

การศึกษาการไหลของอากาศผ่านแฉกเปเปอร์



นายสุธรรม ม้าศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-293-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A STUDY ON AIR FLOW THROUGH DAMPERS**



**Mr. Sutham Masri**

สถาบันวิทยบริการ

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

**Department of Mechanical Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 1998**

**ISBN 974-331-293-5**

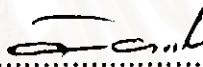
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาการไหลของอากาศผ่านแคมเปอร์  
โดย                              นายสุธรรม ม้าศรี  
ภาควิชา                        วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา            อาจารย์ ดร.อสี บุญจิตราดุลย์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      อาจารย์ ดร.สมประสงค์ ศรีชัย


---

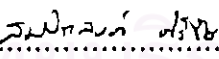
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์นายแพทย์สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา ขงเจริญ)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร.อสี บุญจิตราดุลย์)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์ ดร.สมประสงค์ ศรีชัย)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ไชยะกิ้นันท์)

  
.....กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เฉชะอำไพ)

สุวรรณ มีาศรี : การศึกษาการไหลของอากาศผ่านแดมเปอร์ (A STUDY ON AIR FLOW THROUGH DAMPERS) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. อติ บุญจิตราดุลย์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร. สมประสงค์ ศรีชัย ; 182 หน้า.  
ISBN 974-331-293-5

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาการไหลของอากาศผ่านแดมเปอร์ชนิด 1 และ 3 แผ่น ซึ่งทำมุมกับการไหล 30 และ 45 องศา ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีสภาวะเริ่มต้นเป็นแบบความเร็วสม่ำเสมอ และ Reynolds number ซึ่งคำนวณจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก ประมาณ 72,000 พบว่า การไหลของอากาศผ่านแดมเปอร์ชนิด 1 แผ่น มุม 30 และ 45 องศา (D1-30 และ D1-45) มีลักษณะการกระจายความดันรวมทั้งบริเวณหลังแดมเปอร์ ( $x/D \leq 2$ ) คล้ายคลึงกันโดยแบ่งเป็นบริเวณที่มีความดันรวมสูงซึ่งมีลักษณะคล้ายเจ็ท 2 บริเวณ คือ บริเวณด้านบนซึ่งมีลักษณะของการไหลผ่านแผ่นแดมเปอร์คล้ายกับการไหลผ่านคิฟฟิวเซอร์ และบริเวณด้านล่างซึ่งมีลักษณะของการไหลผ่านแผ่นแดมเปอร์คล้ายกับการไหลผ่านนอซเซิล แต่จะมีลักษณะที่แตกต่างกันคือ กรณี D1-30 จะเกิดการรวมตัวของเจ็ทด้านบนนอซเซิลและคิฟฟิวเซอร์ที่  $x/D = 4$  โดยความดันรวมซึ่งมีค่ามากที่ด้านคิฟฟิวเซอร์จะหายไป แต่ความดันรวมซึ่งมีค่ามากทางด้านนอซเซิลจะยังคงอยู่ และสลายไปที่ระยะประมาณ  $x/D = 8$  ในทางกลับกันในกรณี D1-45 การกระจายตัวของความดันรวมทั้งค่ามากทางด้านนอซเซิลจะมีลักษณะคล้ายกับการกระจายตัวของความดันรวมของ vortex pairs แบบ common flow-down โดย vortex จะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามการพัฒนาของการไหล จนกระทั่งที่ระยะประมาณ  $x/D = 8$  จะเกิดการรวมตัวของ vortex ซึ่งสำหรับทั้ง 2 กรณี จะสามารถประมาณได้ว่า บริเวณที่มีการผสมกันโดยอิทธิพลของความปั่นป่วนที่เกิดจากการรวมตัวของเจ็ท หรือ vortex จะอยู่ในช่วง  $x/D \leq 8-12$

สำหรับในกรณีแดมเปอร์ชนิด 3 แผ่น มุม 45 องศา (D3-45) บริเวณด้านล่างจะมีการกระจายตัวของความดันรวมสูงแบ่งเป็นชั้น ๆ ความลักษณะของเจ็ทที่เกิดขึ้นจากการไหลผ่านนอซเซิล และบริเวณด้านบนจะมีการกระจายตัวของความดันรวมต่ำอย่างสม่ำเสมอตามลักษณะของการไหลผ่านคิฟฟิวเซอร์ และที่  $x/D = 4$  เป็นต้นไป การพัฒนาของการไหลจะมีลักษณะคล้ายกับกรณี D1-30 และไม่แสดงอิทธิพลของ vortex ให้เห็นได้อย่างเด่นชัด

ในแง่ของการกระจายความดันสถิตตามความยาวท่อจะพบว่า สำหรับทุกกรณีทดลองจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันคือ ความดันสถิตจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงระยะ 3D แรกที่ด้านหลังแผ่นแดมเปอร์ จากนั้นจะฟื้นตัวขึ้นอีกครั้งจนถึงค่าสูงสุดภายในช่วง 6D แรก ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดของ effective area

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล .....  
ปีการศึกษา ..... 2541 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# # C816278 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: DAMPER / FULLY DEVELOPED FLOW / LOSS COEFFICIENT / SQUARE DUCT

SUTHAM MASRI : A STUDY ON AIR FLOW THROUGH DAMPERS. THESIS ADVISOR :

ASI BUNYAJITRADULYA, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : SOMPRASONG SRICHAI, Ph.D. 182 pp.

ISBN 974-331-293-5

A set of experiments was performed to study airflow through 1- and 3-blade dampers in a square duct, with damper angle of 30 and 45 degrees with respect to the freestream, Reynolds number based on the duct hydraulic-diameter of 72,000, and uniform inflow. For the case of the 1-blade damper, the total pressure distribution in the near field ( $x/D \leq 2$ ) exhibited peaks and valleys. Specifically, in both cases of 30- and 45-degree damper angle (D1-30 and D1-45), peaks were found on both the diffuser- and nozzle-sides, indicating the jet-like characteristics of the flow in those regions. As the flow developed, however, the two cases displayed different dominant characteristics. Case D1-30 exhibited the merging of the jets from the diffuser- and nozzle-sides at  $x/D = 4$ . After the merge, the peak on the diffuser-side disappeared while the peak on the nozzle-side, though decayed, still remained upto approximately  $x/D = 8$ . On the other hand, Case D1-45 exhibited the commonflow-down vortex-pair-like characteristics on the nozzle-side. The cores grew as the flow developed upto approximately  $x/D = 8$  where the pair merged. In both cases, the transition region can be roughly defined as the region where active turbulent mixing occurred, be it governed by the merging of the jets or of the vortices. This corresponds to  $x/D \leq 8-12$ .

On the contrary, in the near field of the case of 3-blade damper with 45-degree damper angle (D3-45), peaks were found staggering in the lower-half (the nozzle-half) of the duct - leaving the upper-half (the diffuser-half) a uniform region of low total pressure - indicating layers of jet-like flow in this region. After  $x/D = 4$ , the flow developed in much the same way as D1-30 and no dominating vortex pairs was observed.

The static pressure distributions along the duct for all cases displayed similar characteristics. That is, a sharp drop to a minimum occurred within the first three diameters followed by a subsequent recovery to a maximum within the first six diameters. This could be explained by the changing of the effective flow area in the transition region.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต.....*สมพร*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*สมพร*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*สมพร นรวิ*.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในทุก ๆ ด้านจาก อาจารย์ ดร.อศิ บุญจิตราคุลย์ และอาจารย์ ดร.สมประสงค์ ศรีชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนการถ่ายทอดวิชาความรู้ต่าง ๆ ในการวิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ขงเจริญ รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เฉชะอำไพ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เฉชะอำไพ ที่กรุณาให้การดูแลในทุก ๆ ด้านตั้งแต่ผู้วิจัยเริ่มศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา จึงขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของอาจารย์มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณโครงการ Marine ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่สนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบคุณ คุณชาญณรงค์ อัสวเทศานุภาพ และคุณทวิชาติ กิตติรัตนากรณ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยโดยตลอด คุณเขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์ ที่ช่วยในการจัดการและโปรแกรมข้อมูลโดยใช้ Matlab ตลอดจนน้องนิสิตใน FMRL ทุกคนและ Senior Project จากภาควิชาวิศวกรรมเคมี ทุกกลุ่มที่มีส่วนช่วยในงานวิจัย รวมถึงเพื่อน ๆ ปรียัญญาโททุกคนที่เป็นกำลังใจให้

ขอขอบคุณ คุณตันติ วัฒนานุสรณ์ คุณวัฒนา ศรีวางนะ ที่ช่วยค้นหาข้อมูลเพิ่มเติมในบางส่วน

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ ๆ ที่ให้การสนับสนุนในด้านทุนทรัพย์ ทั้งทางด้านการศึกษา และการวิจัย รวมถึงกำลังใจที่มอบให้ จึงทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ในที่สุด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
รายการสัญลักษณ์ .....	ค
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
1.5 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา .....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี .....	4
2.1 การพัฒนาของการไหลภายในท่อ .....	4
2.2 การไหลแบบราบเรียบภายในท่อ .....	5
2.2.1 ท่อกลม .....	5
2.2.2 ท่อสี่เหลี่ยมมุมฉาก .....	7
2.3 การไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ .....	8
2.3.1 ท่อกลม .....	8
2.3.2 ท่อสี่เหลี่ยมมุมฉาก.....	9
2.4 ความดันสูญเสีย .....	9

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง .....	12
3.1 ลักษณะทั่วไปของชุดทดลอง .....	12
3.2 การวัดความดันรวม .....	13
3.3 การวัดความดันสถิต .....	14
3.4 เครื่องมืออ่านค่าความดัน .....	14
บทที่ 4 ผลการทดลอง .....	15
4.1 การกระจายความดันรวมภายในหน้าตัด .....	15
4.2 ความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด .....	25
4.3 การกระจายตัวของความดันรวมเฉลี่ย .....	30
4.4 ความเบี่ยงเบนของความดันรวม .....	32
4.5 การกระจายตัวของความดันสถิต .....	34
4.6 สัมประสิทธิ์การสูญเสีย .....	37
4.7 ความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ .....	38
4.8 ความเบี่ยงเบนของความเร็ว .....	39
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง .....	41
5.1 อภิปรายผลการทดลอง .....	41
5.2 บทสรุป .....	42
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	43
ประมวลตาราง .....	44
ประมวลรูปภาพ .....	47
รายการอ้างอิง .....	124



## สารบัญ

	หน้า
ภาคผนวก .....	127
ภาคผนวก ก .....	128
ภาคผนวก ข .....	131
ภาคผนวก ค .....	132
ภาคผนวก ง .....	158
ประวัติผู้เขียน .....	182

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ค่าคงที่ $C$ ตามสมการ (2.7)	45
ตารางที่ 2.2	ค่า $K(\infty)$ ของการไหลแบบพัฒนาเต็มที่ในท่อสี่เหลี่ยม	45
ตารางที่ 2.3	ระยะความยาวทางเข้าของการไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลม	45
ตารางที่ 4.1	ค่าความดันต่ำสุด-สูงสุด และตำแหน่งซึ่งเกิดการพ่นตัวสูงสุด ของความดัน	46
ตารางที่ 4.2	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย	46



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	การไหลแบบราบเรียบภายในท่อกลม	48
รูปที่ 2.2	ค่า $K(x)$ ในบริเวณทางเข้าของท่อกลม ตาม Schimidt and Zeldin (1969)	49
รูปที่ 2.3	ค่า friction coefficient ที่ผิวในบริเวณทางเข้าของท่อกลม ตาม Langhaar (1942)	49
รูปที่ 2.4	ความเร็วของการไหลที่กระจายอยู่ในท่อสี่เหลี่ยมซึ่งมีค่า $\beta = 2/7$ , $Re = 6 \times 10^5$ ก) การไหลปั่นป่วน ข) การไหลทุติยภูมิ	50
รูปที่ 3.1	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดทดลอง	51
รูปที่ 3.2	ภาพแสดงคิฟิวเซอร์แบบ curved wall	52
รูปที่ 3.3	ภาพแสดงส่วนทดสอบและตำแหน่งรูเจาะด้านข้างของท่อ	52
รูปที่ 3.4	การกำหนดตำแหน่ง $x/D$ ในการทดลอง	53
รูปที่ 3.5	ภาพแสดงลักษณะของแคมเปอร์ในส่วนทดสอบ	54
รูปที่ 3.6	ตำแหน่งในการวัดความดันรวมที่แต่ละหน้าตัดของท่อ	55
รูปที่ 3.7	ภาพแสดงการวัดความดันสถิตเฉลี่ยภายในหน้าตัด โดยการ ใช้ pressure tap และ header	56
รูปที่ 4.1	การกระจายของความดันรวม กรณี D0-0 ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5	57
รูปที่ 4.1(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D0-0 ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12	58
รูปที่ 4.1(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D0-0 ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32	59
รูปที่ 4.1(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D0-0 ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56	60
รูปที่ 4.1(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D0-0 ที่ $x/D = 60$	61
รูปที่ 4.2	การกระจายของความดันรวมในระนาบตามความยาวท่อ กรณี D0-0	62
รูปที่ 4.3	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-30 ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5	63
รูปที่ 4.3(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-30 ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12	64
รูปที่ 4.3(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-30 ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32	65

