

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลอง

6.1. ปริมาณ scalar ที่มีค่ามากที่สุดของ เจ็ดที่หมุนควงในกระแสการไหลขวางแบบที่มีความเร็วตามแนวสัมผัสไม่เป็นศูนย์ (NZN/NZC SJICF) อยู่ทาง suction side

ทั้งนี้ปริมาณ scalar ในงานวิจัยได้จากการอินทิเกรตปริมาณ scalar ตามแนวแกน y และพบทางด้าน suction ซึ่งแตกต่างจากปริมาณ scalar ของ Niederhaus et al. (1997) ที่ใช้การตัดระนาบด้วยเลเซอร์ซีท พบว่า Local maximum concentration อยู่ทางด้าน pressure

6.2. คุณสมบัติของการผสม

ในงานวิจัยนี้กรณี passive scalar technique จะไม่มีการทำปฏิกิริยาระหว่างเจ็ดกับ crossflow เกิดขึ้น ทำให้เห็นบริเวณที่เจ็ดแพร่ไปทั้งหมด สีที่เห็นในภาพคือบริเวณที่เจ็ดแพร่ไปใน crossflow ทั้งหมด ขณะที่กรณี active scalar technique จะมีการทำปฏิกิริยาระหว่างเจ็ดกับ crossflow เกิดขึ้น สีที่เห็นแสดงอาณาบริเวณที่เจ็ดผสมกับ crossflow ยังไม่ถึง stoichiometric ratio เมื่อการผสมของเจ็ดกับ crossflow ถึงตาม stoichiometric ratio เป็นผลให้สีบานเย็นของเจ็ดหายไป ดังนั้นปริมาณเจ็ดที่ผสมกับ crossflow อย่างน้อยถึง stoichiometric ratio สามารถพิจารณาได้จากพื้นที่ส่วนต่างของพื้นที่ใต้ curve  $\overline{C_N}$  ของกรณี passive scalar technique กับกรณีของ active scalar technique

6.2.1. JICF: ตำแหน่ง  $y/rd$  ของ  $\overline{C_N}_T$  ในกรณี passive scalar จะอยู่ในตำแหน่งที่ไกลจากผนังมากกว่าของกรณี active scalar

เมื่อพิจารณา profile ของ traverse กรณี sideview ของ passive และ active ร่วมกันจะเห็นได้ว่าพื้นที่ส่วนต่างนั้นอยู่ทางด้านนอกของ active scalar (Active scalar outer edge) แสดงถึงการผสมส่วนใหญ่จะอยู่ด้านนอกของ active scalar

6.2.2. Swirl ratio 0.5: ตำแหน่ง  $y/rd$  ของ  $\overline{C_N}_T$  ของในกรณี active และ passive scalar จะอยู่ตรงกัน

เมื่อพิจารณา profile ของ traverse กรณี sideview ของ passive และ active ร่วมกันจะเห็นได้ว่าพื้นที่ส่วนต่างนั้นอยู่ทั้งด้านนอกและด้านในของ active

scalar แสดงถึงการผสมส่วนใหญ่จะอยู่ที่ทั้งด้านนอกและด้านในของ active scalar

6.2.3. Swirl ratio 0.8: ตำแหน่ง  $y/rd$  ของ  $\overline{C_{N_r}}$  ของในกรณี active และ passive scalar จะอยู่ตรงกันในช่วง near field แต่ที่ far field ตำแหน่งของ  $\overline{C_{N_r}}$  ในกรณี passive scalar จะเคลื่อนตัวออกไปทางด้านนอกของกรณี active scalar

เมื่อพิจารณา profile ของ traverse กรณี sideview ของ passive และ active ที่ far field ร่วมกันจะเห็นได้ว่าพื้นที่ส่วนต่างนั้นส่วนมากอยู่ทางด้านนอกของ active scalar แสดงถึงการผสมทางด้านในกลับลดลงน้อยกว่ากรณี Swirl ratio 0.5

6.3. เมื่อพิจารณาผลของ swirl ที่มีต่อ flame length พบว่า swirl ratio 0.5 ช่วยให้ flame length สั้นลงกว่า flame length ของ JICF 13% ขณะที่ swirl ratio 0.8 มี flame length ยาวขึ้นกว่า flame length ของ JICF 20%

swirl ratio 0.5 ทำให้ระยะทางที่ใช้ในการผสมถึง stoichiometric ratio สั้นลงกว่า JICF ขณะที่เพิ่ม swirl ratio ให้สูงขึ้นเป็น 0.8 กลับทำให้การผสมลดน้อยลงกว่าไม่มี swirl ในเชิงการประยุกต์ระยะทางที่สั้นในการผสมถึง stoichiometric ratio ของเจ็ทกับ crossflow ที่น่าจะอาจสามารถทำให้ขนาดของห้องผสมหรือห้องเผาไหม้สั้นลงได้

6.4. เมื่อพิจารณาผลรวมของปริมาณ scalar ตลอดตามแนว traverse ของมุมถ่าย sideview พบว่าผลรวมของปริมาณ scalar ที่หน้าตัดใดๆ ในช่วงตั้งแต่  $x$  เท่ากับ  $0.8 - 5 rd$  มีค่าคงที่เป็น  $K_r$  เท่าของค่าที่ปากเจ็ท

$$\langle C\delta \rangle = K_r \langle Cd \rangle$$

โดยในการทดลองนี้ พบว่า  $K_r$  มีค่าประมาณ 3 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์พบว่า  $K_r$  จะมีค่าแปรตาม effective velocity ratio

นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาสมการข้างต้นจะพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยที่หน้าตัดใดๆ สามารถหาได้จากสมการ  $\langle C \rangle = \frac{K_r \langle Cd \rangle}{\delta}$  ซึ่งแปรผกผันกับความกว้างของเจ็ทและยังแสดงให้เห็นว่า ที่ระยะทางไกลออกไป เมื่อเจ็ทบานออก ( $\delta$  มีค่าเพิ่มขึ้น) concentration เฉลี่ยก็จะมีค่าลดลง โดยสามารถประมาณค่า  $K_r$  อย่างหยาบได้ว่า ประมาณเท่ากับ effective velocity ratio

# ประมวลตาราง

ตาราง 1.1 สรุปการศึกษา Jet ใน Crossflow

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
1	Pratte and Baines (1967)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษา Trajectory และ Spread rate</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วใน Wind tunnel</li> <li>ปาก Jet อยู่ติดกับแผ่นราบขนาดรัศมี 6 นิ้วซึ่งอยู่สูงจากพื้น 8 นิ้วจนไม่มีผลของ Boundary layer ที่ผนังของพื้น</li> </ul>	$r = \frac{u_j}{u_{cf}}, 5, 15, 25, 35$ $d = 0.158, 0.248, 0.362 \text{ นิ้ว}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trajectory ของความเร็วจะ Collapse ที่ Velocity ratio ต่างๆกันใน rd-Scale</li> <li>อัตราส่วนของความกว้างต่อความสูงของ Jet <math>\Delta Y/\Delta Z</math> (ใน Vortex zone มีค่าคงที่ที่ประมาณ 1.4 ในแต่ละหน้าตัดตามแนวแกน Jet แสดงถึงการมี Self similarity</li> <li>ใน Vortex zone อัตราการกระจายจะถูกควบคุมโดย Turbulent และ Vortex motion</li> </ul>
2	Kamotani and Greber (1972)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษา Trajectory, Plane distribution, Spread rate, Decay rate และ Entrainment</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วและ อุณหภูมิใน Wind tunnel</li> <li>ปาก Jet อยู่ติดกับแผ่นราบซึ่งอยู่สูงจากผนังพื้น 2.5 นิ้วและอยู่ห่างจากขอบด้านหน้าของแผ่นราบ 2 นิ้วทำให้ไม่มีผลของ Boundary layer ที่ผนังของพื้น</li> </ul> <p>ใช้ Hot-wire anemometer วัดความเร็วและ ใช้ Thermocouple วัดอุณหภูมิ</p>	$r = \left( \frac{\rho_j u_j^2}{\rho_{cf} u_{cf}^2} \right)^{1/2}, 15.3, 59.6$ $Re_{cf} = \frac{u_{cf} d}{\nu} = 2800-4200$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trajectory ของความเร็วขึ้นกับ Momentum ratio ทั้งในกรณีที่อุณหภูมิของ Jet เท่ากับและมากกว่าอุณหภูมิของ Crossflow ประมาณ 75 F และ 320 F</li> <li>Trajectory ของอุณหภูมิขึ้นกับ Density ratio เพียงเล็กน้อย และยังพบว่า Penetration น้อยกว่า Trajectory ของความเร็วที่อัตราส่วนโมเมนตัมเดียวกัน</li> <li>กระบวนการในการเกิด Entrainment ถูกควบคุมอย่างอิสระโดยส่วนประกอบของความเร็วทั้งในแนวตั้งจากและในแนวขนาน</li> <li>Turbulent intensity เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโมเมนตัม</li> </ul>

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
3	Fric and Roshko (1994)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษา Interaction ระหว่าง Vortex และ โครงสร้างที่เกิดขึ้นของ Jet ใน Crossflow</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วใน Wind tunnel</li> <li>ใช้ Smoke-wire flow visualization และ Hot-wire anemometer</li> </ul>	$r = \frac{u_j}{u_{cf}}, 2 - 10$ $Re_j = \frac{u_j d}{\nu}, 11400 - 7600$ $Re_{cf} = \frac{u_{cf} d}{\nu}, 11400 - 3800$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wake vortices ที่เกิดใน Flow field ไม่ได้เกิดจากตัว Jet แต่เกิดจาก Laminar boundary layer ที่ผนังของพื้น บริเวณปาก Jet ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากการเกิด Wake ด้านหลังทรงกระบอก</li> <li>Strouhal frequency ของ Wake ขึ้นอยู่กับ Velocity ratio</li> </ul>
4	Kelso et al(1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษา Interaction ระหว่าง Vortex และ โครงสร้างที่เกิดขึ้นของ Jet ใน Crossflow</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วทั้งใน Wind tunnel และ Water channel</li> <li>ใช้การฉีดสี (Dye ใน Water tunnel , ใช้ Smoke - wire flow visualization ใน Wind tunnel และใช้ Flying-hot-wire ในการวัดความเร็ว</li> </ul>	$r = \frac{u_j}{u_{cf}}, 2 - 6$ $Re_{cf} = \frac{u_{cf} d}{\nu}, 440 - 6200$	<ul style="list-style-type: none"> <li>การเกิด Separation ภายในท่อเป็นจุดเริ่มของการหมุนตัวของ CVP นอกจากนี้ Vortex ring ที่โค้งเนื่องจาก Crossflow และ Vorticity ที่เกิดจากผนังของพื้นต่างเป็นองค์ประกอบที่มีผลในการเกิด CVP เช่นเดียวกัน</li> <li>การเกิด Separation ของ Boundary layer ที่ผนังของพื้น ทำให้เกิด Wake ด้านหลัง (Upright vortices (</li> <li>ที่ Reynolds number สูงๆ ลักษณะของ Wake จะเปลี่ยนไปใน 3 ลักษณะคือ von Karman vortex street, Mushroom-like upright vortex และ Alternative mushroom-like upright vortex</li> </ul>

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
5	Zaman and Foss (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาผลของ Vortex generators ที่มีต่อ Trajectory ของ Jet ใน Crossflow</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วใน Wind tunnel</li> <li>ใช้ X-wire anemometer</li> </ul>	$J = \left( \frac{\rho_j u_j}{\rho_{cf} u_{cf}} \right)^2$ <p>J 21.1 = , 54.4</p> <p><math>u_{cf} = 6.77, 4.18</math> m/s</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>พบว่าการติด Delta taps ด้านหน้า (Windward side) ทำให้ Jet penetration ลดลงรวมทั้งลด Strength ของ CVP เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติด Tap อย่างไรก็ตาม การติด Delta taps ด้านหลัง (Leeward side) ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะดังกล่าว เนื่องจากด้านหลัง (Leeward side) เป็นบริเวณที่มี Static pressure ต่ำโดยที่ด้านหน้า (Windward side) เป็นบริเวณที่มี Static pressure สูงที่เรียกว่า "Pressure hill" ซึ่งเป็น Primary source ของ Streamwise vorticity</li> </ul>
6	Sivadas et al. (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาผลของ Exit geometry ที่มีต่อ Trajectory และ Spread rate ของ Jet ใน Crossflow</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วใน Wind tunnel</li> <li>ใช้ Laser light sheet visualization และ Image processing</li> </ul>	$r = \frac{u_j}{u_{cf}}, r = 3.9, 5.9, 7.8$	<ul style="list-style-type: none"> <li>ลักษณะปาก Jet รูปสี่เหลี่ยมทำให้การผสมดีกว่า Circular jet โดยเฉพาะเมื่อเพิ่ม Aspect-ratio (เพิ่มพื้นที่สัมผัสด้านหน้าระหว่าง Jet fluid และ Crossflow fluid)</li> <li>ไม่มีลักษณะของ Horse shoe vortex ในกรณีที่ปาก Jet เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่ Aspect-ratio สูงๆ ซึ่งต่างจากพฤติกรรมของ Circular jet</li> </ul>

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
7	Niederhaus et.al (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาผลของการหมุนที่มีต่อคุณลักษณะของ Jet ใน Crossflow</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษา Scalar concentration ใน Water channel</li> <li>ใช้ Planar laser-induced fluorescence (PLIF)</li> </ul>	$r = \frac{u_j}{u_{cf}}, 4.9 - 11.1$ $N_s = 0 - 0.17$	<ul style="list-style-type: none"> <li>ลักษณะของ CVP เปลี่ยนไปจากลักษณะที่สมมาตรในกรณีที่ไม่มี Swirl เป็นลักษณะที่ Vortex ด้านหนึ่งมีขนาดโตขึ้น และอีกด้านหนึ่งมีขนาดลดลงรวมถึงรูปร่างที่เปลี่ยนไปเป็น Comma shape ในกรณีที่มี Swirl</li> <li>พบการลดลงของ Jet penetration ในกรณีที่มี Swirl</li> <li>ไม่พบความแตกต่างของการลดลงของ Maximum mean concentration เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มี Swirl</li> </ul>
8	Smith and Mungal (1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาการผสมและการ Scale ในลักษณะต่างๆ ของ Jet ใน Crossflow</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษา Scalar concentration ใน Wind tunnel</li> <li>ใช้ Planar laser-induced fluorescence (PLIF)</li> </ul>	$r = \left( \frac{\rho_j u_j^2}{\rho_{cf} u_{cf}^2} \right)^{1/2}, 25 - 5$ $Re = \frac{u_j d}{\nu}, 8400 - 41500$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Centerline concentration decay แปรตาม <math>(S/rd)^{-1.3}</math> บริเวณ Near field และแปรตาม <math>(S/rd)^{-2/3}</math> บริเวณ Far field โดยมี Branch point อยู่ที่ <math>S = 0.3r^2d</math> (<math>S</math> คือระยะทางในแนว Centerline)</li> <li>Probability density function )p.d.f ( มีลักษณะ Non-marching ก่อน Branch point และมีลักษณะ Tilted หลัง Branch point</li> </ul>

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
9	Yuan and Street (1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษา Trajectory และ Entrainment ของ Jet ใน Crossflow</li> <li>ทำ Simulation โดยศึกษา Scalar concentration</li> <li>ใช้ Large eddy simulation (LES)</li> </ul>	$r = \frac{u_j}{u_{cf}}, r = 2, 3.3$ $Re_{cf} = \frac{u_{cf} d}{\nu}$ $Re_{cf} = 1050, 2100$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trajectory ของ Center plane บริเวณห่างจากปาก Jet ที่ Velocity ratio ต่างกัน Collapse เป็นเส้นเดียวโดยมีลักษณะเป็น Power law</li> <li>ในบริเวณ Power law การดึง Crossflow fluid เข้าไปใน Jet fluid (Entrainment) เป็นกลไกสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนทิศทางของ Jet ส่วนบริเวณปาก Jet (บริเวณ Upstream ของบริเวณ Power law) Pressure drag และ Turbulent intensity จะเป็นกลไกสำคัญ</li> </ul>
10	Wangjiraniran and Bunyajitradulya (2001),(2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาคูณลักษณะของเจ็ตที่หมุนควงแบบ Non-Zero circulation</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาคูณลักษณะของการผสมและการพัฒนาตัวของเจ็ต ด้วยการวัดอุณหภูมิเฉพาะหน้าตัด</li> <li>ใช้ Thermocouple ในการวัด</li> </ul>	$C_T = \frac{T - T_{cf}}{T_j - T_{cf}}$ $r = \frac{\bar{u}_j}{\bar{u}_{cf}} \approx 4.35$ $S_r = \frac{u_{\theta}}{\bar{u}_j} = 0, 0.17, 0.52, 0.82$ $Re_{cf} = \frac{\bar{u}_{cf} d}{\nu} \approx 3400$ $Re_j = \frac{\bar{u}_j d}{\nu} \approx 12000$	<ul style="list-style-type: none"> <li>การหมุนควงทำให้ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิบนหน้าตัดไม่สมมาตร อากาศบริเวณที่อุณหภูมิสูงและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิส่วนใหญ่อยู่ทางด้าน Suction</li> </ul>



ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
11	Denev <i>et al.</i> , (2004)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาโครงสร้างและการผสมของเจ็ตหมุนควงในกระแสมขวางและศึกษาที่ swirl number 0 จนถึง 0.6</li> <li>ใช้วิธี LES ศึกษาการไหล</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Swirl number(s) = <math display="block">\frac{\int_0^{D/2} \rho U_a U_r r^2 dr}{\frac{D}{2} \int_0^{D/2} \rho U_a^2 r dr} = 0 - 0.6</math></li> <li><math display="block">\dot{m}_{jet} = U_{jet} \frac{\rho \pi d^2}{4}</math></li> <li><math display="block">U_m = \sqrt{(u^2 + v^2 + w^2)}</math></li> <li><math display="block">U_{rms} = \sqrt{(u_m - \langle u_m \rangle)}</math> โดยที่ <math>\langle \dots \rangle</math> คือ เวลาเฉลี่ย และสอดคล้องกับค่า <b>Fluctuation</b></li> <li>Re = 2100</li> <li><math display="block">r = \frac{U_{jet}}{U_\infty} = 3.3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การไหลและสนามความเข้มข้นจะบิดเบี้ยวไปเมื่อมี swirling แต่มีผลต่อการผสมในหน้าตัดเพียงเล็กน้อย</li> </ul>

ตารางที่ 1.2 แสดงค่าคงที่ A และ m สำหรับ Trajectory ตามความสัมพันธ์

$$y/rd = A(x/rd)^m \text{ (Pratte and Baines, 1967)}$$

Trajectory	ค่าคงที่ A	ค่าคงที่ m
Outer boundary	2.63	0.28
Centerline	2.05	0.28
Inner boundary	1.35	0.28

ตารางที่ 2.1 ความเร็วรอบที่ใช้ในการทดลอง

Swirl ratio	รอบที่ต้องการ set (RPM)	รอบจริงๆที่วัดได้ (RPM)
Swirl ratio0	0	0
Swirl ratio05	190	175 - 205
Swirl ratio08, Swirl ratio*08	305	290 - 320

ตารางที่ 2.2 ค่าที่ได้สอบเทียบ venturi ของ crossflow

ระยะต่างของระดับน้ำ (mm)	อัตราการไหลของ crossflow (LPM)	ความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัด (cm/sec)
2.7	76.6	3.2
3.7	96.0	4
4.2	105.8	4.4

ตารางที่ 2.3 ค่าที่ได้สอบเทียบ venturi ของ jet

เครื่องมือที่ใช้อ่านค่าความดันแตกต่างคือ manometer ยี่ห้อ dwyer Model 424 ช่วงของการอ่านค่าของเครื่องมือ 0-25 มิลลิเมตรน้ำ มีสเกลย่อย 0.2 มิลลิเมตรน้ำ ผิดพลาดได้  $\pm 0.05$  มิลลิเมตรน้ำ

ระยะต่างของระดับน้ำ (mm)	อัตราการไหลของ jet (cc/min)	ความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัด (cm/sec)
0.1	357	11.8
0.2	457	15.2
0.4	701	23.3

ตารางที่ 2.4 Swirl ratio ที่คลาดเคลื่อนไปได้เนื่องจากรอบที่ได้ไม่คงที่ และความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจาก manometer ปรับค่าได้ไม่ละเอียดพอ

Swirl ที่ต้องการ	ความเร็วรอบ(RPM) \ ความเร็วเจ็ต(cm/s)	13.5 cm/s	15.5 cm/s	17.5 cm/s
0.5	175 RPM	0.54	0.47	0.42
	190 RPM	0.59	0.51	0.45
	205 RPM	0.64	0.55	0.49
0.8	290 RPM	0.90	0.78	0.69
	305 RPM	0.95	0.82	0.73
	320 RPM	1.00	0.86	0.77

ตารางที่ 2.5 ผลการไตเตรทกรดเบสที่ใช้ก่อนและหลังการทดลอง

Case	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	เบส (cc)	กรด (cc)	เบส (cc)	กรด (cc)
SA0	10	12.5	10	13.3
SA05	10	12.5	10	13
SA08	10	12.5	10	13.1
SA*08	10	12.5	10	12.9
TA0	10	13	10	13.6
TA05	10	13	10	13
TA08	10	12.5	10	12.7
TA*08	10	12	10	12.5

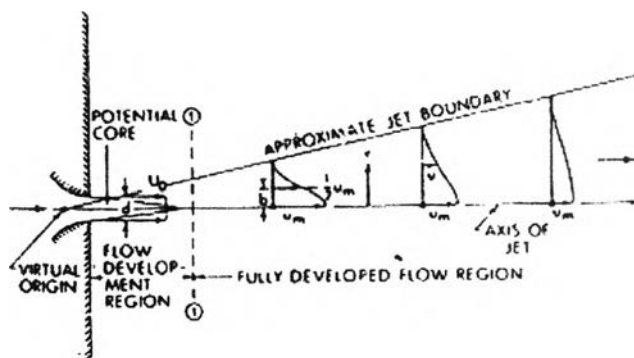
ตารางที่ 4.1 Flame length

	Flame length จากนิยาม $\Gamma_s$ (rd)	Flame length จากนิยาม $\Psi_s$ (rd)
JICF	2.2	4.4
SJICF Sr05	1.9	3.8
SJICF Sr08	2.7	5.2
SJICF Sr*08	2.25	4.8

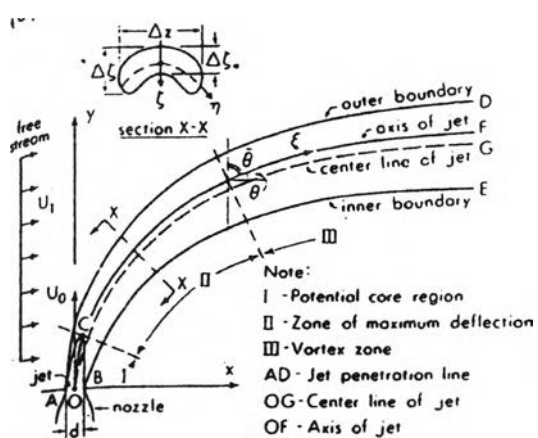
ประมวลรูปภาพ



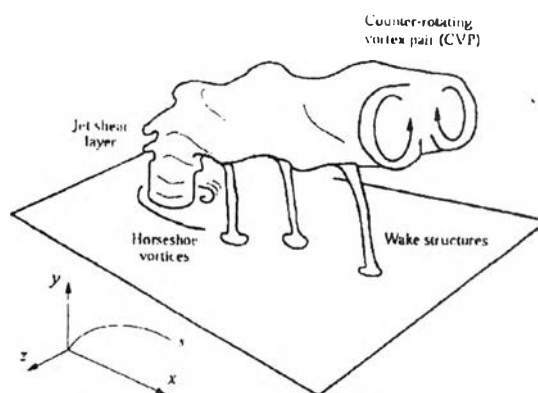
รูปที่ 1.1 การไหลแบบ Jet ใน Crossflow ที่เกิดจากการระบายอากาศเสียจากปล่องควัน



รูปที่ 1.2 ลักษณะของ Circular Turbulent Jet (Rajaratnam, 1976)



รูปที่ 1.3 ลักษณะของ Jet ใน Crossflow (Rajaratnam, (1976))



รูปที่ 1.4 โครงสร้างของ Vortical structure ของ Jet ใน Crossflow (Fric and Roshko, 1994)

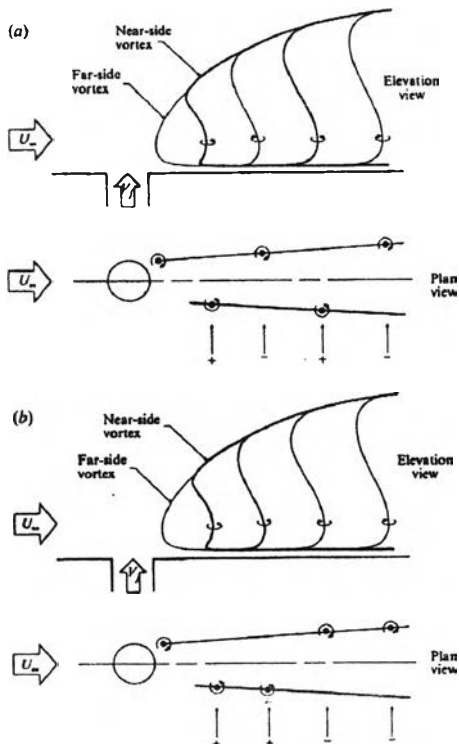


FIGURE 28. For caption see facing page.

รูปที่ 1.5 ลักษณะของ Wake vortices

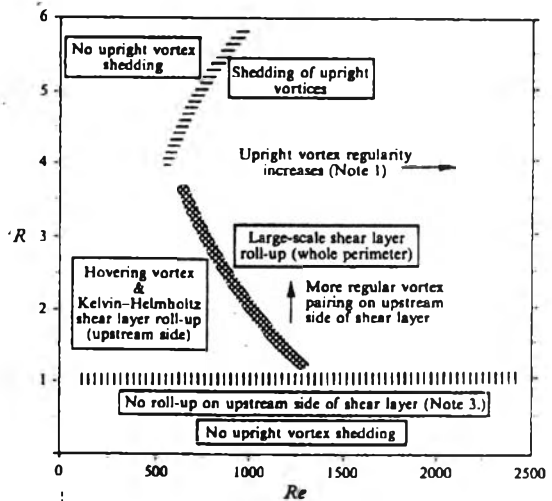
(Upright vortices)

a) von Kármán vortex street

b) Mushroom-like upright vortex structure

c) Alternative Mushroom-like upright

(Kelso et al., 1996)



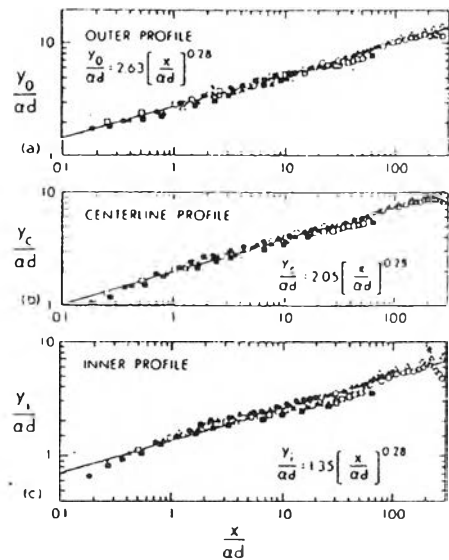
รูปที่ 1.6 ลักษณะโครงสร้างของ Jet ใน Crossflow ที่สภาวะต่างๆ (Kelso et al., 1996)

Note:1.) โดยทั่วไป Upright vortices เกิดที่ Velocity ratio ประมาณ 4

2.) เกิด Vortex breakdown ที่ Velocity ratio > 3

3.) จาก Lim et al. (1992) 4.)  $R = r =$  Velocity ratio

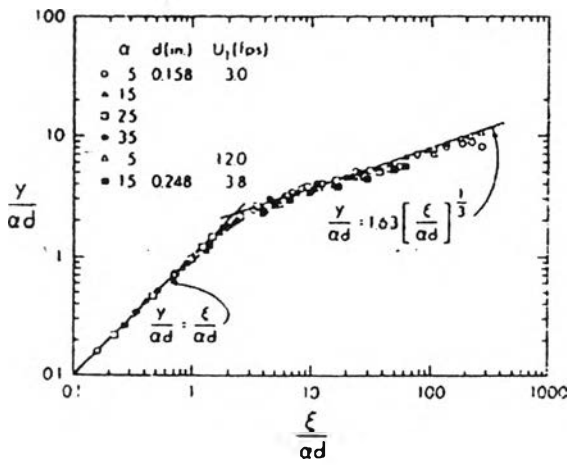
ratio



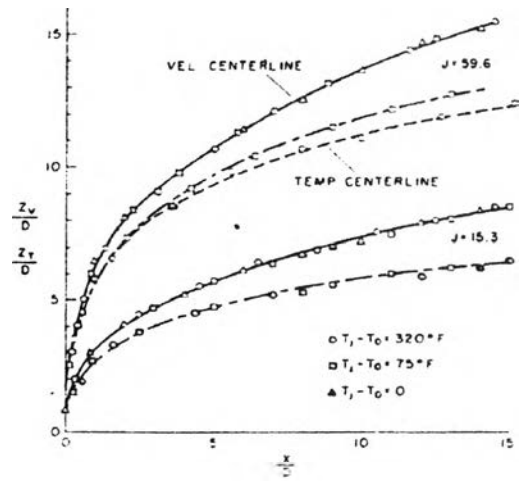
$\alpha$	$d(-)$	$U_1(f_{\alpha})$	$d(-)$	$U_1(f_{\alpha})$
○ 5	0.158	30	○ 35	
△ 15			△ 5	120
○ 25			○ 15	0.248 38

รูปที่ 1.7 Trajectory ของ Jet ใน

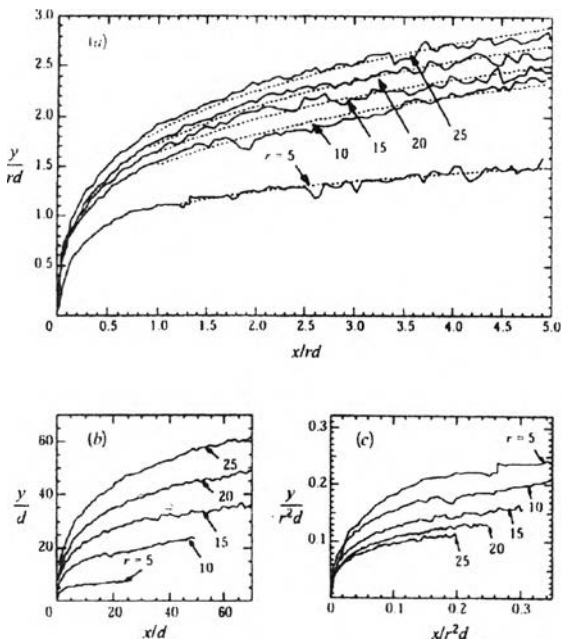
Crossflow (Pratte and Baines, 1967)



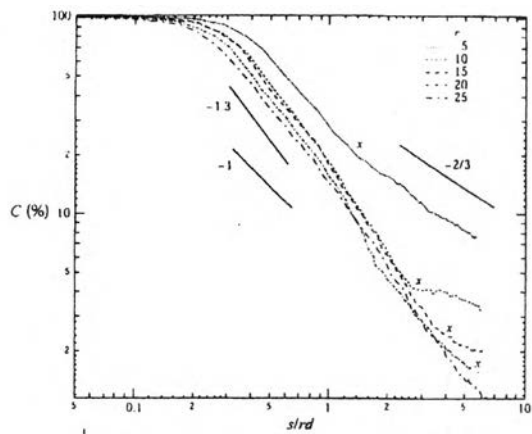
รูปที่ 1.8 Centerline Trajectory ตามแนวแกน Jet ของ Jet ใน Crossflow (Pratte and Baines, 1967)



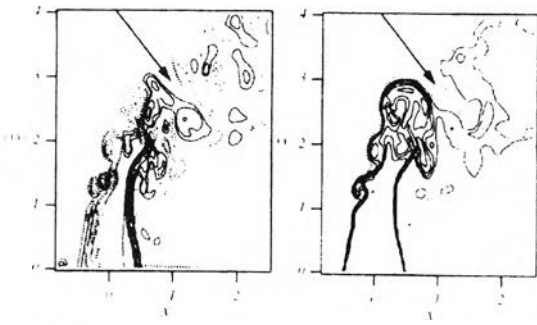
รูปที่ 1.9 Trajectory ของความเร็วและอุณหภูมิ ในกรณี  $T_j - T_0 = 0$ ,  $T_j - T_0 = 75 = F$  และ  $T_j - T_0 = 320 = F$  (Kamotani and Greber, 1972)



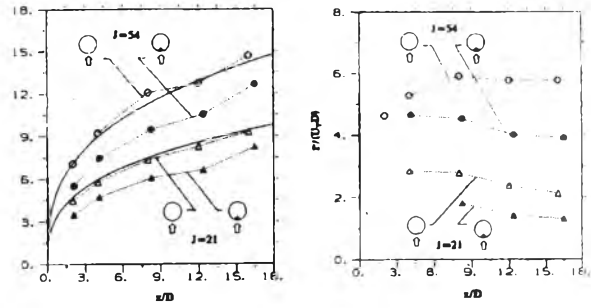
รูปที่ 1.10 Centerline trajectory (Smith and Mungal, 1998)



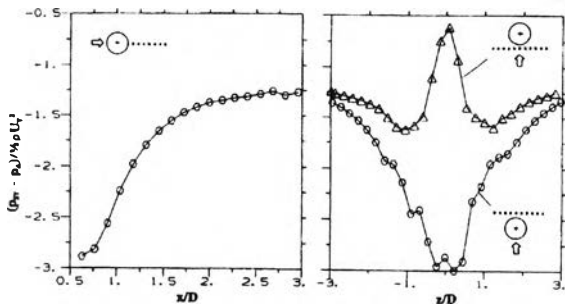
รูปที่ 1.11 Centerline concentration decay ตามแนว S (Smith and Mungal, 1998)



รูปที่ 1.12 Contour ของ Instantaneous spanwise vorticity (ซ้าย) และ Contour ของ Scalar concentration (ขวา) บน Centerplane (Yuan and Street, 1998)

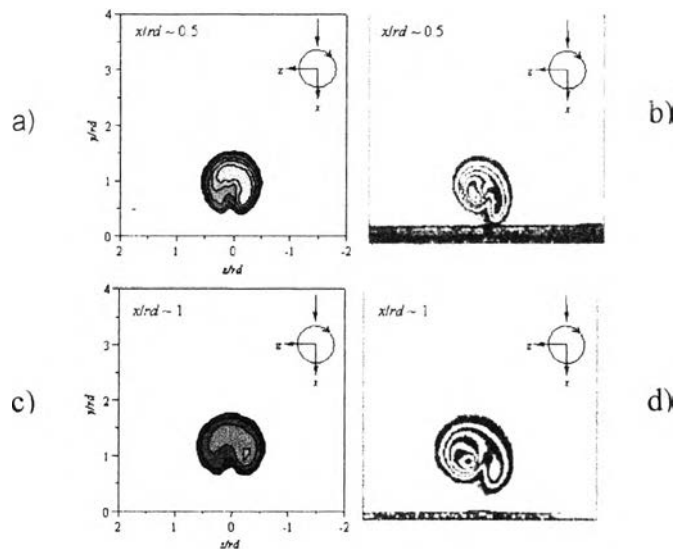


รูปที่ 1.13 Trajectory ของ Maximum mean velocity บน Centerplane (ซ้าย) และ Circulation ด้านหนึ่งของแกนสมมาตร (ขวา) (Zaman and Foss, 1997)

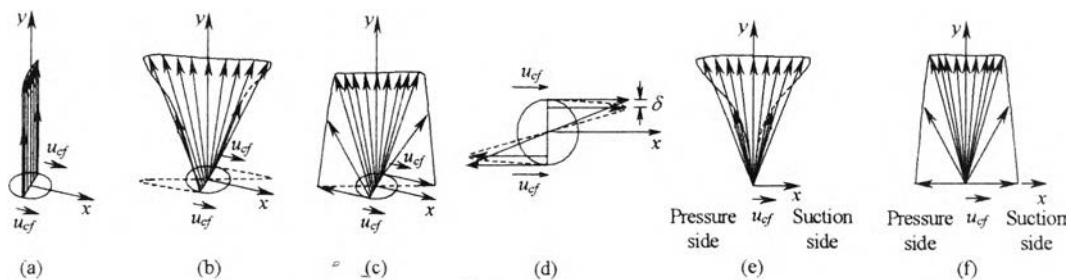


รูปที่ 1.14 การกระจายของ Static pressure ในทิศทางต่างๆ (Zaman and Foss, 1997)

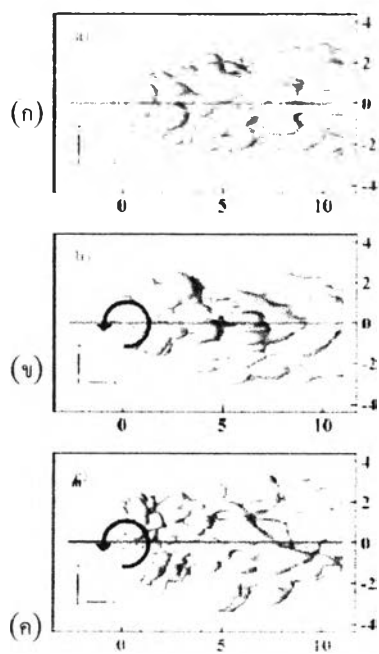




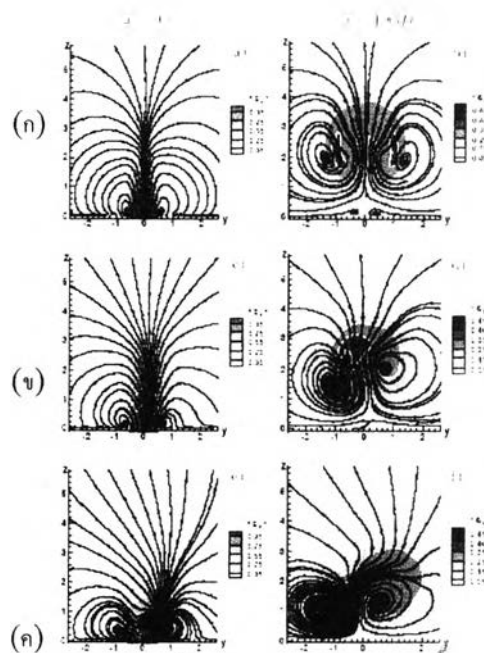
รูปที่ 1.15 Temperature contours Bunyajitradulya and Wangjiraniran (2003) กับ concentration contours ของ Niederhaus *et al.*(1997) สำหรับ swirling jet in crossflow ที่ swirl number ประมาณ 0.17 เมื่อภาพ (a) และ (c) เป็น temperature contours ที่  $x/rd \sim 0.5$  และ 1 ตามลำดับ และภาพ (b) และ (d) เป็น concentration contours ณ ตำแหน่งที่สอดคล้องกันกับ temperature contours แต่พึงระลึกไว้ว่า contours ทั้งสองชนิดนี้ มี velocity ratios ที่ต่างกัน 7.6 สำหรับ Niederhaus *et al.* ภาพที่นำเสนอถูกพล็อตในทิศทางที่มองเจ็ตจาก downstream บริเวณที่เป็นสีขาวในภาพ (b) และ (d) หมายถึงการเพิ่มขึ้น 5% ของ initial concentration



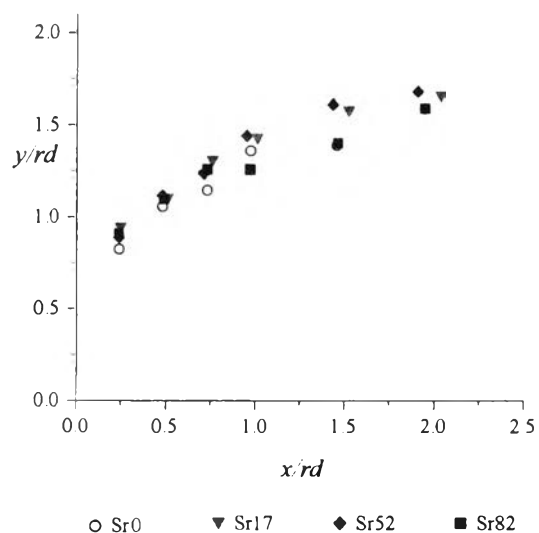
รูปที่ 1.16 อธิบายรูปแบบของ initial velocity profiles ของเจ็ต Wangjiraniran and Bunyajitradulya (2001) เมื่อภาพ (a) non-swirling jet การหมุนควงของเจ็ตเกิดจาก (b) zero-tangential-velocity/zero-circulation method, (c) non zero-tangential-velocity/ non zero-circulation method; (d) เปรียบเทียบ tangential velocity profiles ระหว่าง (b) และ (c); แสดงการกระจายตัวของเวกเตอร์ความเร็วผ่าน skewed shear layers: (e) สำหรับเจ็ตใน (b), (f) สำหรับเจ็ตใน (c)



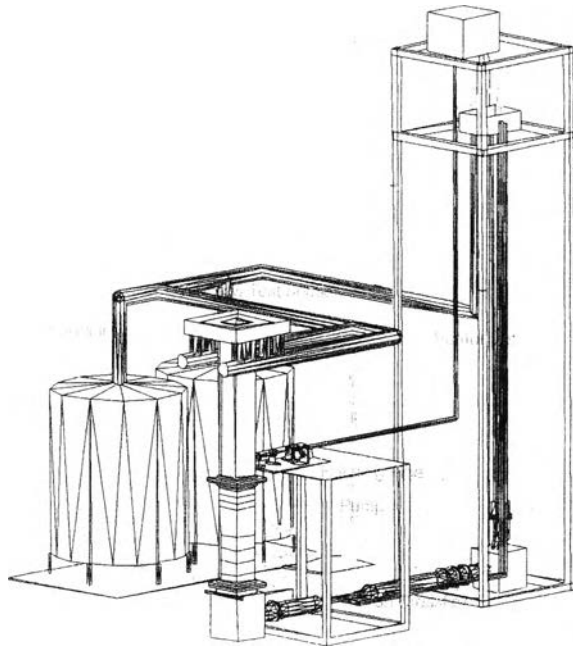
รูปที่ 1.17 Instantaneous iso concentration surface โดย  $S_1 = 0.1$ , Top view (ก)  $S=0$ , (ข)  $S=0.4$ , (ค)  $S=0.6$  (Denev *et.al.*, 2004)



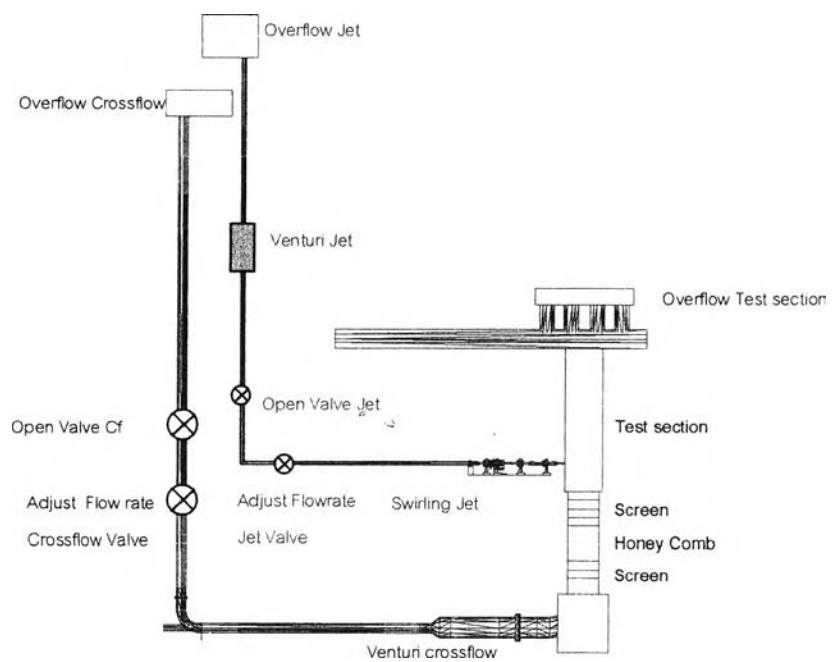
รูปที่ 1.18 ภาพเฉลี่ยของ Streamline และค่าความเข้มข้นที่  $x=0$  และ  $x=1.83D$  Top view (ก)  $S=0$ , (ข)  $S=0.4$ , (ค)  $S=0.6$ .(Denev *et.al.*, 2004)



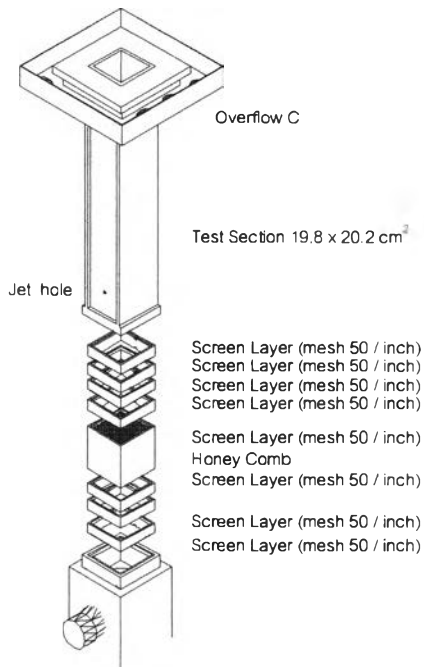
รูปที่ 1.19 Maximum centerplane-temperature trajectories for all cases.(Wangjiraniran and Bunyajitradulya 2001)



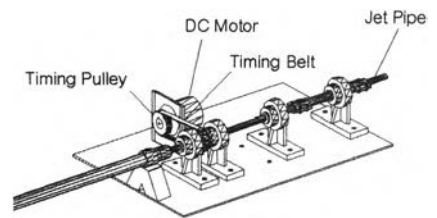
รูปที่ 2.1 ชุดทดลอง swirling jet in Crossflow



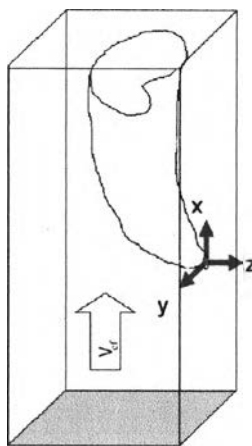
รูปที่ 2.2 การทำงานของชุด Crossflow และ swirling jet pipe



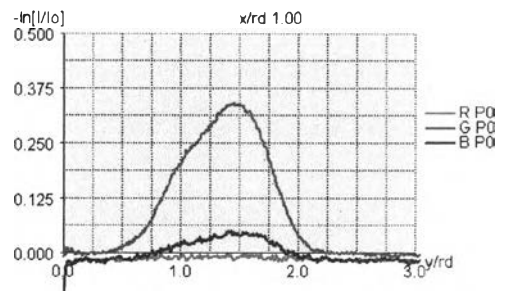
รูปที่ 2.3 อูโมงคี่น้ำ



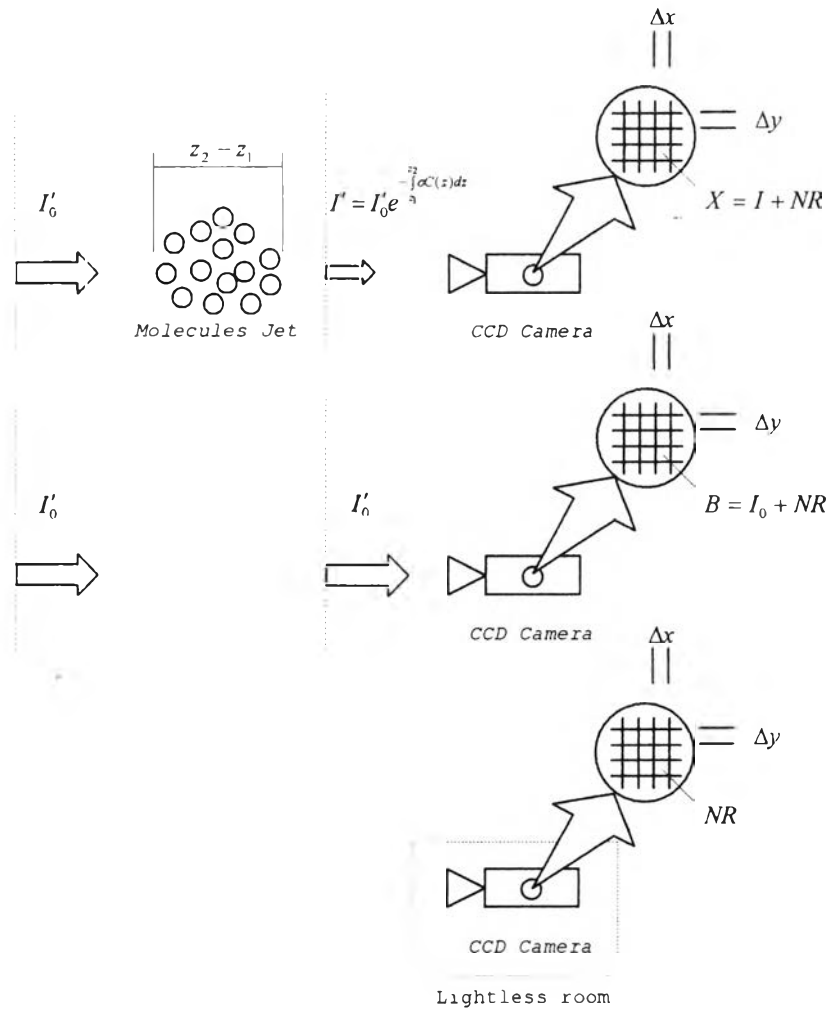
รูปที่ 2.4 ชุดเจ็ตแบบพ้อหมุน



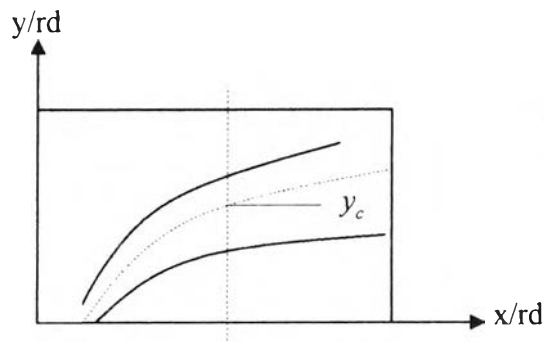
รูปที่ 2.5 พักัดในการทดลอง



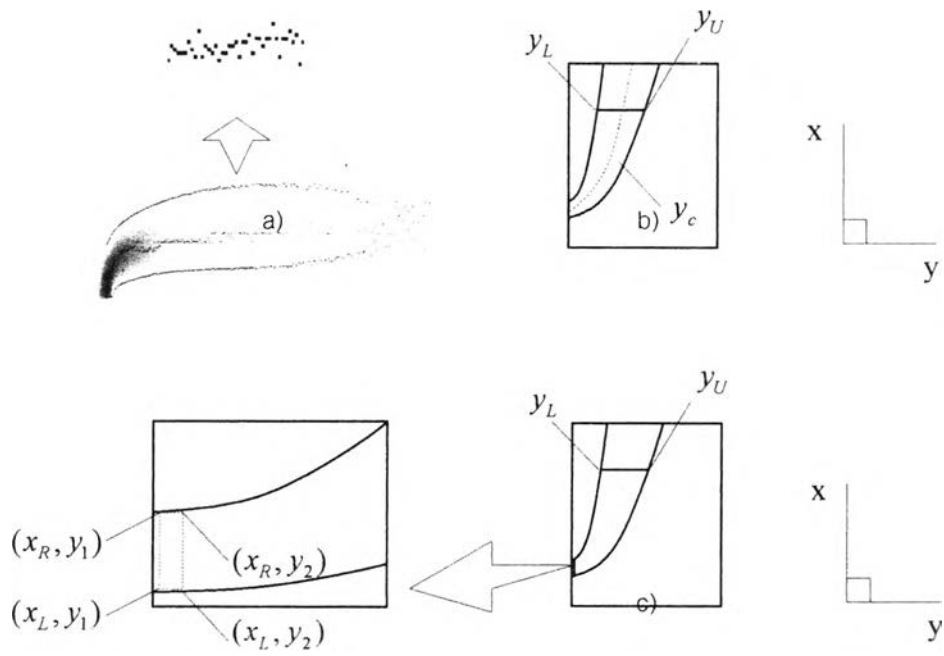
รูปที่ 2.6 สัญญาณสีแดง เขียว และน้ำเงินในภาพ extinction เฉลี่ยของ P0



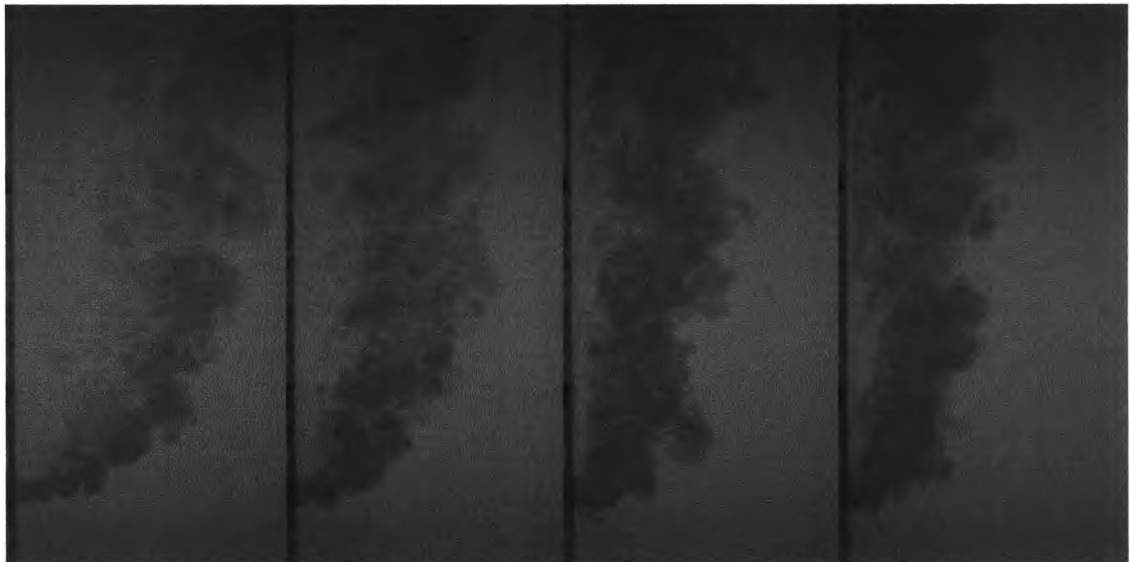
รูปที่ 3.1 Schematic แสดงการแปลงความเข้มแสงเป็นสัญญาณความเข้มแสงของการถ่ายรูปในการทดลอง



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของ  $\bar{C}_{N,r}$  บน Trajectory



- รูปที่ 3.3 a) ขอบเฉลี่ยที่  $x/r_d$  ใดๆ  
 b) ระยะที่ใช้ในการรวมค่า  $\overline{C_N}$   
 c) พื้นที่ที่ใช้ในการรวมค่า  $\overline{C_N}$  แล้วนำมาเฉลี่ยบริเวณปากเจ็ต



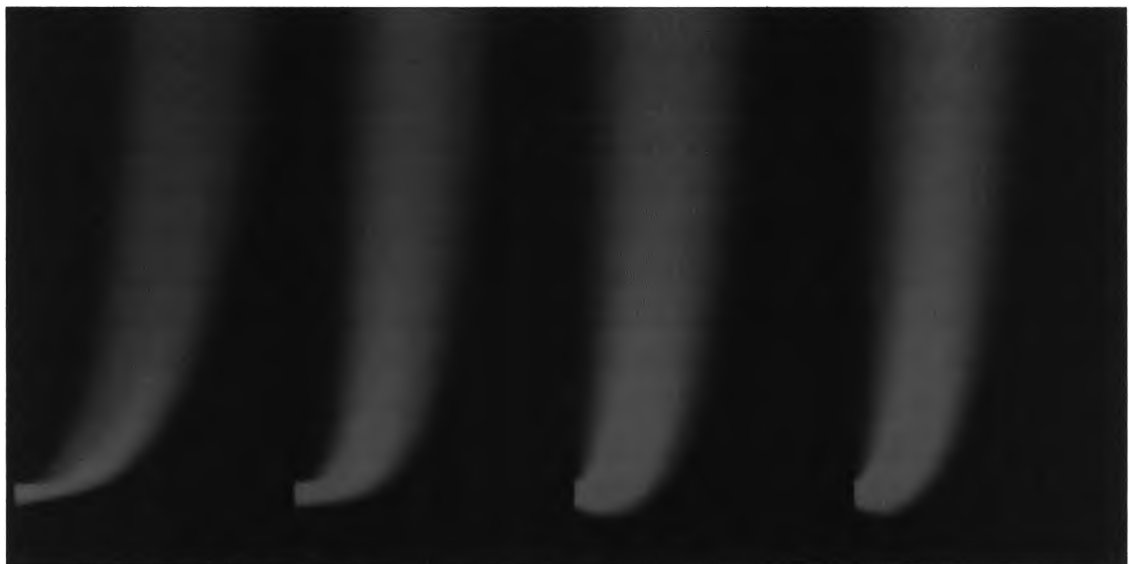
P0

P05

P08

P\*08

a) Instantaneous sideview



P0

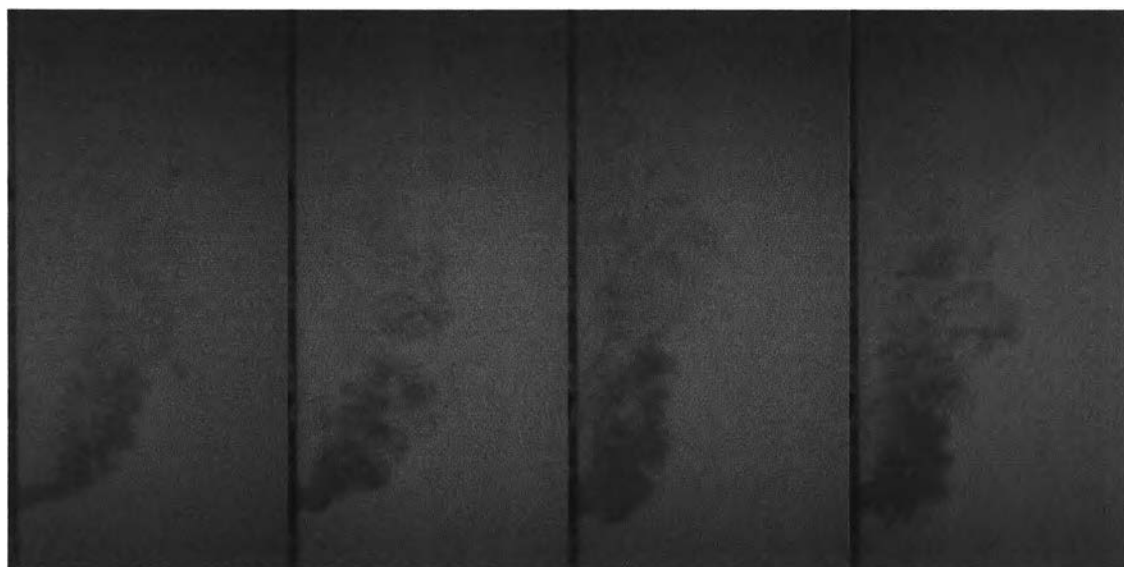
P05

P08

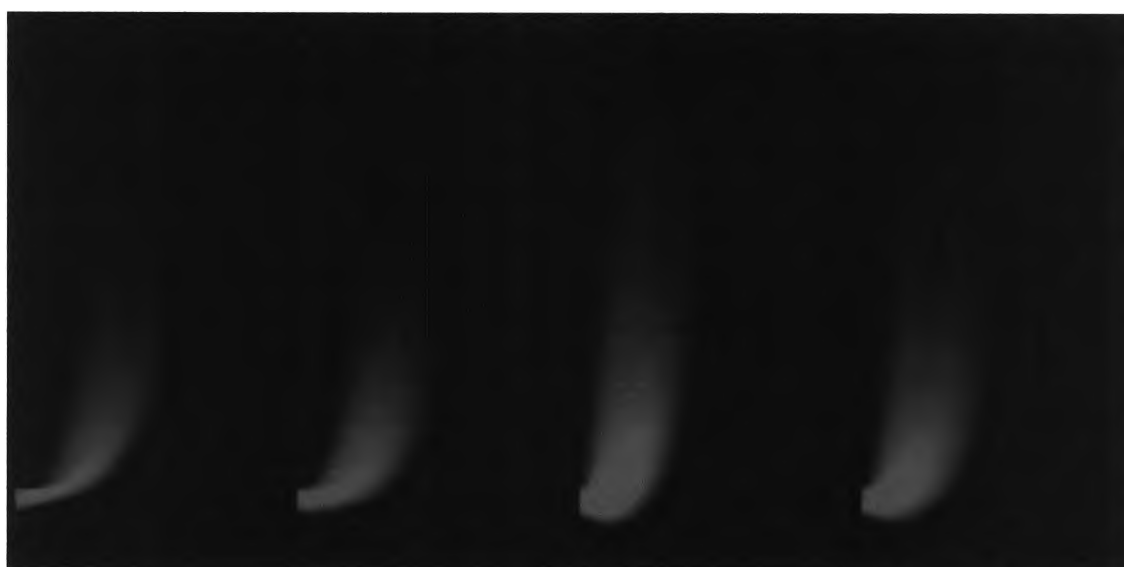
P\*08

b) สัญญาณสีเฉลี่ยของ Mean image

รูปที่ 4.1 Passive Scalar Technique: ภาพขณะใดๆ และภาพปริมาณ  $\overline{C_N} \times 300$  ของภาพถ่ายภาพ sideview

 $t=0$  $t=0.5$  $t=0.8$  $t=0.8$ 

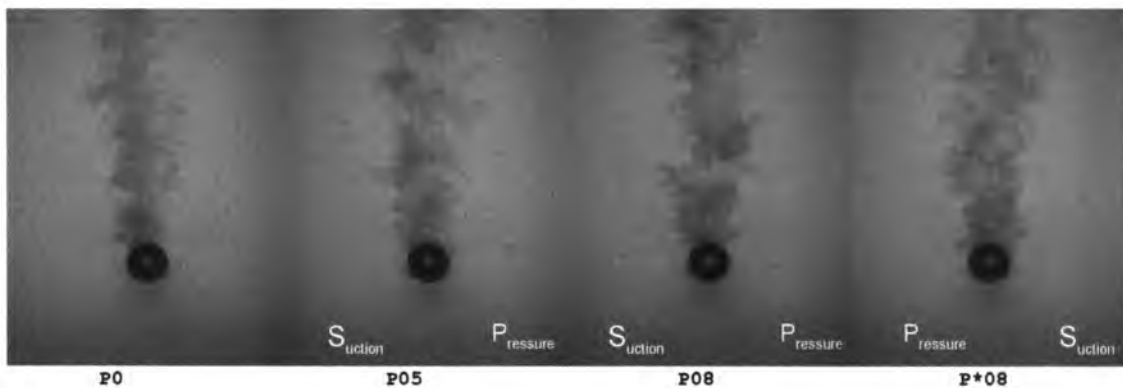
a) Instantaneous sideview

 $t=0$  $t=0.5$  $t=0.8$  $t=0.8$ 

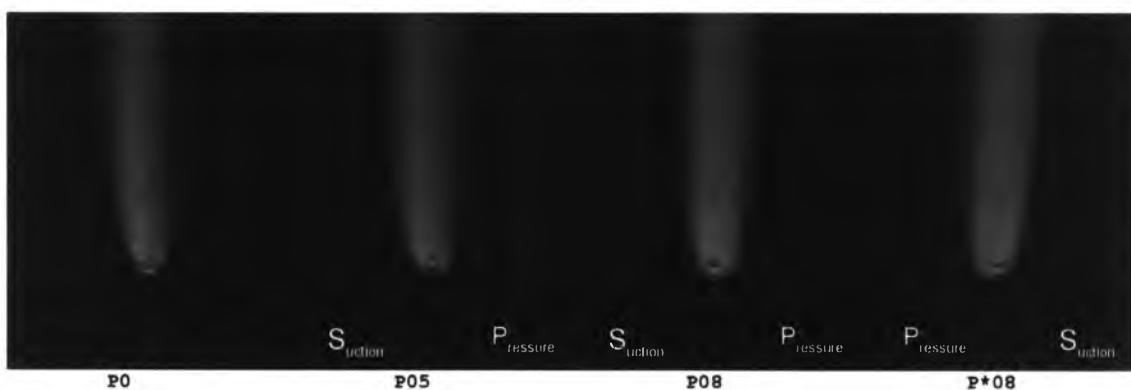
b) สัญญาณสี่เหลี่ยมของ Mean image

รูปที่ 4.2 Active Scalar Technique: ภาพขณะใดๆ และภาพปริมาณ  $\overline{C_N}$  x 300 ของภาพถ่าย มุม sideview



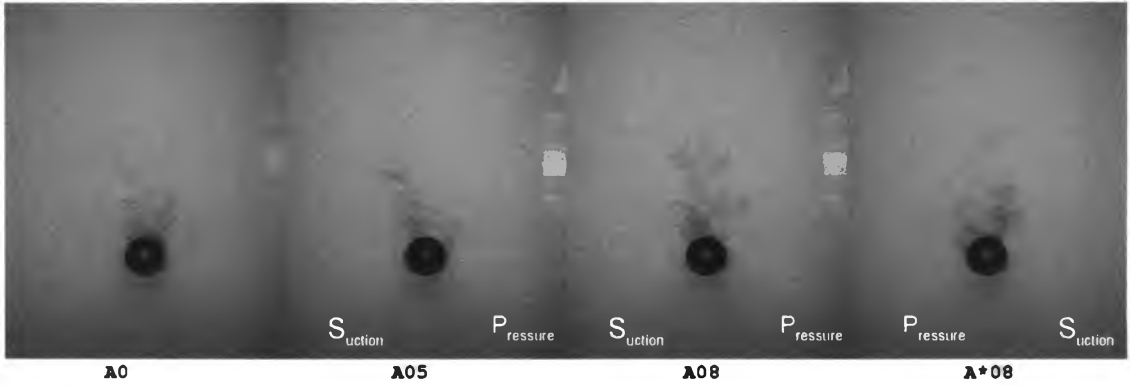


a) Instantaneous topview

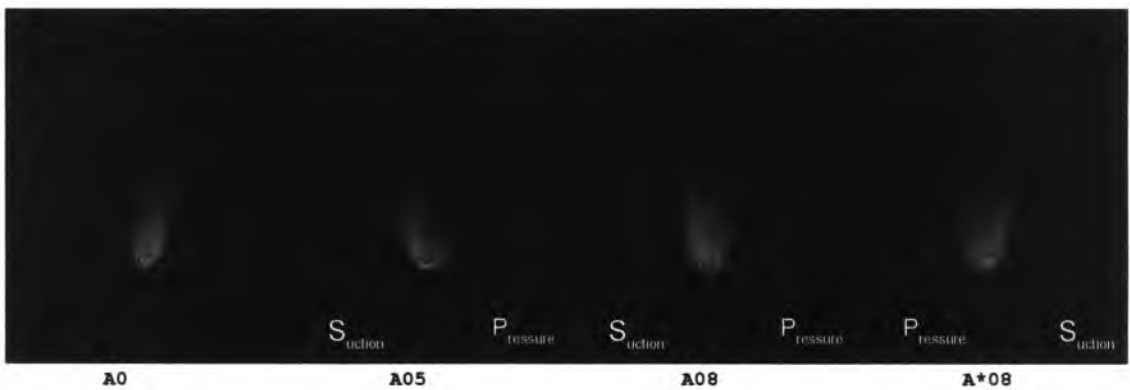


b) สัญญาณสีเขียวของ Mean image

รูปที่ 4.3 Passive Scalar Technique: ภาพขณะใดๆ และภาพปริมาณ  $\overline{C_N} \times 300$  ของภาพถ่ายภาพ top view

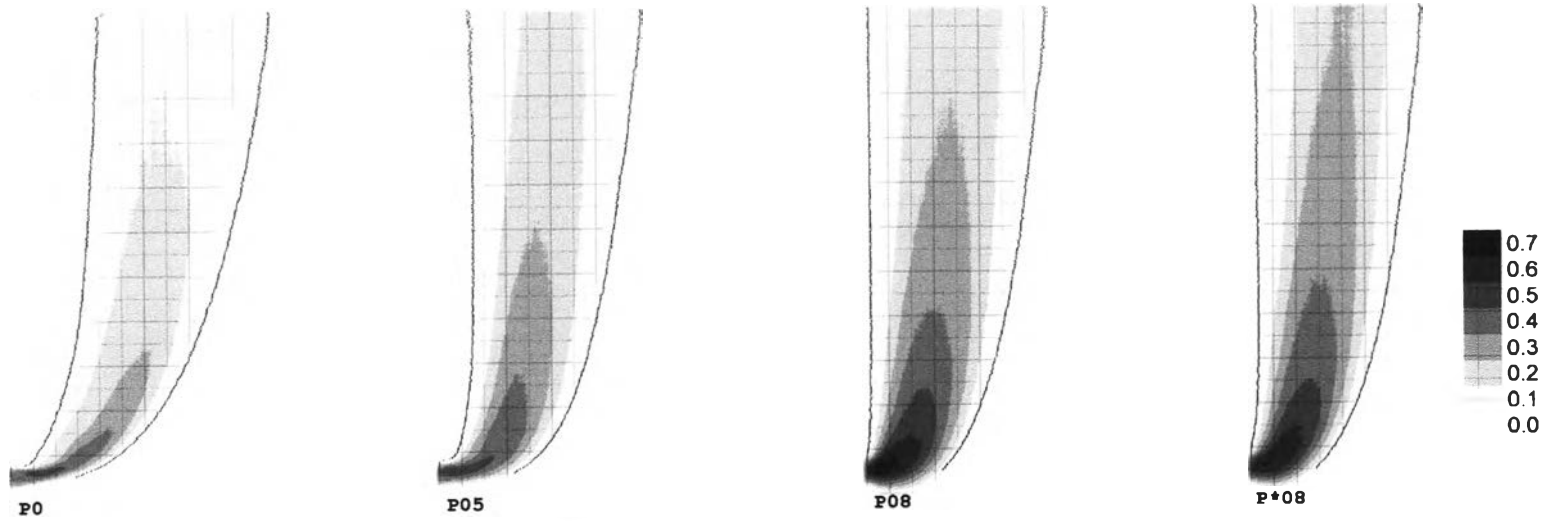


a) Instantaneous topview

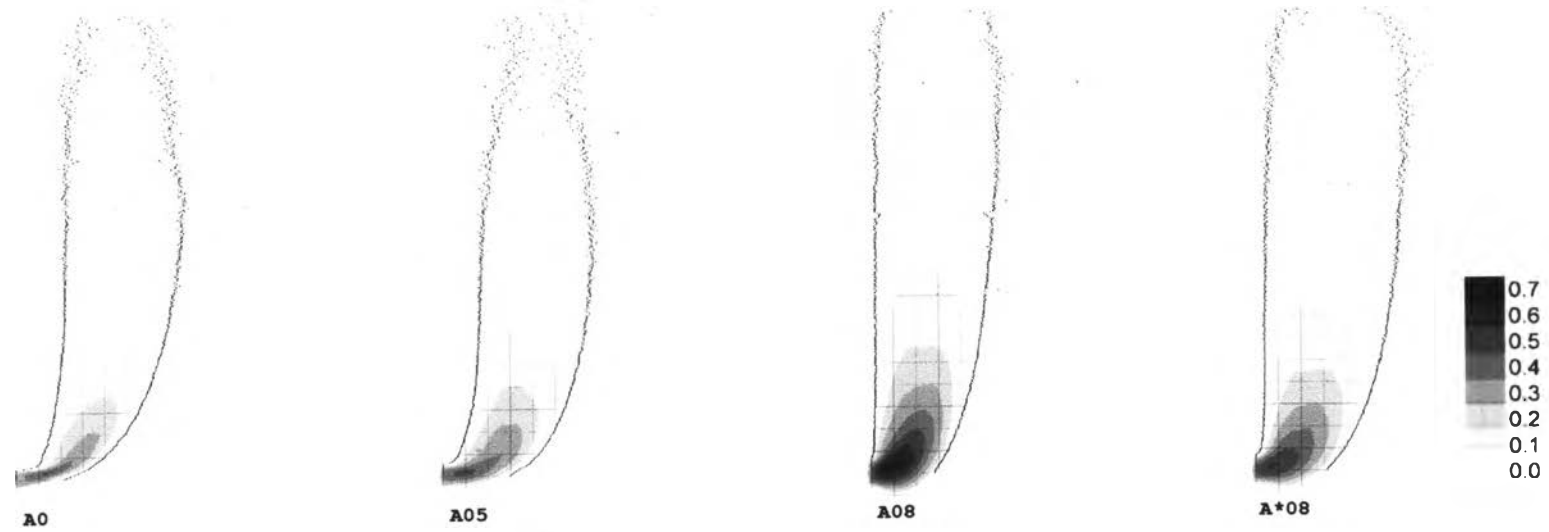


b) สัญญาณสีเขียวของ Mean image

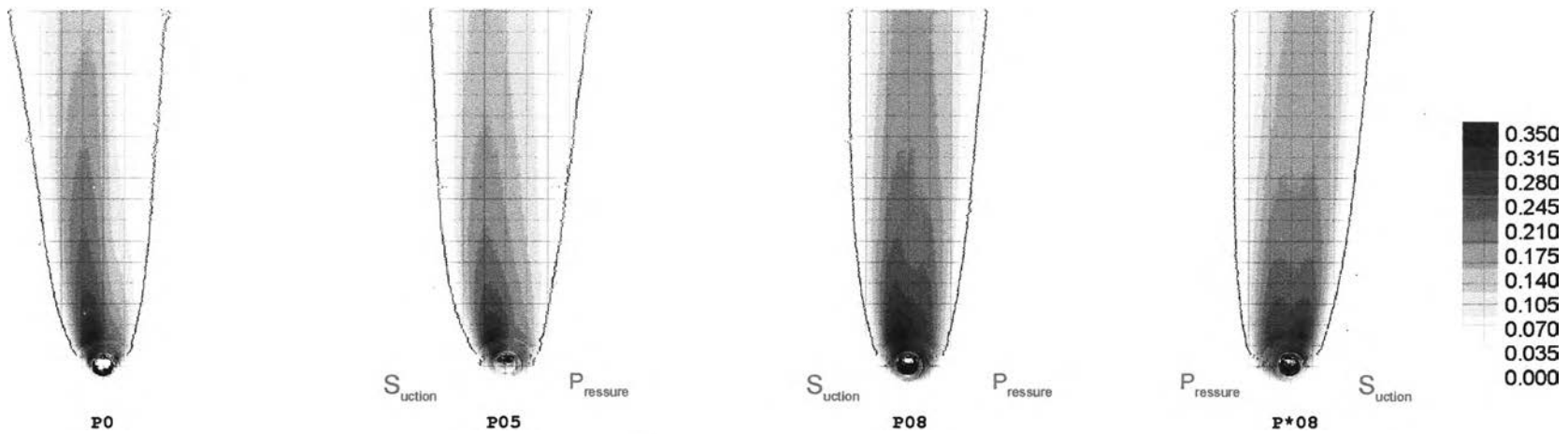
รูปที่ 4.4 Active Scalar Technique: ภาพขณะใดๆ และภาพปริมาณ  $\overline{C_N} \times 300$  ของภาพถ่ายมุม top view



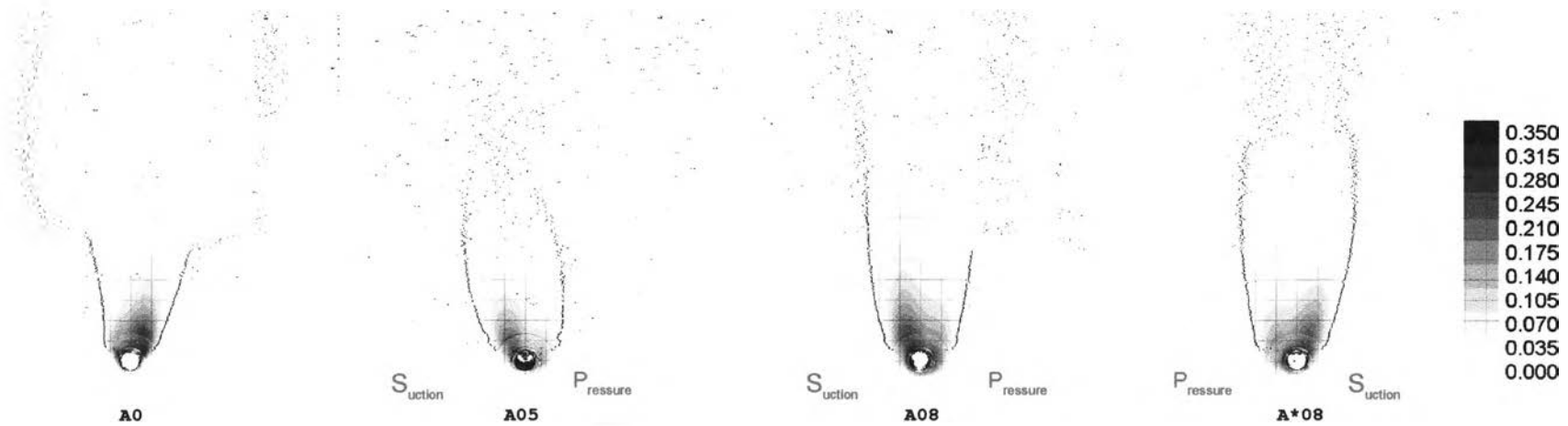
รูปที่ 4.5 Passive Scalar Technique: Contour ของ  $\overline{C_N}$  (สัญญาณสีเขียว) แสดงบริเวณการแผ่กระจายของเจ็ตทั้งหมด



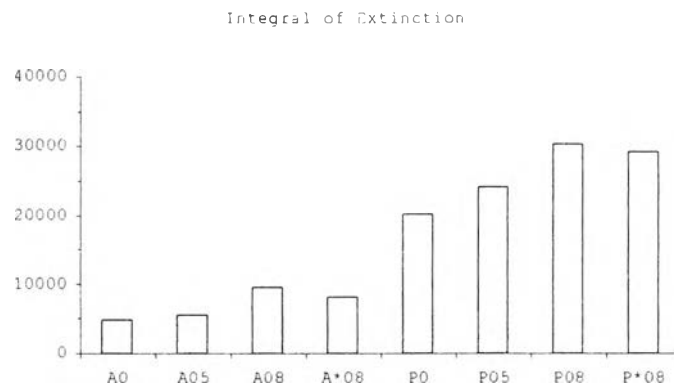
รูปที่ 4.6 Active Scalar Technique: Contour ของ  $\overline{C_N}$  (สัญญาณสีเขียว) แสดงบริเวณของเจ็ตที่ยังผสมกับ crossflow ไม่ถึง stoichiometric ratio



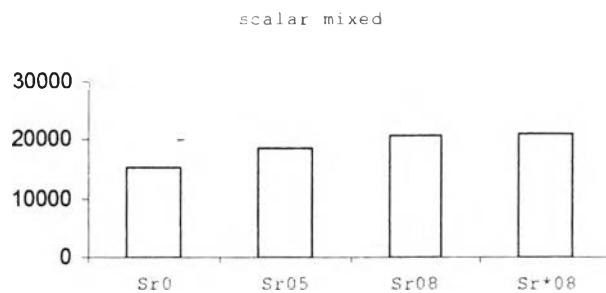
รูปที่ 4.7 Passive Scalar Technique: Contour ของ  $\overline{C_N}$  (สัญญาณสีเขียวน) แสดงบริเวณการแผ่กระจายของเจ็ตทั้งหมด



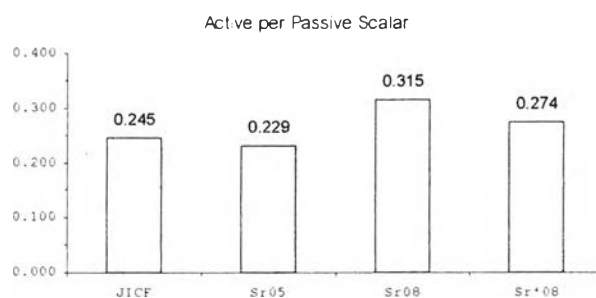
รูปที่ 4.8 Active Scalar Technique: Contour ของ  $\overline{C_N}$  (สัญญาณสีเขียวน) แสดงบริเวณของเจ็ตที่ยังผสมกับ crossflow ไม่ถึง stoichiometric ratio



a)

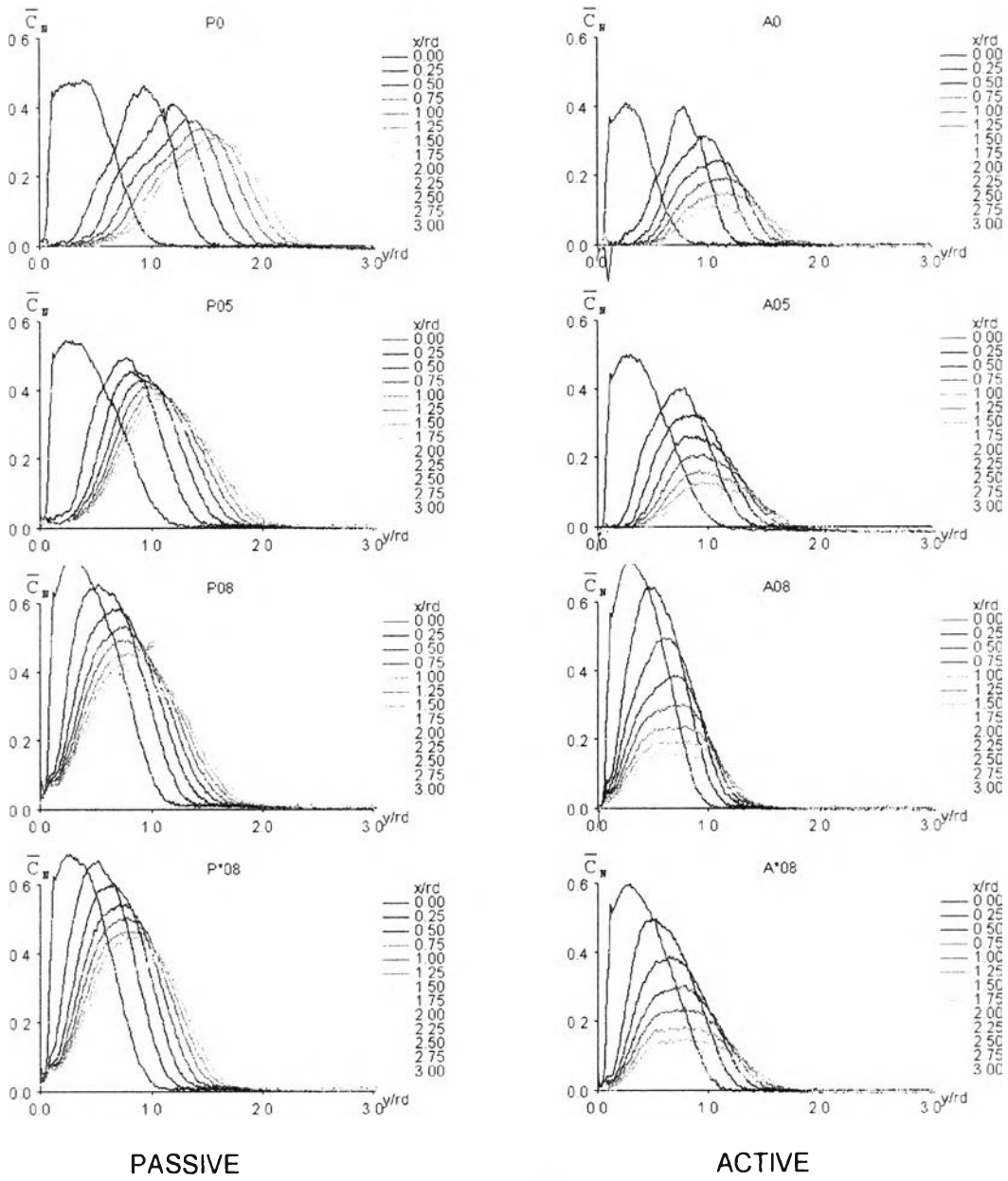


b)

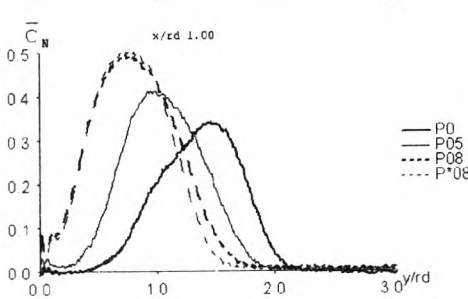
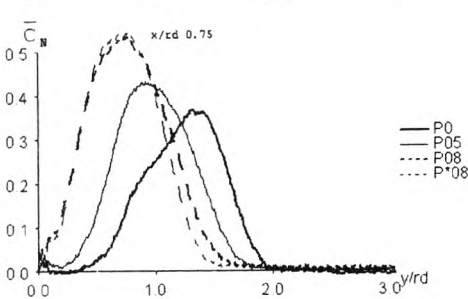
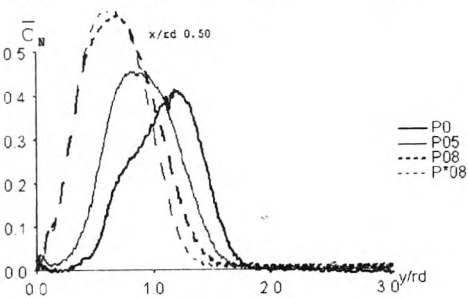
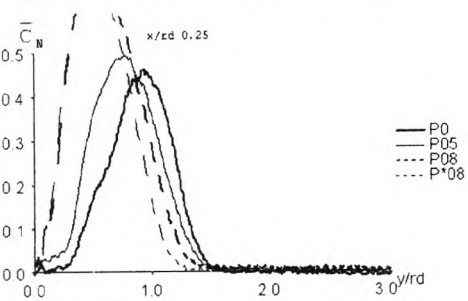
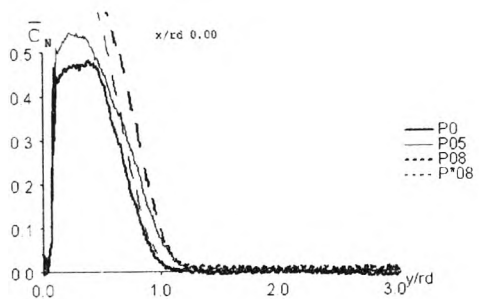


c)

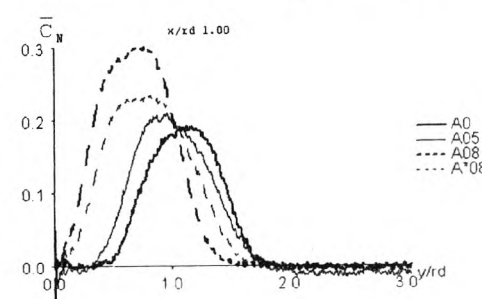
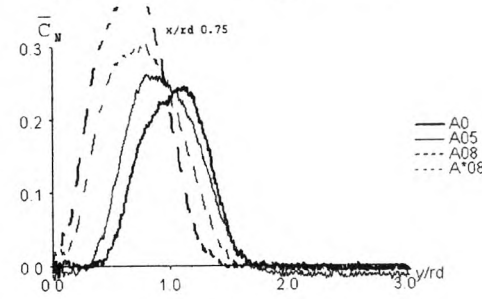
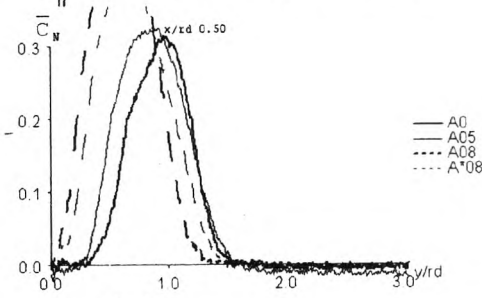
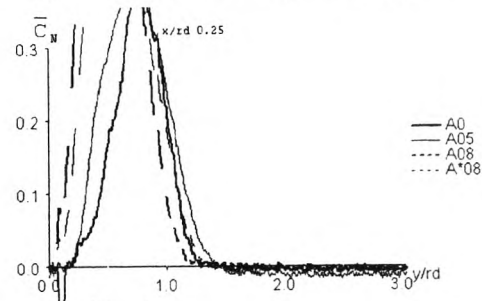
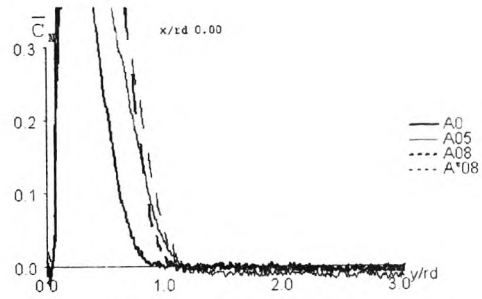
- รูปที่ 4.9 a) อินทิกรัลตามพื้นที่ของ  $\overline{C_N}$  ของภาพถ่ายด้านข้างในรูปที่ 4.5 และ 4.6  
 b) ปริมาณของอินทิกรัลตามพื้นที่ของ  $\overline{C_N}$  ที่ได้ผสมถึง stoichiometric ratio ของภาพถ่ายด้านข้าง คำนวณจากข้อมูลในรูปที่ 4.9 a)  
 c) สัดส่วนของอินทิกรัลตามพื้นที่ของ  $\overline{C_N}$  ของ active ต่อ passive



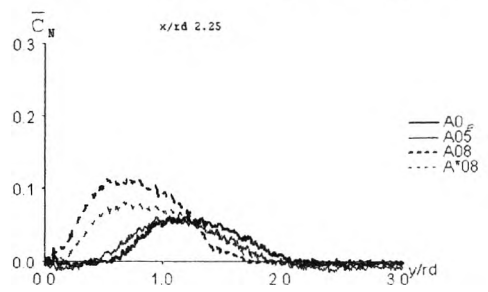
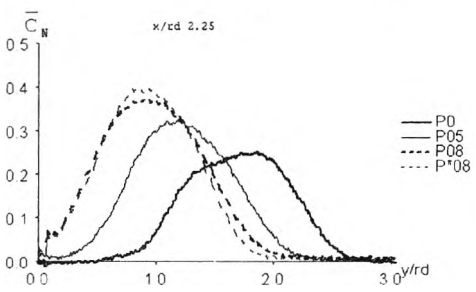
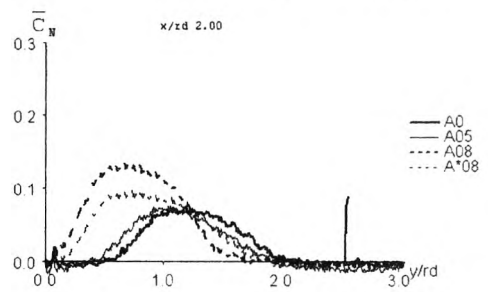
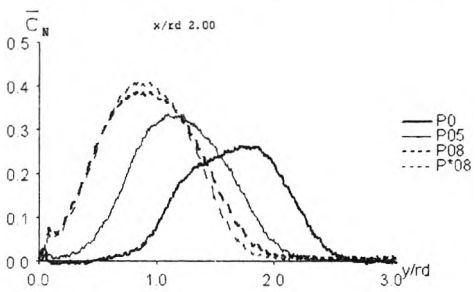
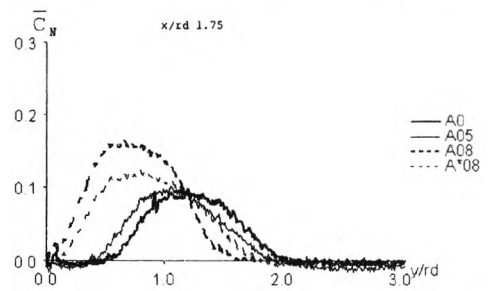
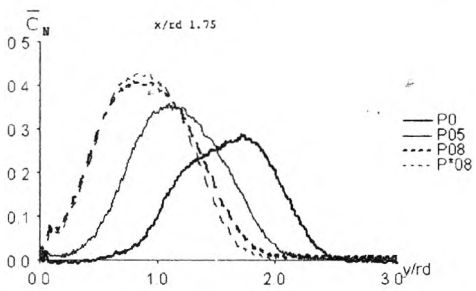
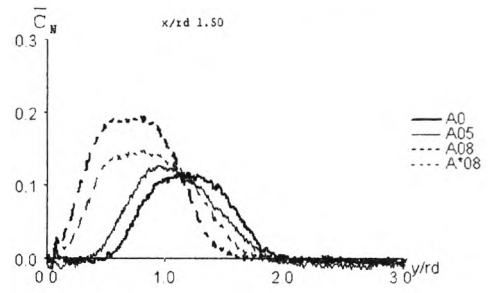
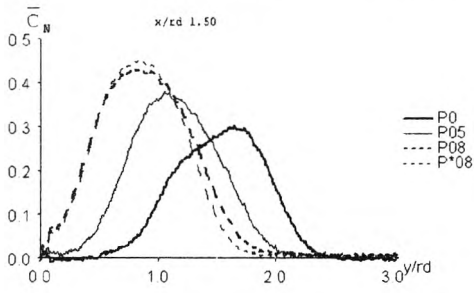
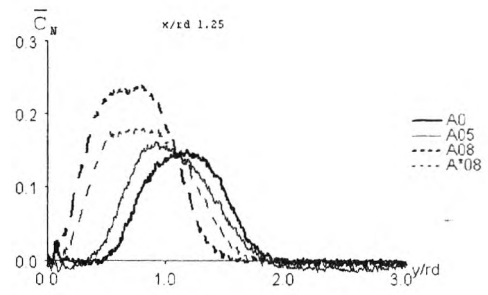
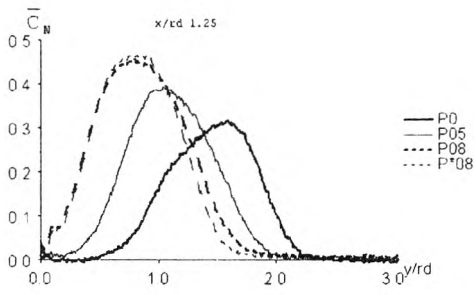
รูปที่ 4.10 การพัฒนาตัวของเจ็ต  $\bar{C}_N$  ของภาพถ่ายด้านข้าง



4.11 (a)



4.12 (a)

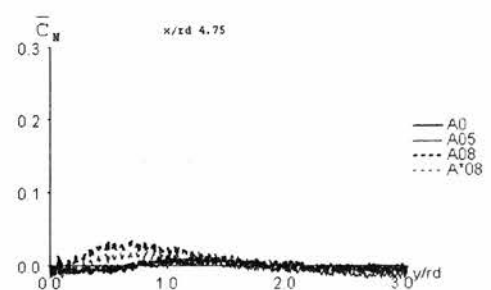
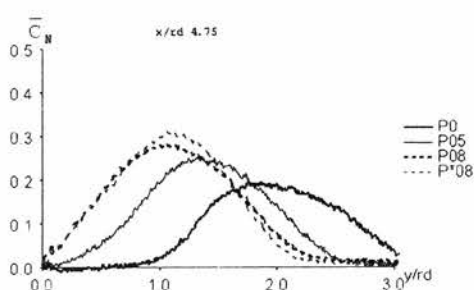
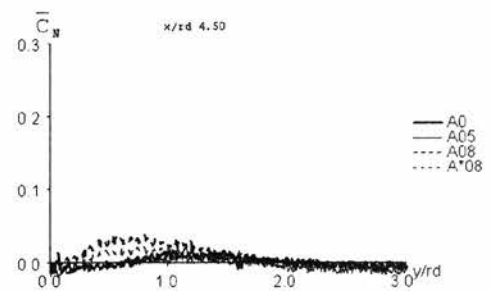
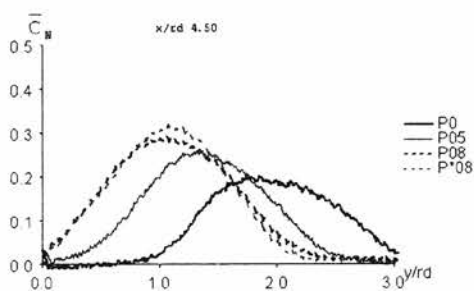
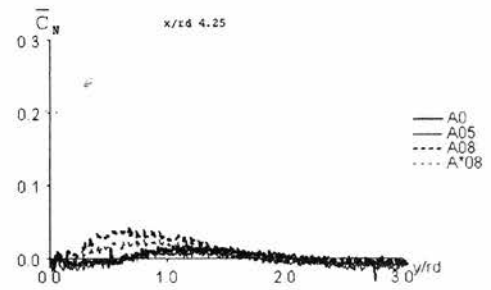
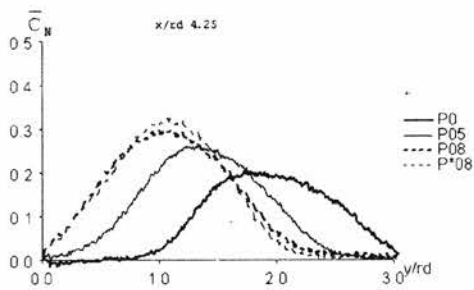
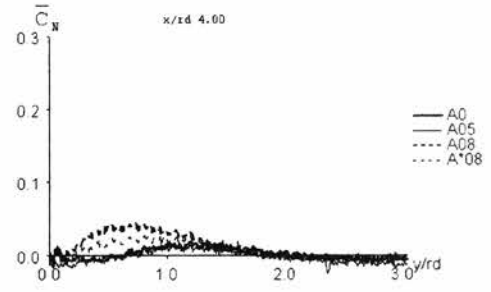
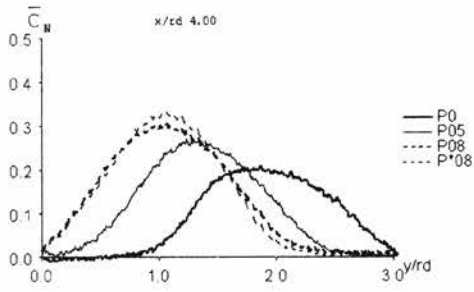
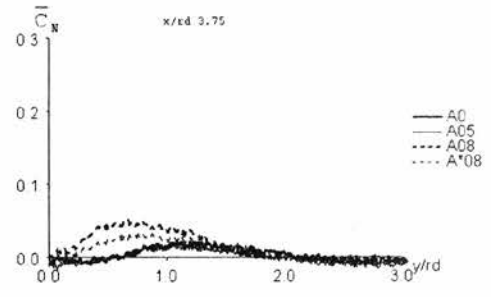
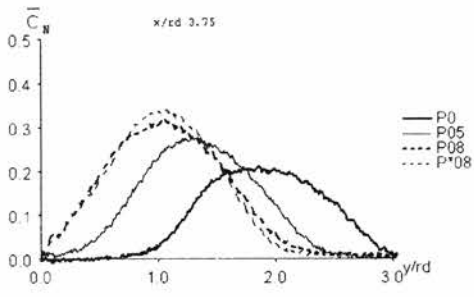


4.11 (b)

4.12 (b)

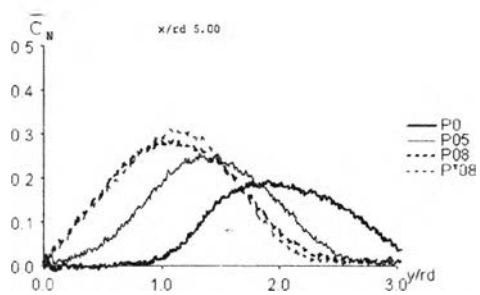






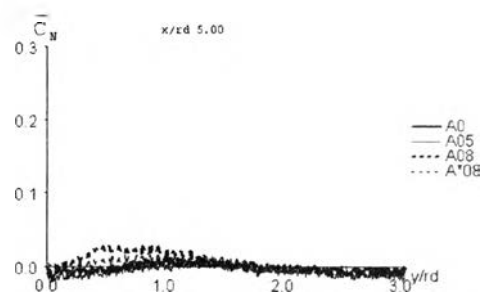
4.11 (d)

4.12 (d)



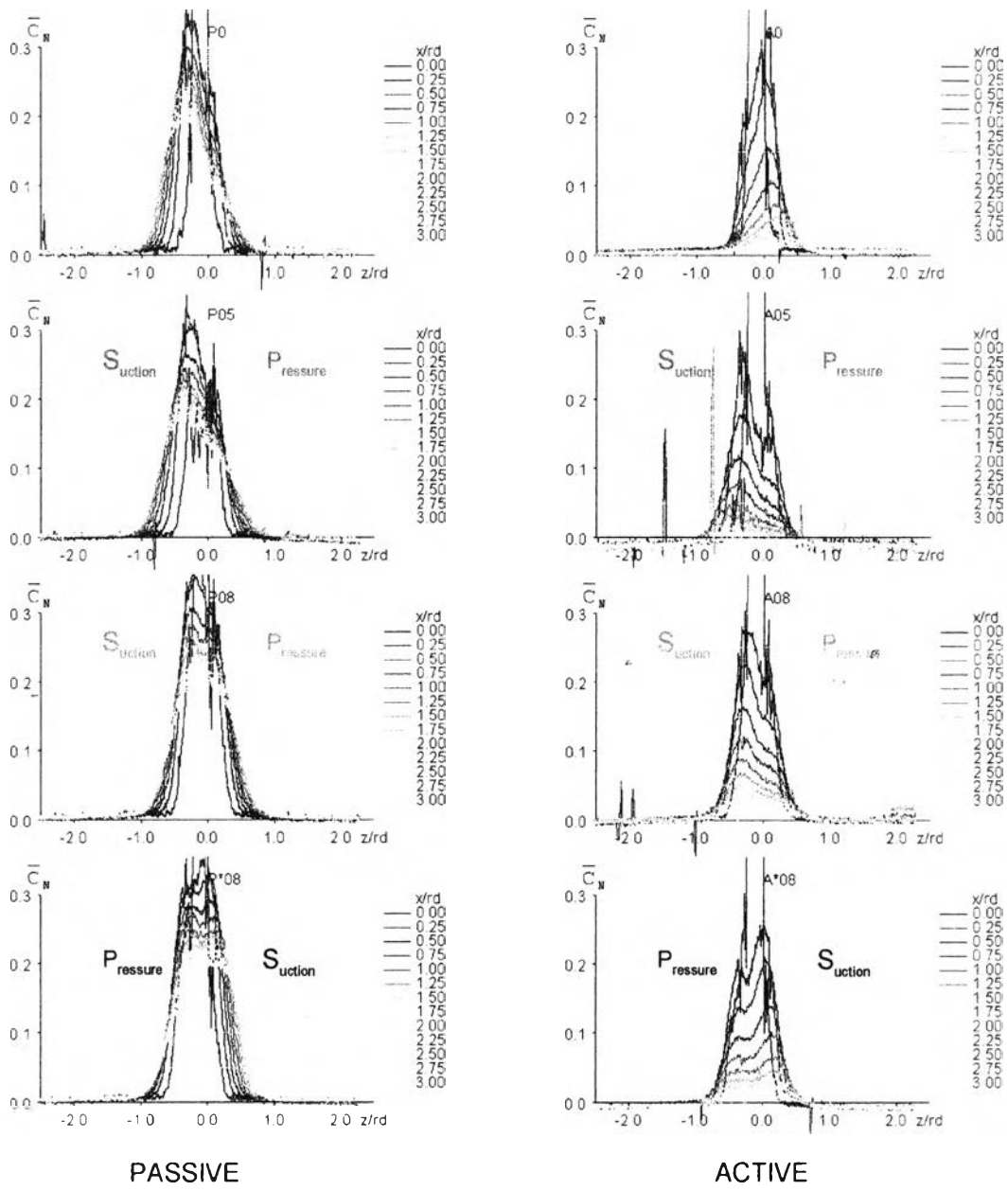
4.11 (e)

รูปที่ 4.11 ผลของ swirl ที่มีต่อ  $\overline{C_N}$  ของ  
Passive technique ภาพถ่ายด้านข้าง

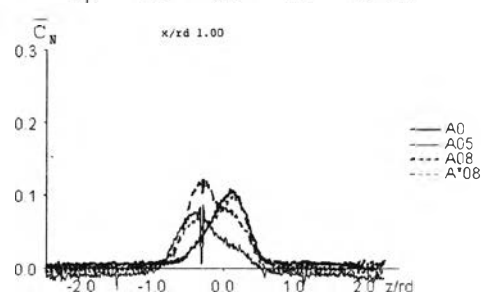
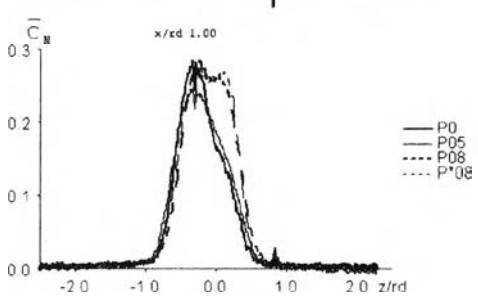
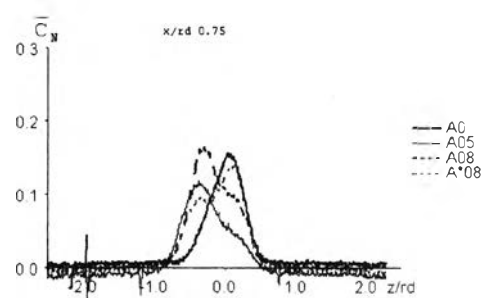
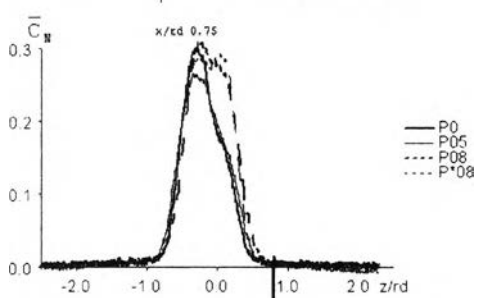
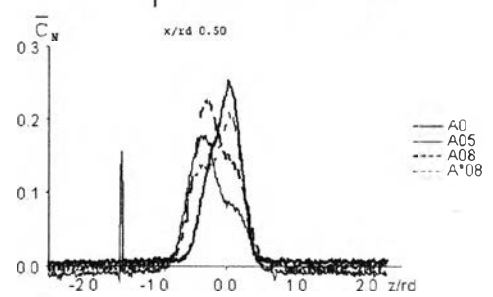
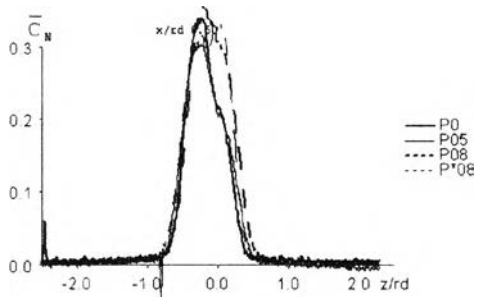
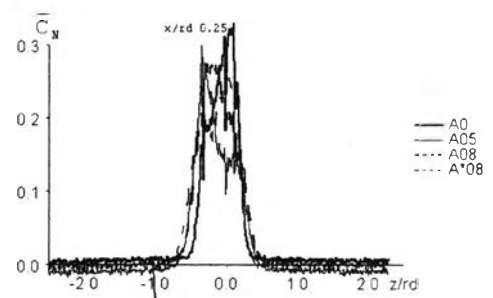
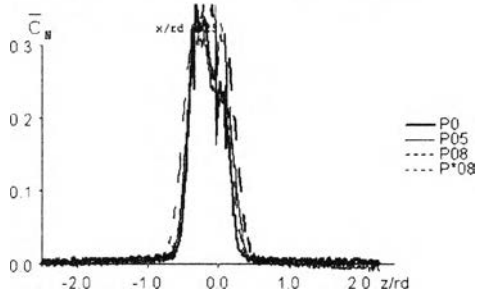
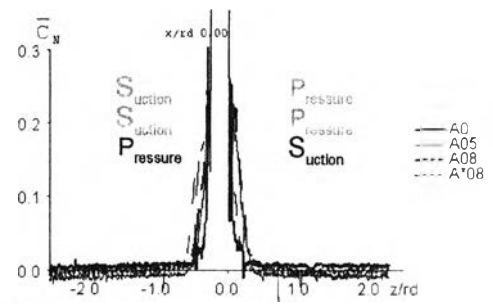
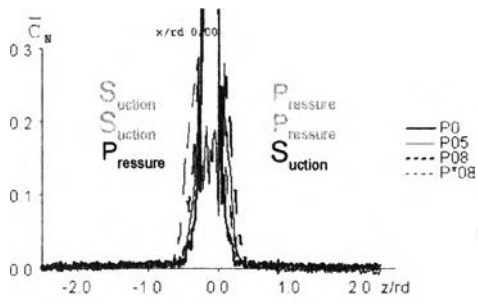


4.12 (e)

รูปที่ 4.12 ผลของ swirl ที่มีต่อ  $\overline{C_N}$  ของ  
Active technique ภาพถ่ายด้านข้าง



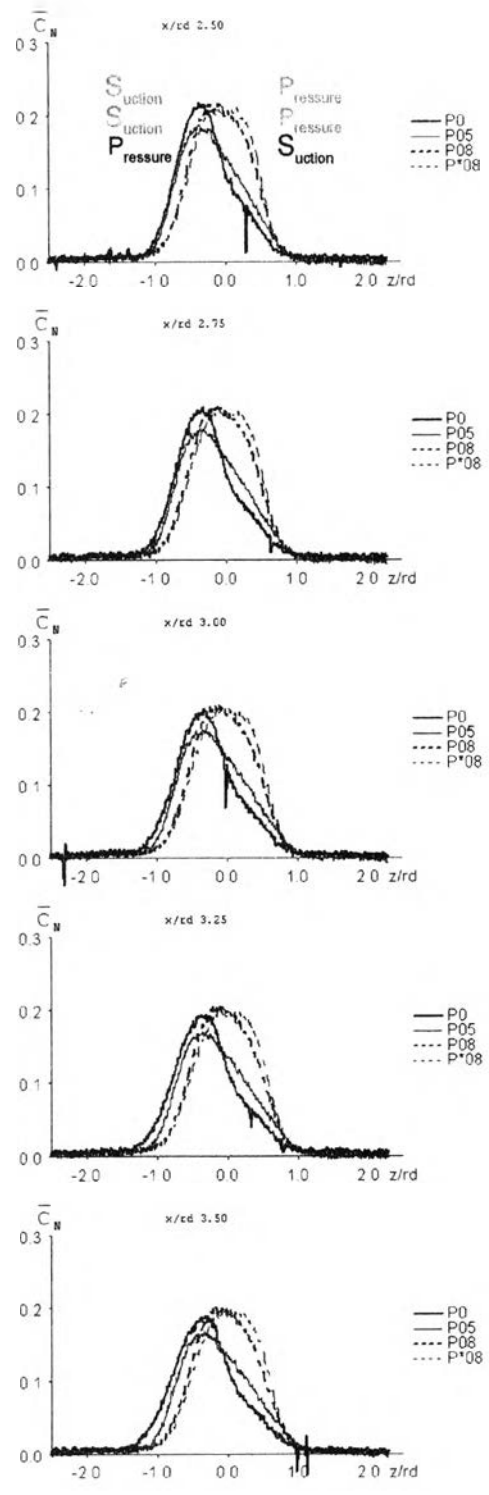
รูปที่ 4.13 การพัฒนาตัวของเจ็ต  $\bar{C}_N$  ของภาพถ่ายด้านบน



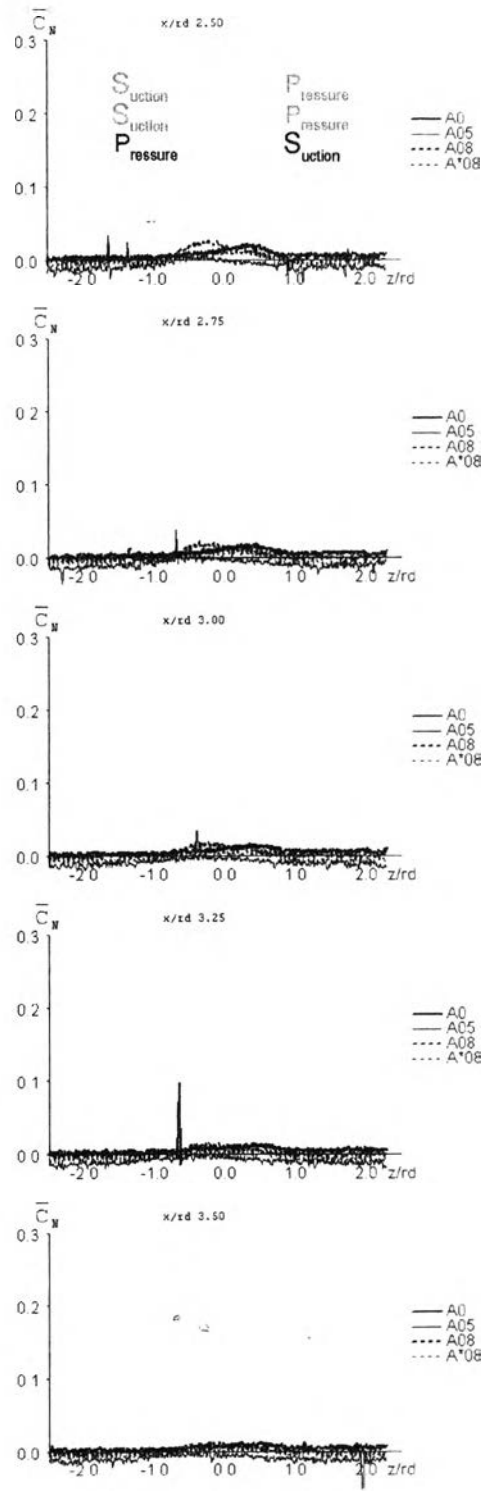
4.14 (a)

4.15 (a)

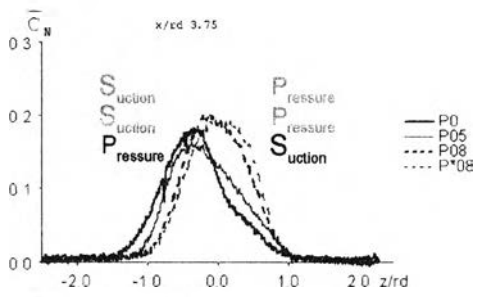




4.14 (c)

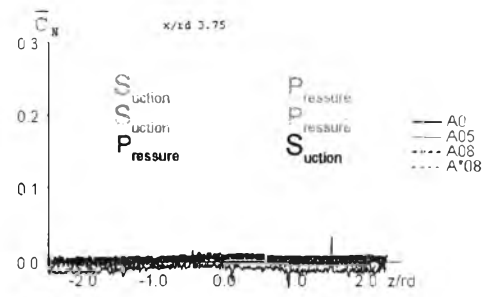


4.15 (c)



4.14 (d)

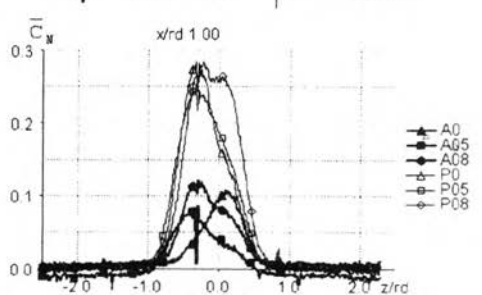
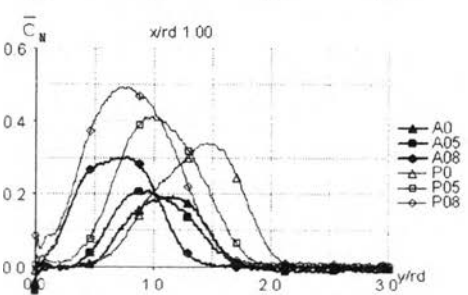
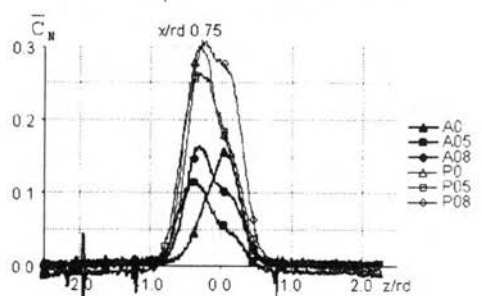
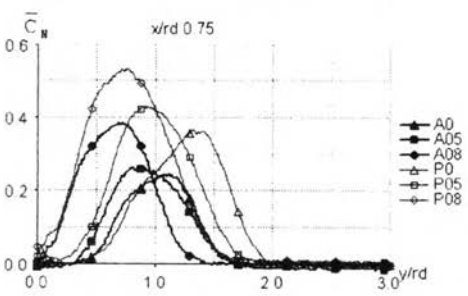
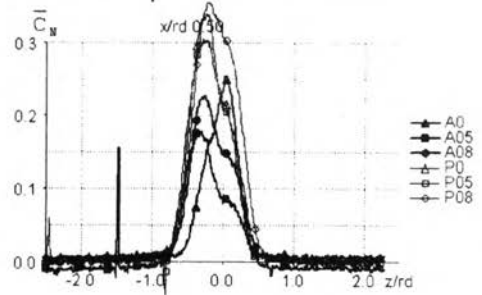
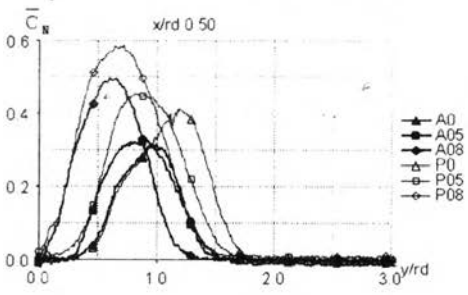
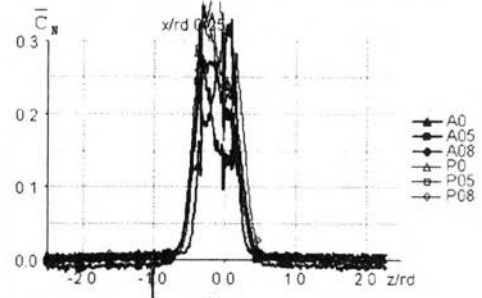
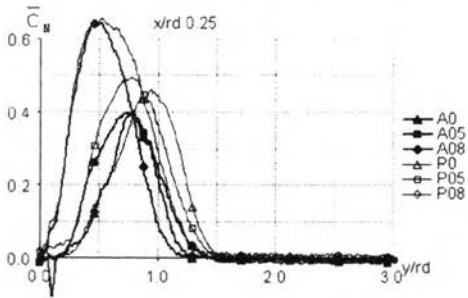
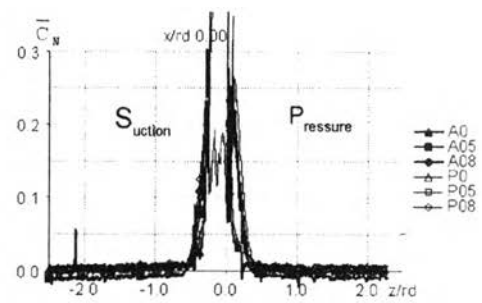
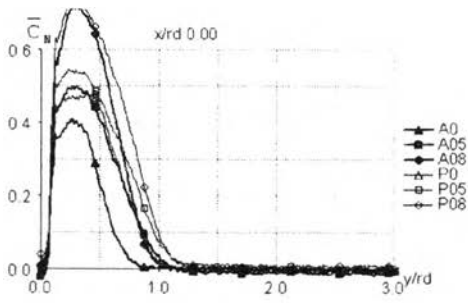
รูปที่ 4.14 ผลของ swirl ที่มีต่อ  $\overline{C_N}$  ของ Passive technique ภาพถ่ายด้านบน



4.15 (d)

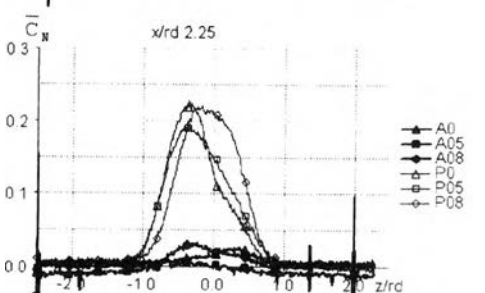
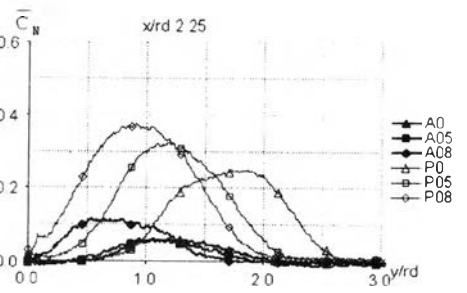
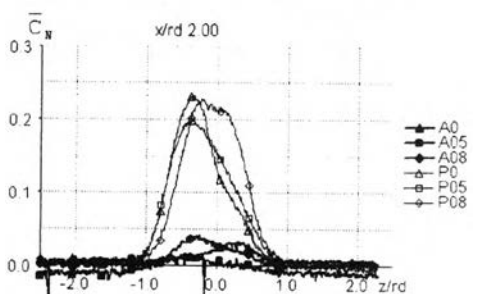
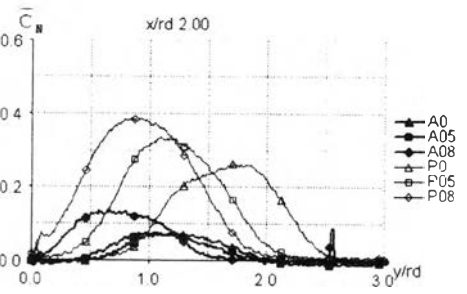
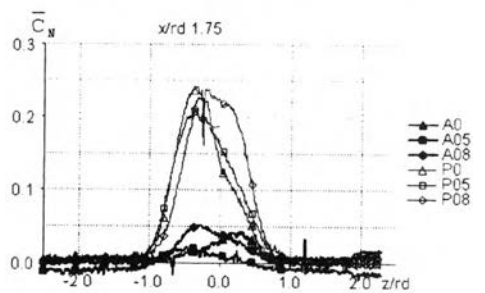
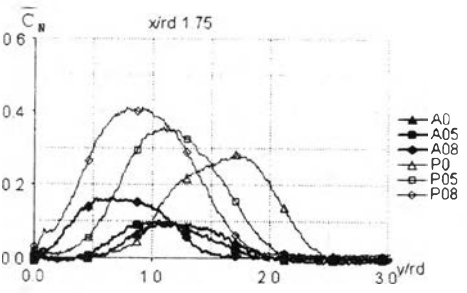
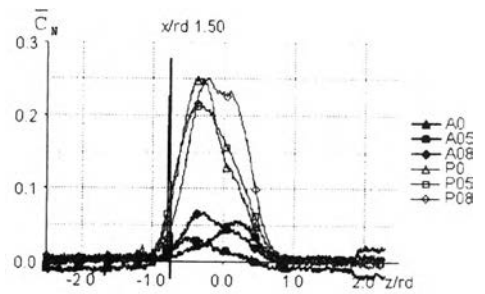
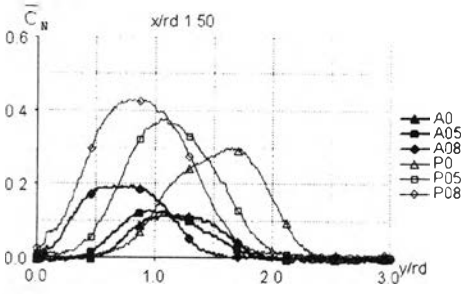
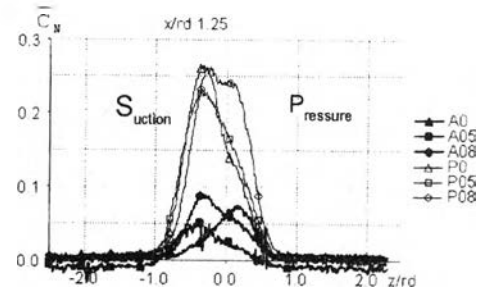
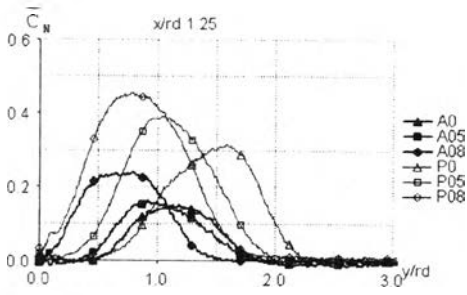
รูปที่ 4.15 ผลของ swirl ที่มีต่อ  $\overline{C_N}$  ของ Active technique ภาพถ่ายด้านบน





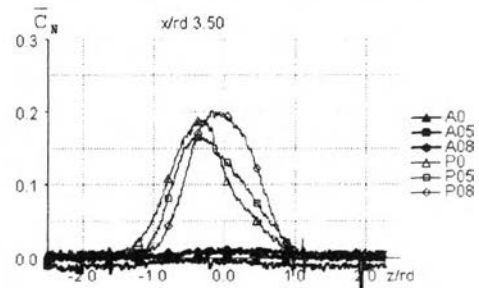
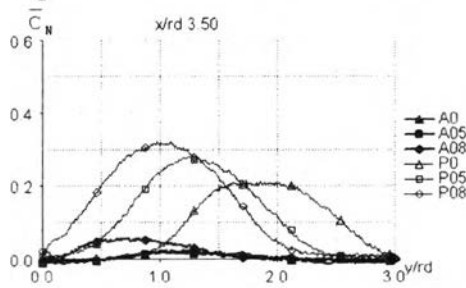
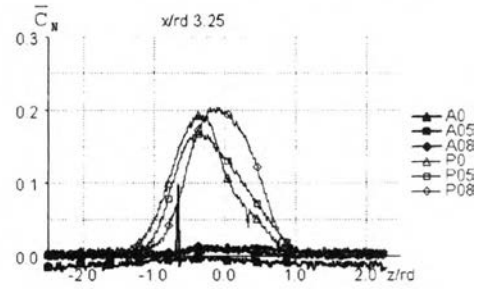
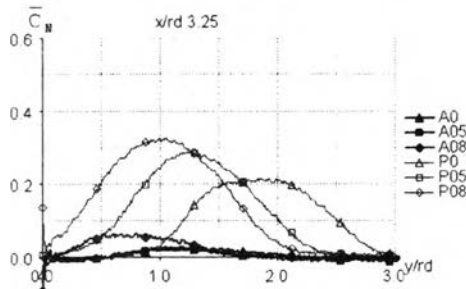
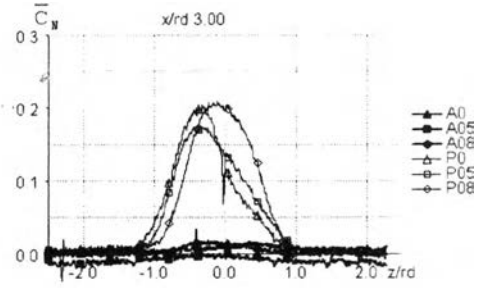
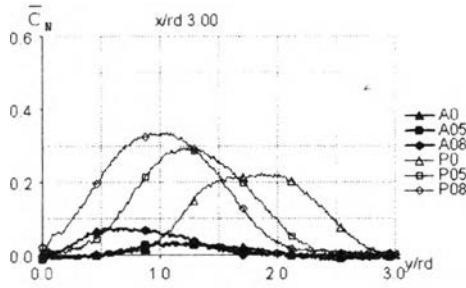
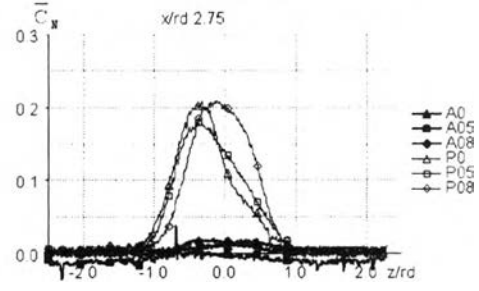
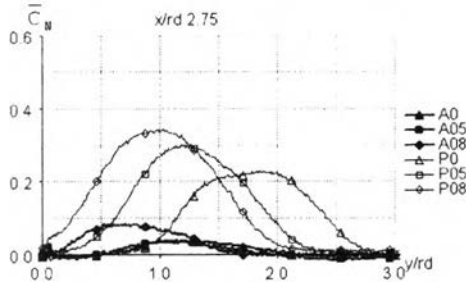
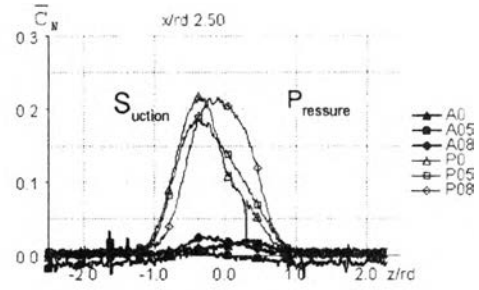
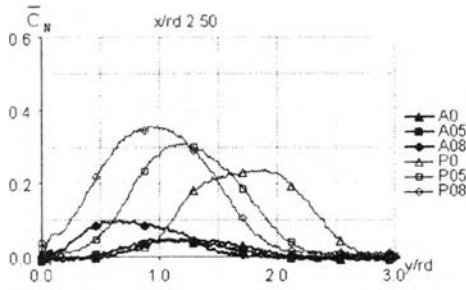
4.16 (a)

4.17 (a)



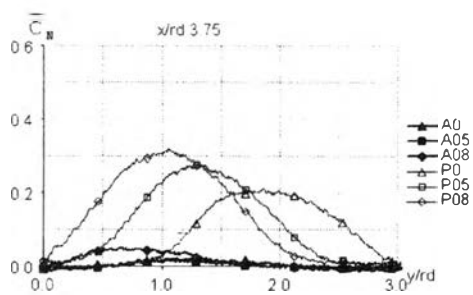
4.16 (b)

4.17 (b)

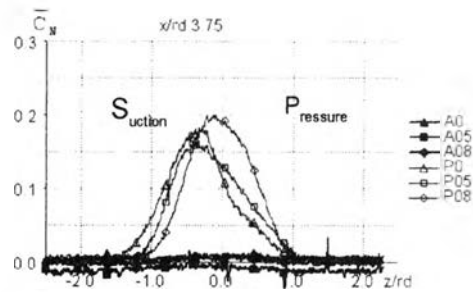
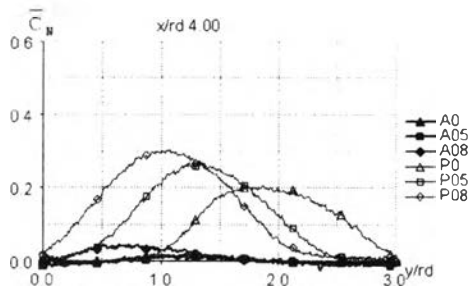


4.16 (c)

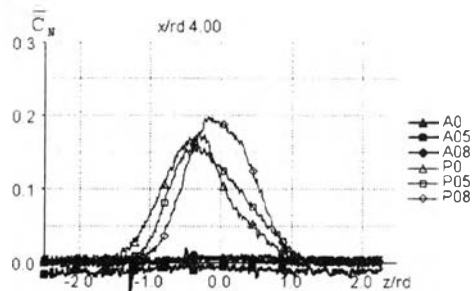
4.17 (c)



4.16 (d)

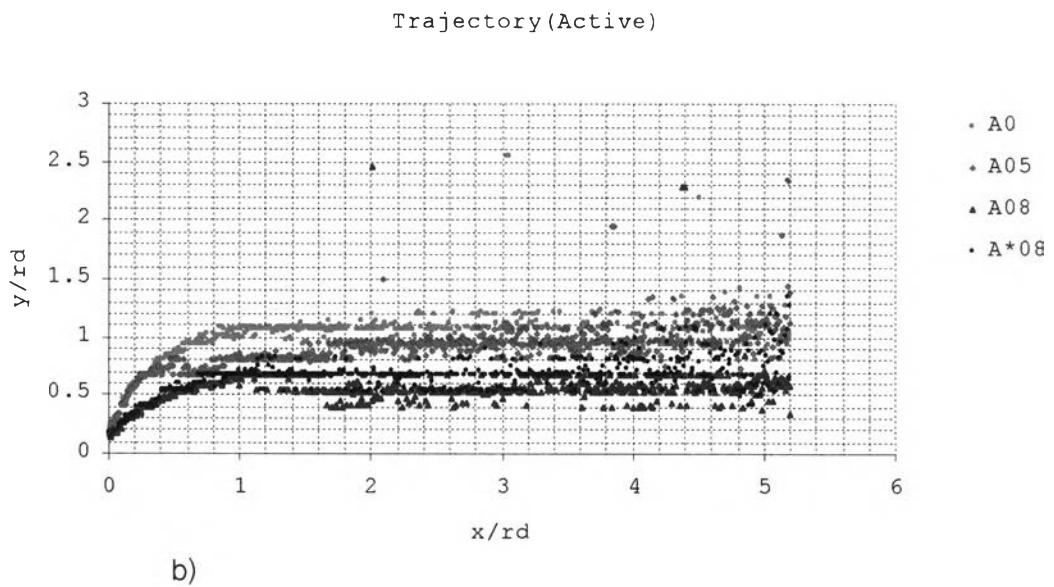
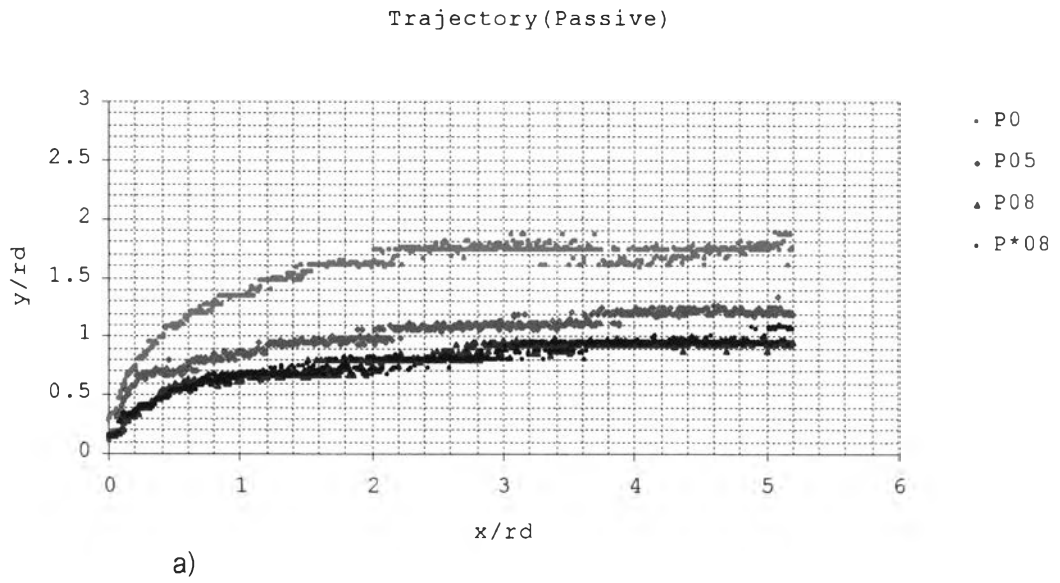


4.17 (d)

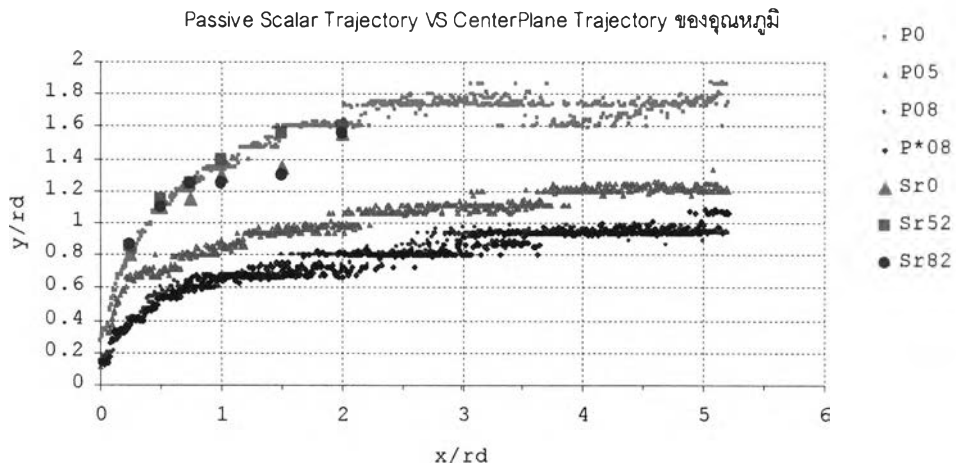


รูปที่ 4.16 ผลของ swirl ต่ออาณาบริเวณที่ผสมถึง stoichiometric ของภาพถ่ายด้านข้าง

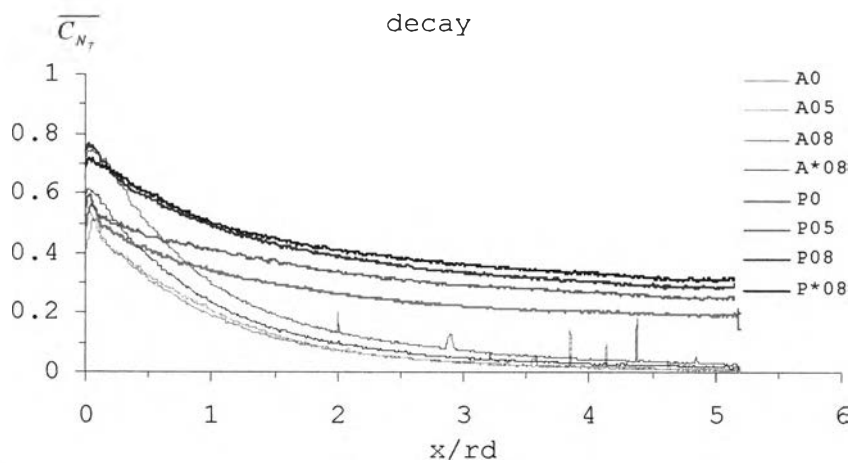
รูปที่ 4.17 ผลของ swirl ต่ออาณาบริเวณที่ผสมถึง stoichiometric ของภาพถ่ายด้านบน



รูปที่ 4.18 ผลของ Swirl ที่มีต่อ Trajectory

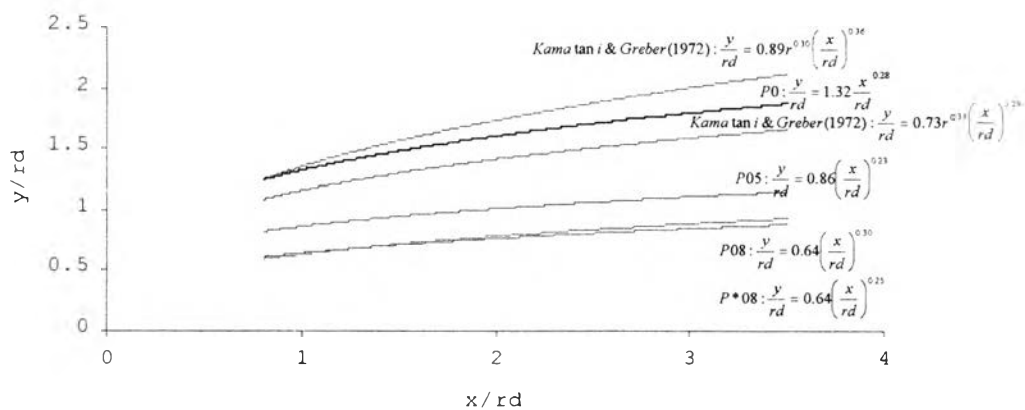


รูปที่ 4.19 เส้นทางเดินของกรณีที่ทดลองในงานวิจัยกรณี passive กับเส้นทางเดินของ maximum centerplane-temperature (Weerin Wangjiraniran and Asi Bunyajitradulya, (2001))



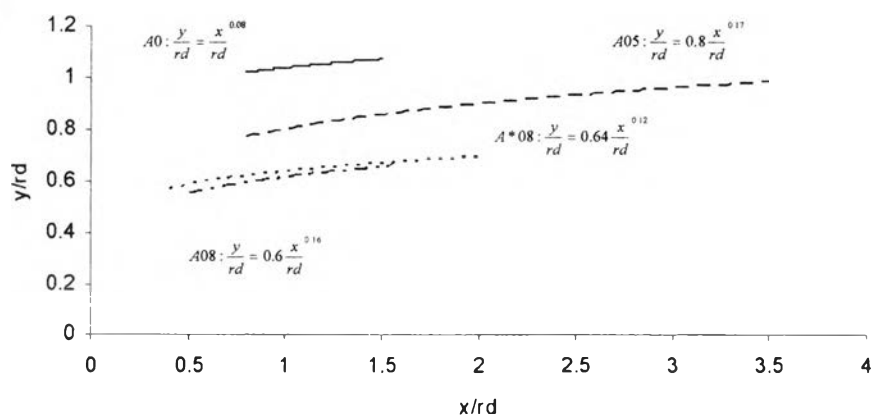
รูปที่ 4.20 การลดลงของ  $\overline{C_{N_T}}$  ตามแนว downstream ของ passive and active scalar technique

Trajectory (Passive)



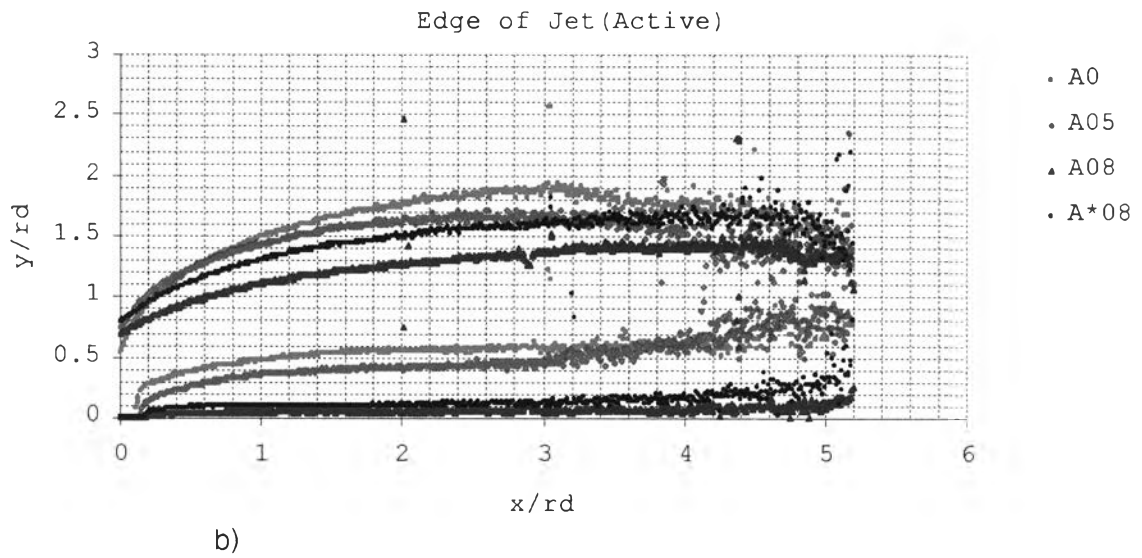
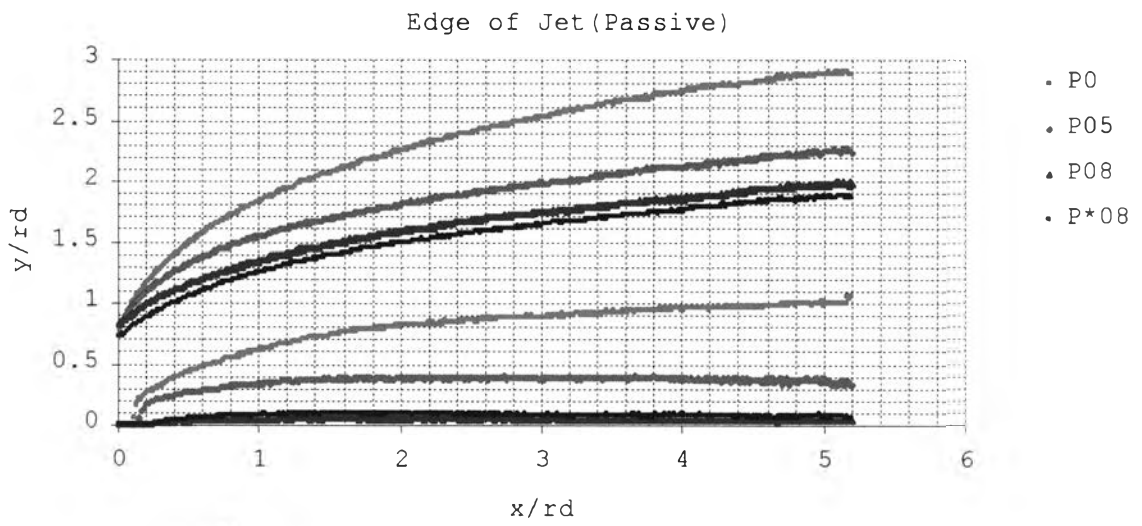
a)

Trajectory (Active)



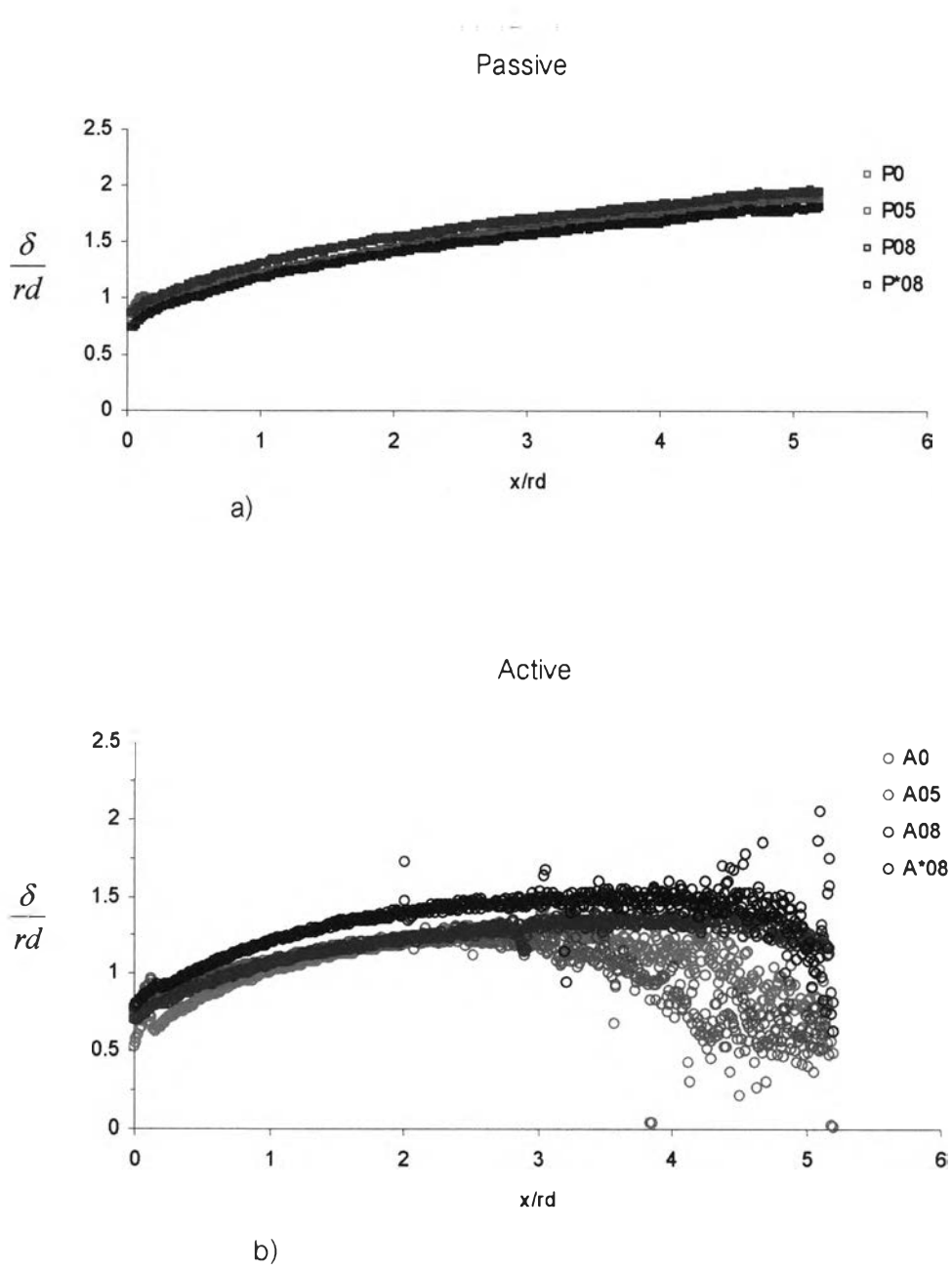
b)

รูปที่ 4.21 Fit curve Trajectory ของ Active และ Passive



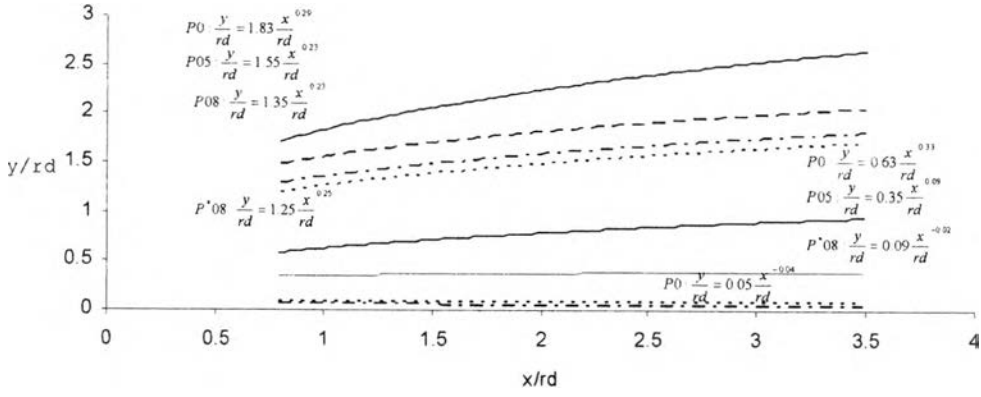
รูปที่ 4.22 ผลของ swirl ต่อขอบบนและล่างของเจ็ต





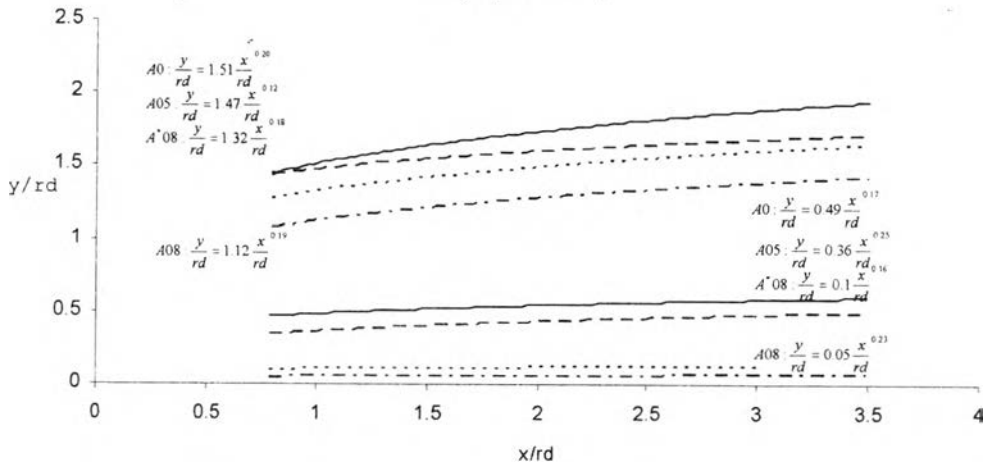
รูปที่ 4.23 ผลของ swirl ต่อความกว้างของเจ็ต

Edge (Passive)



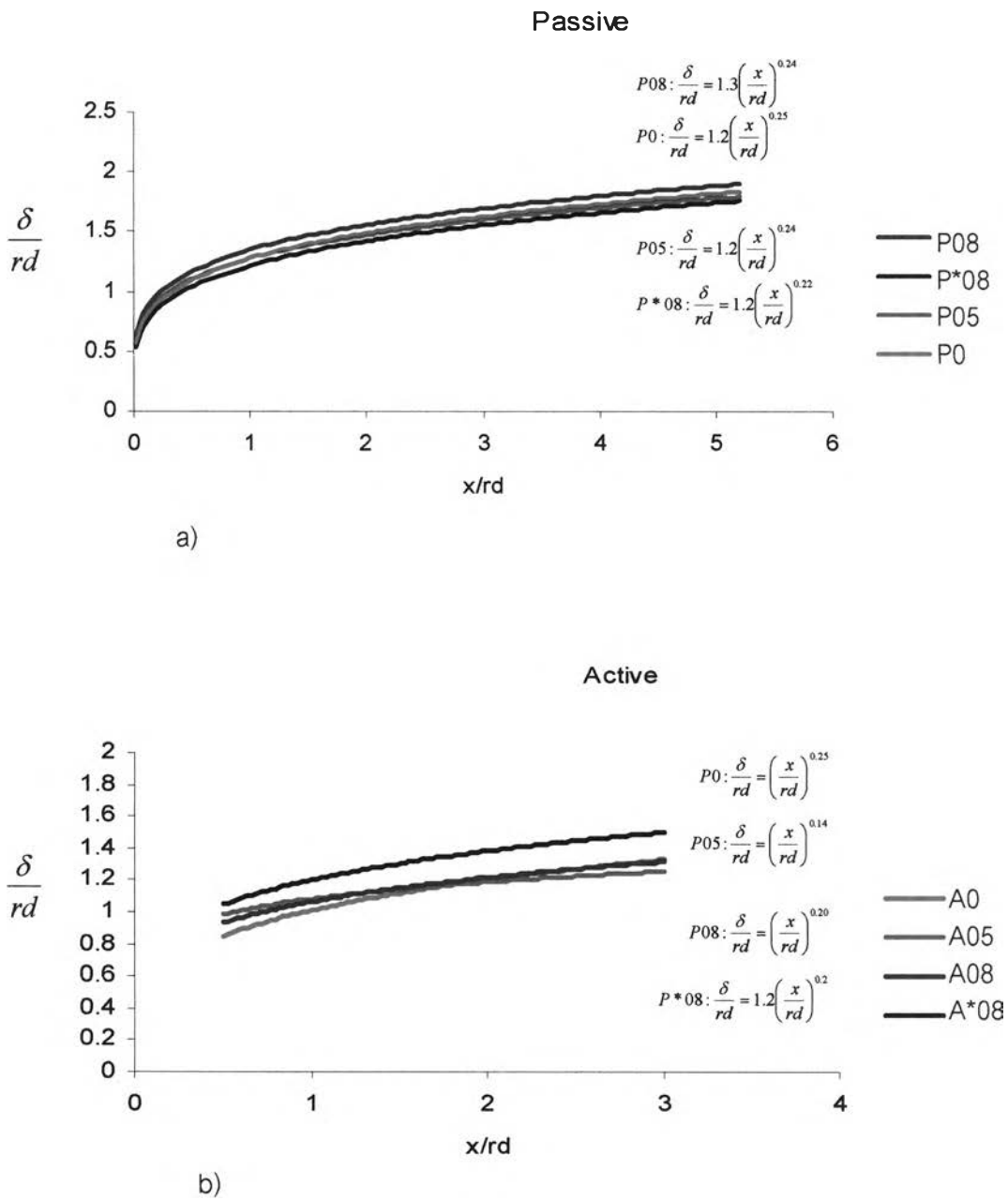
a)

Edge (Active)

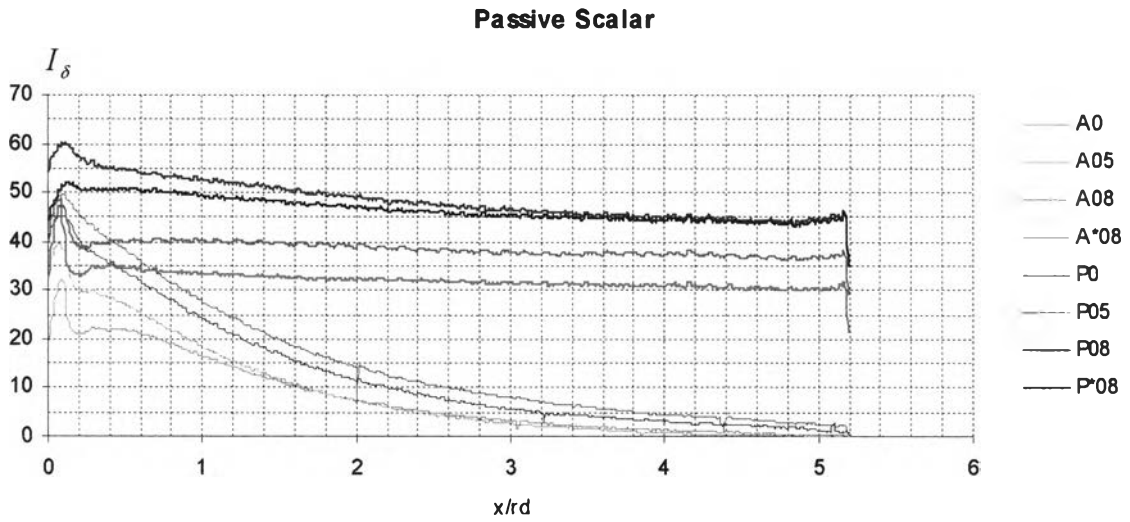


b)

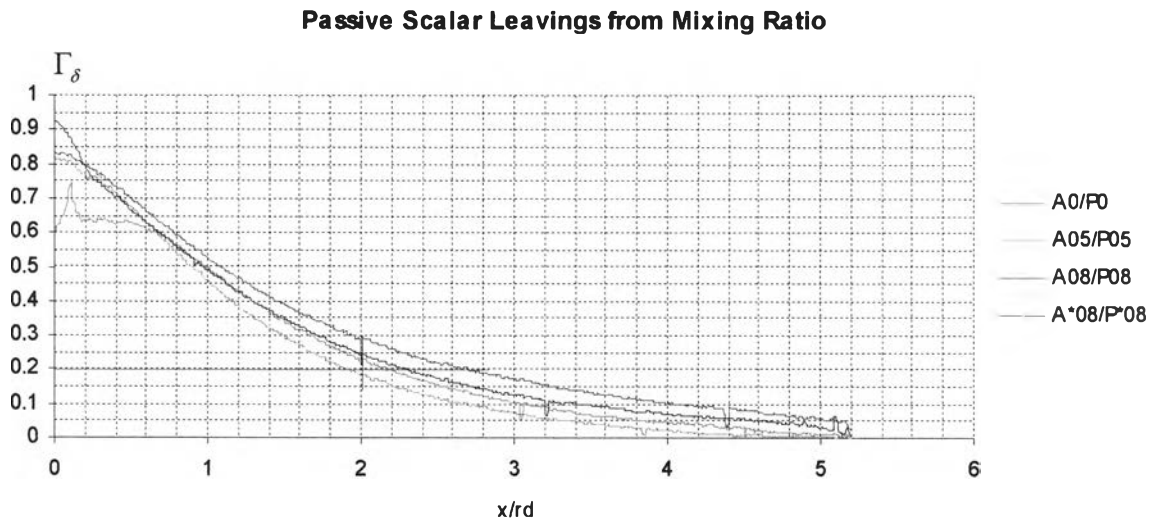
รูปที่ 4.24 Fit curve ของขอบของเจ็ต Active และ Passive



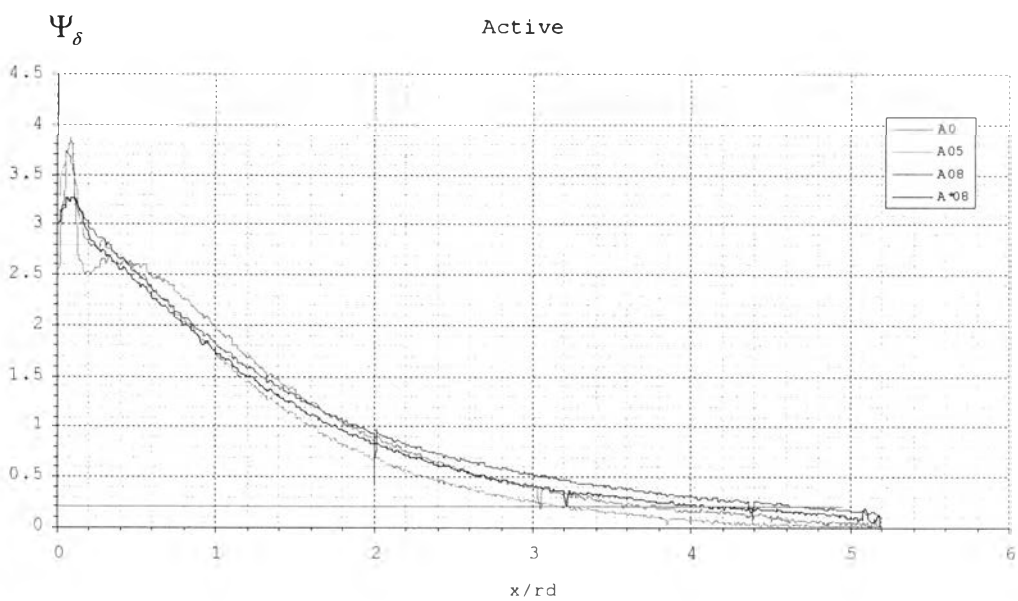
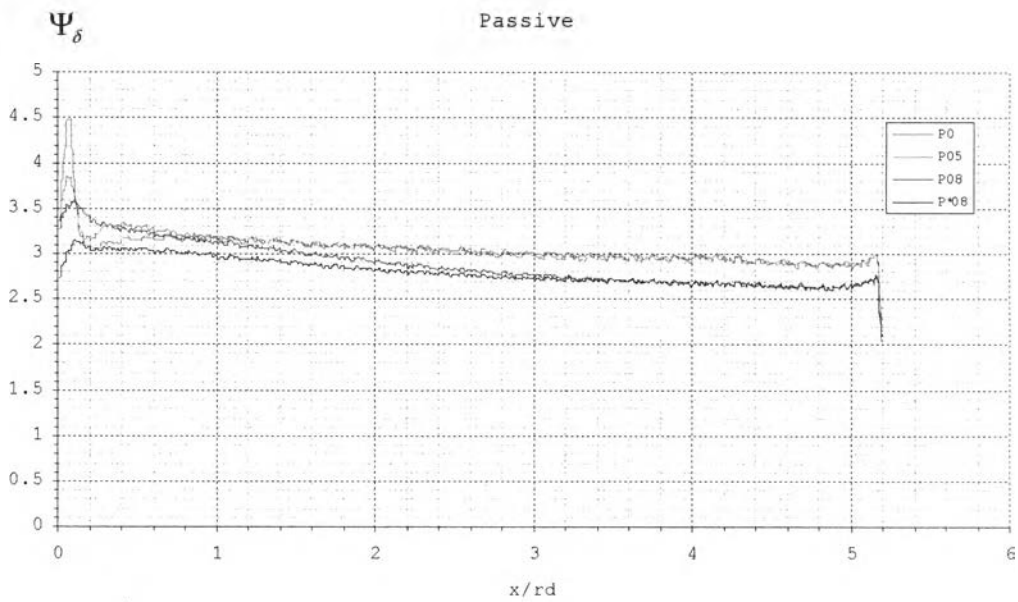
รูปที่ 4.25 Fit curve ความกว้างของเจ็ต Active และ Passive



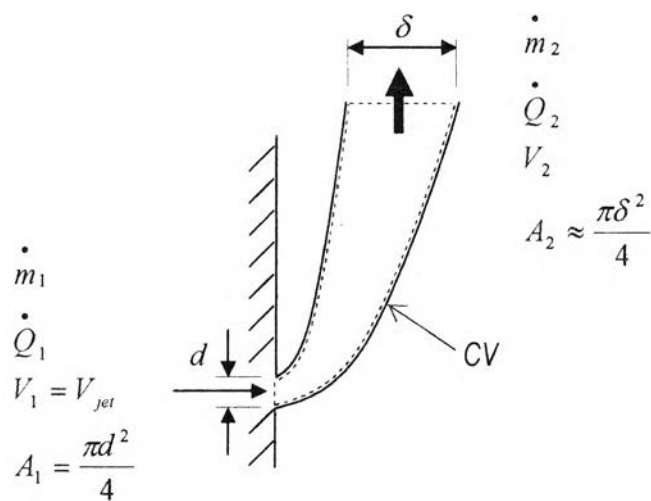
รูปที่ 4.26 ผลรวมของปริมาณ scalar ทั้งหน้าตัด  $x/r_d$  ใดๆ ของ active และ passive



รูปที่ 4.27 อัตราส่วนของปริมาณ scalar ที่เหลืออยู่ต่อปริมาณ scalar เดิมก่อนทำปฏิกิริยา เส้น  $\Gamma_\delta = 0.2$  เป็นเส้นกำหนด flame length ตามนิยามที่ 1



รูปที่ 4.28 ปริมาณ scalar ทั้งหน้าตัดที่  $x/rd$  โดยเทียบกับที่ปากทางออกเจ็ต a) passive b) active  $\Psi_\delta = 0.2$  ในกรณี active เป็นเส้นกำหนด flame length ตามนิยามที่ 2



รูปที่ 5.1 control volume ของการกระจายตัวของเจ็ตเฉลิยกรณี passive scalar technique