

คุณลักษณะของเจ็ดที่หมุนควงในกระแสดวงไหลขวางแบบที่มีความเร็วตาม
แนวสัมผัสไม่เป็นศูนย์ด้วยวิธีแอกทีฟ และพาสซีฟสเกลาร์เทคนิค



นาย ชีวรา ยิ่งเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2494-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHARACTERISTICS OF NON-ZERO TANGENTIAL VELOCITY SWIRLING JET IN
CROSSFLOW BY MEANS OF ACTIVE AND PASSIVE SCALAR TECHNIQUES

Mr. Theewara Yingjaroen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

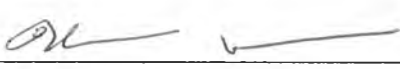
Academic Year 2005

ISBN 974-14-2494-9

481795


หัวข้อวิทยานิพนธ์ คุณลักษณะของเจ็ดที่หมุนควงในกระแสดวงไหลขวางแบบที่มีความเร็วตาม
แนวสัมผัสไม่เป็นศูนย์ด้วยวิธีแยกทีฟ และพาสซีฟสเกลาร์เทคนิค
โดย นาย ธีรวิภา ยิงเจริญ
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. อติ บุญจิตราดุลย์

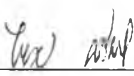
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


_____ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


_____ ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์)


_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. อติ บุญจิตราดุลย์)

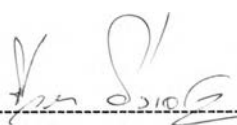
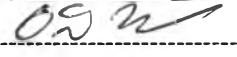

_____ กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพบุลย์ ศรีวัฒนา)


_____ กรรมการ
(อาจารย์ ดร. บุญชัย เลิศนุวัฒน์)

ธีรวิทย์ ยิ่งเจริญ : คุณลักษณะของเจ็ตที่หมุนควงในกระแสการไหลขวางแบบที่มีความเร็วตามแนวสัมผัสไม่เป็นศูนย์ด้วยวิธีแอคทีฟ และพาสซีฟสเกลาร์เทคนิค (CHARACTERISTICS OF NON-ZERO TANGENTIAL VELOCITY SWIRLING JET IN CROSSFLOW BY MEANS OF ACTIVE AND PASSIVE SCALAR TECHNIQUES) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. อติ บุญจิตรา ดุลย์; 106 หน้า .ISBN 974-14-2494-9

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณลักษณะของเจ็ตในกระแสการไหลขวาง (JICF) และเจ็ตที่หมุนควงที่มีความเร็วตามแนวสัมผัสไม่เป็นศูนย์ในกระแสการไหลขวางโดยใช้การทดลองด้วยเทคนิคพลาซีฟและแอคทีฟสเกลาร์ เจ็ตที่ศึกษามีอัตราส่วนความเร็วประสิทธิผล 4 เรโนลด์นัมเบอร์ 1,300 และอัตราส่วนสเวิร์ล (Sr) 0 (JICF), 0.5 และ 0.8 ในการศึกษาใช้อัตราส่วนการผสมสมมูล (Stoichiometric ratio) เจริญปริมาณของกระแสการไหลขวางต่อเจ็ตเท่ากับ 1.25 ต่อ 1 ได้ผลการศึกษาดังนี้ 1) ค่าสเกลาร์สูงสุดแบบอินทิเกรตสเกลาร์ตามทิศตั้งฉากกับผนัง จะอยู่ทางด้าน suction 2) สำหรับ JICF การผสมส่วนมากเกิดขึ้นที่บริเวณด้านนอกของแอคทีฟสเกลาร์ แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนสเวิร์ลเป็น 0.5 การผสมจะเกิดขึ้นทั้งด้านนอกและด้านใน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนสเวิร์ลเป็น 0.8 การผสมจะคล้ายกับ JICF แต่ก็มีการผสมทางด้านในอยู่บ้าง 3) เมื่ออัตราส่วนสเวิร์ลเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 0.5 ความยาวเปลว (Flame length) จะลดลง ในขณะที่ถ้าเพิ่มอัตราส่วนสเวิร์ลเป็น 0.8 ความยาวเปลวจะเพิ่มขึ้น และจะยาวกว่าเปลวของ JICF 4) สำหรับทุกเจ็ตที่ศึกษา ไม่ว่าจะมีการหมุนควงหรือไม่ก็ตาม และภายใต้ขอบเขตจำกัดของระยะทางตามแนวกระแสการไหลขวางที่ศึกษา พบว่า ค่าอินทิกรัลตามแนวทราเวอร์สของค่าเฉลี่ยสเกลาร์ในช่วงความหนาของเจ็ตที่ตำแหน่งทำนองน้ำใดๆ จะมีค่าประมาณคงที่เท่ากับสามเท่าของค่าอินทิกรัลดังกล่าวที่ปากทางออกของเจ็ต, $\langle C \delta \rangle = 3 \langle C d \rangle$ ทั้งนี้ค่าคงที่ 3 มีความสัมพันธ์แบบแปรตามกับ effective velocity ratio ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์

ภาควิชา _____ วิศวกรรมเครื่องกล
 สาขาวิชา _____ วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา _____ 2548

ลายมือชื่อนิสิต _____ 
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____ 
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

#4570364521: MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORD: JET IN CROSSFLOW/ SWIRLING JET/ PASSIVE SCALAR/ ACTIVE SCALAR/
MIXING/ FLAME LENGTH

THEEWARA YINGJAROEN: CHARACTERISTICS OF NON-ZERO TANGENTIAL
VELOCITY SWIRLING JET IN CROSSFLOW BY MEANS OF ACTIVE AND PASSIVE
SCALAR TECHNIQUES. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. ASI BUNYAJITRA
DULYA, Ph.D., 106 pp. ISBN 974-14-2494-9

Characteristics of jet in crossflow (JICF) and non-zero tangential velocity swirling jet in crossflow are experimentally investigated by means of passive and active scalar techniques. The jets have an effective velocity ratio of 4, a Reynolds number of 1,300, and swirl ratios (S_r) of 0 (JICF), 0.5, and 0.8. Mixing is investigated at volumetric stoichiometric ratio crossflow:jet of 1.25:1. The results show the followings. 1) The maximum integral scalar in the wall normal direction is located on the suction side. 2) For JICF, mixing occurs mostly on the outer region of active scalar. For $S_r = 0.5$ mixing occurs both on the outer and inner regions. For $S_r = 0.8$, mixing characteristic is similar to JICF, though some inner region mixing can be observed. 3) As swirl is increased from 0 to 0.5, the flame length decreases; while as swirl is increased further to 0.8, the flame length increases and is longer than that of the JICF. 4) For all jets, with swirl or without and within the limited extent of downstream distance investigated, the traverse integral of the mean scalar over the thickness of the jet at downstream cross sections is found to be approximately constant at three times of that at the jet exit, $\langle C\delta \rangle = 3\langle Cd \rangle$. This is approximately consistent with the result of analysis.

Department Mechanical Student's signature Theewara
Field of study Mechanical Advisor's signature A. B.
Academic year 2005 Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งในทุกๆด้านจากรองศาสตราจารย์ ดร. อติ บุญจิตราดุลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านได้ช่วยดูแลการทำงาน ประสิทธิประสาทวิชาการ ให้ข้อคิดในการแก้ปัญหาและการทำงานแก่ผู้วิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพบุลย์ ศรีภคการ และอาจารย์ ดร.บุญชัย เลิศนุวัฒน์ ที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ครูไพโรจน์ อนันตะเศรษฐกุล คุณสุทธิชัย ไกรคุณาศัย คุณนิรมล พัฒนสุวรรณ สุเมธ ไตรภพสกุล และ สุทธิโชค นันทสุขเกษม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเอื้ออาทรทำให้ผู้วิจัยทำเครื่องมือทดลองในงานวิจัยได้สำเร็จ ตลอดเวลาที่ผู้วิจัยศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยกลศาสตร์ของไหล ผู้วิจัยได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และน้ำใจจากพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ สมาชิกห้องปฏิบัติการเป็นอย่างดี ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณ พี่อลงกรณ์ พิมพ์พิณ ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำวิจัย พรชัย กรศรี ปราโมทย์ แซ่ลิ้ม และจิรายุส สมจินดา ที่เอื้อเฟื้อน้ำใจ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านที่ไม่สามารถยกมากล่าวในที่นี้ได้ทั้งหมด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เหนือสิ่งใดผู้วิจัยขอกราบพ่อและแม่ของผู้วิจัย ผู้อุทิศให้ทั้งร่างกาย แรงใจ กับการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยไม่ย่อท้อต่ออุปสรรคต่างๆนานา จนสามารถสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
รายการสัญลักษณ์.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	8
1.4 ปัญหาและแนวทางของงานวิจัย.....	8
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	10
บทที่ 2 ชุดทดลองและการทดลอง.....	11
2.1 รายละเอียดชุดทดลอง.....	11
2.2 พิกัดอ้างอิงที่ใช้ในการทดลอง.....	12
2.3 วิธีการทดลองและอุปกรณ์การวัด.....	12
บทที่ 3 กรรมวิธีกระบวนการทางภาพ.....	16
3.1 ภาพ extinction เฉลี่ย และ contour.....	16
3.2 Traverse $\overline{C_N}$	18
3.3 Trajectory $\overline{C_N}$	19
3.4 Edge of jet.....	19
3.5 Integrate $\overline{C_N}$, Flame length.....	20
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	22
4.1 Instantaneous, Mean, and Contour Images.....	23
4.2 Traverse.....	25

4.3 Trajectory ของเจ็ต.....	28
4.4 ขอบของเจ็ต.....	29
4.5 Flame Length.....	30
บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง.....	32
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	35
ประมวลตาราง.....	37
ประมวลรูปภาพ.....	46
รายการอ้างอิง.....	89
ภาคผนวก.....	92
ภาคผนวก ก.....	93
ภาคผนวก ข.....	94
ภาคผนวก ค.....	96
ภาคผนวก ง.....	102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	106

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	สรุปการศึกษา Jet ใน Crossflow.....	38
ตารางที่ 1.2	แสดงค่าคงที่ A และ m สำหรับ Trajectory ตามความสัมพันธ์ $y/rd = A(x/rd)^m$ (Pratte and Baines, 1967)	46
ตารางที่ 2.1	ความเร็วรอบที่ใช้ในการทดลอง.....	46
ตารางที่ 2.2	ค่าที่ได้สอบเทียบ ventury ของ crossflow.....	46
ตารางที่ 2.3	ค่าที่ได้สอบเทียบ ventury ของ jet	46
ตารางที่ 2.4	Swirl ratio ที่คลาดเคลื่อนไปได้เนื่องจากรอบที่ได้ไม่คงที่และความคลาด เคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจาก manometer ปรับค่าได้ไม่ละเอียดพอ.....	47
ตารางที่ 2.5	ผลการไต่เตรทกรดเบสที่ใช้ก่อนและหลังการทดลอง	47
ตารางที่ 4.1	Flame length.....	47

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 การไหลแบบ Jet ใน Crossflow ที่เกิดจากการระบายอากาศ
 เสียจากปล่องควัน..... 47

รูปที่ 1.2 ลักษณะของ Circular Turbulent Jet (Rajaratnam, 1976)..... 47

รูปที่ 1.3 ลักษณะของ Jet ใน Crossflow (Rajaratnam, 1976)..... 47

รูปที่ 1.4 โครงสร้างของ Vortical structure ของ Jet ใน Crossflow
 (Fric and Roshko, 1994)..... 47

รูปที่ 1.5 ลักษณะของ Wake vortices (Upright vortices) 48

รูปที่ 1.6 ลักษณะโครงสร้างของ Jet ใน Crossflow ที่สภาวะต่างๆ
 (Kelso et al., 1996) 48

รูปที่ 1.7 Trajectory ของ Jet ใน Crossflow (Pratte and Baines, 1967) 48

รูปที่ 1.8 Centerline Trajectory ตามแนวแกน Jet ของ
 Jet ใน Crossflow (Pratte and Baines, 1967) 49

รูปที่ 1.9 Trajectory ของความเร็วและอุณหภูมิในกรณี $T_j - T_o = 0$, $T_j - T_o = 75T_j - T_o = 75 F$
 และ $T_j - T_o = 320 F$ (Kamotani and Greber, 1972)..... 49

รูปที่ 1.10 Centerline trajectory (Smith and Mungal, 1998)..... 49

รูปที่ 1.11 Centerline concentration decay ตามแนว S (Smith and Mungal, 1998) 49

รูปที่ 1.12 Contour ของ Instantaneous spanwise vorticity (ซ้าย) และ Contour ของ
 Scalar concentration (ขวา) บน Centerplane (Yuan and Street, 1998)..... 50

รูปที่ 1.13 Trajectory ของ Maximum mean velocity บน Centerplane (ซ้าย) และ
 Circulation ด้านหนึ่งของแกนสมมาตร (ขวา) (Zaman and Foss, 1997) 50

รูปที่ 1.14 การกระจายของ Static pressure ในทิศทางต่างๆ
 (Zaman and Foss, 1997)..... 50

รูปที่ 1.15 Temperature contours Bunyajitradulya and Wangjiraniran (2003) กับ
 concentration contours ของ Niederhaus et al.(1997)..... 51

รูปที่ 1.16 อธิบายรูปแบบของ initial velocity profiles ของเจ็ต Wangjiraniran
 and Bunyajitradulya (2001)..... 51

รูปที่ 1.17	Instantaneous iso concentration surface โดย $S_1 = 0.1$, Top view $\eta) S=0$, ข) $S=0.4$, ค) $S=0.6$ (Denev et.al., 2004).....	52
รูปที่ 1.18	ภาพเฉลี่ยของ Streamline และค่าความเข้มข้นที่ $x=0$ และ $x=1.83D$ Top view ($\eta) S=0$, ข) $S=0.4$, ค) $S=0.6$ (Denev et.al., 2004)	52
รูปที่ 1.19	Maximum centerplane-temperature trajectories for all cases. (Wangjiraniran and Bunyajitradulya 2001)	52
รูปที่ 2.1	ชุดทดลอง swirling jet in Crossflow.....	53
รูปที่ 2.2	การทำงานของชุด Crossflow และ swirling jet pipe	53
รูปที่ 2.3	อุโมงค์น้ำ.....	54
รูปที่ 2.4	ชุดเจ็ตแบบท่อหมุน	54
รูปที่ 2.5	พิกัดในการทดลอง	54
รูปที่ 2.6	สัญญาณสีแดง เขียว และน้ำเงินในภาพ extinction เฉลี่ยของ P_0	54
รูปที่ 3.1	Schematic แสดงการแปลงความเข้มแสงเป็นสัญญาณความเข้ม แสงของการถ่ายรูปในการทดลองทดลอง	55
รูปที่ 3.2	ตำแหน่งของ บน Trajectory.....	55
รูปที่ 3.3	a) ขอบเฉลี่ยที่ x/r_d ใดๆ b) ระยะเวลาที่ใช้ในการรวมค่า c) พื้นที่ที่ใช้ในการรวมค่าแล้วนำมาเฉลี่ยบริเวณปากเจ็ต	55
รูปที่ 4.1	Passive Scalar Technique: ภาพขณะใดๆ และภาพปริมาณ $\times 300$ ของภาพถ่ายมุม sideview	57
รูปที่ 4.2	Active Scalar Technique: ภาพขณะใดๆ และภาพปริมาณ $\times 300$ ของภาพถ่ายมุม sideview	58
รูปที่ 4.3	Passive Scalar Technique: ภาพขณะใดๆ และภาพปริมาณ $\times 300$ ของภาพถ่ายมุม top view	59
รูปที่ 4.4	Active Scalar Technique: ภาพขณะใดๆ และภาพปริมาณ $\times 300$ ของภาพถ่ายมุม top view	60
รูปที่ 4.5	Passive Scalar Technique: Contour ของ (สัญญาณสีเขียว) แสดงบริเวณการแผ่กระจายของเจ็ตทั้งหมด.....	61

รูปที่ 4.6	Active Scalar Technique: Contour ของ (สัญญาณสีเขียว) แสดงบริเวณของเจ็ตที่ยังผสมกับ crossflow ไม่ถึง stoichiomatic ratio	61
รูปที่ 4.7	Passive Scalar Technique: Contour ของ (สัญญาณสีเขียว) แสดงบริเวณการแผ่กระจายของเจ็ตทั้งหมด.....	62
รูปที่ 4.8	Active Scalar Technique: Contour ของ (สัญญาณสีเขียว) แสดงบริเวณของเจ็ตที่ยังผสมกับ crossflow ไม่ถึง stoichiomatic ratio	62
รูปที่ 4.9	a) ผลรวมของของภาพถ่ายด้านข้าง b) ปริมาณของผลรวม ที่ได้ผสมถึง stoichiomatic ratio ของภาพถ่ายด้านข้าง	63
รูปที่ 4.10	การพัฒนาตัวของเจ็ตของภาพถ่ายด้านข้าง	64
รูปที่ 4.11	ผลของ swirl ที่มีต่อของ Passive technique ภาพถ่ายด้านข้าง	65-69
รูปที่ 4.12	ผลของ swirl ที่มีต่อของ Active technique ภาพถ่ายด้านข้าง.....	65-69
รูปที่ 4.13	การพัฒนาตัวของเจ็ตของภาพถ่ายด้านบน	70
รูปที่ 4.14	ผลของ swirl ที่มีต่อของ Passive technique ภาพถ่ายด้านบน	71-74
รูปที่ 4.15	ผลของ swirl ที่มีต่อของ Active technique ภาพถ่ายด้านบน.....	71-74
รูปที่ 4.16	ผลของ swirl ต่ออาณาบริเวณที่ผสมถึง stoichiomatic ของภาพถ่ายด้านข้าง.....	75-78
รูปที่ 4.17	ผลของ swirl ต่ออาณาบริเวณที่ผสมถึง stoichiomatic ของภาพถ่ายด้านบน.....	75-78
รูปที่ 4.18	ผลของ Swirl ที่มีต่อ Trajectory.....	79
รูปที่ 4.19	เส้นทางเดินของกรณีที่ทดลองในงานวิจัยกรณี passive กับเส้นทางเดินของ maximum centerplane-temperature (Weerin Wangjiraniran and Asi Bunyajitradulya, (2001))	80
รูปที่ 4.20	การลดลงของตามแนว downstream ของ passive and active scalar technique	80
รูปที่ 4.21	Fit curve Trajectory ของ Active และ Passive	81
รูปที่ 4.22	ผลของ swirl ต่อขอบบนและล่างของเจ็ต	82
รูปที่ 4.23	ผลของ swirl ต่อความกว้างของเจ็ต.....	83
รูปที่ 4.24	Fit curve ขอบของเจ็ต Active และ Passive	84
รูปที่ 4.25	Fit curve ความกว้างของเจ็ต Active และ Passive.....	85
รูปที่ 4.26	ผลรวมของปริมาณ scalar ทั้งหมดตัด x/r_d ใดๆ ของ active และ passive.....	86

รูปที่ 4.27	อัตราส่วนของปริมาณ scalar ที่เหลืออยู่ต่อปริมาณ scalar เดิมก่อนทำปฏิกิริยา เส้น=0.2 เป็นเส้นกำหนด flame length ตามนิยามที่ 1	86
รูปที่ 4.28	ปริมาณ scalar ทั้งหน้าตัดที่ x/rd ใดๆเทียบกับที่ปากทางออกเจ็ต.....	87
รูปที่ 5.1	control volume ของการกระจายของเจ็ตเฉื่อยกรณี passive scalar technique	95

รายการสัญลักษณ์

B	สัญญาณความเข้มแสงกรณีปิดเจ็ต
\overline{B}	สัญญาณความเข้มแสงเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งกรณีปิดเจ็ต
$B(t)$	สัญญาณความเข้มแสง ณ เวลาใดๆกรณีปิดเจ็ต
\overline{B}_{ij}	สัญญาณความเข้มแสงเฉลี่ยจากรูปภาพกรณีปิดเจ็ต
$B_{ij,k}$	สัญญาณความเข้มแสงของภาพใดๆ กรณีปิดเจ็ต
$\overline{C_N}$	extinction เฉลี่ย
$\overline{C_N}$	extinction เฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่ง
$C_N(t)$	extinction ณ เวลาใดๆ
C_N	extinction (แปรตามจำนวนโมเลกุลของ Extinction species ที่แสงวิ่งผ่านในปริมาตรซึ่งเท่ากับพื้นที่หน้าตัดที่แสงตกกระทบคูณด้วยความกว้างของเจ็ต)
$C_{N_{ij,k}}$	extinction ของภาพขณะใดๆ
$\overline{C_{N_T}}$	ค่า $\overline{C_N}$ ที่มากที่สุดเมื่อดูตามแนว y/r_d ณ ตำแหน่ง x/r_d ใดๆ
$C(z)$	Number density ($molecules \cdot volume^{-1}$)
d_j	คือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายในของท่อเจ็ต
f	ความถี่ (รอบ/วินาที)
Fr	Densimetric Froude Number
i	ตำแหน่งในภาพของ ccd แทนตำแหน่งในภาพจริง x
I'	ความเข้มแสงเมื่อผ่านเจ็ตมา ($energy \cdot area^{-1} \cdot time^{-1}$)
I'_0	ความเข้มแสงที่ก่อนผ่านเจ็ต ($energy \cdot area^{-1} \cdot time^{-1}$)
I_0	สัญญาณความเข้มแสง เมื่อลบผลของ noise กรณีปิดเจ็ต
I	สัญญาณความเข้มแสง เมื่อลบผลของ noise กรณีเปิดเจ็ต
$I_{ij,k}$	สัญญาณความเข้มแสง เมื่อลบผลของ noise ของภาพขณะใดๆ กรณีเปิดเจ็ต
$I_{0_{ij,k}}$	สัญญาณความเข้มแสง เมื่อลบผลของ noise ของภาพขณะใดๆ กรณีปิดเจ็ต
I_δ	ผลรวมค่า $\overline{C_N}$ ตลอดแนว y/r_d จากขอบ y_L ถึง y_U ณ x/r_d ใดๆ
I_{δ_j}	ผลรวมค่า $\overline{C_N}$ ตลอดแนว y/r_d จาก j_{y_L} ถึง j_{y_U} ณ x/r_d ใดๆ
I_d	ผลรวมค่า $\overline{C_N}$ ตลอดแนว x/r_d ที่ปากเจ็ต
$i_{x_R}, i_{x_L}, j_{y_U}, j_{y_L}, j_{y_1}, j_{y_2}$	ตำแหน่งในภาพ ของ ccd แทนตำแหน่งในภาพจริง $x_R, x_L, y_U,$

	y_L, y_1 และ y_2 ตามลำดับ(ในงานวิจัยนี้ $j_{y_2} - j_{y_1} = 5$ และ $i_{x_R} - i_{x_L} = 29$)
j	ตำแหน่งในภาพของ ccd แทนตำแหน่งในภาพจริง y
k	อันดับที่ของภาพ
K_r	ค่าคงที่ ซึ่งแปรตาม effective velocity ratio
NR	Noise ได้จากการปิดฝากล้องแล้วทำการบันทึกภาพ
\overline{NR}	Noise เฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่ง
$NR(t)$	Noise ขณะใดๆ
\overline{NR}_{ij}	Noise เฉลี่ย
n	จำนวนรูปภาพที่มาจากเฉลี่ยในงานวิจัยนี้ใช้ 3000 รูป
P_{ressure}	Pressure side ด้านที่มีความเร็ว Crossflow สวนทางกับทิศของความเร็วในแนวสัมผัสของ swirling jet
r	ความเร็วประสิทธิผล
S_{uction}	Suction side ด้านที่มีความเร็ว Crossflow ไปทางทิศเดียวกับความเร็วในแนวสัมผัสของ swirling jet
Sr	อัตราส่วนระหว่างความเร็วในแนวสัมผัสของเจ็ตที่ขอบเจ็ตกับความเร็วเฉลี่ยในแนวแกนเจ็ต
$t_2 - t_1$	ช่วงเวลาที่ทำการบันทึกสัญญาณแสง
u_θ	คือความเร็วในแนวเส้นสัมผัสของเจ็ตที่ขอบเจ็ต
\overline{u}_j	คือความเร็วเฉลี่ยแบบพื้นที่ในแนวแกนของเจ็ต
\overline{u}_{cf}	คือความเร็วเฉลี่ยของกระแสหน้าขวาง
X	สัญญาณความเข้มแสงกรณีเปิดเจ็ต
Δx	ความกว้างของ ccd 1Pixel
x_R	ตำแหน่งขอบของเจ็ต ณ ปากเจ็ตด้าน downstream
x_L	ตำแหน่งขอบของเจ็ต ณ ปากเจ็ตด้าน upstream
y_1	ตำแหน่งของเจ็ตที่ปากเจ็ต
y_2	ตำแหน่งของเจ็ตที่ห่างจากปากเจ็ตออกมาตามทิศแนวแกน y (ในที่นี้ห่างจากปากเจ็ตออกมา 1.6 mm.)
y_c	คือตำแหน่งที่มีค่า $\overline{C_N}$ เท่ากับ $\overline{C_{N_T}}$

- y_U ขอบบนของเจ็ตโดยนิยามเป็นตำแหน่งที่มีค่า $\overline{C_N}$ หรือ $\kappa\overline{C_{N_T}}$ ณ ตำแหน่ง x/rd ใดๆ แต่ข้อมูลในรูปภาพจริงๆ อาจไม่มีข้อมูลนั้น จึงกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ได้สามารถอยู่ในช่วง $\pm \varphi\kappa\overline{C_{N_T}}$ ของ $\kappa\overline{C_{N_T}}$ ได้ จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาหาตำแหน่ง y/rd เฉลี่ยจากตำแหน่งทั้งหมดที่มีค่า $\overline{C_N}$ เป็น $(\kappa \pm \varphi\kappa)\overline{C_{N_T}}$ โดย y/rd เฉลี่ยที่ได้ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ y_C ดังนั้นแล้วเรียกตำแหน่งนั้นว่า y_U
- y_L ขอบล่างของเจ็ตโดยนิยามเป็นตำแหน่งที่มีค่า $\overline{C_N}$ หรือ $\kappa\overline{C_{N_T}}$ ณ ตำแหน่ง x/rd ใดๆ แต่ข้อมูลในรูปภาพจริงๆ อาจไม่มีข้อมูลนั้น จึงกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ได้สามารถอยู่ในช่วง $\pm \varphi\kappa\overline{C_{N_T}}$ ของ $\kappa\overline{C_{N_T}}$ ได้ จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาหาตำแหน่ง y/rd เฉลี่ยจากตำแหน่งทั้งหมดที่มีค่า $\overline{C_N}$ เป็น $(\kappa \pm \varphi\kappa)\overline{C_{N_T}}$ โดย y/rd เฉลี่ยที่ได้ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ y_C ดังนั้นแล้วเรียกตำแหน่งนั้นว่า y_L
- Δy ความยาวของ ccd 1Pixel
- $z_1 \rightarrow z_2$ ระยะทางที่แสงได้วิ่งผ่านเจ็ตซึ่งเป็นบริเวณที่มี Extinction species อยู่ (length)

อักษรกรีก

- Ψ_δ ผลรวมตลอดแนว y ของ extinction เฉลี่ยในช่วง $[y_U, y_L]$ ณ ตำแหน่ง x ใดๆ เทียบกับผลรวมตลอดแนว x ของ extinction เฉลี่ยในช่วง $[x_R, x_L]$ ที่ปากเจ็ต
- Ψ_{δ_i} ผลรวมตลอดแนว y ของ extinction เฉลี่ยในช่วง $[j_{y_U}, j_{y_L}]$ ณ ตำแหน่ง i ใดๆ เทียบกับผลรวมตลอดแนว x ของ extinction เฉลี่ยในช่วง $[i_{x_R}, i_{x_L}]$ ที่ปากเจ็ต
- Γ_δ ผลรวมตลอดแนว y ของ extinction เฉลี่ยในช่วง $[y_U, y_L]$ ณ ตำแหน่ง x ใดๆ
- Γ_{δ_i} ผลรวมตลอดแนว y ของ extinction เฉลี่ยในช่วง $[j_{y_U}, j_{y_L}]$ ณ ตำแหน่ง i ใดๆ
- κ ค่าเปอร์เซ็นต์ของ $\overline{C_{N_T}}$ ที่ x/rd กำหนดขึ้นเพื่อกำหนดขอบของเจ็ต(ในงานวิจัยนี้ใช้ 20%)
- φ ค่าเปอร์เซ็นต์ของ $\kappa\overline{C_{N_T}}$ ที่ x/rd กำหนดขึ้นเพื่อกำหนดช่วงกว้างของความผิดพลาดของค่าที่ขอบเจ็ต(ในงานวิจัยนี้ใช้ 20%)
- δ ความกว้างของขอบเจ็ตมีค่าเท่ากับ $y_U - y_L$
- σ Extinction cross section ประกอบด้วย absorption cross section และ scattering cross section ($area \cdot molecules^{-1}$)
- ρ_j ความหนาแน่นของเจ็ตที่เป็นสารละลายเบสเจือจาง
- ρ_{cf} ความหนาแน่นของกระแสน้ำขวาง

อักษรย่อ

A	Active
CCD	Charge Coupled Devices
CVP	Counter Rotating Vortex Pair
JICF	Jet In Crossflow
NZT/NZC	Non zero tangential and Non zero circuration
ZT/ZC	Zero tangential and Zero circuration
P	Passive
SJICF	Swirling Jet In Crossflow
05	swirl ratio 0.5
08	swirl ratio 0.8
*08	swirl ratio 0.8 หมุนกลับทาง

ตัวห้อย

i	ตำแหน่งในภาพของ ccd แทนตำแหน่งในภาพจริง x
j	ตำแหน่งในภาพของ ccd แทนตำแหน่งในภาพจริง y
k	อันดับที่ของภาพ
$[]_{Active}$	ของ Active scalar technique
$[]_{Passive}$	ของ Passive scalar technique

คำศัพท์

pressure	ด้านที่มีทิศของความเร็วในแนวสัมผัสของเจ็ตสวนทางกับทิศของความเร็ว crossflow
suction	ด้านที่มีทิศของความเร็วในแนวสัมผัสของเจ็ตไปทางเดียวกับทิศของความเร็ว crossflow
ด้านในเจ็ต	ด้านในของเจ็ตคือด้านที่อยู่ทางด้านที่มีทิศมาทาง $-y/rd$ เมื่อจุดแบ่งระหว่างด้านในและนอกคือตำแหน่ง y/rd ที่มีค่า $\overline{C_{N_T}}$
ด้านนอกเจ็ต	ด้านนอกของเจ็ตคือด้านที่อยู่ทางด้านที่มีทิศมาทาง y/rd เมื่อจุดแบ่งระหว่างด้านนอกและในคือตำแหน่ง y/rd ที่มีค่า $\overline{C_{N_T}}$