รูปที่ 4.3(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-30 ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56	66
รูปที่ 4.3(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-30 ที่ $x/D = 60$	67
รูปที่ 4.4	ภาพจำลองแสดงลักษณะเสมือนการไหลผ่านนอซเซิลและคิฟฟิวเซอร์ ของการไหลของอากาศผ่านแแคมเปอร์	68
รูปที่ 4.5	ภาพถ่ายแสดง stagnation streamline ของการไหลของอากาศผ่าน แแคมเปอร์	68
รูปที่ 4.6	ภาพแสดงการรวมตัวของลำเจ็ทของอากาศทางด้านบนและด้านล่าง ของท่อ	68
รูปที่ 4.7	การกระจายของความดันรวมในระนาบตามความยาวท่อ กรณี D1-30	69
รูปที่ 4.8	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = -2, 2, 4, 6, 8$ และ 10	70
รูปที่ 4.8(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = 12, 14, 16, 18, 20$ และ 22	71
รูปที่ 4.8(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = 24, 26, 28, 30, 32$ และ 34	72
รูปที่ 4.8(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = 36, 38, 40, 42, 44$ และ 46	73
รูปที่ 4.8(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = 48, 50, 52, 54, 56$ และ 58	74
รูปที่ 4.8(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D1-45 ที่ $x/D = 60$	75
รูปที่ 4.9	การกระจายของความดันรวมในระนาบตามความยาวท่อ กรณี D1-45	76
รูปที่ 4.10	การกระจายของความดันรวม กรณี D3-45 ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5	77
รูปที่ 4.10(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D3-45 ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12	78
รูปที่ 4.10(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D3-45 ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32	79
รูปที่ 4.10(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D3-45 ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56 .	80
รูปที่ 4.10(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D3-45 ที่ $x/D = 60$	81
รูปที่ 4.11	การกระจายของความดันรวมในระนาบตามความยาวท่อ กรณี D3-45	82

รูปที่ 4.12	การกระจายของความดันรวม กรณี D3-30 ที่ $x/D = -2, 5, 7, 9, 16$ และ 44	83
รูปที่ 4.12(ต่อ)	การกระจายของความดันรวม กรณี D3-30 ที่ $x/D = 48, 52$ และ 60	84
รูปที่ 4.13	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D0-0 ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5	85
รูปที่ 4.13(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D0-0 ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12	86
รูปที่ 4.13(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D0-0 ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32	87
รูปที่ 4.13(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D0-0 ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56	88
รูปที่ 4.13(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D0-0 ที่ $x/D = 60$	89
รูปที่ 4.14	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-30 ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ 5	90
รูปที่ 4.14(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-30 ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ 12	91
รูปที่ 4.14(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-30 ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ 32	92
รูปที่ 4.14(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-30 ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ 56	93
รูปที่ 4.14(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-30 ที่ $x/D = 60$	94
รูปที่ 4.15	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45 ที่ $x/D = -2, 2, 4, 6, 8$ และ 10	95
รูปที่ 4.15(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45 ที่ $x/D = 12, 14, 16, 18, 20$ และ 22	96
รูปที่ 4.15(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45 ที่ $x/D = 24, 26, 28, 30, 32$ และ 34	97

รูปที่ 4.15(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45 ที่ $x/D = 36, 38, 40, 42, 44$ และ $46$	98
รูปที่ 4.15(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45 ที่ $x/D = 48, 50, 52, 54, 56$ และ $58$	99
รูปที่ 4.15(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D1-45 ที่ $x/D = 60$	100
รูปที่ 4.16	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D3-45 ที่ $x/D = -2, 1, 2, 3, 4$ และ $5$	101
รูปที่ 4.16(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D3-45 ที่ $x/D = 6, 7, 8, 9, 10$ และ $12$	102
รูปที่ 4.16(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D3-45 ที่ $x/D = 14, 16, 20, 24, 28$ และ $32$	103
รูปที่ 4.16(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D3-45 ที่ $x/D = 36, 40, 44, 48, 52$ และ $56$	104
รูปที่ 4.16(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวมภายในหน้าตัด กรณี D3-45 ที่ $x/D = 60$	105
รูปที่ 4.17	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวม ภายในหน้าตัด กรณี D0-0 ที่ $x/D = -2, 5, 7, 9, 16, 44$	106
รูปที่ 4.17(ต่อ)	Contour แสดงค่าความแตกต่างของความดันรวม ภายในหน้าตัด กรณี D0-0 ที่ $x/D = 48, 52$ และ $60$	107
รูปที่ 4.18	กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันรวมตามความยาวท่อ กรณี D0-0 และ D1-30	108
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันรวมตามความยาวท่อ กรณี D1-45	108
รูปที่ 4.20	กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันรวมตามความยาวท่อ กรณี D3-45	109
รูปที่ 4.21	กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันรวมตามความยาวท่อ กรณี D3-30	109
รูปที่ 4.22	กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันรวมตามความยาวท่อ ของทุกกรณีทดลอง	110

รูปที่ 4.23	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวม กรณี D0-0	111
รูปที่ 4.24	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวม กรณี D1-30	111
รูปที่ 4.25	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวม กรณี D1-45	112
รูปที่ 4.26	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวม กรณี D3-45	112
รูปที่ 4.27	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวม กรณี D3-30	113
รูปที่ 4.28	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความดันรวมของทุกกรณีทดลอง	113
รูปที่ 4.29	กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันสถิตตามความยาวท่อ กรณี D0-0 และ D1-30	114
รูปที่ 4.30	กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันสถิตตามความยาวท่อ กรณี D1-45	114
รูปที่ 4.31	กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันสถิตตามความยาวท่อ กรณี D3-45	115
รูปที่ 4.32	กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันสถิตตามความยาวท่อ กรณี D3-30	115
รูปที่ 4.33	กราฟแสดงการกระจายตัวของความดันสถิตตามความยาวท่อ ของทุกกรณีทดลอง	116
รูปที่ 4.34	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ กรณี D0-0	117
รูปที่ 4.35	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ กรณี D1-30	117
รูปที่ 4.36	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ กรณี D1-45	118
รูปที่ 4.37	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ กรณี D3-45	118
รูปที่ 4.38	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วในแนวกึ่งกลางท่อ กรณี D3-30	119
รูปที่ 4.39	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่างๆ กรณี D0-0	120
รูปที่ 4.40	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่างๆ กรณี D1-30	120
รูปที่ 4.41	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่างๆ กรณี D1-45	121
รูปที่ 4.42	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่างๆ กรณี D3-45	121

รูปที่ 4.43	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่างๆ กรณี D3-30	122
รูปที่ 4.44	กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนของความเร็วที่หน้าตัดต่างๆ ของทุกกรณี ทดลอง	122
รูปที่ 5.1	ภาพแสดงลักษณะของ vortex แบบ common flow down (Pauley และ Eaton(1988))	123



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการสัญลักษณ์

$C_{f,app}$	apparent friction coefficient
$C_{f,p}$	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลแบบพัฒนาเต็มที่
$C_f$	สัมประสิทธิ์ความดัน
$C_{P_o}$	สัมประสิทธิ์ความดันรวม
$D$	เส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสม
$D_h$	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก
$g$	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
$h_l$	ความดันสูญเสียหลัก
$h_{lm}$	ความดันสูญเสียรอง
$h_{lT}$	ความดันสูญเสียรวม
$K$	สัมประสิทธิ์การสูญเสีย
$K(x)$	ความดันลดส่วนเกินในบริเวณทางเข้า
$L$	ความยาวท่อ
$P$	ความดันสถิตเฉลี่ยในหน้าตัด
$P_o$	ความดันรวม
$Re$	Reynolds Number
$U$	ความเร็วสม่ำเสมอ
$V$	ความเร็ว
$x$	ความยาวที่ตำแหน่ง $x$
$x_L$	ความยาวทางเข้า

## อักษรกรีก

$\beta$	อัตราส่วนความยาวด้าน
$\theta$	มุมเอียงของแคมเปอร์
$\rho$	ความหนาแน่น
$\sigma$	ค่าความเบี่ยงเบน
$\varepsilon$	variation ที่เกิดขึ้นในหน้าตัดของการไหล

**ตัวห้อย**

0	ตำแหน่งเริ่มต้นตรงทางเข้าของท่อ
1	ทางเข้า
2	ทางออก
$P_0$	ความดันรวม
V	ความเร็ว
x	ที่ตำแหน่ง x (นับจากทางเข้า)
ref	จุดอ้างอิง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย