การพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อสามเหลี่ยมโดยให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่

นาย ฐิติภูมิ ผดุงญาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-511-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17956237

TURBULENT CONVECTION IN TRIANGULAR DUCT WITH CONSTANT HEAT FLUX

Mr. Thitipoom Padungyat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 1997

ISBN 974-638-511-9

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ฐิติภูมิ ผดุงญาติ : การพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อสามเหลี่ยมโดยให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่ (Turbulent convection in triangular duct with constant heat flux) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง , 65 หน้า. ISBN 974-638-511-9.

การศึกษาเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในช่วงปากทางเข้าของท่อมีความสำคัญมากสำหรับการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีความยาวสั้น สำหรับงานวิจัยนี้เป็น การสร้างอุปกรณ์ทดลองเพื่อศึกษาการพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าและท่อสามเหลี่ยมมุมฉากโดยการแจกแจงรูปร่างของความเร็วและอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปพร้อมๆ กันและให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวท่อคงที่ ค่าเรย์โนลด์สนัมเบอร์ที่ทำการทดลองอยู่ในช่วง 10,000 ถึง 35,000

ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าผลของปากทางเข้าจะทำให้ค่านัสเซลท์นัมเบอร์มีค่าสูงบริเวณใกล้ปากทางเข้าของท่อและจะลดลงเมื่อห่างจากปากทางเข้าของท่อที่ได้รับความร้อน เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับข้อมูลของ General Electric, Chen และ Chiou และ พงษ์ธร จรัญญากรณ์ พบว่าค่านัสเซลท์นัมเบอร์มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน และจากการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ได้สมการเอมไพริคัลไว้ใช้งานในช่วง $10 \le L/D_h \le 80$.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต ฐิติภูมิ ผดุงญาติ

สาขาวิชา - ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C716285 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD:
Convection / Heat Transfer / Triangular Duct / Turbulent / Heat Flux

THITIPOOM PADUNGYAT : TURBULENT CONVECTION IN TRIANGULAR DUCT WITH CONSTANT HEAT FLUX. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KULTHORN SILAPABANLENG, Ph.D.
65 pp. ISBN 974-638-511-9.

The study of convective heat transfer coefficients in the entrance region of pipes is important for application to short piped heat exchangers. This present work is to obtain an experimental study on turbulent force convection in equilateral and right-angled isosceles triangular ducts with simultaneously developing velocity and temperature profiles for thermal boundary condition of uniform heat flux with Reynolds number ranging from 10,000 to 35,000.

The experimental results show that the Nusselt numbers are higher near the entrance region and decreasing at sections farther from the entrance of the heated pipes. Comparisons the present work with those obtained by General Electric, Chen and Chiou and Pongstorn show the same trends of Nusselt number's variation. Empirical formulae correlated for equilateral and right-angled isosceles triangular ducts are recommended for pipes with $10 \le L/D_h \le 80$.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต ฐิติภูมิ ผดุงญาติ

สาขาวิชา - ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อสามเหลี่ยมโดยให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่

โดย นาย ฐิติภูมิ ผดุงญาติ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดำรงศักดิ์ มลิลา)

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

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง คณะกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์, รองศาสตราจารย์ ดำรงศักดิ์ มลิลา และ รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนวทางในการดำเนินการวิจัยจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ นายธีระชาติ พรพิบูลย์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับอุปกรณ์ในการวิจัย นายอุดร โพธิ์เชิด ที่ให้คำแนะนำในเรื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการวิจัย และนายสุวรรณ เอกาไล ที่ให้ความสะดวก ในด้านสถานที่สร้างอุปกรณ์ทดลอง

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตจนสำเร็จการศึกษา

ฐิติภูมิ ผดุงญาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
รายการสัญลักษณ์ ..... ฎ
ประมวลศัพท์ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 งานวิจัยของ Burggraf 4
2.2 งานวิจัยของ พงษ์ธร จรัญญากรณ์ 4
2.3 งานวิจัยของ กฤตย์ ศรีนภาสวัสดิ์ 5
2.4 งานวิจัยของ Chen และ Chiou 5
2.5 งานวิจัยของ Ramesh และ Prasad 5
2.6 งานวิจัยของ Nusselt 6
3 ทฤษฎี 7
3.1 การไหลภายในท่อ 7
3.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 9
3.3 ตัวเลขนัสเซลท์ 11

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

3.4 การไหลภายในท่อที่หน้าตัดไม่เป็นวงกลม 12
3.5 สมดุลพลังงาน 12
3.6 ความสัมพันธ์ของทฤษฎีกับการทดลองในการพาความร้อนภายในท่อ 16
3.7 รูปแบบของสมการเอมไพริคัลที่จะใช้ในงานวิจัย 18
4 อุปกรณ์ทดลองและการดำเนินงานวิจัย 21
4.1 ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์ 21
4.2 วิธีการทดลอง 28
5 ผลการวิจัย 29
5.1 ผลการทดลอง 29
5.2 สมการเอมไพริคัล 30
5.3 ข้อสรุป 32
5.4 ข้อเสนอแนะ 33
รายการอ้างอิง 42
ภาคผนวก 44
ภาคผนวก ก. 44
ภาคผนวก ข. 61
ประวัติผู้เขียน 65

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ก-1 ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองการพาความร้อนแบบบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งมีการไหลแบบเทอร์บิวเลนท์ (Turbulent) ในช่วงที่มีการแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) โดยมีสภาพการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 45

ก-2 ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองการพาความร้อนแบบบังคับในท่อสามเหลี่ยมมุมฉาก ซึ่งมีการไหลแบบเทอร์บิวเลนท์ (Turbulent) ในช่วงที่มีการแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) โดยมีสภาพการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 49

ก-3 ตารางที่ ก-3 ผลการคำนวณจากผลทดลองการพาความร้อนแบบบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าซึ่งมีการไหลเป็นแบบเทอร์บิวเลนท์ (Turbulent) ในช่วงที่มีการแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) โดยมีสภาพการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 53

ก-4 ตารางที่ ก-4 ผลการคำนวณจากผลทดลองการพาความร้อนแบบบังคับในท่อสามเหลี่ยมมุมฉากซึ่งมีการไหลเป็นแบบเทอร์บิวเลนท์ (Turbulent) ในช่วงที่มีการแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆ กัน (Simultaneously Developing Velocity and Temperature Profiles) โดยมีสภาพการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 57

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

3.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงชั้นขอบเขตความเร็วในท่อกลม..... 7
3.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงชั้นขอบเขตอุณหภูมิในท่อกลม..... 9
3.3 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในช่วงปากทางเข้าของท่อ..... 10
3.4 ปริมาตรควบคุมของท่อที่มีการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 11
3.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผิวท่อและอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล..... 12
4.1 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ทดสอบ..... 21
4.2 ส่วนทดสอบและระบบให้ความร้อน..... 23
4.3 กล่องผสม..... 23
4.4 กล่องระบายอากาศ..... 24
4.5 ออริฟิสมิเตอร์และมาโนมิเตอร์..... 25
4.6 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลบนผิวท่อ..... 26
4.7 วงจรสวิทช์เลือกจุดเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ..... 27
4.8 เทอร์โมมิเตอร์อินดิเคเตอร์..... 27
5.1 กราฟพล็อตระหว่าง นัสเซลท์นัมเบอร์ Nu_l กับเรย์โนลด์สนัมเบอร์ Re สำหรับการพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ในช่วงที่การแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปไปพร้อมๆ กัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 34
5.2 กราฟพล็อตระหว่าง นัสเซลท์นัมเบอร์ Nu_l กับเรย์โนลด์สนัมเบอร์ Re สำหรับการพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อสามเหลี่ยมมุมฉาก ในช่วงที่การแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปไปพร้อมๆ กัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 35
5.3 กราฟพล็อตระหว่าง นัสเซลท์นัมเบอร์ Nu_l กับเรย์โนลด์สนัมเบอร์ L / D_h สำหรับการพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ในช่วงที่การแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปไปพร้อมๆ กัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 36

รูปที่ หน้า

5.4 กราฟพล็อตระหว่าง นัสเซลท์นัมเบอร์ Nu_l กับเรย์โนลด์สนัมเบอร์ L/D_h สำหรับการพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อสามเหลี่ยมมุมฉาก ในช่วงที่การแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปไปพร้อมๆ กัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 37

5.5 กราฟพล็อตระหว่าง $\frac{Nu_l}{Nu_\infty}$ กับเรย์โนลด์สนัมเบอร์ L/D_h สำหรับการพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ในช่วงที่การแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปไปพร้อมๆ กัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 38

5.6 กราฟพล็อตระหว่าง $\frac{Nu_l}{Nu_\infty}$ กับเรย์โนลด์สนัมเบอร์ L/D_h สำหรับการพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อสามเหลี่ยมมุมฉาก ในช่วงที่การแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปไปพร้อมๆ กัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่..... 39

5.7 กราฟพล็อตเปรียบเทียบระหว่าง $\frac{Nu_l}{Nu_\infty}$ กับ L/D_h ของท่อสามเหลี่ยมด้านเท่ากับท่อสามเหลี่ยมมุมฉาก..... 40

5.8 กราฟพล็อตเปรียบเทียบระหว่าง $\frac{Nu_l}{Nu_\infty}$ กับ L/D_h ของท่อสามเหลี่ยมด้านเท่ากับท่อสามเหลี่ยมมุมฉากและกับงานวิจัยอื่นๆ 41

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญลักษณ์

ตัวแปร

A	=	พื้นที่ (m^2)
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (m)
H	=	เอนธาลปี (J)
L	=	ความยาว (m)
T	=	อุณหภูมิ (K)
c_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะ $(J/kg.K)$
h	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน $(W/m^2.K)$
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลของของไหล (kg/s)
p	=	เส้นรอบรูป (m)
$\dot{q}$	=	อัตราการให้ความร้อน (W)
r	=	รัศมี (m)
u	=	ความเร็ว (m/s)
x	=	ระยะทางจากปากทางเข้าของท่อ (m)

กลุ่มไร้มิติ

Nu	=	Nusselt Number
Pr	=	Prandtl Number
Re	=	Reynolds Number

ตัวอักษรกรีก

α	=	สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนของของไหล (m^2/s)
β	=	อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางรูออริฟิสต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ
Δ	=	แสดงค่าแตกต่างระหว่างสองค่า
∂	=	แสดงถึงผลต่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

δ	=	Boundary Layer Thickness
μ	=	ความหนืด $(kg/m.s)$
ρ	=	ความหนาแน่น (kg/m^3)

ตัวห้อยท้าย

1,2	=	แสดงตำแหน่ง
b	=	แสดงค่าที่อยู่ห่างจากผิวท่อ
c	=	หน้าตัด
fd	=	แสดงค่าคงรูปแล้ว
i	=	ที่ปากทางเข้า
l	=	ค่าเฉลี่ยแบบล็อก
m	=	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ
m,i	=	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ปากทางเข้าท่อ
m,o	=	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ปากทางออกท่อ
o	=	แสดงค่าที่ผนังท่อ
s	=	พื้นผิว
t	=	เกี่ยวข้องกับความร้อน
w	=	แสดงค่าที่ผนังท่อ
x	=	แสดงค่าที่ตำแหน่งใดๆ ตามแนวแกน
∞	=	แสดงค่าที่คงรูปแล้ว, limiting value

ซุปเปอร์สคริปท์

.	=	แสดงค่าต่อหน่วยเวลา
"	=	แสดงค่าต่อหน่วยพื้นที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประมวลศัพท์

กล่องผสม	Mixing chamber
กล่องระบายอากาศ	Bypass chamber
การแจกแจงความเร็ว	Velocity profile
การแจกแจงความเร็วคงรูป	Fully developed velocity profile
การแจกแจงความเร็วกำลังเปลี่ยนรูป	Developing velocity profile
การแจกแจงอุณหภูมิ	Temperature profile
การแจกแจงอุณหภูมิคงรูป	Fully developed temperature profile
การแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูป	Developing temperature profile
การไหลภายในท่อ	Flow inside duct
กลุ่มตัวแปรไร้หน่วย	Dimensionless
ความร้อนต่อพื้นที่ผิวคงที่	Constant heat flux
ความลาดเอียงของอุณหภูมิ	Temperature gradient
ความหนาของชั้นขอบเขตความเร็ว	Boundary layer thickness
ความหนาของชั้นขอบเขตอุณหภูมิ	Thermal boundary thickness
ค่าสหสัมพันธ์	Correlation coefficient
ช่วงปากทางเข้าของการไหล	Hydrodynamic entry region
ตัวคูณปรับค่า	Correction factor
ท่อที่มีหน้าตัดไม่เป็นวงกลม	Noncircular duct
ปั่นป่วน	Turbulent
สภาวะของขอบเขตความร้อน	Thermal boundary condition
สมการเอมไพริคัล	Empirical formula
สมดุลย์พลังงาน	Energy balance
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	Heat transfer coefficient

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย