

การพาความร้อนแบบลามินาร์ในท่อสามเหลี่ยมมุมฉาก
โดยให้ความร้อนต่อพื้นผิวคงที่



นายอนุสรณ์ ชินสุวรรณ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ. ศ. 2537

ISBN 974 - 584 - 065 - 3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I1433 4604

LAMINAR FORCED CONVECTION IN A RIGHT TRIANGULAR DUCT
WITH CONSTANT HEAT FLUX

MR. ANUSORN CHINSUWAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University


1994

ISBN 974 - 584 - 065 - 3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพาความร้อนแบบลามินาร์ในท่อสามเหลี่ยมมุมฉากโดยให้ความร้อน
ต่อพื้นผิวคงที่
โดย นายอนุสรณ์ ชินสุวรรณ
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง




บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

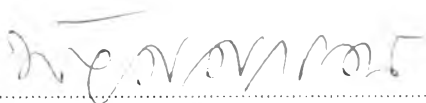

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากัย)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ศักดิ์ มะลิลา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรรย์ญากรณ์)



พิมพ์ด้วยกระดาษพิมพ์ดีด โดยบริษัทพิมพ์ดีดไทย จำกัด กรุงเทพมหานคร

อนุสรณ์ ชินสุวรรณ : การหาความร้อนแบบลามินาร์ในท่อสามเหลี่ยมมุมฉากโดยให้
ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่ (LAMINAR FORCED CONVECTION IN A RIGHT TRIANGULAR
DUCT WITH CONSTANT HEAT FLUX) อ.ที่ปรึกษา รศ.ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง,
93 หน้า. ISBN 974-584-065-3

การวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย การออกแบบและสร้าง เครื่องมือสำหรับทดลอง เพื่อหาข้อมูล เกี่ยว-
กับการหาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ที่มีการไหลแบบลามินาร์ (Laminar)
ในช่วงที่มีการแจกแจงรูปร่างของความเร็ว และอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนแปลงพร้อม ๆ กัน (Simultaneously
Developing Velocity and Temperature Profiles) และให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่ โดยมี
อากาศเป็นตัวพาความร้อน ผลการทดลองได้นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข
(Numerical Method) ที่มีอยู่แล้ว พบว่าค่า Nusselt Number ที่ได้จากการทดลอง มีการเบี่ยง-
เบนไปจากค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Method) โดยจะมีค่าสูงกว่าในช่วงที่มี
อัตราส่วนของความยาวท่อต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกสูง ๆ และจะมีค่าต่ำกว่าในช่วงที่มี Reynolds
Number ต่ำ ๆ ผลการทดลองได้นำมาสร้างเป็นสูตร Empirical เพื่อใช้ในการออกแบบอุปกรณ์
แลกเปลี่ยนความร้อนต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2536

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกหาร่วม

C315699 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: LAMINAR / RIGHT TRIANGULAR / HEAT FLUX CONSTANT

ANUSORN CHINSUWAN : LAMINAR FORCED CONVECTION IN A RIGHT TRIANGULAR DUCT WITH CONSTANT HEAT FLUX. THESIS ADVISOR :

ASSO. PROF. KULTHORN SILAPABANLENG, Ph.D. 93 pp.

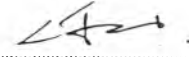
ISBN 974-584-065-3

The equipment was designed and constructed for the investigation of laminar forced convection in the right-angled isoscales triangular duct with simultaneously developing velocity and temperature profiles with the thermal boundary condition of constant heat flux. Air was the heat transfer medium. Experimental results were obtained and compared with the existing numerical solutions. Comparisons show that experimentally obtained Nusselt Numbers at the high length-hydraulic diameter ratio are higher than those predicted from numerical solutions, moreover those experimental Nusselt Numbers are found to be lower than the numerical solutions at low Reynolds Number regions. An empirical formula, covering laminar region, is suggested for adoption in heat exchanger designing and development.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา.....2536

ลายมือชื่อผู้ผลิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง ที่ท่านได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษาและให้ข้อคิดเห็น เกี่ยวกับการดำเนินงานและในการแก้ปัญหาตลอดเวลาในการทำวิจัย งานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอระลึกถึงความกรุณาของ ศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา วิบูลสวัสดี, รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ดี มะลิลา และรองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จริญญาภรณ์ ในการที่ท่านได้กรุณาช่วยให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้ พร้อมกันนี้ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณ นายกิตติพงษ์ เจาจารย์ก, นายอโศก วรรณสูต, นายนที ศรีวรวิทย์ และนายปรีดี เฉลิมแสน ผู้ซึ่งได้อำนวยความช่วยเหลือทางด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ งานพิมพ์และเขียนแบบ

อนึ่งผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้สนับสนุนช่วยเหลือทุกสิ่ง อันเป็นผลทำให้งานวิจัยสำเร็จด้วยดีมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ



	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติมากรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ด
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 สาเหตุและที่มาของปัญหา	1
1.2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. ทฤษฎี	6
2.1 การไหลภายใน	6
2.1.1 สภาพการไหล	6
2.1.2 สภาพทางความร้อน	8
2.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	9
2.3 ตัวเลขนัสเสิลท์	11
2.4 การไหลในท่อที่มีหน้าตัดไม่เป็นวงกลม	11
2.5 สมการอนุพันธ์เบื้องต้น	12
2.5.1 สมการโมเมนต์	12
2.5.2 สมการพลังงาน	13
2.6 สมดุลพลังงาน	15

บทที่	หน้า
2.7 ความสัมพันธ์ของทฤษฎีกับการทดลอง	19
2.7.1 ค่าเฉลี่ยแบบถ้อยของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน , ผลต่างของอุณหภูมิและตัวเลขนัสเสิลท์	19
2.7.2 ความสัมพันธ์ของ Nu_l กับการพาความร้อนภายในท่อ	23
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	25
3.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องมือ	25
3.2 ส่วนทดสอบ	26
3.3 กล้องผสม	28
3.4 ออร์ฟิสมิเตอร์	29
3.5 กล้องระบายอากาศ	31
3.6 พัดลม	32
3.7 การวัดอุณหภูมิ	32
3.7.1 อุณหภูมิที่ปากทางเข้าของส่วนทดสอบ	32
3.7.2 อุณหภูมิที่ปากทางออกของส่วนทดสอบ	32
3.7.3 อุณหภูมิของผิวส่วนทดสอบ	32
4. การดำเนินการวิจัย	35
4.1 วิธีการทดลอง	35
5. ผลการวิจัย	36
5.1 ผลการทดลอง	36
5.2 สมการ Empirical	38
5.3 สรุปผลการทดลอง	41
5.4 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	
ประวัติผู้เขียน	

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

- ก.1 ผลการทดลองการพาความร้อนแบบบังคับในท่อสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยมีการให้ความร้อนต่อพื้นผิวคงที่ ในช่วงการไหลแบบลามินาร์ (Laminar) ขณะทีรูปร่างและความเร็วของอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อม ๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles)
- ก.2 ผลการทดลองการพาความร้อนแบบบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยมีการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่ในช่วงการไหลแบบลามินาร์ (Laminar) ขณะทีรูปร่างของความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อม ๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles)
- ก.3 ผลของการคำนวณค่าที่ได้จากการทดลองการพาความร้อนแบบบังคับ ในท่อสามเหลี่ยมมุมฉากโดยมีการให้ความร้อนต่อพื้นผิวคงที่ ในช่วง การไหลแบบลามินาร์ (Laminar) ขณะทีรูปร่างความเร็วและ อุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อม ๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles)

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลง Boundary Layer ในท่อกลม	6
2.2 การเปลี่ยนแปลง Thermal Boundary Layer ในท่อกลม	8
2.3 การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามทิศทางการไหล	10
2.4 แกนพิกัด	12
2.5 แสดงปริมาณควบคุมของการไหลในท่อ	15
2.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผิวท่อ (T_s) และอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล (T_m) ตามทิศทางการไหลของของไหล	18
3.1 แสดงแผนภาพการไหลของอากาศ	25
3.2 แสดงโครงสร้างของส่วนทดสอบ	27
3.3 แสดงรายละเอียดของส่วนทดสอบ	28
3.4 แสดงรายละเอียดของกล่องผสม	29
3.5 ออร์ฟิสมิเตอร์	30
3.6 แสดงการวัดเทียบอัตราการไหลของอากาศโดยเครื่องวัดมาตรฐาน	31
3.7 กล่องระบายอากาศ	31
3.8 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล	33
3.9 วงจรในการวัดอุณหภูมิ	34
5.1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยแบบ log ของ Nusselt Number (Nu_f) ที่วัดได้กับ Graetz Number (Gz) ของท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ในช่วงการไหล แบบลามินาร์ (Laminar) โดยมีรูปร่างการแจกแจงของความเร็วและอุณหภูมิ กำลังเปลี่ยนรูปร่างพร้อม ๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) และมีการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่	43
5.2 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยแบบ log ของ Nusselt Number (Nu_f) ที่วัดได้กับ Graetz Number (Gz) ของท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ในช่วงการไหล แบบลามินาร์ (Laminar) โดยมีรูปร่างการแจกแจงของความเร็วและอุณหภูมิ	

รูปที่

หน้า

	กำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) และมีการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่ บนกระดาด	
	log - log	44
5.3	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยแบบ log ของ Nusselt Number (Nu_L) ที่วัดได้กับ Graetz Number (Gz) ของท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ในช่วงการไหลแบบลามินาร์ (Laminar) โดยมีรูปร่างการแจกแจงของความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อม ๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) และมีการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่	45
5.4	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยแบบ log ของ Nusselt Number (Nu_L) ที่วัดได้กับ Graetz Number (Gz) ของท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ในช่วงการไหลแบบลามินาร์ (Laminar) โดยมีรูปร่างการแจกแจงของความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อม ๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) และมีการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่ บนกระดาด	
	log - log	46
5.5	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยแบบ log ของ Nusselt Number (Nu_L) ที่วัดได้กับ Graetz Number (Gz) ของท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉากและสามเหลี่ยมด้านเท่า ในช่วงการไหลแบบลามินาร์ (Laminar) โดยมีรูปร่างการแจกแจงของความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) และมีการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่	47
5.6	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยแบบ log ของ Nusselt Number (Nu_L) ที่วัดได้กับ $Re.Pr$ ของท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉากและสามเหลี่ยมด้านเท่า ในช่วงการไหลแบบลามินาร์ (Laminar) โดยมีรูปร่างการแจกแจงของความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อม ๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) และมีการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่ บนกระดาด	
	log - log	48
5.7	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยแบบ log ของ $Nu_L / (Re.Pr)^{0.919}$ ที่วัดได้กับ Z / D_h ของท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉากและสามเหลี่ยมด้านเท่า ในช่วงการไหลแบบ	

	ลามินาร์ (Laminar) โดยมีรูปร่างการแจกแจงของความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนแปลงพร้อม ๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) และมีการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่ บนกระดาด	
	log - log	49
5.8	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยแบบ log ของ $Nu_l / (Z / D_h)^{0.10}$ ที่วัดได้กับ Re.Pr ของท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉากและสามเหลี่ยมด้านเท่า ในช่วงการไหลแบบลามินาร์ (Laminar) โดยมีรูปร่างการแจกแจงของความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนแปลงพร้อม ๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) และมีการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่ บนกระดาด	
	log - log	50
5.9	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ log ของ Nusselt Number (Nu_l) จากสูตร Empirical ที่ได้ กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Method)	51
5.10	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยแบบ log ของ Nusselt Number (Nu_l) ที่วัดได้กับ Graetz Number (Gz) ของท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉากและสามเหลี่ยมด้านเท่า ในช่วงการไหลแบบลามินาร์ (Laminar) โดยมีรูปร่างการแจกแจงของความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนแปลงพร้อม ๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) และมีอุณหภูมิที่ผิวคงที่	52

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

- A - พื้นที่ (m^2)
- C - ค่าความร้อนจำเพาะ ($J/Kg \cdot K$)
- D - เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)
- L - ความยาว (m)
- P - เส้นรอบรูป (m), ความดัน (N/m^2)
- R - ค่าคงที่ของก๊าซ (KJ/mol)
- T - อุณหภูมิ (K)
- U - ความเร็ว (m/s)
- h - สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convective Heat Transfer Coefficient), ($W/m^2 \cdot K$)
- m - อัตราการไหลของของไหล (Kg/s)
- q - อัตราการให้ความร้อน ($W/m^2 \cdot s$)
- r - รัศมี (m)
- u,v,w- ความเร็วในทิศทาง x, y, z ตามลำดับ (m/s)
- z - ระยะทางจากปากทางเข้า

กลุ่มไร้มิติ (Dimensionless Group)

- Gz - Graetz Number
- Nu - Nusselt Number
- Pe - Peclet Number
- Pr - Prandtl Number
- Re - Reynolds Number

ตัวอักษรกรีก

- \varnothing - เครื่องมอดของสามเหลี่ยม
- δ - Boundary Layer Thickness
- ρ - ความหนาแน่น (Kg/m^3)
- μ - ความหนืด (Viscosity), (Kg/ s.m.)
- α - การกระจายความร้อนของของไหล (Thermal Fluid Diffusivity), (m^2/s)

ตัวห้อยท้าย (Subscript)

- c - หน้าตัด
- conv. - พาความร้อน (Convection)
- f - ของไหล
- fd - คงรูปแล้ว (Fully Developed)
- h - เกี่ยวข้องกับการไหล
- i - ที่ปากทางเข้า
- l - ค่าเฉลี่ยแบบ log
- m - ค่าเฉลี่ย
- o - ที่ปากทางออก
- p - ที่ความดันคงที่
- s - พื้นผิว
- t - เกี่ยวข้องกับความร้อน (Thermal)
- v - ที่ปริมาตรคงที่

สภาพการให้ความร้อนที่ผิว

- T - อุณหภูมิที่ผิวคงที่ (Constant Wall Temperature)
- H1 - การให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่ (Constant Heat Flux)