

ผลกระทบของแปดต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ
ของเจ็ทร้อนที่หมุนควงในกระแสลมขวาง



นาย สิทธิพงศ์ สถาพรนานนท์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

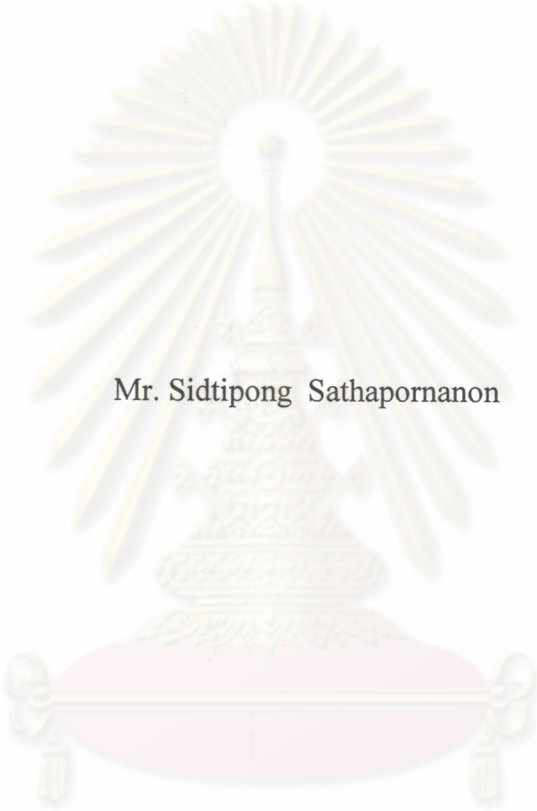
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4807-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF TAB ON TEMPERATURE DISTRIBUTION
IN A HEATED SWIRLING JET IN CROSSFLOW




Mr. Sidtipong Sathapornanon

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2003
ISBN 974-17-4807-8


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของเทคโนโลยีการกระจายตัวของอุณหภูมิของเจ็ทร้อนที่หมุน
ควงในกระแสลมขวาง
โดย นาย สิทธิพงศ์ สถาพรนานนท์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. อติ บุญจิตราดุลย์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. อติ บุญจิตราดุลย์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงศักดิ์ มลิลลา)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ เดชะอำไพ)

สิทธิพงศ์ สถาพรนานนท์ : ผลกระทบของแทปต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิของเจ็ทร้อน
ที่หมุนควงในกระแสลมขวาง (EFFECTS OF TAB ON TEMPERATURE
DISTRIBUTION IN A HEATED SWIRLING JET IN CROSSFLOW)

อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. อติ บุญจิตราดุลย์ ; 257หน้า ISBN 974-17-4807-8

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของแทปที่มีต่อโครงสร้างการไหลโดยเฉลี่ยของเจ็ทร้อนที่ไม่หมุนควง และเจ็ทร้อนที่หมุนควงในกระแสลมขวาง โดยเจ็ทร้อนที่หมุนควงนั้นสร้างขึ้นมาจากการเป่าอากาศร้อนผ่านชุดท่อหมุนซึ่งภายในบรรจุ Honeycomb ทำให้เจ็ทมีความเร็วตามแนวสัมผัสที่ขอบปากเจ็ทและผลรวมของค่า Circulation รอบปากเจ็ทไม่เป็นศูนย์ ในการทดลองได้ทำการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยบนระนาบหน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางไหลของกระแสลมขวาง ทั้งนี้ได้ทำการทดลองที่ค่าอัตราส่วนความเร็วประสิทธิผล (r) คงที่ประมาณ 4.0 โดยมีค่าอัตราส่วนเลวีร์ล (Sr) เท่ากับ 0 ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควง และเท่ากับ 0.52 ในกรณีเจ็ทหมุนควง ที่เรโนลด์นัมเบอร์ของเจ็ทประมาณ 14,000 และของกระแสลมขวางประมาณ 4,000 โดยได้ใช้แทปรูปสามเหลี่ยมซึ่งมีขนาดพื้นที่ประมาณ 3.0% ของพื้นที่ปากเจ็ท วางอยู่กับที่บนขอบปากเจ็ทและเลื่อนไปโดยรอบ 8 ตำแหน่ง

สำหรับผลการทดลองในกรณีเจ็ทไม่หมุนควงในกระแสลมขวาง พบว่าโครงสร้างการไหลจะมีความไว (Sensitivity) มากที่สุดเมื่อติดแทปบริเวณตำแหน่ง Lateral ไปจนถึงตำแหน่ง Windward โดยเจ็ทจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างรูปไตซึ่งมีลักษณะโครงสร้างการไหลแบบ Counter-Rotating Vortex Pair (CVP) ในกรณีไม่ติดแทป ไปเป็นโครงสร้างรูปจุดภาคและยังคงรูปร่างเช่นนี้อยู่จนถึงตำแหน่งหน้าตัดสุดท้ายที่ทำการวัด

สำหรับผลการทดลองในกรณีเจ็ทหมุนควงในกระแสลมขวาง พบว่ามีผลที่คล้ายกับกรณีเจ็ทไม่หมุนควง แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีความแตกต่างอยู่บ้าง กล่าวคือโครงสร้างการไหลของกรณีเจ็ทหมุนควงจะมีความไวต่อตำแหน่งของแทปในช่วงบริเวณที่กว้างกว่ากรณีเจ็ทไม่หมุนควง โดยบริเวณนี้คือจากตำแหน่ง Pressure-Leeward ไปจนถึงตำแหน่ง Suction เมื่อเลื่อนตำแหน่งแทปตามทิศทางหมุนของเลวีร์ล อย่างไรก็ตาม บริเวณที่มีความไวต่อโครงสร้างการไหลมากที่สุด ก็คือบริเวณตรงกลางระหว่างตำแหน่ง Pressure ไปจนถึงตำแหน่ง Windward โดยโครงสร้างการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่ติดแทปในบริเวณนี้ อีกทั้งโครงสร้างการไหลดังกล่าวยังมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากกรณีไม่ติดแทปอย่างมาก และยังคงอยู่จนถึงตำแหน่งหน้าตัดสุดท้ายที่ทำการวัดอีกเช่นเดียวกัน

จากผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่า กลไกซึ่งเกี่ยวเนื่องกับการเกิดโครงสร้างการไหลทั้งในกรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควงและกรณีเจ็ทที่หมุนควงในกระแสลมขวางนั้น น่าจะเกี่ยวเนื่องอย่างใกล้ชิดกับบริเวณดังกล่าวข้างต้น อีกทั้งยังได้ชี้แนะว่ากลไกการเกิดโครงสร้างการไหลน่าจะเกี่ยวเนื่องอย่างใกล้ชิดกับการพัฒนา Skewed Shear Layer ซึ่งอยู่ตามแนวทิศทางไหลของกระแสลมขวาง ใกล้ลำของเจ็ทที่ปากทางออกอีกด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกลลายมือชื่อนิสิต *อินทวัฒน์ ดอนระคน*
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกลลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *อ.อ.ว*
ปีการศึกษา 2546ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4370557121: MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORD : TAB/ SWIRLING JET/ JET IN CROSSFLOW/ TEMPERATURE
DISTRIBUTION/ ROTATING PIPE

SIDTIPONG SATHAPORNANON: EFFECTS OF TAB ON TEMPERATURE
DISTRIBUTION IN A HEATED SWIRLING JET IN CROSSFLOW

THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. ASI BUNYAJITRADULYA, Ph.D., 257pp.
ISBN 974-17-4807-8

Effects of tab on mean flow structures of a heated non-swirling jet in crossflow and a heated swirling jet in crossflow are investigated. The heated swirling jet with non-zero tangential velocity, non-zero circulation is generated by passing hot air through a rotating pipe with honeycomb. Then, temperature distributions in the cross planes (y - z plane) downstream of the jet are surveyed. This experiment is conducted at a fixed nominal effective velocity ratio of 4.0, swirl ratio (Sr) of 0 (no swirl) and 0.52, at jet Reynolds number of approximately 14,000 and crossflow Reynolds of approximately 4,000. A stationary triangular tab with area blockage of 3.0 percent is placed at eight different azimuthal positions along the periphery of the jet exit.

For the case of a non-swirling jet in crossflow, the results show that the flow structure is most sensitive near the lateral-windward region. The kidney-shape structure that is associated with the counter-rotating vortex pair (CVP) in the case without tab is observed to be changed to a comma structure and persists downstream to the last measurement station.

For the case of a swirling jet in crossflow, similar results are observed although with some differences. That is, the results show that the downstream structure of the swirling jet is sensitive in a wider region, from pressure-leeward to suction when moving in the same rotational sense as the swirl. Nonetheless, the most sensitive region is still centered on the pressure-windward region. Depending upon the tab location in this region, the downstream structure in the case without tab is observed to be changed to different structural shapes and, again, persists to the last measurement station.

These results indicate that the mechanism that is responsible to the generation of the downstream structure, in both cases of with and without swirl, is closely related to these regions. In addition, they also suggest to the generation mechanism that is closely related to the development of the skewed shear layer along the surrounding crossflow direction near the jet exit column.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Mechanical Student's signature *Sidtpong Sathapornanon*
Field of study Mechanical Advisor's signature *Asi B*
Academic year 2003 Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน จากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัย “ รองศาสตราจารย์ ดร. อติ บุญจิตราดุลย์ ” ซึ่งได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างสูงทั้งในการศึกษาและการดำเนินชีวิตของผู้วิจัย เหนือสิ่งอื่นใดคือท่านอาจารย์ยังได้ให้วิธีการคิดแบบวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญต่อทัศนคติเกี่ยวกับโลกและชีวิตของผู้วิจัยเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ดี มลิลลา และ ศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ เดชะอำไพ ที่ได้เอื้อเฟื้อและแนะนำสิ่งต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ของทบวงมหาวิทยาลัย และจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ตลอด 3 ปีที่ผ่านมา ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยกลศาสตร์ของไหล แห่งนี้ผู้วิจัยได้รับกำลังใจและความเอื้ออาทรจาก พี่ เพื่อน และน้อง ในห้องปฏิบัติการเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งแก่ พี่วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ ผู้เป็นต้นแบบในการทำวิทยานิพนธ์ พี่เกียรติศักดิ์ กอบกาญจนการ พี่อลงกรณ์ พิมพิพิธ และพี่ศพล สถิต สุวงศ์กุล ที่ให้กำลังใจเสมอมา พี่สุทธิโชค นันทสุขเกษม พี่พงศ์ฤทธิ์ อุปถัมภ์นรากร พี่สุเมธ ไตรภพสกุล สุพจน์ เทพพิพัฒน์ ชมพิชาน์ คูหิรัญธีรวิธา ยิ่งเจริญ และปิติพงศ์ เย็นจิตต์ ที่ได้ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และฝ่าฟันอุปสรรคตลอดการทำงานมาด้วยกัน อีกทั้งขอขอบพระคุณ พี่โกวิท โกพล และบุคลากรทุกคนของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ช่วยเหลืองานในด้านต่างๆ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

และในท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ของผู้วิจัยที่ได้ให้การเลี้ยงดูทั้งกายและใจ ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ มาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยมีแรงใจในการทำงานและไม่ย่อท้อต่ออุปสรรคที่เกิดขึ้น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
รายการสัญลักษณ์.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	13
1.4 แนวทางการทำวิจัย.....	13
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	14
บทที่ 2 ชุดทดลองและการทดลอง.....	15
2.1 ชุดทดลอง.....	15
2.2 พิกัดอ้างอิงที่ใช้การทดลอง.....	19
2.3 สภาพวะของการทดลอง.....	20
2.4 วิธีการทดลองและอุปกรณ์การวัด.....	21
บทที่ 3 ผลการทดลอง.....	26
3.1 ผลการวัดสภาวะเริ่มต้น.....	28
3.1.1 ผลการวัดสภาวะเริ่มต้นของกระแสลมขวาง.....	28
3.1.2 ผลการวัดสภาวะเริ่มต้นของเจ็ท.....	29
3.2 การพัฒนาตัวของเจ็ทตามแนว Downstream (x).....	31
3.2.1 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม (C_{TG}) ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควงซึ่งติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ.....	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ (C_{TL}) ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควงซึ่งติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ.....	37
3.2.3 สรุปผลการพัฒนาตัวของเจ็ท ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควงซึ่งติด Tab ที่ ตำแหน่งต่างๆ จาก C_{TG} และ C_{TL}	38
3.2.4 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม (C_{TG}) ในกรณีเจ็ทหมุนควงซึ่งติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ	41
3.2.5 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ (C_{TL}) ในกรณีเจ็ทหมุนควงซึ่งติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ.....	45
3.2.6 สรุปผลการพัฒนาตัวของเจ็ท ในกรณีเจ็ทหมุนควงซึ่งติด Tab ที่ ตำแหน่งต่างๆ จาก C_{TG} และ C_{TL}	48
3.3 การเปรียบเทียบผลของตำแหน่ง Tab.....	50
3.3.1 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม (C_{TG}) เปรียบเทียบกัน เมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควง.....	50
3.3.2 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ (C_{TL}) เปรียบเทียบกัน เมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควง.....	52
3.3.3 สรุปการเปรียบเทียบผลของตำแหน่ง Tab จากการกระจายตัว ของ C_{TG} และ C_{TL} ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควง.....	53
3.3.4 การพัฒนาตัวของเจ็ทในแต่ละส่วน (Core, Body และ Boundary) เมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควง.....	54
3.3.5 สรุปการเปรียบเทียบผลของตำแหน่ง Tab ของเจ็ทในแต่ละส่วน เมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควง.....	57
3.3.6 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม (C_{TG}) เปรียบเทียบกัน เมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีเจ็ทหมุนควง.....	59
3.3.7 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ (C_{TL}) เปรียบเทียบกัน เมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีเจ็ทหมุนควง.....	64
3.3.8 สรุปการเปรียบเทียบผลของตำแหน่ง Tab จากการกระจายตัว ของ C_{TG} และ C_{TL} ในกรณีเจ็ทหมุนควง.....	65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.9	การพัฒนาตัวของเจ็ทในแต่ละส่วน (Core, Body และ Boundary) เมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีเจ็ทหมุนควง.....	66
3.3.10	สรุปการเปรียบเทียบผลของตำแหน่ง Tab ของเจ็ทในแต่ละส่วน เมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีเจ็ทหมุนควง.....	70
3.4	การเปรียบเทียบผลของการที่เจ็ทไม่หมุนควงกับการที่เจ็ทหมุนควง.....	72
3.4.1	การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม (C_{TG}).....	72
3.4.2	การเปรียบเทียบส่วนต่างๆ ของเจ็ทโดยใช้ค่า C_{TL}	76
3.4.3	สรุปการเปรียบเทียบผลของกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงกับกรณีที่เจ็ท หมุนควงเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ.....	80
3.5	การเปรียบเทียบผลของตำแหน่ง Tab และผลของการหมุนควง โดยใช้ Gradient ของ C_{TG} เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้งในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงและกรณีที่เจ็ทหมุนควง.....	82
3.5.1	การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของ C_{TG} ตามแนวแกน z	82
3.5.2	การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของ C_{TG} ตามแนวแกน y	84
3.5.3	การเปรียบเทียบการกระจายขนาด Gradient ของ C_{TG}	86
3.5.4	สรุปการเปรียบเทียบผลของตำแหน่ง Tab และผลของการหมุนควง โดยใช้ Gradient ของ C_{TG}	88
3.6	ผลของทิศทางการหมุนควง.....	89
3.7	การเปรียบเทียบผลของตำแหน่ง Tab และผลของการหมุนควง โดยใช้คุณลักษณะโดยรวม (Global characteristic).....	90
3.7.1	Centroid Trajectory ของอุณหภูมิบนระนาบสมมาตร (\bar{y}_T).....	90
3.7.2	Centroid Trajectory ของอุณหภูมิบนระนาบนอน (\bar{z}_T).....	90
3.7.3	Maximum Decay ของอุณหภูมิตามแนว Downstream (x).....	91
บทที่ 4	อภิปรายผลการทดลอง.....	92
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง.....	96

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ประมวลตาราง.....	103
ประมวลรูปภาพ.....	116
รายการอ้างอิง.....	224
ภาคผนวก.....	227
ภาคผนวก ก.....	228
ภาคผนวก ข.....	238
ภาคผนวก ค.....	243
ภาคผนวก ง.....	251
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	257



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	สรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมา : การศึกษาคุณลักษณะของเจ็ดในกระแสมขวาง..... 104
ตารางที่ 1.2	สรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมา : การศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อคุณลักษณะของเจ็ดในกระแสมขวาง..... 108
ตารางที่ 1.3	สรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมา : การศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อคุณลักษณะของเจ็ดอิสระ..... 112
ตารางที่ 2.1	รายละเอียดพารามิเตอร์ในการทดลองและความคลาดเคลื่อนในแต่ละกรณี..... 115
ตารางที่ 2.2	รายละเอียดของกรณีการทดลอง..... 115



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1	การใช้งานที่พบการไหลแบบเจ็ทในกระแสมขวาง 117
รูปที่ 1.2	ลักษณะของเจ็ทในกระแสมขวาง (Rajaratnam, 1976)..... 118
รูปที่ 1.3	โครงสร้างของ Vortical structure ของเจ็ทในกระแสมขวาง (Fric and Roshko, 1994)..... 118
รูปที่ 1.4ก	โครงสร้างบริเวณ Near field ของเจ็ทในกระแสมขวาง ซึ่งแสดงเป็น Isosurface ของ Vorticity (Yuan et al., 1999)..... 119
รูปที่ 1.4ข-ค	โครงสร้างของ Hanging vortices (Yuan et al., 1999)..... 119
รูปที่ 1.4ง	โครงสร้างของ Spanwise rollers ซึ่งแสดงเป็น Instantaneous contour ของ Spanwise vorticity (ω_z) โดยเส้นประแสดงค่าลบ (Yuan et al., 1999)..... 120
รูปที่ 1.5	กลไกการเกิด CVP เนื่องจาก Vortex Ring (Kelso et al., 1996)..... 120
รูปที่ 1.6	กลไกการเกิด CVP เนื่องจาก Vortex Ring (Cortezzi and Karagozian, 2001)..... 121
รูปที่ 1.7	กลไกการเกิด CVP เนื่องจาก Vortex Loop (Lim et al., 2001)..... 121
รูปที่ 1.8	การลดลงของอุณหภูมิตามแนว Downstream (x) บนระนาบสมมาตร (Sherif and Pletcher, 1989)..... 122
รูปที่ 1.9	การลดลงของ Concentration ตามแนวแกนเจ็ท (s) (Smith and Mungal, 1998)..... 123
รูปที่ 1.10ก-ข	ลักษณะและการติดตั้ง Tab สามเหลี่ยม (Reeder and Samimy, 1996)..... 124
รูปที่ 1.10ค-ง	ลักษณะ Streamwise vorticity ที่เกิดจากการไหลผ่าน Tab สามเหลี่ยม (Reeder and Samimy, 1996)..... 124
รูปที่ 1.11	Contour ของ Streamwise vorticity ในกรณีติดตั้ง Delta tab (Zaman et al., 1994)..... 125
รูปที่ 1.12	Contour ของ Streamwise vorticity ในกรณีติดตั้ง Triangular tab (Zaman et al., 1994)..... 125
รูปที่ 1.13	การกระจายตัวของความดันสถิตยบนผนังด้านในของปากเจ็ท..... 126
รูปที่ 1.14	กลไกการเกิด Streamwise vorticity โดย Pressure hill (Zaman et al., 1994)..... 126
รูปที่ 1.15	การกระจายตัวของความดันสถิตยที่พื้นผิว Test section บริเวณรอบขอบปากเจ็ท (Kavsoglu and Schetz, 1989)..... 127

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 1.16	Contour ของ Mean concentration จาก End view (Niederhaus et al., 1997).....	128
รูปที่ 1.17	รูปทางด้านบนแสดง Contour ของความเร็วเฉลี่ย (U/U_T) ที่หน้าตัด $x/D = 4$ โดยมีค่า momentum-flux ratio, $J = 21$ (Zaman and Foss, 1997).....	129
รูปที่ 1.18	รูปทางด้านบนแสดง Contour ของความเร็วเฉลี่ย (U/U_T) ที่หน้าตัด $x/D = 4$ โดยมีค่า momentum-flux ratio, $J = 54$ (Zaman and Foss, 1997).....	129
รูปที่ 1.19	แสดงการกระจายตัวของความเร็วเฉลี่ยและ Streamwise vorticity แบบ Perspective view (Zaman and Foss, 1997).....	130
รูปที่ 1.20	ผลของการติด Tab ที่มีต่อเส้นทางของความเร็วเฉลี่ยที่มากที่สุด บนระนาบสมมาตร (Zaman and Foss, 1997).....	131
รูปที่ 1.21	ผลของการติด Tab ที่มีต่อการกระจายตัวของค่า Circulation ในทิศทาง x ตามแนว Downstream (x) ที่ด้านหนึ่งของแกนสมมาตร (Zaman and Foss, 1997).....	131
รูปที่ 1.22	การกระจายตัวของความดันสถิตยที่พื้นของ Test section บริเวณใกล้ขอบปากเจ็ท(Zaman and Foss, 1997).....	132
รูปที่ 1.23	การกระจายตัวของความดันสถิตยที่พื้นบริเวณโดยรอบปากเจ็ท ในกระแสลมขวาง (Bradbury and wood ,1965).....	132
รูปที่ 1.24ก	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม (C_{TG}) เปรียบเทียบกัน ในแต่ละกรณีที่ $x/r_d = 0.25$ และ 0.5 (Wangjiraniran, 2001).....	133
รูปที่ 1.24ข	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะหน้าตัด (C_{TL}) เปรียบเทียบกัน ในแต่ละกรณีที่ $x/r_d = 0.25$ และ 0.5 (Wangjiraniran, 2001).....	134
รูปที่ 1.25	Centroid Trajectory ของอุณหภูมิม เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี (Wangjiraniran, 2001).....	135
รูปที่ 1.26	การเปลี่ยนแปลงค่ากำลัง (Strength) ของ Mixing layer (β) ที่ขอบปากเจ็ท ด้านข้างเทียบกับ Swirl ratio ที่ $r_v = 4$ (Wangjiraniran, 2001).....	136
รูปที่ 2.1	รูป Schematic ของอุโมงค์ลม (หน่วยเซนติเมตร).....	137
รูปที่ 2.2	พัดลมหอยโข่ง (Centrifugal Blower) ชนิดใบพัดแบบ Backward-curved airfoil ขนาด 30 กิโลวัตต์ที่ใช้สำหรับอุโมงค์ลม.....	137
รูปที่ 2.3	ส่วนขยายพื้นที่หน้าตัดซึ่งประกอบด้วย Main diffuser และ Adapter diffuser.....	138

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.4	ห้องจัดปรับการไหล (Settling chamber) และ Contraction ของอุโมงค์ลม... 138
รูปที่ 2.5	หน้าตัดทดสอบ (Test section) ทั้ง 2 ส่วนของอุโมงค์ลม..... 139
รูปที่ 2.6	ภายในหน้าตัดทดสอบ (Test section) ส่วนแรก..... 139
รูปที่ 2.7	รูป Schematic ของชุดเจ็ทแบบท่อหมุน..... 140
รูปที่ 2.8	ชุดเจ็ทแบบท่อหมุนทั้ง 3 ส่วนคือ Orifice section, Heating chamber และ Rotating pipe..... 140
รูปที่ 2.9	ส่วนของพัสดลมและ Orifice..... 141
รูปที่ 2.10	ส่วน Heating chamber..... 142
รูปที่ 2.11	รูป Schematic ของส่วนท่อหมุน (Rotating pipe)..... 143
รูปที่ 2.12	รูปถ่ายส่วนท่อหมุน (Rotating pipe)..... 144
รูปที่ 2.13	Inverter ที่ใช้ควบคุมความเร็วของท่อหมุน..... 145
รูปที่ 2.14	ลักษณะรูปร่าง ขนาด และตำแหน่งของ Tab ที่ติดบนขอบปากเจ็ท..... 146
รูปที่ 2.15	พิกัดอ้างอิงที่ใช้ในการทดลอง..... 147
รูปที่ 2.16	การนิยามด้าน Pressure และ Suction..... 147
รูปที่ 2.17	รูป Schematic ของ Probe ที่ใช้วัด..... 148
รูปที่ 2.18	รูปถ่ายของ Probe ที่ใช้วัด..... 149
รูปที่ 2.19	อุปกรณ์การวัดอื่นๆ..... 150
รูปที่ 2.20	ลักษณะการวัดสภาวะเริ่มต้นที่ปากเจ็ท..... 151
รูปที่ 2.21	ผลการสอบเทียบ Thermocouple เทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานคือ Thermometer..... 151
รูปที่ 2.22	ลักษณะการวัดการกระจายของอุณหภูมิเป็นหน้าตัด..... 152
รูปที่ 3.1ก-ข	ความสม่ำเสมอของความเร็วในแนวแกนเฉลี่ย $x(u)$ ของกระแสลมขวางที่หน้าตัด $x = -15$ cm..... 153
รูปที่ 3.1ค	รูปร่างของ Boundary layer บนผนังทั้ง 4 ด้านในหน้าตัดทดสอบ..... 154
รูปที่ 3.2	รูปร่างความเร็วในแนวแกนของเจ็ทอากาศที่ทางออกเจ็ท..... 155
รูปที่ 3.3	รูปร่างความเร็วในแนวสัมผัสของเจ็ทอากาศที่ทางออกเจ็ท..... 156
รูปที่ 3.4	รูปร่างอุณหภูมิของเจ็ทอากาศที่ทางออกเจ็ท..... 157
รูปที่ 3.5	ปริมาตรควบคุมในการวิเคราะห์คุณลักษณะการผสมที่แสดงโดย C_{TG} 157

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.6	Centerplane (y_T) และ Centroid (\bar{y}_T) ของอุณหภูมิลำดับกรณิเจ็ทไม่หมุนควง (Sr0) เปรียบเทียบกับ Wangjiraniran (2001) และเปรียบเทียบกับ Trajectory ของอุณหภูมิลำดับกรณิ (y_T) และความเร็ว (y_U) ของ Kamotani and Greber (1972).....	158
รูปที่ 3.7ก	การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิรวม (C_{TG}) ที่หน้าตัดต่างๆ ระหว่างผลที่ได้จากการทดลองนี้กับผลที่ได้จาก Wangjiraniran (2001) ในกรณิที่เจ็ทไม่หมุนควง Sr0.....	159
รูปที่ 3.7ข	การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิรวม (C_{TG}) ที่หน้าตัดต่างๆ ระหว่างผลที่ได้จากการทดลองนี้กับผลที่ได้จาก Wangjiraniran (2001) ในกรณิที่เจ็ทหมุนควง Sr52.....	160
รูปที่ 3.8ก	การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิรวม (C_{TG}) ตามแนว Downstream (x) สำหรับกรณิ Sr0-P, PW, W, SW.....	161
รูปที่ 3.8ข	การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิรวม (C_{TG}) ตามแนว Downstream (x) สำหรับกรณิ Sr0-S, SL, L, PL.....	162
รูปที่ 3.9ก	การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิเฉพาะ (C_{TL}) ตามแนว Downstream (x) สำหรับกรณิ Sr0-P, PW, W, SW.....	163
รูปที่ 3.9ข	การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิเฉพาะ (C_{TL}) ตามแนว Downstream (x) สำหรับกรณิ Sr0-S, SL, L, PL.....	164
รูปที่ 3.10ก	การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิรวม (C_{TG}) ตามแนว Downstream (x) สำหรับกรณิ Sr52-P, PW, W, SW.....	165
รูปที่ 3.10ข	การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิรวม (C_{TG}) ตามแนว Downstream (x) สำหรับกรณิ Sr52-S, SL, L, PL.....	166
รูปที่ 3.11ก	การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิเฉพาะ (C_{TL}) ตามแนว Downstream (x) สำหรับกรณิ Sr52-P, PW, W, SW.....	167
รูปที่ 3.11ข	การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิเฉพาะ (C_{TL}) ตามแนว Downstream (x) สำหรับกรณิ Sr52-S, SL, L, PL.....	168
รูปที่ 3.12ก	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลำดับกรณิรวม (C_{TG}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณิที่เจ็ทไม่หมุนควง ที่หน้าตัด $x/r_d = 0.25$	169

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 3.12ข	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจำนวนรวม (C_{TG}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง ที่หน้าตัด $x/rd = 0.5$	170
รูปที่ 3.12ค	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจำนวนรวม (C_{TG}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง ที่หน้าตัด $x/rd = 1.0$	171
รูปที่ 3.13ก	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ (C_{TL}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง ที่หน้าตัด $x/rd = 0.25$	172
รูปที่ 3.13ข	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ (C_{TL}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง ที่หน้าตัด $x/rd = 0.5$	173
รูปที่ 3.13ค	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ (C_{TL}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง ที่หน้าตัด $x/rd = 1.0$	174
รูปที่ 3.14ก	การพัฒนา Core ($C_{TL} \geq 0.8$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน.....	175
รูปที่ 3.14ข	การพัฒนา Core ($C_{TL} \geq 0.8$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง เปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab... ..	176
รูปที่ 3.14ค	การพัฒนา Body ($C_{TL} \geq 0.5$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน.....	177
รูปที่ 3.14ง	การพัฒนา Body ($C_{TL} \geq 0.5$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง เปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab... ..	178
รูปที่ 3.14จ	การพัฒนา Boundary ($C_{TL} \geq 0.2$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน.....	179
รูปที่ 3.14ฉ	การพัฒนา Boundary ($C_{TL} \geq 0.2$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง เปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab... ..	180
รูปที่ 3.15ก	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจำนวนรวม (C_{TG}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด $x/rd = 0.25$	181

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 3.15ข	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม (C_{TG}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด $x/r_d = 0.5$	182
รูปที่ 3.15ค	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม (C_{TG}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด $x/r_d = 1.0$	183
รูปที่ 3.16ก	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ (C_{TL}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด $x/r_d = 0.25$	184
รูปที่ 3.16ข	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ (C_{TL}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด $x/r_d = 0.5$	185
รูปที่ 3.16ค	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ (C_{TL}) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด $x/r_d = 1.0$	186
รูปที่ 3.17ก	การพัฒนา Core ($C_{TL} \geq 0.8$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดหมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน.....	187
รูปที่ 3.17ข	การพัฒนา Core ($C_{TL} \geq 0.8$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดหมุนควง เปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab.....	188
รูปที่ 3.17ค	การพัฒนา Body ($C_{TL} \geq 0.5$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดหมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน.....	189
รูปที่ 3.17ง	การพัฒนา Body ($C_{TL} \geq 0.5$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดหมุนควง เปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab.....	190
รูปที่ 3.17จ	การพัฒนา Boundary ($C_{TL} \geq 0.2$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดหมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน.....	191
รูปที่ 3.17ฉ	การพัฒนา Boundary ($C_{TL} \geq 0.2$) ของเจ็ทตามแนว Downstream (x) ในกรณีที่เกิดหมุนควง เปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab.....	192
รูปที่ 3.18ก	การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม (C_{TG}) ระหว่างกรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด $x/r_d = 0.25$ สำหรับกรณี Sr0-P, PW, W, SW.....	193
รูปที่ 3.18ข	การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม (C_{TG}) ระหว่างกรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด $x/r_d = 0.25$ สำหรับกรณี Sr0-S, SL, L, PL.....	194

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.19ก	การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม (C_{TG}) ระหว่าง กรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด $x/r_d = 0.5$ สำหรับกรณี Sr0-P, PW, W, SW.....195
รูปที่ 3.19ข	การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม (C_{TG}) ระหว่าง กรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด $x/r_d = 0.5$ สำหรับกรณี Sr0-S, SL, L, PL.....196
รูปที่ 3.20ก	การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม (C_{TG}) ระหว่าง กรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด $x/r_d = 1.0$ สำหรับกรณี Sr0-P, PW, W, SW.....197
รูปที่ 3.20ข	การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม (C_{TG}) ระหว่าง กรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด $x/r_d = 1.0$ สำหรับกรณี Sr0-S, SL, L, PL.....198
รูปที่ 3.21	การเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างและการพัฒนาตัวของเจ็ทในกรณีไม่หมุนควงและ หมุนควงซึ่งติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ จากการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์ อุณหภูมิมรวม (C_{TG}) ในแต่ละหน้าตัดตามแนว Downstream (x)199
รูปที่ 3.22ก	การเปรียบเทียบ CORE ($C_{TL} \geq 0.8$) ของเจ็ทในกรณีเจ็ทไม่หมุนควงและ หมุนควง ที่หน้าตัด $0.25r_d$, $0.5r_d$ และ $1.0r_d$200
รูปที่ 3.22ข	การเปรียบเทียบการพัฒนา CORE ($C_{TL} \geq 0.8$) ของเจ็ทในกรณีเจ็ท ไม่หมุนควงและหมุนควง ที่หน้าตัด $0.25r_d$, $0.5r_d$ และ $1.0r_d$ ตามลำดับ....201
รูปที่ 3.23ก	การเปรียบเทียบ BODY ($C_{TL} \geq 0.5$) ของเจ็ทในกรณีเจ็ทไม่หมุนควงและหมุน ควง ที่หน้าตัด $0.25r_d$, $0.5r_d$ และ $1.0r_d$202
รูปที่ 3.23ข	การเปรียบเทียบการพัฒนา BODY ($C_{TL} \geq 0.5$) ของเจ็ทในกรณีเจ็ทไม่หมุน ควงและหมุนควง ที่หน้าตัด $0.25r_d$, $0.5r_d$ และ $1.0r_d$203
รูปที่ 3.24ก	การเปรียบเทียบ BOUNDARY ($C_{TL} \geq 0.2$) ของเจ็ทในกรณีเจ็ท ไม่หมุนควงและหมุนควง ที่หน้าตัด $0.25r_d$, $0.5r_d$ และ $1.0r_d$ ตามลำดับ....204
รูปที่ 3.24ข	การเปรียบเทียบการพัฒนา BOUNDARY ($C_{TL} \geq 0.2$) ของเจ็ทในกรณีเจ็ท ไม่หมุนควงและหมุนควง ที่หน้าตัด $0.25r_d$, $0.5r_d$ และ $1.0r_d$ ตามลำดับ....205

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.25ก	การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของ C_{TG} ตามแนวแกน z ในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง $x/r_d = 0.25$	206
รูปที่ 3.25ข	การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของ C_{TG} ตามแนวแกน z ในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง $x/r_d = 0.5$	207
รูปที่ 3.25ค	การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของ C_{TG} ตามแนวแกน z ในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง $x/r_d = 1.0$	208
รูปที่ 3.26ก	การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของ C_{TG} ตามแนวแกน y ในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง $x/r_d = 0.25$	209
รูปที่ 3.26ข	การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของ C_{TG} ตามแนวแกน y ในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง $x/r_d = 0.5$	210
รูปที่ 3.26ค	การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของ C_{TG} ตามแนวแกน y ในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง $x/r_d = 1.0$	211
รูปที่ 3.27ก	การเปรียบเทียบการกระจายขนาด Gradient ของ C_{TG} ในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง $x/r_d = 0.25$	212
รูปที่ 3.27ข	การเปรียบเทียบการกระจายขนาด Gradient ของ C_{TG} ในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง $x/r_d = 0.5$	213
รูปที่ 3.27ค	การเปรียบเทียบการกระจายขนาด Gradient ของ C_{TG} ในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง $x/r_d = 1.0$	214
รูปที่ 3.28	การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม (C_{TG}) โดยเปรียบเทียบทิศทาง การหมุนของท่อเจ็ทในกรณี Sr52-P และ Sr52-W ที่ $x/r_d = 0.25$	215
รูปที่ 3.29ก	Centroid Trajectory ของ C_{TG} บนระนาบสมมาตร (\bar{y}_T) เปรียบเทียบกันในกรณีเจ็ทไม่หมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ.....	216
รูปที่ 3.29ข	Centroid Trajectory ของ C_{TG} บนระนาบสมมาตร (\bar{y}_T) เปรียบเทียบกันในกรณีเจ็ทหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ.....	216
รูปที่ 3.29ค	Centroid Trajectory ของ C_{TG} บนระนาบสมมาตร (\bar{y}_T) เปรียบเทียบกันในกรณีเจ็ทไม่หมุนควงและกรณีเจ็ทหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ.....	217
รูปที่ 3.29ง	Centroid Trajectory ของ C_{TG} บนระนาบนอน (\bar{z}_T) เปรียบเทียบกันในกรณีเจ็ทไม่หมุนควงและกรณีเจ็ทหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ.....	217

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.30ก	Maximum decay ของ C_{TGmax} ตามแนว Downstream (x) ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ.....218
รูปที่ 3.30ข	Maximum decay ของ C_{TGmax} ตามแนว Downstream (x) ในกรณีเจ็ทหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ.....218
รูปที่ 3.30ค	Maximum decay ของ C_{TGmax} ตามแนว Downstream (x) ในกรณีเจ็ทไม่หมุนควงและกรณีเจ็ทหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ....219
รูปที่ 4.1	การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่าง Contour แสดงการกระจายตัวของ อุณหภูมิ (C_{TG}) และ Contour แสดงการกระจายตัวของความเร็วเฉลี่ยของ Zaman and Foss (1997) ในกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควง.....220
รูปที่ 4.2	อภิปรายแนวคิดบริเวณที่มีผลต่อกลไกการเกิด CVP เปรียบเทียบกันระหว่างงาน วิจัยนี้กับงานวิจัยของ Kelso et al. (1996).....221
รูปที่ 4.3	การเปรียบเทียบผลการกระจายของ C_{TG} กรณีที่เจ็ทหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ ตำแหน่งต่างๆ ในการศึกษาเบื้องต้นกับงานวิจัยนี้.....222
รูปที่ 4.4	การเปรียบเทียบรูปร่าง Contour ของอุณหภูมิในงานวิจัยนี้ กับ Contour ของ ปริมาณ Scalar concentration จาก Niederhaus et al. (1997).....223

รายการสัญลักษณ์

A	พื้นที่หน้าตัดรวมของเจ็ท
C_T	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (Coefficient of temperature)
C_{TG}	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม (Global coefficient of temperature)
C_{TL}	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะหน้าตัด (Local coefficient of temperature)
d	ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางเจ็ท
Fr	Densimetric Froude number
h, h_j, h_{cf}	เอนทาลปีของเจ็ทอากาศหลังการผสม, เอนทาลปีเริ่มต้นของเจ็ท และ เอนทาลปีเริ่มต้นของกระแสดมขวาง
L	ตำแหน่ง Leeward
$\dot{m}, \dot{m}_j, \dot{m}_{cf}$	อัตราการไหลโดยมวลของเจ็ทอากาศหลังการผสม, อัตราการไหลโดยมวลเริ่มต้นของเจ็ท และอัตราการไหลโดยมวลเริ่มต้นของกระแสดมขวาง
Nu	ค่า Nusselt number
P	ตำแหน่ง Pressure
PL	ตำแหน่ง Pressure-Leeward
PW	ตำแหน่ง Pressure-Windward
r	อัตราส่วนความเร็วประสิทธิผล (Effective velocity Ratio) ระยะตามแนวรัศมีของเจ็ท
r_d	อัตราส่วนความหนาแน่นระหว่างเจ็ทและกระแสดมขวาง (Density ratio)
r_m	อัตราส่วนโมเมนตัมระหว่างเจ็ทและกระแสดมขวาง (Momentum ratio)
r_v	อัตราส่วนความเร็วระหว่างเจ็ทและกระแสดมขวาง (Velocity ratio)
R	รัศมีของท่อเจ็ท
Re_{cf}	เรย์โนลด์สจำนวนเบอร์ (Reynolds Number) เทียบกับความเร็วในแนวแกนของกระแสดมขวาง
Re_j	เรย์โนลด์สจำนวนเบอร์ (Reynolds Number) เทียบกับความเร็วในแนวแกนของเจ็ท
S	ตำแหน่ง Suction
SL	ตำแหน่ง Suction -Leeward
SW	ตำแหน่ง Suction -Windward
Sr	อัตราส่วนสเวิร์ล (Swirl ratio)
T_j	อุณหภูมิของเจ็ทอากาศที่ปากเจ็ท
\bar{T}_j	อุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ (Area-averaged temperature) ที่ปากเจ็ท

T_{cf}	อุณหภูมิของกระแสลมขวาง
T_{max}	อุณหภูมิสูงสุดตามแนวที่ทำการวัด
T_r	อุณหภูมิบรรยากาศ (Room temperature)
u	ความเร็วในแนวแกนที่ตำแหน่งใดๆ
u_{cf}	ขนาดความเร็วของกระแสลมขวาง
\bar{u}_{cf}	ความเร็วเฉลี่ยนอกชั้นขอบเขตของกระแสลมขวาง
\bar{u}_j	ความเร็วตามแนวแกนเฉลี่ยแบบพื้นที่ (Area-averaged axial velocity) ที่ปากเจ็ท
u_{max}	ความเร็วตามแนวแกนสูงสุดตามแนวที่ทำการวัด
W	ตำแหน่ง Windward
w	ความเร็วตามแนวสัมผัสของเจ็ทที่ตำแหน่งใดๆ
w_p	ความเร็วตามแนวสัมผัสของท่อเจ็ท
w_R	ความเร็วตามแนวสัมผัสของเจ็ทที่ขอบท่อเจ็ท
x, y, z	ระยะตามแนว Downstream, Transverse และ Spanwise ตามพิกัดอ้างอิงหลัก
\bar{y}_T	Centroid trajectory ของอุณหภูมিবรรนาบสมมาตร (ระนาบ x-y)
\bar{z}_T	Centroid trajectory ของอุณหภูมিবรรนาบแนวนอน (ระนาบ x-z)

อักษรกรีก

Ω	ความเร็วเชิงมุมของท่อเจ็ท
δ	ค่าความไม่แน่นอนในการทดลอง (Uncertainty)
$\delta_{0.95}$	ความหนาของชั้นขอบเขตที่ตำแหน่งซึ่งมีความเร็วเป็น 95% ของความเร็วเฉลี่ยนอกชั้นขอบเขตของกระแสลมขวาง
ρ_j	ค่าความหนาแน่นของเจ็ทอากาศ
ρ_{cf}	ค่าความหนาแน่นของกระแสลมขวาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย