัวที่สองจะพุ่งขึ้น โดยเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สองจะรวมตัวกันที่ผนังด้านบนที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d = 1.50$ แล้วแบ่งเป็นสองส่วน โดยส่วนหนึ่งจะวิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และอีกส่วนหนึ่งจะวิ่งไปตามผนังท่อในทิศทางตามเข็มนาฬิกา โดยส่วนทั้งสองไม่ได้แยกออกจากกันอย่างชัดเจน และเจ็ตทั้งสองวิ่งไปตามขอบได้ระยะหนึ่งเท่านั้น

การพัฒนาตัวของเจ็ตในท่อที่มีการไหลแบบหมุนควง (*S18rdxx*)

รูปที่ 3.11 แสดงการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก Contour ของ C_{TG} และ C_{TL} สำหรับกรณี *S18rd00* ซึ่งเป็นกรณีของเจ็ตหนึ่งตัวในกระแสลมขวางที่มีการไหลแบบหมุนควง พบว่า Contour ของ C_{TL} ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 ถึง 3.00 ทุกหน้าตัดมีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูง (นิยามจากบริเวณที่มีค่า C_{TL} สูงสุด 2 Level ในแต่ละหน้าตัด) (บริเวณอุณหภูมิสูงคือบริเวณที่ Jet Fluid มาก) อยู่ด้านบนและและมีลักษณะการหมุนไปในทิศทางเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง โดยมีรายละเอียดคือที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณด้านบน มีบริเวณอุณหภูมิต่ำกระจายตัวอยู่ 2 บริเวณ โดยมีขนาดไม่เท่ากัน ที่ค่า $x/r_{eff}d$ นี้มีจำนวน Level ของ Contour C_{TL} เท่ากับ 8 Level ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 0.50, และ 0.75 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณขอบท่อด้านบนโดยเอียงมาทาง Quadrant ที่ 2 เล็กน้อย และบริเวณของอุณหภูมิต่ำสุดอยู่บริเวณกลางท่อค่อนมาทางด้านล่างโดยบริเวณของอุณหภูมิต่ำสุดจะหายไปในบริเวณขอบท่อก่อนบริเวณกึ่งกลางท่อ

ที่ $x/r_{eff}d$ = 1.50, 2.00, 2.25, 2.50 และ 3.00 การกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณขอบท่อด้านบนโดยเอียงมาทาง Quadrant ที่ 2 เพิ่มขึ้น และมีลักษณะการกระจายตัวมากขึ้นตามระยะ Downstream ที่เพิ่มขึ้น และจำนวน Level ของ Contour C_{TL} ที่มีค่าลดลงจาก 8 Level ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 จนเหลือ 2 Level ที่ $x/r_{eff}d$ = 3.00 แสดงให้เห็นถึงหน้าตัดบริเวณ Upstream มี Gradient ของ C_{TL} ที่ตำแหน่งต่างๆ ในหน้าตัดสูงกว่าที่หน้าตัดบริเวณ Downstream โดย Gradient จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามแนว Downstream

เนื่องจากในกรณีการทดลองนี้เป็นการทดลองโดยให้ความร้อนกับ Jet fluid ดังนั้นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง (บริเวณที่มี Jet fluid มาก) น่าจะเกิดจากเจ็ต ดังนั้นผลการทดลองสามารถบ่งชี้ได้ว่าบริเวณอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นบริเวณของเจ็ต ดังนั้นผลการทดลองสามารถบ่งชี้ได้ว่าบริเวณอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นบริเวณของเจ็ต โดยในกรณี *S18rd00* นี้ลักษณะการพัฒนาตัวของอุณหภูมิ แสดงว่าเจ็ตจะพุ่งจากบริเวณด้านล่างแล้วชนผนังด้านบน (การชนผนังดูจากบริเวณที่มีค่า C_{TL} สูงสุดในแต่ละหน้าตัด) ที่ระยะประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.25 แล้วไหลไปตามผนังท่อด้านบนตาม Downstream โดยการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณขอบท่อด้านบนโดยเอียงมาทาง Quadrant ที่ 2 เล็กน้อย และมีทิศเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งการพุ่งชนผนังด้านบนกับการทดลองของ Stoy and Ben-Haim 1973 โดยการประมาณ Trajectory ใช้สมการ Trajectory ของเจ็ตในกระแสลมขวาง (Smith and Mungal 1998) $\frac{y}{rd} = A(\frac{x}{rd})^{m}$ (แสดงในภาคผนวก ค) พบว่า ในกรณี *S18rd00* เจ็ตจะพุ่งชนผนังที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d$ ประมาณ 0.05 ซึ่งเป็นระยะที่ใกล้กว่าตำแหน่งวัด ดังนั้นที่ระยะประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.25 เจ็ตจึงพุ่งชนผนังด้านบนแล้ว

นอกจากนี้ เมื่อสังเกตที่หน้าตัด $x/r_{eff}d$ = 0.50 ถึง 0.75 ยังเห็นลักษณะการหมุนวนไปตามขอบท่อของบริเวณที่มีค่า C_{TL} ระหว่าง 0.40 ถึง 0.50 โดยมีทิศทางเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง นั่งแสดงให้เห็นว่า การผสมตามผนังท่อและดึงอากาศบริเวณผนังท่อมาผสมได้ดีกว่าบริเวณกึ่งกลาง ทั้งนี้เนื่องจากการไหลแบบหมุนควงของกระแสลมขวางมีลักษณะเป็นแบบ Solid-body rotation ดังนั้นขนาดเวคเตอร์ความเร็วในแนวสัมผัส (w) ที่ขอบท่อจึงมีมากกว่าตรงกลางกอร์ปกับโมเมนต์ตัมของเจ็ตที่พุ่งชนผนังอยู่บริเวณขอบท่อ จะเห็นว่าลักษณะทั้งสองมีลักษณะเสริมกัน จึงน่าจะทำให้เกิดการผสมที่บริเวณผนังท่อดีกว่าบริเวณกลางท่อ

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก สัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ C_{TG} พบว่า Contour ของ C_{TG} ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 ถึง 3.00 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่ด้านบนและบริเวณของอุณหภูมิต่ำอยู่ด้านล่าง เช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงโดย C_{TL} และจำนวน Level ของ Contour C_{TG} จะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางตาม Downstream เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยที่หน้าตัดหลัง $x/r_{eff}d$ = 1.50 พบว่าบริเวณอุณหภูมิต่ำสุดจะลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยลดลงจากบริเวณ Quadrant ที่ 3 ก่อน Quadrant ที่ 4 ซึ่งการลดลงของบริเวณอุณหภูมิต่ำสุดนี้มีทิศทางเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง

เมื่อพิจารณาค่า C_{TG} พบว่า ค่าC_{TG} สูงสุดมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามแนว Downstream แสดงให้เห็นว่า เจ็ตสามารถดึงเอากระแสลมขวางเข้ามาผสม (Entrain) ในตัวเจ็ตได้เพิ่มขึ้นเมื่อพัฒนาตัวไปตาม Downstream ซึ่งเป็นไปตามการวิเคราะห์ในสมการ 3.10 ในขณะที่ C_{TG} ต่ำสุดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ากระแสลมขวางที่ถูกเหนี่ยวนำให้เข้าไปผสมกับเจ็ตจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และค่า C_{TG} สูงสุดและค่าC_{TG} ต่ำสุด ก็จะลู่เข้าสู่ค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.27 และเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ในสมการ 3.12 ($\overline{C_{TG}}$ เท่ากับ 0.28 ซึ่งจะแสดงระดับการผสมที่เจ็ตอากาศดึงกระแสลมเข้ามาผสมกันจนหมด) พบว่าค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้มีค่าน้อยกว่าการคำนวณ

อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองนั้นอาจมี error เนื่องจากคำนวณโดยใช้สมการ $\overline{C_{TG}} = \frac{1}{A}\int C_{TG}dA$ แต่ก็ยังไม่เกินค่าความไม่แน่นอนของ C_{TG} (ค่าความไม่แน่นอนของC_{TG} นั้นมีค่าประมาณ 0.05 แสดงในภาคผนวก จ)

รูปที่ 3.12 แสดงการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก Contour ของ C_{TG} และ C_{TL} สำหรับกรณี *S18rd05* ซึ่งเป็นกรณีเจ็ตสองตัววางห่างกัน 0.5$r_{eff}d$ ในกระแสลมขวางที่มีการไหลแบบหมุนควง ในการพิจารณาการพัฒนาตัวของเจ็ต จาก $x/r_{eff}d$ = 0.25 ถึง $x/r_{eff}d$ = 4.23 พบว่า Contour ของ C_{TL} ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 (ระยะระหว่าเจ็ตตัวแรกและตัวที่สอง) มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงส่วนใหญ่อยู่ด้านบนโดยกวาดมุมตั้งแต่ 60 ถึง 140 องศา และมองเห็นลักษณะเป็นแนวของอุณหภูมิสูงที่ขึ้นมาจากบริเวณด้านล่าง ส่วนการกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำ จะอยู่บริเวณขอบท่อระหว่างมุม 300 ถึง 0 องศา (บริเวณรอยต่อของ Quadrant ที่ 1 กับ Quadrant ที่ 4) ที่ค่า $x/r_{eff}d$ นี้

มีจำนวน Level ของ Contour C_{TI} เท่ากับ 10 Level ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 0.75 (หลังเจ็ตตัวที่สอง) พบบริเวณอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณด้านบน และบริเวณอุณหภูมิต่ำอยู่บริเวณด้านข้าง (บริเวณรอยต่อของ Quadrant ที่ 1 กับ Quadrant ที่ 4) แต่ไม่ติดกับผนังท่อ โดยบริเวณอุณหภูมิสูงจะค่อนข้างเอียงมาทาง Quadrant ที่ 2 และจำนวน Level ของ Contour C_{TI} เหลือเพียง 8 Level

ส่วนที่ $x/r_{eff}d$ = 1.50 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกินบริเวณมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณขอบท่อ และยังมีบริเวณอุณหภูมิต่ำกระจายตัวอยู่โดยเฉพาะใน Quadrant ที่ 2 และจำนวน Level ของ Contour C_{TI} เหลือเพียง 4 Level ที่ $x/r_{eff}d$ = 2.00 ถึง 4.23 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิค่อนข้างจะสม่ำเสมอ

จากลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตามหน้าตัด Downstream ต่างๆ สามารถทำให้เห็นลักษณะการพัฒนาตัวของเจ็ตในกรณี *S18rd05* คือ เจ็ตตัวแรกพุ่งมาจากด้านล่างและชนผนังด้านบนที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.25 เมื่อมาถึงที่ $x/r_{eff}d$ = 0.50 เจ็ตตัวที่สองจะพุ่งขึ้น โดยเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สองจะรวมตัวกันที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.75 แล้วไหลหมุนไปตามขอบท่อ Downstream ต่างๆ โดยที่ผลของการหมุนควงของกระแสลมขวางมีผลทำให้การดึงอากาศเข้ามาผสมที่บริเวณขอบท่อได้ดีกว่าบริเวณกลางท่อ โดยดูจากบริเวณอุณหภูมิต่ำที่หายไปก่อนที่บริเวณขอบท่อ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งการพุ่งชนผนังด้านบนกับการทดลองของ Stoy and Ben-Haim 1973 โดยการประมาณ Trajectory ใช้สมการ Trajectory ของเจ็ตในกระแสลมขวาง (Smith and Mungal 1998) $\frac{y}{rd} = A(\frac{x}{rd})^m$ (แสดงในภาคผนวก ค) พบว่า ในกรณี *S18rd05* เจ็ตจะพุ่งชนผนังที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d$ ประมาณ 0.12 ซึ่งเป็นระยะที่ใกล้กว่าตำแหน่งวัด ดังนั้นที่ระยะประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.25 (ระหว่างเจ็ตตัวแรกกับเจ็ตตัวที่สอง) เจ็ตจึงพุ่งชนผนังด้านบนแล้ว และในขณะที่ $x/r_{eff}d$ = 0.75 (หลังเจ็ตตัวทีสองเป็นระยะ $x/r_{eff}d$ = 0.25) ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน

เมื่อสังเกตจาก Level สูงสุดของ C_{TI} (0.9-1.0) ในแต่ละหน้าตัด พบว่าที่ $x/r_{eff}d$ = 1.50 และ 2.00 มีบริเวณของช่วง C_{TI} ดังกล่าวอยู่ 2 ช่วงด้วยกันคือบริเวณขอบท่อด้านบน และบริเวณขอบท่อด้านล่าง โดยส่วนที่อยู่บริเวณขอบท่อด้านบนค่อนข้างจะอยู่นิ่ง ในขณะที่ส่วนที่อยู่บริเวณขอบท่อด้านล่างหมุนไปในทิศทางเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง และเมื่อสังเกตบริเวณอุณหภูมิต่ำ (ค่า C_{TI} ระหว่าง 0.8 ถึง 0.9) ที่ $x/r_{eff}d$ = 2.50, 3.00, 3.17 และ 4.23 จะมองเห็นลักษณะการหมุนของบริเวณดังกล่าวได้อย่างชัดเจน ซึ่งบริเวณดังกล่าวน่าจะเป็นผลจากการหมุนควงของกระแสลมขวาง

เมื่อพิจารณารูปร่างการกระจายตัวของ C_{TI} ที่ $x/r_{eff}d$ = 1.50 และ 2.00 แล้วจะเห็นว่าบริเวณอุณหภูมิสูงในแต่ละหน้าตัดซึ่งคาดว่าเป็นบริเวณของเจ็ตนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งจะอยู่นิ่ง ในขณะที่ส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ไปตามขอบท่อในทิศทางเดียวกับการหมุนของกระแส

ลมขวางนั้น สันนิษฐานการเกิดได้ 2 กรณี คือ 1) เจ็ตทั้งสองส่วนเกิดจากการชนและรวมตัวกันของเจ็ตทั้งสองตัวแล้วแยกออกเป็นการไหลไปตามผนังท่อแบบทวนเข็มและแบบตามเข็ม โดยที่ส่วนเจ็ตที่ไหลตามผนังท่อแบบทวนเข็มจะมีทิศทางการหมุนเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวางจึงมีส่วนเสริมกันให้หมุนเร็วขึ้น ในขณะที่ส่วนเจ็ตที่ไหลตามผนังท่อแบบตามเข็มจะมีทิศทางการหมุนสวนทางกับการหมุนควงของกระแสลมขวางดังนั้นผลของการหมุนจึงหักล้างกัน โดยสมมุติฐานนี้มาจากการเลียนแบบการพัฒนาตัวของเจ็ตในกรณี *S0rd05* 2) เจ็ตทั้งสองส่วนไม่เกี่ยวข้องกันเลยคือ เจ็ตส่วนแรกที่วิ่งไปในทิศทางเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวางเกิดจากเจ็ตตัวแรก และเจ็ตส่วนอยู่กับที่ด้านบนเกิดจากเจ็ตตัวที่สอง เนื่องจากจากเจ็ตตัวแรกอยู่ที่ระยะ Downstream ใกล้ๆค่าของการหมุนควงของกระแสลมขวางจึงมีค่าสูง ในขณะที่เจ็ตตัาที่สองอยู่ที่ระยะ Downstream ไกลออกไปค่าการหมุนควงของกระแสลมขวางจึงมีค่าต่ำลงดังนั้น เจ็ตตัวแรกจึงมีผลจากการหมุนควงของกระแสลมขวางมากกว่า นอกจากนี้เจ็ตตัวแรกยังพุ่งชนผนังด้านบนตั้งแต่ $x/r_{eff}d = 0.25$ จะทำให้เกิดการ block การหมุนควงของกระแสลมขวางอีกทางหนึ่งดังนั้นผลของการหมุนควงของกระแสลมขวางจึงมีผลต่อเจ็ตตัวที่สองน้อยกว่าโมเมนตัมของเจ็ตตัวที่สองมากๆ ดังนั้นเจ็ตตัวที่สองจึงไม่หมุน

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก สัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ C_{TG} พบว่า Contour ของ C_{TG} ที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ ถึง 4.23 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงโดย C_{TL} และจำนวน Level ของ Contour C_{TG} จะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางตาม Downstream เพิ่มมากขึ้นเช่นกันแสดงให้เห็นว่า เจ็ตสามารถดึงเอากระแสลมขวางเข้ามาผสม (Entrain) ในตัวเจ็ตได้เพิ่มขึ้นเมื่อพัฒนาตัวไปตาม Downstream ซึ่งเป็นไปตามการวิเคราะห์ในสมการ 3.10 ในขณะที่ C_{TG} ต่ำสุดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ากระแสลมขวางที่ถูกเหนี่ยวนำให้เข้าไปผสมกับเจ็ตจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และค่า C_{TG} สูงสุดและค่าC_{TG} ต่ำสุด ก็จะลู่เข้าสู่ค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.28 และเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ในสมการ 3.12 ($\overline{C_{TG}}$ เท่ากับ 0.28 ซึ่งจะแสดงระดับการผสมที่เจ็ตอากาศดึงกระแสลมเข้ามาผสมกันจนหมด) พบว่าค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้มีค่าเท่ากับการคำนวณพอดี

รูปที่ 3.13 แสดงการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก Contour ของ C_{TG} และ C_{TL} สำหรับกรณี *S18rd10* ซึ่งเป็นกรณีเจ็ตสองตัววางห่างกัน $1.0r_{eff}d$ ในกระแสลมขวางที่มีการไหลแบบหมุนควง ในการพิจารณาการพัฒนาตัวของเจ็ต จาก $x/r_{eff}d = 0.25$ ถึง $x/r_{eff}d = 4.23$ พบว่า Contour ของ C_{TL} ที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ (ระยะระหว่าเจ็ตตัวแรกและตัวที่สอง) มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงส่วนใหญ่อยู่ด้านบน คล้ายกรณี *S0rd05* โดยกวาดมุมตั้งแต่ 60 ถึง 120 องศา และมองเห็นลักษณะเป็นแนวของอุณหภูมิสูงที่ขึ้นมาจากบริเวณด้านล่าง ส่วนการกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำ จะอยู่บริเวณขอบท่อระหว่างมุม 300 ถึง 30 องศา (บริเวณรอยต่อของ Quadrant ที่ 1 กับ Quadrant

ที่ 4) ที่ค่า $x/r_{eff}d$ นี้มีจำนวน Level ของ Contour C_{TL} เท่ากับ 10 Level ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 0.50 พบบริเวณอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณด้านบน และบริเวณอุณหภูมิต่ำอยู่บริเวณด้านข้าง (บริเวณรอยต่อของ Quadrant ที่ 1 กับ Quadrant ที่ 4) ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 1.25 (หลังเจ็ตตัวที่สอง) พบบริเวณอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณด้านบน และบริเวณอุณหภูมิต่ำอยู่บริเวณด้านข้าง (บริเวณรอยต่อของ Quadrant ที่ 1 กับ Quadrant ที่ 4) เช่นเดิม โดยบริเวณอุณหภูมิสูงจะค่อนข้างเอียงมาทาง Quadrant ที่ 2 และจำนวน Level ของ Contour C_{TL} เหลือเพียง 7 Level

ส่วนที่ $x/r_{eff}d$ = 1.50 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกินบริเวณมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณขอบท่อ โดยเฉพาะบริเวณ Quadrant ที่ 1, 2 และ 3 และยังมีบริเวณอุณหภูมิต่ำกระจายตัวอยู่โดยเฉพาะในบริเวณกลางท่อค่อนมาทาง Quadrant ที่ 4, 1 และ 2 ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 2.00 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงกินบริเวณมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณขอบท่อ และยังมีบริเวณอุณหภูมิต่ำกระจายตัวอยู่โดยเฉพาะใน Quadrant ที่ 2 จำนวน Level ของ Contour C_{TL} เหลือเพียง 3 Level และที่ $x/r_{eff}d$ = 2.50 ถึง 4.23 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิค่อนข้างจะสม่ำเสมอ โดยตั้งแต่ $x/r_{eff}d$ = 2.50 เหลือ Level ของ Contour C_{TL} เพียง 2 Level

จากลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตามหน้าตัด Downstream ต่างๆ สามารถทำให้เห็นลักษณะการพัฒนาตัวของเจ็ตในกรณี *S18rd10* คือ เจ็ตตัวแรกพุ่งมาจากด้านล่างและชนผนังด้านบนที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.25 เมื่อมาถึงที่ $x/r_{eff}d$ = 1.00 เจ็ตตัวที่สองจะพุ่งขึ้น โดยเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สองจะรวมตัวกันที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d$ = 1.25 แล้วไหลหมุนไปตามขอบท่อ Downstream ต่างๆ โดยที่ผลของการหมุนควงของกระแสลมขวางมีผลทำให้การดึงอากาศเข้ามาผสมที่บริเวณขอบท่อได้ดีกว่าบริเวณกลางท่อโดยดูจากบริเวณอุณหภูมิต่ำที่หายไปก่อนที่บริเวณขอบท่อเช่นเดียวกับกรณี *S18rd05*

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งการพุ่งชนผนังด้านบนกับการทดลองของ Stoy and Ben-Haim 1973 โดยการประมาณ Trajectory ใช้สมการ Trajectory ของเจ็ตในกระแสลมขวาง (Smith and Mungal 1998) $\frac{y}{rd} = A(\frac{x}{rd})^m$ (แสดงในภาคผนวก ค) พบว่า ในกรณี *S18rd05* เจ็ตจะพุ่งชนผนังที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d$ ประมาณ 0.12 ซึ่งเป็นระยะที่ใกล้กว่าตำแหน่งวัด ดังนั้นที่ระยะประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.25 (ระหว่างเจ็ตตัวแรกกับเจ็ตตัวที่สอง) เจ็ตจึงพุ่งชนผนังด้านบนแล้ว และในขณะที่ $x/r_{eff}d$ = 1.25 (หลังเจ็ตตัวทีสองเป็นระยะ $x/r_{eff}d$ = 0.25) ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน

เมื่อสังเกตจาก Level สูงสุดของ C_{TL} (0.9-1.0) ในแต่ละหน้าตัด พบว่าที่ $x/r_{eff}d$ = 1.50 และ 2.00 มีบริเวณของช่วง C_{TL} ดังกล่าวอยู่ 2 ช่วงด้วยกันคือ ที่ $x/r_{eff}d$ = 1.50 มีอยู่ที่บริเวณขอบท่อด้านบน และบริเวณขอบท่อด้านข้าง (บริเวณรอยต่อของ Quadrant ที่ 2 กับ Quadrant ที่ 3) และที่ $x/r_{eff}d$ = 2.00 มีอยู่ที่บริเวณขอบท่อด้านบน และบริเวณขอบท่อด้านล่าง โดยส่วนที่อยู่บริเวณขอบท่อด้านบนค่อนข้างจะอยู่นิ่ง ในขณะที่ส่วนที่อยู่บริเวณขอบท่อด้านล่างหมุนไปในทิศ

ทางเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง และเมื่อสังเกตบริเวณอุณหภูมิต่ำ (ค่า C_{TL} ระหว่าง 0.8 ถึง 0.9) ที่ $x/r_{eff}d$ = 2.50, 3.00, 3.17 และ 4.23 จะมองเห็นลักษณะการหมุนของบริเวณดังกล่าวได้อย่างชัดเจน ซึ่งบริเวณดังกล่าวน่าจะเป็นผลจากการหมุนควงของกระแสลมขวางเช่นเดียวกับกรณี *S18rd05*

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการพัฒนาตัวของเจ็ตจาก สัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ C_{TG} พบว่า Contour ของ C_{TG} ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 ถึง 4.23 มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงโดย C_{TL} และจำนวน Level ของ Contour C_{TG} จะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางตาม Downstream เพิ่มมากขึ้นเช่นกันแสดงให้เห็นว่า เจ็ตสามารถดึงเอากระแสลมขวางเข้ามาผสม (Entrain) ในตัวเจ็ตได้เพิ่มขึ้นเมื่อพัฒนาตัวไปตาม Downstream ซึ่งเป็นไปตามการวิเคราะห์ในสมการ 3.10 ในขณะที่ C_{TG} ต่ำสุดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ากระแสลมขวางที่ถูกเหนี่ยวนำให้เข้าไปผสมกับเจ็ตจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และค่า C_{TG} สูงสุดและค่าC_{TG} ต่ำสุด ก็จะลู่เข้าสู่ค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.28 และเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ในสมการ 3.12 ($\overline{C_{TG}}$ เท่ากับ 0.28 ซึ่งจะแสดงระดับการผสมที่เจ็ตอากาศดึงกระแสลมเข้ามาผสมกันจนหมด) พบว่าค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้มีค่าเท่ากับการคำนวณพอดี เช่นเดียวกับกรณี *S18rd05*

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.11 ถึง 3.13 ซึ่งเป็นผลการทดลองในกรณีการไหลของเจ็ตในท่อที่มีการไหลแบบหมุนควง (*S18*) สามารถสรุปได้ว่า การพัฒนาตัวในกรณี *S18rd00* คือ เจ็ตจะพุ่งจากบริเวณด้านล่างแล้วชนผนังด้านบน (การชนผนังดูจากบริเวณที่มีค่า C_{TL} สูงสุดในแต่ละหน้าตัด) ที่ระยะประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.25 แล้วไหลไปตามผนังท่อด้านบนตาม Downstream โดยการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณขอบท่อด้านบนโดยเอียงมาทาง Quadrant ที่ 2 เล็กน้อย และมีทิศเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง สำหรับในกรณี *S18rd05* เจ็ตตัวแรกพุ่งมาจากด้านล่างและชนผนังด้านบนที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.25 เมื่อมาถึงที่ $x/r_{eff}d$ = 0.50 เจ็ตตัวที่สองจะพุ่งขึ้น โดยเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สองจะรวมตัวกันที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.75 แล้วไหลหมุนไปตามขอบท่อ Downstream ต่างๆ โดยที่ผลของการหมุนควงของกระแสลมขวางมีผลทำให้การดึงอากาศเข้ามาผสมที่บริเวณขอบท่อได้ดีกว่าบริเวณกลางท่อ โดยดูจากบริเวณอุณหภูมิต่ำที่หายไปก่อนที่บริเวณขอบท่อ และในกรณี *S18rd10* เจ็ตตัวแรกพุ่งมาจากด้านล่างและชนผนังด้านบนที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d$ = 0.25 เมื่อมาถึงที่ $x/r_{eff}d$ = 1.00 เจ็ตตัวที่สองจะพุ่งขึ้น โดยเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สองจะรวมตัวกันที่ตำแหน่งประมาณ $x/r_{eff}d$ = 1.25 แล้วไหลหมุนไปตามขอบท่อ Downstream ต่างๆ โดยที่ผลของการหมุนควงของกระแสลมขวางมีผลทำให้การดึงอากาศเข้ามาผสมที่บริเวณขอบท่อได้ดีกว่าบริเวณกลางท่อโดยดูจากบริเวณอุณหภูมิต่ำที่หายไปก่อนที่บริเวณขอบท่อเช่นเดียวกับกรณี *S18rd05*

3.2.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่หน้าตัดต่างๆ

ในการเปรียบเทียบผลการทดลองที่หน้าตัดต่างๆนั้นจะทำการเปรียบเทียบกันระหว่าง Contour ด้าน End view ของค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิรวม C_{TG} ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ถึง 3.25 ซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยใช้ Scale ต่างๆ คือ $r_{eff}d$-scale, D-scale และ S-scale โดยที่ S คือระยะห่างระหว่างเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สอง เนื่องจากการทดลองนี้มีลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวาง จึงเลือก $r_{eff}d$-scale เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ นอกจากนี้เมื่อคำนึงถึงลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้ D-scale จึงเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่เลือกใช้ และเนื่องจากระยะห่างระหว่างเจ็ตแต่ละตัวเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิด้านท้าย ดังนั้น S-scale ก็เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

โดยการเปรียบเทียบแบบ $r_{eff}d$-scale ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1) ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ตที่ตำแหน่งหน้าตัดหลังเจ็ตแต่ละตัวเป็นระยะทาง 0.25 $r_{eff}d$ คือที่หน้าตัด $x/r_{eff}d = 0.25$ สำหรับทุกกรณี ที่หน้าตัด $x/r_{eff}d = 0.75$ สำหรับกรณี *Sxrd05* (กรณีที่เจ็ตตัวที่สองวางห่างจากเจ็ตตัวแรกเท่ากับ $0.5r_{eff}d$) และที่หน้าตัด $x/r_{eff}d = 1.25$ สำหรับกรณี *Sxrd10* (กรณีที่เจ็ตตัวที่สองวางห่างจากเจ็ตตัวแรกเท่ากับ $1.0r_{eff}d$) 2) ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ต (โดยดูตั้งแต่หลังเจ็ตที่ไกลสุด) คือที่หน้าตัด $x/r_{eff}d = 1.50, 2.00, 2.50$ และ 3.00 การเปรียบเทียบแบบ D-scale ที่หน้าตัด $x/D = 2.52$ และ 3.36 และการเปรียบเทียบแบบ S-scale ที่หน้าตัด $x/S = 0.50, 1.50$ และ 3.00 ตามลำดับ ในการนำเสนอผลการทดลองนั้นจะแสดงผลการทดลองในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง และผลการทดลองในกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงโดยใช้สัญลักษณ์ *S0* เรียกแทนกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง ใช้สัญลักษณ์ *S18* เรียกแทนกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควง ใช้สัญลักษณ์ *rd00* เรียกแทนกรณีเจ็ตหนึ่งตัว ใช้สัญลักษณ์ *rd05* เรียกแทนกรณีเจ็ตสองตัวที่วางห่างกัน $0.5r_{eff}d$ และใช้สัญลักษณ์ *rd10* เรียกแทนกรณีเจ็ตสองตัวที่วางห่างกัน $1.0r_{eff}d$

การวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวและความสม่ำเสมอของอุณหภูมิโดยใช้ $r_{eff}d$-scale

ผลของ ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ต 0.25 $r_{eff}d$

รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TG} เปรียบเทียบกัน ณ ตำแหน่งหน้าตัดหลังเจ็ตแต่ละตัวเป็นระยะทาง 0.25 $r_{eff}d$ สำหรับกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง พบว่า 1) กรณีหลังเจ็ตตัวแรก (ที่ $x/r_{eff}d = 0.25$) กรณี *S0rd00* ต่างจาก

กรณี *S0rd05* และ *S0rd10* คือ พบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิคล้ายลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวาง คือมีรูปร่างเป็นรูปไต (Kidney-shape) ในกรณี *S0rd05* และ *S0rd10* แต่ไม่พบลักษณะดังกล่าวในกรณี *S0rd00* 2) กรณีหลังเจ็ตตัวที่สอง (ที่ $x/r_{eff}d = 0.75$ สำหรับกรณี *S0rd05* และที่ $x/r_{eff}d = 1.25$ สำหรับกรณี *S0rd10*) กรณี *S0rd05* ต่างจากกรณี *S0rd10* คือ พบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิคล้ายลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวาง คือมีรูปร่างเป็นรูปไต (Kidney-shape) ในกรณี *S0rd10* แต่ไม่พบลักษณะดังกล่าวในกรณี *S0rd05*

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า

ก) ผลของจำนวนเจ็ต เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี *S0rd00* กับ *S0rd05* และการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี *S0rd00* กับ *S0rd10* ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบในกรณีเจ็ตหนึ่งตัวกับเจ็ตสองตัวที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d = 0.25$ เท่ากัน มีรูปร่างต่างกันอย่างชัดเจน บ่งชี้ว่าจำนวนเจ็ตมีผลต่อรูปร่างการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d = 0.25$ สำหรับกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง

ข) ผลของระยะห่างระหว่างเจ็ต ในการเปรียบเทียบจะแบ่งผลการทดลองเป็น ข1) ผลของระยะห่างของเจ็ตตัวที่สองที่มีต่อการกระจายตัวของเจ็ตตัวที่หนึ่ง และ ข2) ผลของระยะห่างของเจ็ตตัวที่หนึ่งที่มีต่อการกระจายตัวของเจ็ตตัวที่สอง คือ ข1) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี *S0rd05* กับ *S0rd10* ที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d = 0.25$ พบว่ามีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิคล้ายกัน โดยยังเห็นลักษณะของเจ็ตในกระแสลมขวาง บ่งชี้ว่าผลของระยะห่างของเจ็ตตัวที่สองมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ตตัวที่หนึ่งเล็กน้อย และ ข2) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี *S0rd05* กับ *S0rd10* ที่ตำแหน่ง 0.25 $r_{eff}d$ หลังเจ็ตตัวที่สองเท่ากัน (ที่ $x/r_{eff}d = 0.75$ สำหรับกรณี *S0rd05* และที่ $x/r_{eff}d = 1.25$ สำหรับกรณี *S0rd10*) พบว่าลักษณะการกระจายตัวของทั้งสองกรณีไม่มีลักษณะที่คล้ายกันเลย โดยที่ในกรณี *S0rd05* ที่ $x/r_{eff}d = 0.75$ มองไม่เห็นเห็นลักษณะของเจ็ตในกระแสลมขวาง ในขณะที่กรณี *S0rd10* ที่ $x/r_{eff}d = 1.25$ ยังคงมองเห็นลักษณะของเจ็ตในกระแสลมขวาง บ่งชี้ว่า ผลของระยะห่างของเจ็ตตัวที่หนึ่งมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ตตัวที่สอง และจากข้อมูลทั้งสองสามารถสรุปได้ว่า เจ็ตตัวที่สองมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ตตัวแรกเล็กน้อย ในขณะที่เจ็ตตัวแรกมีผลอย่างมากต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ตตัวที่สองถ้าระยะห่างมีค่าน้อย สำหรับกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง อย่างไรก็ตาม ถ้าระยะห่างมีค่ามากอิทธิพลของเจ็ตตัวแรกต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ตตัวที่สองก็จะมีค่าน้อยลง

รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม $C_{\eta G}$ เปรียบเทียบกัน ณ ตำแหน่งหน้าตัดหลังเจ็ตแต่ละตัวเป็นระยะทาง 0.25 $r_{eff}d$ สำหรับกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง พบว่า 1) กรณีหลังเจ็ตตัวแรก (ที่ $x/r_{eff}d = 0.25$) ไม่พบลักษณะการ

กระจายตัวของอุณหภูมิที่มีรูปร่างเป็นรูปไต (Kidney-shape) ซึ่งเป็นลักษณะลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวาง ในกรณีใดๆเลย (*S18rd00*, *S18rd05* และ *S18rd10*) แต่พบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่คล้ายกันของกรณี *S18rd05* และ *S18rd10* คือมีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูง (บริเวณที่มีค่า C_{TG} สูงสุดในแต่ละหน้าตัด) ส่วนใหญ่อยู่ด้านบนโดยกวาดมุมประมาณ 60 ถึง 140 องศา และมองเห็นลักษณะเป็นแนวของอุณหภูมิสูงที่ขึ้นมาจากบริเวณด้านล่าง และการกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำ (บริเวณที่มีค่า C_{TG} ต่ำสุดในแต่ละหน้าตัด) จะอยู่บริเวณขอบท่อด้านขวาระหว่างมุม 300 ถึง 20 องศา (บริเวณรอยต่อของ Quadrant ที่ 1 กับ Quadrant ที่ 4) และแตกต่างจากกรณี *S18rd00* ที่มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงอยู่บริเวณด้านบน และมีบริเวณอุณหภูมิต่ำกระจายตัวอยู่ 2 บริเวณ โดยมีขนาดไม่เท่ากัน 2) กรณีหลังเจ็ตตัวที่สอง (ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.75 สำหรับกรณี *S18rd05* และที่ $x/r_{eff}d$ = 1.25 สำหรับกรณี *S18rd10*) ไม่พบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มีรูปร่างเป็นรูปไต (Kidney-shape) ในกรณี *S18rd05* และ *S18rd10* แต่พบลักษณะที่มีความคล้ายคลึงของบริเวณต่างๆ เมื่อสังเกตที่ค่า C_{TG} ระหว่าง 0.25 ถึง 0.35 คือ 1) มีบริเวณที่เป็นแกนจากด้านล่าง 2) มีลักษณะโค้งไปตามส่วนโค้งของท่อที่บริเวณส่วนต่อระหว่าง Quadrant ที่ 3 และ Quadrant ที่ 4 และ 3) ที่มุมประมาณ 45 องศา มีบริเวณที่มีค่า C_{TG} ระหว่าง 0.25 ถึง 0.35 อยู่ใกล้กับบริเวณที่มีค่า C_{TG} ระหว่าง 0.35 ถึง 0.45

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า

ก) ผลของจำนวนเจ็ต เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี *S18rd00* กับ *S18rd05* และการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี *S18rd00* กับ *S18rd10* ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบในกรณีเจ็ตหนึ่งตัวกับเจ็ตสองตัวนั้น มีรูปร่างต่างกันอย่างชัดเจน บ่งชี้ว่า จำนวนเจ็ตมีผลต่อรูปร่างการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d$ = 0.25 สำหรับกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง

ข) ผลของระยะห่างระหว่างเจ็ต ในการเปรียบเทียบจะแบ่งผลการทดลองเป็น ข1) ผลของระยะห่างของเจ็ตตัวที่สองที่มีต่อการกระจายตัวของเจ็ตตัวที่หนึ่ง และ ข2) ผลของระยะห่างของเจ็ตตัวที่หนึ่งที่มีต่อการกระจายตัวของเจ็ตตัวที่สอง คือ ข1) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี *S18rd05* กับ *S18rd10* ที่ตำแหน่ง $x/r_{eff}d$ = 0.25 พบว่ามีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิคล้ายกัน บ่งชี้ว่าผลของระยะห่างของเจ็ตตัวที่สองมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ตตัวที่หนึ่งเล็กน้อย และ ข2) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี *S18rd05* กับ *S18rd10* ที่ตำแหน่ง 0.25 $r_{eff}d$ หลังเจ็ตตัวที่สอง (ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.75 สำหรับกรณี *S18rd05* และที่ $x/r_{eff}d$ = 1.25 สำหรับกรณี *S18rd10*) พบว่าลักษณะการกระจายตัวของทั้งสองกรณีมีลักษณะที่คล้ายกันถึงสามบริเวณ โดยที่ในกรณี *S18rd05* ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.75 และกรณี *S18rd10* ที่ $x/r_{eff}d$ = 1.25 เมื่อสังเกตที่ค่า C_{TG} ระหว่าง 0.25 ถึง 0.35 มีลักษณะคล้ายกันคือ 1) มีบริเวณที่เป็นแกนจากด้านล่าง 2) มีลักษณะโค้งไปตามส่วนโค้งของท่อที่บริเวณส่วนต่อระหว่าง

Quadrant ที่ 3 และ Quadrant ที่ 4 และ 3) ที่มุมประมาณ 45 องศา มีบริเวณที่มีค่า $C_{\pi i}$ ระหว่าง 0.25 ถึง 0.35 อยู่ใกล้กับบริเวณที่มีค่า $C_{\pi i}$ ระหว่าง 0.35 ถึง 0.45 จากข้อสังเกตทั้งสามสามารถบ่งชี้ได้ว่า ผลของระยะห่างของเจ็ตตัวที่หนึ่งมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของเจ็ตตัวที่สองเล็กน้อย และจากข้อมูลทั้งสองสามารถสรุปได้ว่า เจ็ตตัวที่สองมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ตตัวแรกเล็กน้อย และเจ็ตตัวแรกก็มีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ตตัวที่สองเล็กน้อยเช่นกัน สำหรับกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ระยะห่างระหว่างเจ็ต มีผลเล็กน้อยต่อรูปร่างการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควง

รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม $C_{\pi i}$ เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ระหว่างกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีและมีการไหลแบบหมุนควง (เปรียบเทียบกราฟแนวตั้ง) ณ ตำแหน่งหลังเจ็ต $0.25r_{eff}d$ ค) ผลของจำนวนเจ็ต เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิพบว่า ไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเลยที่เหมือนกันทั้งในกรณี *rd00, rd05 และ rd10* จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ค) การไหลแบบหมุนควงมีผลต่อรูปร่างการกระจายตัวของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งหลังเจ็ต $0.25r_{eff}d$ ที่เป็นเช่นนี้สันนิษฐานว่าผลของการหมุนควงของกระแสลมขวางมีมากกว่าผลของเจ็ต

ผลของ ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อลักษณะการผสมและความสม่ำเสมอ (โดยดูตั้งแต่หลังเจ็ตที่ไกลสุด, หลัง $1.0r_{eff}d$)

ในการพิจารณาความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในแต่ละหน้าตัดจะพิจารณาจากจำนวน Level ในหน้าตัดนั้นๆ โดยไม่คำนึงถึงรูปร่างการกระจายตัวของอุณหภูมิ และให้ว่า ถ้าจำนวน Level ในหน้าตัดใดๆ มีจำนวนเท่ากัน จะมีค่าความสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ ค่าความสม่ำเสมอยังแสดงถึงลักษณะการผสมกันของเจ็ตกับกระแสลมขวางได้อีกด้วย โดยหน้าตัดที่มีจำนวน Level น้อยกว่าก็จะแสดงถึงความสม่ำเสมอที่มากกว่าและมีการผสมกันของเจ็ตกับกระแสลมขวางที่ดีกว่าอีกด้วย

รูปที่ 3.17 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม $C_{\pi i}$ เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง $1.50\ r_{eff}d$ พบว่าไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเลยที่เหมือนกันทั้งในกรณี *S0, S18, rd00, rd05* และ *rd10* โดยที่ในกรณี *S0* มีจำนวน Level (ซึ่งบ่งบอกถึงความสม่ำเสมอและปริมาณการผสม) พอๆกันคือ 4 Level และกรณี *S18* ก็มีจำนวน Level พอๆกันคือ 2 Level (ความสม่ำเสมอภายใน$\pm$0.10 ของ $C_{\pi i}$) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบในกรณีต่างๆ พบว่า ก) ในกรณี *S0* และ *S18* พบว่าลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีเจ็ตหนึ่งตัวและเจ็ตสองตัวแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน ข) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง กรณี

rd05 กับ *rd10* พบว่าในกรณี *rd05* มีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกับกรณี *rd10* และ ค) หากเปรียบเทียบกันในกรณี *rd00, rd05* และ *rd10* จะเห็นว่าในกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงก็แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอที่มากกว่าในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง

รูปที่ 3.18 และ 3.19 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TG} เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง $2.00r_{eff}d$ และ $2.50r_{eff}d$ ตามลำดับ พบว่าไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเลยที่เหมือนกันทั้งในกรณี *S0, S18, rd00, rd05* และ *rd10* เช่นเดียวกับรูปที่ 3.17 โดยที่ในกรณี *S0* ที่ $x/r_{eff}d = 2.00$ มีจำนวน Level พอๆกันคือ 3 Level ยกเว้นกรณี *S0rd05* เหลือเพียง 2 Level (ความสม่ำเสมอภายใน$\pm$0.10 ของ C_{TG}) และ ที่ $x/r_{eff}d = 2.50$ มีจำนวน Level พอๆกันคือ 2 Level และกรณี *S18* ที่ $x/r_{eff}d = 2.00$ ก็มีจำนวน Level พอๆกันคือ 2 Level และที่ $x/r_{eff}d = 2.50$ ก็มีจำนวน Level พอๆกันคือ 2 Level ยกเว้นกรณี *S18rd05* เหลือเพียง 1 Level (ความสม่ำเสมอภายใน$\pm$0.05 ของ C_{TG}) ซึ่งแสดงถึงลักษณะการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอมากกว่ากรณีอื่นๆ จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ก) ในกรณี *S0* และ *S18* พบว่าลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีเจ็ตสองตัวแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวที่สม่ำเสมอก่อน (เมื่อดูถึงระยะทางตาม Downstream ที่ทำให้มีจำนวน Level เท่ากัน) กรณีเจ็ตตัวเดียว ข) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง กรณี *rd05* กับ *rd10* พบว่าในกรณี *S0rd05* มีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกับกรณี *S0rd10* และกรณี *S18rd15* มีความสม่ำเสมอมากกว่ากรณี *S18rd10* และ ค) หากเปรียบเทียบกันในกรณี *rd00, rd05* และ *rd10* จะเห็นว่าในกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงก็แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอที่มากกว่าในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง

รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TG} เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ที่ $x/r_{eff}d = 3.00$ พบว่า ในกรณี *S0, rd00, rd05* และ *rd10* ไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเหมือนกันเลย โดยในกรณี *S0* และ *S18rd00* นั้นมี 2 Level ในขณะที่ *S18rd05* และ *S18rd10* เหลือ 1 Level เมื่อสังเกตจะเห็นว่า ก) ในกรณี *S18* ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีเจ็ตสองตัวแสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอที่มากกว่ากรณีเจ็ตตัวเดียว ข) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง กรณี*rd05* กับ *rd10* ไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างกรณี *rd05* กับ *rd10* และ ค) หากเปรียบเทียบกันในกรณี *rd00, rd05* และ *rd10* จะเห็นว่าในกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงก็แสดงให้เห็นถึงการผสมที่ดีกว่าในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.17 ถึง 3.20 สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้ Contour ของค่า C_{TG} และยึด $r_{eff}d$-scale เป็นหลัก สามารถสรุปได้ว่า ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดจนความสม่ำเสมอภายในหน้าตัดโดย ก) เจ็ตสองตัวมีผลทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกับกรณีเจ็ตหนึ่งตัว ข) ที่ระยะห่างระหว่างเจ็ตเท่ากับ $0.5r_{eff}d$ ก่อให้เกิดความสม่ำเสมอที่ใกล้เคียงกับกรณีที่ระยะห่างระหว่างเจ็ตเท่ากับ $1.0r_{eff}d$ อีกทั้ง ค) กระแสลม

ขวางที่มีการไหลแบบหมุนควงก็แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอที่มากกว่าในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง

ผลของ ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อลักษณะการผสมและความสม่ำเสมอ โดยใช้ *D*-scale (โดยการเปรียบเทียบตามลักษณะการนำไปใช้)

รูปที่ 3.21 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม $C_{\pi i}$ เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง $2.52D$ พบว่าในกรณี *S0* ไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆ เหมือนกันเลย แต่ในกรณี *S18* ที่ *S18rd05* และ *S18rd10* นั้น มีลักษณะการกระจายตัวเหมือนกัน คือเป็นลักษณะการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ ก) เมื่อเปรียบเทียบในกรณี *rd00* กับ *rd05* และ *rd00* กับ *rd10* พบว่าลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีเจ็ตสองตัวมีลักษณะการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากกว่ากรณีเจ็ตหนึ่งตัว ข) เมื่อเปรียบเทียบในกรณี *rd05* กับ *rd10* ไม่พบความแตกต่างที่เห็นได้อย่างเด่นชัด และ ค) หากเปรียบเทียบกันในกรณี *rd00, rd05* และ *rd10* จะเห็นว่าในกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงก็แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอที่มากกว่าในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง

รูปที่ 3.22 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม $C_{\pi i}$ เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง $3.36D$ พบลักษณะต่างๆเช่นเดียวกับรูปที่ 3.21

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.20 ถึง 3.21 สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้ Contour ของค่า $C_{\pi i}$ และยึด *D*-scale เป็นหลัก ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดจนความสม่ำเสมอภายในหน้าตัด โดย ก) เจ็ตสองตัวมีผลทำให้การผสมดีกว่าเจ็ตหนึ่งตัว ข) ที่ระยะห่างระหว่างเจ็ต $0.5r_{eff}d$ และที่ระยะห่างระหว่างเจ็ต $1.0r_{eff}d$ ไม่เห็นความแตกต่างกันมากนัก อีกทั้ง ค) กระแสลมขวางที่มีการไหลแบบหมุนควงก็ยังแสดงให้เห็นถึงการผสมที่ดีกว่าในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง

จากรูปที่ 3.17 ถึง 3.22 โดยเมื่อพิจารณาถึงระยะทางที่ใช้จริงตาม Downstream ที่ทำให้เกิดความสม่ำเสมอภายใน$\pm$0.10 ของ $C_{\pi i}$ ($C_{\pi i}$ แสดงถึงอุณหภูมิส่วนเกินที่ปากเจ็ต)(2 Level) พบว่า สำหรับกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง พบว่าเจ็ตหนึ่งตัวมีผลทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอภายใน $\pm$10% ของอุณหภูมิส่วนเกินที่ปากเจ็ต ที่หน้าตัด x/D = 4.20 ($x/r_{eff}d$ = 2.50) ในขณะที่กรณีเจ็ตสองตัวที่ระยะห่างระหว่างเจ็ต $0.5r_{eff}d$ อยู่ที่ที่หน้าตัด x/D = 2.37 ($x/r_{eff}d$ = 2.00) และเจ็ตสองตัวที่ระยะห่างระหว่างเจ็ต $1.0r_{eff}d$ อยู่ที่หน้าตัด x/D = 2.52 ($x/r_{eff}d$ = 2.12) สำหรับกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง พบว่าเจ็ตหนึ่งตัวมีผลทำให้

การกระจายตัวของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอภายใน $\pm$10% ที่หน้าตัด x/D = 1.68 ($x/r_{eff}d$ = 1.50) เจ็ตสองตัวที่ระยะห่างระหว่างเจ็ต $0.5r_{eff}d$ และ $1.0r_{eff}d$ มีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอภายใน $\pm$10% ที่หน้าตัดเดียวกันคือ x/D = 1.18 ($x/r_{eff}d$ = 1.50) และเมื่อพิจารณาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอภายใน $\pm$5% ของอุณหภูมิส่วนเกินที่ปากเจ็ต แล้วพบว่าเจ็ตสองตัวที่ระยะห่างระหว่างเจ็ต $0.5r_{eff}d$ มีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอภายใน $\pm$5% ที่หน้าตัด x/D = 1.96 ($x/r_{eff}d$ = 2.50) ในขณะที่เจ็ตสองตัวที่ระยะห่างระหว่างเจ็ต $1.0r_{eff}d$ อยู่ที่หน้าตัด x/D = 2.36 ($x/r_{eff}d$ = 3.00) ที่กรณีที่ช้าที่สุดของกรณีเจ็ตสองตัว ($1.0r_{eff}d$) จะอยู่ที่หน้าตัด x/D = 2.52 ($x/r_{eff}d$ = 2.12) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ผลของ ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อลักษณะการผสมและความสม่ำเสมอ โดยใช้ *S*-scale (โดยที่ S คือระยะห่างระหว่างเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สอง)

รูปที่ 3.23 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TG} เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง x/S = 0.5 พบว่าไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเลยที่เหมือนกันทั้งในกรณี *S0, S18, rd05* และ *rd10* โดยที่ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสำหรับกรณี *S0* นั้น กรณี *S0rd05* มีระยะการเจาะทะลุที่ต่ำกว่ากรณี *S0rd10* (ระยะการเจาะทะลุดูจากบริเวณที่มีค่า C_{TG} สูงสุด) ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งการวัดของกรณี *S0rd05* อยู่ใกล้กว่าตำแหน่งการวัดของกรณี *S0rd10* ตาม Downstream และในขณะที่กรณี *S18* นั้นลักษณะการกระจายตัวแตกต่างกัน โดยมีลักษณะการกระจายตัวของบริเวณอุณหภูมิสูงสุด 2 Level ต่างกัน แต่บริเวณอุณหภูมิต่ำสุด 2 Level คล้ายกัน เนื่องจากระยะตาม Downstream ที่ต่างกัน สำหรับกรณี *rd05* และ *rd10* เห็นลักษณะการกระจายตัวต่างกันอย่างชัดเจน โดยในทุกกรณี มีจำนวน Level พอๆกันคือ 4 Level

รูปที่ 3.24 และ 3.25 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TG} เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง x/S = 1.5 และ x/S = 3.0 พบว่าไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเลยที่เหมือนกันทั้งในกรณี *S0, S18, rd05* และ *rd10* โดยที่ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสำหรับกรณี *S0* และ *S18* นั้น ข) กรณี *rd10* มีลักษณะการผสมที่ดีกว่ากรณี *rd05* และสำหรับกรณี *05* และ *10* ค) กรณี *S18* มีความสม่ำเสมอกว่ากรณี *S0*

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.23 ถึง 3.25 สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้ Contour ของค่า C_{TG} และยึด *S*-scale เป็นหลัก สามารถสรุปได้ว่า ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดจนความสม่ำเสมอในแต่ละหน้าตัดโดยที่ ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต $1.0r_{eff}d$ ก่อให้เกิดความสม่ำเสมอในแต่ละหน้าตัดที่มากกว่าที่ระยะห่างระหว่างเจ็ต $0.5r_{eff}d$ ทั้งนี้เนื่องจากระยะตาม Downstream

ที่ไกลกว่านั่นเอง อีกทั้ง ค) กระแสลมขวางที่มีการไหลแบบหมุนควงก็แสดงให้เห็นความสม่ำเสมอในแต่ละหน้าตัดที่มากกว่าในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง

นอกจากนี้ ในการศึกษาวิจัยยังทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่หน้าตัดต่างๆ โดยดูจากลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ C_{T_i} ดังแสดงในรูปที่ 3.26 ถึง 3.37 ซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยใช้ Scale ต่างๆ คือ $r_{eff}d$-scale, D-scale และ S-scale โดยที่ S คือระยะห่างระหว่างเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สอง เนื่องจากการทดลองนี้มีลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวาง จึงเลือก $r_{eff}d$-scale เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ นอกจากนี้เมื่อคำนึงถึงลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้ D-scale จึงเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่เลือกใช้ และเนื่องจากระยะห่างระหว่างเจ็ตแต่ละตัวเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิด้านท้าย ดังนั้น S-scale ก็เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

โดยการเปรียบเทียบแบบ $r_{eff}d$-scale ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1) ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ตที่ตำแหน่งหน้าตัดหลังเจ็ตแต่ละตัวเป็นระยะทาง 0.25 $r_{eff}d$ คือที่หน้าตัด $x/r_{eff}d$ = 0.25 สำหรับทุกกรณี ที่หน้าตัด $x/r_{eff}d$ = 0.75 สำหรับกรณี *Sxrd05* (กรณีที่เจ็ตตัวที่สองวางห่างจากเจ็ตตัวแรกเท่ากับ $0.5r_{eff}d$) และที่หน้าตัด $x/r_{eff}d$ = 1.25 สำหรับกรณี *Sxrd10* (กรณีที่เจ็ตตัวที่สองวางห่างจากเจ็ตตัวแรกเท่ากับ $1.0r_{eff}d$) 2) ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ต (โดยดูตั้งแต่หลังเจ็ตที่ไกลสุด) คือที่หน้าตัด $x/r_{eff}d$ = 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 การเปรียบเทียบแบบ D-scale ที่หน้าตัด x/D = 2.52 และ 3.36 และการเปรียบเทียบแบบ S-scale ที่หน้าตัด x/S = 0.50, 1.50 และ 3.00 ตามลำดับ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิโดยใช้ $r_{eff}d$-scale

ผลของ ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิหลังเจ็ต 0.25 $r_{eff}d$

รูปที่ 3.26, 3.27 และ 3.28 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{T_i} เปรียบเทียบกัน ณ ตำแหน่งหลังเจ็ต $0.25r_{eff}d$ สำหรับกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง , สำหรับกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควง และ สำหรับในแต่ละกรณี ตามลำดับ จากลักษณะ Contour ที่นำมาเปรียบเทียบกัน พบว่าไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเลยที่เหมือนกัน เช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงด้วย C_{T_i} โดยจะเห็นรูปร่างการกระจายตัวในแต่ละหน้าตัดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ผลของ ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อลักษณะการผสมและความสม่ำเสมอ (โดยดูตั้งแต่หลังเจ็ตที่ไกลสุด, หลัง $1.0r_{eff}d$)

รูปที่ 3.29 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TI} เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง $1.50\ r_{eff}d$ พบว่าไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเลยที่เหมือนกันทั้งในกรณี *S0, S18, rd00, rd05* และ *rd10* เช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงด้วย C_{TG} แต่เมื่อสังเกตในกรณี *S0rd00* กับ *S18rd00* พบลักษณะที่คล้ายกันคือบริเวณอุณหภูมิต่ำอยู่ด้านล่างและเอียงไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (นับจากบริเวณด้านล่าง มุม 270 องศา) นอกจากนี้เมื่อสังเกตในกรณี *S18rd05* กับ *S18rd10* ทีบริเวณ C_{TI} ช่วงที่มีค่ามากสุดพบว่ามีอยู่สองส่วน โดยส่วนหนึ่งอยู่บริเวณด้านบน และอีกส่วนหนึ่งในกรณี *S18rd05* อยู่บริเวณด้านล่าง และในกรณี *S18rd10* อยู่บริเวณด้านข้าง (บริเวณส่วนต่อระหว่าง Quadrant ที่ 2 กับ Quadrant ที่ 3)

รูปที่ 3.30 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TI} เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง $2.00\ r_{eff}d$ พบว่าไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเลยที่เหมือนกันทั้งในกรณี *S0, S18, rd00, rd05* และ *rd10* เช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงด้วย C_{TG} แต่เมื่อสังเกตในกรณี *S0rd00* กับ *S18rd00* พบลักษณะที่คล้ายกันสองอย่างคือบริเวณอุณหภูมิสงอยู่ด้านบนและเอียงไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (นับจากบริเวณด้านบน มุม 90 องศา) บริเวณอุณหภูมิต่ำอยู่ด้านล่างและเอียงไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (นับจากบริเวณด้านล่าง มุม 270 องศา) นอกจากนี้เมื่อสังเกตในกรณี *S18rd05* กับ *S18rd10* ทีบริเวณ C_{TI} ช่วงที่มีค่ามากสุดพบว่ามีอยู่สองส่วน โดยส่วนหนึ่งอยู่บริเวณด้านบน และอีกส่วนหนึ่งในกรณี *S18rd05* อยู่บริเวณด้านข้าง (บริเวณ Quadrant ที่ 4) และอยู่บริเวณด้านข้างในกรณี *S18rd10*

รูปที่ 3.31 และ 3.32 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TI} เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง 2.50 และ $3.00\ r_{eff}d$ ตามลำดับ พบว่า ในกรณี *S0, S18, rd00, rd05* และ *rd10* ไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเหมือนกันเลย เช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงด้วย C_{TG} แต่เมื่อสังเกตในกรณี *S18* และ *S0rd00* พบลักษณะการหมุนของบริเวณต่างๆ

ผลของ ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อลักษณะการผสมและความสม่ำเสมอ โดยใช้ *D*-scale (โดยการเปรียบเทียบตามลักษณะการนำไปใช้)

รูปที่ 3.33 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TI} เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง $2.52D$ พบว่าในกรณี *S0, S18, rd00, rd 05* และ *rd10* ไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเหมือนกันเลย และการเปรียบเทียบกันในกรณีต่างๆก็ได้ผลเช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงด้วย C_{TG} แต่จะเห็นรูปร่างการกระจายตัวที่ชัดเจนกว่า

รูปที่ 3.34 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TL} เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง 3.36*D* พบว่าในกรณี *S0, S18, rd00, rd05* และ *rd10* ไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเหมือนกันเลย และการเปรียบเทียบกันในกรณีต่างๆก็ได้ผลเช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงด้วย C_{TG} แต่จะเห็นรูปร่างการกระจายตัวที่ชัดเจนกว่า เช่นเดียวกับรูปที่ 3.32

ผลของ ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อลักษณะการผสมและความสม่ำเสมอ การวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิโดยใช้ *S*-scale

รูปที่ 3.35, 3.36 และ 3.37 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม C_{TL} เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี ณ ตำแหน่ง x/S = 0.5, 1.5 และ 3.00 ตามลำดับ พบว่าไม่มีลักษณะการกระจายตัวของกรณีใดๆเลยที่เหมือนกันทั้งในกรณี *S0, S18, rd05* และ *rd10* และการเปรียบเทียบกันในกรณีต่างๆก็ได้ผลเช่นเดียวกับผลการวัดที่แสดงด้วย C_{TG} แต่จะเห็นรูปร่างการกระจายตัวที่ชัดเจนกว่า

3.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะโดยรวม (Global Characteristic)

3.3.1 ผลของ ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อการลดลง-เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามแนวแกน

ในการศึกษาการลดลง-เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามแนวแกนจะพิจารณาจากการลดลงของค่า C_{TG} สูงสุด (Maximum decay) และการเพิ่มขึ้นของค่า C_{TG} ต่ำสุด (Minimum increase) ในแต่ละหน้าตัดตาม Downstream (x) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการผสมของเจ็ตและกระแสลมขวาง เนื่องจากกรณีการทดลองการไหลของเจ็ตในกระแสลมขวางแบบพื้นที่จำกัด เมื่อเจ็ตสามารถดึงมวลอากาศเข้ามาผสม ทำให้ค่า C_{TG} สูงสุด มีค่าลดลง ในขณะที่ผลของ พื้นที่ที่จำกัดทำให้อัตราส่วนการไหลโดยมวลของกระแสลมขวางต่ออัตราส่วนการไหลโดยมวลเจ็ตคงที่ดังนั้น เมื่อเจ็ตดึงมวลของกระแสลมขวางเข้าไปผสม ทำให้ค่า C_{TG} ต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเจ็ตดึงมวลของกระแสลมขวางเข้าไปผสมจนหมดแล้ว ทำให้เกิดอุณหภูมิเฉลี่ย $\overline{C_{TG}}$ ที่ค่าหนึ่งในการทดลองนี้มีค่า $\overline{C_{TG}}$ = 0.28 โดยมีรายละเอียดดังนี้

รูปที่ 3.38ก แสดงการลดลง-เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามแนวแกนในแต่ละกรณี เปรียบเทียบกันบน *rd*-scale พบว่าใน ก) กรณีเจ็ตหนึ่งตัวค่า C_{TG} สูงสุดมีแนวโน้มลดลงตามระยะ Downstream ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่กรณีเจ็ตสองตัวค่า C_{TG} สูงสุดมีค่าลดลงในตอนแรกและเพิ่มขึ้นอีกครั้งหลังเจ็ตตัวที่สองแล้วจึงลดลงอีกครั้งตามระยะ Downstream ที่เพิ่มขึ้น ข) กรณี *rd05* มีการ

เพิ่มขึ้นของค่า C_{TG} สูงสุดที่ระยะทางตาม Downstream ใกล้กว่ากรณี *rd10* ค) กรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควงจะมีค่า C_{TG} สูงสุดต่ำกว่าในขณะที่กรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง สำหรับค่า C_{TG} ต่ำสุด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในทุกกรณีการไหล เมื่อสังเกตจากกราฟจะพบว่า กรณี *S0rd00* ค่า C_{TG} สูงสุดมีการลดลงช้าที่สุด กรณี *S0rd05* และ *S0rd10* ค่า C_{TG} ต่ำสุดมีการเพิ่มขึ้นช้าที่สุด และกรณี *S18rd05* และ *S18rd10* ค่า C_{TG} สูงสุดและค่า C_{TG} ต่ำสุดมีแนวโน้มลู่เข้าหากันเร็วที่สุด

รูปที่ 3.38ข แสดงการลดลง-เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามแนวแกนในแต่ละกรณี เปรียบเทียบกันบน *D*-scale พบว่าลักษณะโดยทั่วไปของค่า C_{TG} สูงสุดและค่า C_{TG} ต่ำสุดมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 3.38ก และเมื่อมองถึงระยะทางตาม Downstream จริง พบว่ากรณี *S18rd05* และ *S18rd10* ค่า C_{TG} สูงสุดและค่า C_{TG} ต่ำสุดมีแนวโน้มลู่เข้าหากันเร็วที่สุดที่ระยะประมาณ 2.36*D*

3.3.2 ผลของ ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อค่าอุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ ($\overline{C_{TG}}$) ตามแนวแกน (โดยที่ $\overline{C_{TG}} = \frac{1}{A}\int C_{TG}dA$)

รูปที่ 3.39ก แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ตามแนวแกน ในแต่ละกรณีเปรียบเทียบกันบน *rd*-scale พบว่าค่า $\overline{C_{TG}}$ ในทุกกรณีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะ Downstream ที่เพิ่มขึ้นและค่า $\overline{C_{TG}}$ จะลู่เข้าสู่ค่า $\overline{C_{TG}}$ ค่าหนึ่งคือ 0.28 (จากสมการ3.12) นั่นคือการที่เจ็ตดึงกระแสลมขวางเข้ามาผสมจนหมด ยกเว้นกรณี *S0rd00* ที่มีค่าสูงกว่าที่คำนวณ คือ ค่า $\overline{C_{TG}}$ เท่ากับ 0.31 ที่หน้าตัดสุดท้ายที่ทำการวัด ($x/r_{eff}d$ = 3.00) โดยในกรณี *S0rd00* มีค่า $\overline{C_{TG}}$ สูงสุด กรณี *S0rd10* และ *S18rd10* มีค่า $\overline{C_{TG}}$ ต่ำในช่วงแรก และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังเจ็ตตัวที่สอง กรณี *S18rd05* และ *S18rd10* ค่า $\overline{C_{TG}}$ เข้าสู่ค่า $\overline{C_{TG}}$ เท่ากับ 0.28 เร็วที่สุด แสดงว่าน่าจะผสมได้ดีที่สุด

อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณค่า $\overline{C_{TG}}$ ที่ได้จากการทดลองนั้นอาจมี error เนื่องจากคำนวณ (อินทริเกรท) โดยใช้สมการ $\overline{C_{TG}} = \frac{1}{A}\int C_{TG}dA$ แต่ก็ยังไม่เกินค่าความไม่แน่นอนของ C_{TG} (ค่าความไม่แน่นอนของ C_{TG} นั้นมีค่าประมาณ 0.05 แสดงในภาคผนวก จ)

รูปที่ 3.39ข แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ตามแนวแกน ในแต่ละกรณีเปรียบเทียบกันบน *rd*-scale พบว่าค่า $\overline{C_{TG}}$ มีลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 3.38ก และเมื่อมองถึงระยะทางตาม Downstream จริง พบว่ากรณี *S18rd05* และ *S18rd10* ค่า $\overline{C_{TG}}$ เข้าสู่ค่า $\overline{C_{TG}}$ เท่ากับ 0.28 เร็วที่ระยะประมาณ 2.36*D*

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเฉพาะค่า $\overline{C_{TG}}$ อย่างเดียวไม่สามารถสรุปผลการผสมระหว่างเจ็ตกับกระแสลมขวางได้ เช่นในกรณี *S0rd00* นั้นมีค่า $\overline{C_{TG}}$ ค่อนข้างจะคงที่และใกล้เคียงกับค่า

$\overline{C_{TG}}$ จากการคำนวณตั้งแต่หน้าตัดแรกที่ทำการทดลอง ($x/r_{eff}d = 0.25$) แต่เมื่อดูจากลักษณะการกระจายตัว พบว่าลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิยังไม่มีความสม่ำเสมอ เป็นต้น

จากการศึกษาการลดลง-เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามแนวแกน และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ตามแนวแกนทำให้สามารถสรุปได้ว่า ก)จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค)การหมุนควงของกระแสลมขวางมีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดจนการผสมกันของเจ็ตกับกระแสลมขวาง

3.3.3 ผลของ ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางต่อลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดตามแนวแกน

ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดตามแนวแกนจะพิจารณาจากตำแหน่งของค่า C_{TG} สูงสุด และตำแหน่งของค่า C_{TG} ต่ำสุด ในแต่ละหน้าตัดตาม Downstream (x)

รูปที่ 3.40 แสดงลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดสำหรับกรณีการไหลแบบไม่หมุนควงบน *rd*-scale

พบว่ากรณี *S0rd00* ลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดจะเคลื่อนที่อยู่บริเวณด้านบน โดยตำแหน่งแรก ($x/r_{eff}d = 0.25$) อยู่ที่มุมประมาณ 80 องศา แล้วเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจนที่ตำแหน่งสุดท้าย ($x/r_{eff}d = 3.00$) อยู่ที่มุมประมาณ 150 องศา

สำหรับลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำสุดจะเคลื่อนที่อยู่บริเวณด้านล่าง โดยตำแหน่งแรก ($x/r_{eff}d = 0.25$) อยู่ที่มุมประมาณ 270 องศา แล้วเคลื่อนที่ไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนที่ตำแหน่งสุดท้าย ($x/r_{eff}d = 3.00$) อยู่ที่มุมประมาณ 0 องศา

จากลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและของอุณหภูมิต่ำสุด พบลักษณะการหมุนเกิดขึ้นโดยที่ในช่วงแรก ($x/r_{eff}d$ ระหว่าง 0.25 ถึง 1.50) โดยอุณหภูมิต่ำสุดจะมีการหมุนที่เร็วกว่าอุณหภูมิสูงสุด และลักษณะการหมุนจะพอๆกันในช่วงหลัง ($x/r_{eff}d$ ตั้งแต่ 2.00)

กรณี *S0rd05* ลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดคือ ที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ (ระหว่างเจ็ตตัวแรกกับเจ้ตตัวที่สอง) อุณหภูมิสูงสุดอยู่บริเวณกึ่งกลางค่อนมาด้านบน ต่อมาที่ $x/r_{eff}d = 0.75$ (หลังเจ็ตตัวที่สอง) อุณหภูมิสูงสุดเคลื่อนที่ไปอยู่บริเวณขอบด้านบนที่มุมประมาณ 80 องศา หลังจากนั้น อุณหภูมิสูงสุดแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนแรกเคลื่อนที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา และส่วนที่สองเคลื่อนที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนตามเข็มนาฬิกาและส่วนทั้งสองเคลื่อนที่มาชนกันที่ตำแหน่งด้านล่างที่มุมประมาณ 260 องศา แล้วจึงเคลื่อนตัวมาด้านบนอีกครั้ง

สำหรับลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำสุด ที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ (ระหว่างเจ็ตตัวแรกกับเจ้ตตัวที่สอง) อุณหภูมิต่ำสุดมีสองตำแหน่งโดยอยู่บริเวณขอบท่อที่มุม ประมาณ 0 และ 180 องศา ต่อมาที่ $x/r_{eff}d = 0.75$ (หลังเจ็ตตัวที่สอง) ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดทั้งสองเคลื่อนที่ไปบรรจบกันที่บริเวณด้านล่างของท่อ (มุมประมาณ 240 องศา) แล้วเคลื่อนที่ไปด้านบนโดยผ่านจุดศูนย์กลางท่อและจุดสุดท้ายอยู่ที่มุมประมาณ 60 องศา

จากลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและของอุณหภูมิต่ำสุด พบว่าอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดมีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายกันคือ มีลักษณะการแยกเป็นสองส่วนแล้วมารวมตัวกัน โดยที่อุณหภูมิสูงสุดจะมีลักษณะเป็นแบบ 1 ส่วน ไปเป็น 2 ส่วน และกลับมาเป็น 1 ส่วน ในขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดจะมีลักษณะเป็นแบบเดิมมี 2 ส่วน และรวมกันเป็น1 ส่วน นอกจากนี้เมื่อมองถึงตำแหน่งที่ไม่สมมาตรพบว่ามีลักษณะเหมือนกัน คือทั้งอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมีการหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกามากกว่าในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

กรณี *S0rd10* ลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดคือ ที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ และ 0.50 (ระหว่างเจ็ตตัวแรกกับเจ้ตตัวที่สอง) อุณหภูมิสูงสุดอยู่บริเวณกึ่งกลางค่อนมาด้านบน ต่อมาที่ $x/r_{eff}d = 1.25$ (หลังเจ็ตตัวที่สอง) อุณหภูมิสูงสุดเคลื่อนที่อยู่บริเวณกึ่งกลางค่อนมาด้านบนใกล้เคียงกับที่ $x/r_{eff}d = 0.25$ ที่ $x/r_{eff}d = 1.50$ และ 2.00 อุณหภูมิสูงสุดเคลื่อนที่อยู่บริเวณขอบบนท่อ หลังจากนั้น อุณหภูมิสูงสุดแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนแรกเคลื่อนที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา และส่วนที่สองเคลื่อนที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนตามเข็มนาฬิกา โดยในช่วงแรกของการแยกเป็นสองส่วน ($x/r_{eff}d = 2.00$ และ 2.50) ส่วนที่เคลื่อนที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนตามเข็ม หมุนไปได้ไกลกว่าส่วนที่เคลื่อนที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนตามเข็มนาฬิกา

สำหรับลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำสุด จะเคลื่อนที่อยู่บริเวณด้านล่าง โดยตำแหน่งแรก ($x/r_{eff}d = 0.25$) อยู่ที่มุมประมาณ 240 องศา แล้วเคลื่อนที่ไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนที่ตำแหน่งสุดท้าย ($x/r_{eff}d = 3.00$) อยู่ที่มุมประมาณ 280 องศา

จากลักษณะการเคลื่อนของอุณหภูมิต่ำสุด พบลักษณะการหมุนเกิดขึ้นเล็กน้อย อาจเกิดจากความไม่สมมาตรของเจ็ต

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า

ก) ผลของจำนวนเจ็ต เมื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดในกรณี *S0rd00* กับ *S0rd05* และการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดในกรณี *S0rd00* กับ *S0rd10* ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบในกรณีเจ็ตหนึ่งตัวกับเจ็ตสองตัวนั้น มีรูปร่างต่างกันอย่างชัดเจน บ่งชี้ว่า จำนวนเจ็ตมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง

ข) ผลของระยะห่างระหว่างเจ็ต ต่อการการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด คือ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดของอุณหภูมิในกรณี *S0rd05* กับ *S0rd10* พบว่าการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดมีลักษณะคล้ายกันในช่วงแรก ($x/r_{eff}d$ ระหว่าง 0.25 ถึง 1.50) คือเป็นแบบ 1 ส่วน ไปเป็น 2 ส่วน โดยที่ในกรณี *S0rd05* จะมีการรวมกลับมาเป็นหนึ่งส่วนอีกครั้งหนึ่งที่ $x/r_{eff}d$ = 2.50 ในขณะที่กรณี *S0rd10* ไม่มีลักษณะดังกล่าว สำหรับการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำสุดนั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างมาก จากข้อมูลทั้งสองบ่งชี้ว่าระยะห่างระหว่างเจ็ตมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง

รูปที่ 3.41 แสดงลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดสำหรับกรณีการไหลแบบหมุนควงบน *rd*-scale พบว่า

กรณี *S18rd00* ลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดจะเคลื่อนที่อยู่บริเวณด้านบนโดยตำแหน่งแรก ($x/r_{eff}d$ = 0.25) อยู่ที่มุมประมาณ 100 องศา แล้วเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจนที่ตำแหน่งสุดท้าย ($x/r_{eff}d$ = 3.00) อยู่ที่มุมประมาณ 130 องศา

สำหรับลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำสุดจะเคลื่อนที่อยู่บริเวณด้านล่าง โดยตำแหน่งแรก ($x/r_{eff}d$ = 0.25) อยู่ที่มุมประมาณ 200 องศา แล้วเคลื่อนที่ไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนที่ตำแหน่งสุดท้าย ($x/r_{eff}d$ = 3.00) อยู่ที่มุมประมาณ 350 องศา

จากลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด พบลักษณะการหมุนเกิดขึ้น โดยที่ในช่วงแรก ($x/r_{eff}d$ ระหว่าง 0.25 ถึง 1.50) อุณหภูมิต่ำสุดจะมีการหมุนที่เร็วกว่าอุณหภูมิสูงสุด และลักษณะการหมุนจะพอๆกันในช่วงหลัง ($x/r_{eff}d$ ตั้งแต่ 2.00)

กรณี *S18rd05* ลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดคือ ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 (ระหว่างเจ็ตตัวแรกและตัวที่สอง) อุณหภูมิสูงสุดอยู่บริเวณกึ่งกลางค่อนมาด้านบน ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 0.75 (หลังเจ็ตตัวที่สอง) อุณหภูมิสูงสุดเคลื่อนที่ไปอยู่บริเวณขอบด้านบนที่มุมประมาณ 90 องศา หลังจากนั้น ($x/r_{eff}d$ = 1.50 ถึง 2.50) อุณหภูมิสูงสุดแบ่งออกเป็นสองส่วน คือส่วนแรกเคลื่อนที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา และส่วนที่สองมีลักษณะค่อนข้างจะหยุดนิ่ง โดยส่วนที่เคลื่อนที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกานั้นจะวิ่งกลับมารวมกับส่วนที่มีลักษณะค่อนข้างจะหยุดนิ่งอีกครั้งที่บริเวณขอบท่อด้านบน (มุมประมาณ 100 องศา) แล้วหมุนทวนเข็มนาฬิกาไปอีกเล็กน้อย นั่นหมายความว่าผลของการหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (มีทิศทางดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง) มีมากกว่าส่วนที่หยุดนิ่ง

สำหรับลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำสุด ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 (ระหว่างเจ็ตตัวแรกและตัวที่สอง) อุณหภูมิต่ำสุดอยู่บริเวณขอบท่อที่มุมประมาณ 350 องศา ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 0.75 (หลัง

เจ็ตตัวที่สอง) ถึง $x/r_{eff}d$ = 4.23 อุณหภูมิต่ำสุดเคลื่อนที่ไปในลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกาและกลับมาอยู่ที่มุมประมาณ 350 องศาที่ $x/r_{eff}d$ = 4.23

จากลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด พบลักษณะการหมุนเกิดขึ้นของเส้นทางทั้งสอง โดยที่ในช่วงแรก ($x/r_{eff}d$ ระหว่าง 0.25 ถึง 0.75) อุณหภูมิต่ำสุดจะมีการหมุนที่เร็วกว่าอุณหภูมิสูงสุด และหลังจากนั้น ($x/r_{eff}d$ ระหว่าง 0.75 ถึง 3.00) ลักษณะการหมุนของอุณหภูมิสูงสุดที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา (มีทิศทางเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง) มีลักษณะการหมุนมากกว่าการหมุนของอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังมีส่วนของอุณหภูมิสูงสุดที่มีลักษณะค่อนข้างจะหยุดนิ่ง หลังจากนั้น ($x/r_{eff}d$ ระหว่าง 3.00 ถึง 4.23) อุณหภูมิสูงสุดจะรวมตัวเป็นหนึ่งเดียวและมีลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ในขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดก็ยังคงหมุนไปในทิศทางเดิม

กรณี *S18rd10* ลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดคือ ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 และ 0.50 (ระหว่างเจ็ตตัวแรกและตัวที่สอง) อุณหภูมิสูงสุดอยู่บริเวณกึ่งกลางค่อนมาด้านบน โดยเห็นลักษณะการหมุนเล็กน้อย ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 1.25 (หลังเจ็ตตัวที่สอง) อุณหภูมิสูงสุดเคลื่อนที่ไปอยู่บริเวณขอบด้านบนที่มุมประมาณ 90 องศา หลังจากนั้น ($x/r_{eff}d$ = 1.50 ถึง 3.00) อุณหภูมิสูงสุดแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนแรกเคลื่อนที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา และส่วนที่สองมีลักษณะหมุนตามเข็มนาฬิกา โดยส่วนที่เคลื่อนที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกานั้นจะวิ่งเร็วกว่าและกลับมารวมกับส่วนที่มีลักษณะหมุนตามเข็มนาฬิกาอีกครั้งที่บริเวณขอบท่อด้านบน (มุมประมาณ 50 องศา) แล้วหมุนทวนเข็มนาฬิกาไปอีกเล็กน้อย นั่นหมายความว่าผลของการหมุนของอุณหภูมิสูงในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (มีทิศทางดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง) มีมากกว่าผลของการหมุนของอุณหภูมิสูงในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

สำหรับลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำสุด ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 และ 0.50 (ระหว่างเจ็ตตัวแรกและตัวที่สอง) อุณหภูมิต่ำสุดอยู่บริเวณขอบท่อที่มุมประมาณ 0 องศา ต่อมาที่ $x/r_{eff}d$ = 1.25 (หลังเจ็ตตัวที่สอง) ถึง $x/r_{eff}d$ = 4.23 อุณหภูมิต่ำสุดเคลื่อนที่ไปในลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกาและกลับมาอยู่ที่มุมประมาณ 350 องศาที่ $x/r_{eff}d$ = 4.23

จากลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด พบลักษณะการหมุนเกิดขึ้นของเส้นทางทั้งสอง โดยที่ในช่วงแรก ($x/r_{eff}d$ ระหว่าง 0.25 ถึง 0.50) อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด จะมีการหมุนใกล้เคียงกัน และหลังจากนั้น ($x/r_{eff}d$ ระหว่าง 0.50 ถึง 3.00) ลักษณะการหมุนของอุณหภูมิสูงสุดที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา (มีทิศทางเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง) มีลักษณะการหมุนมากสุด รองลงมาเป็นการหมุนของอุณหภูมิต่ำสุด และรองลงมาเป็นการหมุนของอุณหภูมิสูงสุดที่ไปตามขอบท่อโดยมีลักษณะหมุนตามเข็มนาฬิกา (มีทิศทางสวนกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง) หลังจากนั้น ($x/r_{eff}d$ ระหว่าง 3.00 ถึง 4.23)

อุณหภูมิสูงสุดจะรวมตัวเป็นหนึ่งเดียวและมีลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ในขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดก็ยังคงหมุนไปในทิศทางเดิม

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า

ก) ผลของจำนวนเจ็ต เมื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดในกรณี *S18rd00* กับ *S18rd05* และการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดในกรณี *S18rd00* กับ *S18rd10* ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบในกรณีเจ็ตหนึ่งตัวกับเจ็ตสองตัวนั้น มีรูปร่างต่างกันอย่างชัดเจน บ่งชี้ว่า จำนวนเจ็ตมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง

ข) ผลของระยะห่างระหว่างเจ็ต ต่อการการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด คือ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดของอุณหภูมิในกรณี *S18rd05* กับ *S18rd10* พบว่าการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดมีลักษณะคล้ายกัน คือเป็นแบบ 1 ส่วน ไปเป็น 2 ส่วน และรวมตัวกันเป็น 1 ส่วนอีกครั้งหนึ่ง.ในขณะที่การเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำสุดมีลักษณะคล้ายกันกันอย่างมาก จากข้อมูลทั้งสองบ่งชี้ว่า ระยะห่างระหว่างเจ็ตมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเพียงเล็กน้อยสำหรับกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง

รูปที่ 3.42 แสดงลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดสำหรับกรณีการไหลในแต่ละกรณีบน *rd*-scale

เมื่อเปรียบเทียบในกรณี *S0* และ *S18* พบว่า กรณีเจ็ตหนึ่งตัวลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว ในขณะที่กรณีเจ็ตสองตัว อุณหภูมิสูงจะแบ่งเป็นสองส่วนหลังเจ็ตตัวที่สองโดยมีการเคลื่อนที่ไปตามผนังท่อในทิศทางทวนและตามเข็มนาฬิกา ยกเว้นในกรณี *S18rd05* ที่ส่วนหนึ่งมีลักษณะอยู่นิ่ง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณี *rd05* กับ *rd10* ทั้งกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงและไม่มีการหมุนควง พบว่าในด้านที่มีการหมุนทวนเข็มนาฬิกาของกรณี *rd05* จะมีลักษณะการหมุนไปได้มากกว่ากรณี *rd10* เสมอ ในขณะที่ในด้านที่มีการหมุนตามเข็มนาฬิกาของกรณี *rd05* จะมีลักษณะการหมุนไปได้น้อยกว่ากรณี *rd10*

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบ ค) ในกรณี *rd00* พบว่าการหมุนของอุณหภูมิสูงในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควงจะหมุนไปได้ไกลกว่ากรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควง แต่สำหรับ ค) ในกรณี *rd05* และ*rd10* พบว่ากรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงจะมีลักษณะการหมุนไปได้มากกว่ากรณี กรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควงเสมอ

รูปที่ 3.43 แสดงลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับกรณีการไหลในแต่ละกรณีบน *rd*-scale

เมื่อเปรียบเทียบในกรณี *S0* พบว่า กรณี *S0rd00* และ *S0rd10* ลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว ในขณะที่กรณี *S0rd05* อุณหภูมิต่ำสุดจะแบ่งเป็นสองส่วน แล้วจึงไหลมารวมกันเป็นส่วนเดียว

สำหรับกรณี *S18* พบว่า การเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับการหมุนควงของกระแสลมขวาง โดยในกรณี *S18rd05* มีลักษณะการหมุนจนครบรอบ และ *S18rd10* มีลักษณะการหมุนจนเกือบครบรอบ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณี *rd05* กับ *rd10* ทั้งกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงและไม่มีการหมุนควง พบว่ากรณี *rd05* จะมีลักษณะการหมุนไปได้มากกว่ากรณี *rd10* เสมอ และทั้งกรณี *rd00*, *rd05* และ *rd10* พบว่า ค) การหมุนของอุณหภูมิต่ำสุดในกรณีที่กระแสลมขวางมีการหมุนควงจะหมุนไปได้ไกลกว่ากรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง

จากการศึกษาเส้นทางการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดตามแนวแกน ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ก) จำนวนเจ็ต ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ต และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางมีผลต่อเส้นทางการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด โดยที่ ก) กรณีเจ็ตหนึ่งตัวลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว ในขณะที่กรณีเจ็ตสองตัวลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดจะมีการแบ่งออกเป็นสองทิศทาง ในขณะที่ลักษณะการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิต่ำสุดจะมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว ยกเว้นกรณี *S0rd05* ข) ระยะห่างระหว่างเจ็ตที่น้อยกว่าจะทำให้ลักษณะการเคลื่อนที่ของทั้งอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดหมุนไปได้ไกลกว่า และ ค) การหมุนควงของกระแสลมขวางมีผลทำให้ความเร็วในการหมุนของส่วนที่หมุนตามกันเร็วขึ้น และทำให้บริเวณที่หมุนสวนกันมีความเร็วลดลง

สำหรับการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิสูงสุดของกรณี *S0rd00* กับ *S18rd00* นั้นลักษณะการหมุนของกรณี *S0rd00* หมุนไปมากกว่ากรณี *S18rd00* อาจเป็นเพราะผลของการตั้งเจ็ตที่ไม่ตรงศูนย์กลางทำให้เกิดการ Induced swirl ซึ่งมีผลต่อบริเวณเจ็ตมากกว่า ผลของการหมุนควงของกระแสลมขวาง ในขณะที่บริเวณอุณหภูมิต่ำกรณี *S18rd00* หมุนไปมากกว่ากรณี *S0rd00*