การพาความร้อนในท่อวงรี

นาย พงศธร สุมันตกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย
พ.ศ.2533

ISBN 974-577-939-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

016510

CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN ELLIPTICAL DUCTS

MR.PONGSATHORN SUMUNTAKUL

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate school

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-939-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพาความร้อนในท่อวงรี
โดย นาย พงศธร สุมันตกุล
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงศักดิ์ มะลิลา)

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

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

พงศ์ธร สุ่มันตกุล : การพาความร้อนในท่อวงรี (CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN ELLIPTICAL DUCTS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง, 208 หน้า. ISBN 974-577-939-3

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย การออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับทดลอง เพื่อหาข้อมูล เกี่ยวกับการพาความร้อนโดยบังคับ และตัวประกอบความเสียดทาน ในท่อวงรี ที่มีค่า aspect ratio 0.25 และ 0.5 ของไหลที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนใช้น้ำ ช่วงการไหลเริ่มตั้งแต่ แบบราบเรียบ ไปจนถึงแบบปั่นป่วน ซึ่งมีการพัฒนารูปร่างของความเร็ว และรูปร่างของอุณหภูมิไปพร้อม ๆ กัน โดยมีเงื่อนไขขอบเขตว่าอุณหภูมิที่ผนังท่อมีค่าคงที่ ซึ่งได้ผลว่า ที่การไหลเป็นแบบราบเรียบ การถ่ายเทความร้อนของท่อทั้งสอง aspect ratio มีค่าไม่ต่างกันมากนัก แต่ที่การไหลเลยช่วงราบเรียบไปแล้วท่อ aspect ratio 0.5 มีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าสำหรับตัวประกอบเสียดทานนั้น ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ ท่อ aspect ratio 0.25 มีค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงกว่าท่อ aspect ratio 0.5 แต่เมื่อเลยช่วงการไหลแบบราบเรียบกลับมีค่าน้อยกว่า ผลการทดลองตั้งแต่ที่ช่วงการไหลแบบราบเรียบไปจนถึงที่ช่วงการไหลแบบปั่นป่วนได้ถูกสรุปรวบรวมไว้ในรูปของสูตรเอมไพริกัล ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

PONGSATHORN SUMUNTAKUL : CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN ELLIPTICAL DUCTS. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. KULTHORN SILPABUNLENG, Ph.D. 208 pp.

Test equipment was designed and constructed for the investigation of convection heat transfer and friction factor in the elliptical ducts. Test sections were designed with two aspect ratios, 0.25 and 0.5 respectively. Water is the heat transfer medium. Flow ranges covered from laminar to turbulent, with simultaneously developing velocity and temperature profiles, for the thermal boundary condition of constant wall temperature. Experimental results for various duct aspect ratios and wall temperature were obtained. It was shown that the heat transfer behaviour in laminar region for both test sections of different aspect ratios was insignificantly different, whereas with duct of 0.5 aspect ratio, it was higher with Nusselt number at flow greater than laminar region. As for friction factor, it was found also that the aspect ratio 0.25 registered higher friction factor in laminar region than the one with 0.5 aspect ratio. The results were reversed for flow in turbulent region. An empirical formula, covering both laminar and turbulent regions, is suggested for adoption in heat exchanger designing and development.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง ที่ท่านได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ข้อคิดเกี่ยวกับการดำเนินงานและในการแก้ปัญหา ตลอดเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์ จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอระลึกถึงความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ศักดิ์ มะลิลา และศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์ ในการที่ท่านได้กรุณาช่วยแก้ปัญหาและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้เขียน ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ และความกระจ่าง เกี่ยวกับอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดซึ่งใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอขอบคุณที่ได้รับความช่วยเหลือ ข้อคิดเห็น และคำแนะนำ จากอาจารย์หลายท่านในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล รวมทั้งผู้เกี่ยวข้อง ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความหวังดีอันประมาณค่ามิได้ของทุก ๆ ท่าน

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ส่งเสริมและสนับสนุนในทุกสิ่งทุกอย่าง อันมีส่วนผลักดันให้การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอระลึกถึงไว้ ณ.ที่นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ
กิตติกรรมประกาศ .....ฉ
สารบัญตาราง .....ฌ
สารบัญภาพ .....ญ
คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ .....ฒ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 งานวิจัยในอดีต 2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ 8
1.3 ประโยชน์ซึ่งคาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ 8
บทที่ 2 ทฤษฎี 10
2.1 ทฤษฎีทั่วไปของการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) 10
2.2 การวิเคราะห์โดยทางทฤษฎีของงานวิจัยในอดีต 13
2.3 การหาค่า Nusselt number โดยการคำนวณจากข้อมูลซึ่งได้จากการทดลอง 28
2.4 การหาค่า Graetz number โดยการคำนวณจากข้อมูลซึ่งได้จากการทดลอง 32
2.5 การหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (bulk temperature) ของของไหลขณะกำลังไหลอยู่ในท่อซึ่งมีการถ่ายเทความร้อน โดยการคำนวณจากข้อมูลซึ่งได้จากการทดลอง.....34
2.6 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (friction factor) ในท่อโดยการคำนวณจากข้อมูลซึ่งได้จากการทดลอง 35
บทที่ 3 การทดลอง 37
3.1 อธิบายเครื่องมือทดลอง 37
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 46
3.3 วิธีการขึ้นรูปท่อวงรี 59

3.4 รายละเอียดของเครื่องมือขึ้นรูปท่อวงรี 62
3.5 มิติของเครื่องมือขึ้นรูปท่อวงรี 64
3.6 ขั้นตอนการทดลอง 66
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 69
4.1 ข้อมูลซึ่งได้จากการทดลอง 69
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 70
4.3 วิจารณ์ 73
4.4 สรุป 77
4.5 ข้อเสนอแนะ 79
เอกสารอ้างอิง 90
ภาคผนวก
ประวัติผู้เขียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ของค่า eigen value และค่า aspect ratio 17
2.2 ความสัมพันธ์ของค่า C และค่า aspect ratio 17
2.3 ความสัมพันธ์ของค่า eigen value และค่า aspect ratio 19
2.4 ค่าของ A_n และ λ_n เมื่อค่า aspect ratio (ϵ) เป็น Ø.25 และ Ø.8Ø .20
2.5 ความสัมพันธ์ของค่า b/a , ค่า e และค่า Y (e) 23
2.6 ค่าคงที่ b/a = Ø.Ø625, Ø.125, Ø.25, Ø.5 และ Ø.8Ø 24
2.7 ความสัมพันธ์ของค่า b/a และค่า K 26
2.8 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่านัสเซลท์นัมเบอร์กับค่า aspect ratio 27
ก.1 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ
ซ.1 ข้อมูลจากการทดลองที่ aspect ratio Ø.25 อุณหภูมิผนังท่อ 42 °C
ซ.2 ข้อมูลจากการทดลองที่ aspect ratio Ø.25 อุณหภูมิผนังท่อ 52 °C
ซ.3 ข้อมูลจากการทดลองที่ aspect ratio Ø.25 อุณหภูมิผนังท่อ 57 °C
ซ.4 ข้อมูลจากการทดลองที่ aspect ratio Ø.25 อุณหภูมิผนังท่อ 29 °C
ซ.5 ข้อมูลจากการทดลองที่ aspect ratio Ø.5Ø อุณหภูมิผนังท่อ 42 °C
ซ.6 ข้อมูลจากการทดลองที่ aspect ratio Ø.5Ø อุณหภูมิผนังท่อ 52 °C
ซ.7 ข้อมูลจากการทดลองที่ aspect ratio Ø.5Ø อุณหภูมิผนังท่อ 57 °C
ซ.8 ข้อมูลจากการทดลองที่ aspect ratio Ø.5Ø อุณหภูมิผนังท่อ 29 °C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่านัสเซลท์นัมเบอร์และค่า aspect ratio ..28
2.2 แสดงแผนผังการถ่ายเทความร้อนของท่อทดสอบ 28
2.3 แสดงแผนผังการวัดความดันของท่อทดสอบ 35
3.1 แผนผังของอุปกรณ์ทำการทดลอง 39
3.2 อุปกรณ์ทำการทดลองส่วนหน้า 40
3.3 อุปกรณ์ทำการทดลองส่วนท้าย 40
3.4 มิติของถังพักน้ำระดับสูง 41
3.5 ท่อขนานโค้ง 41
3.6 ถังพักน้ำระดับสูงและท่อขนานโค้ง 42
3.7 มิติของท่อขนานและท่อลดขนาดขาออก 43
3.8 มิติของท่อขนานขาเข้า 44
3.9 มิติของภาคตัดของท่อขนาน 44
3.10 แสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของน้ำขาออก 45
3.11 แสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของน้ำขาเข้า 45
3.12 แสดงอุปกรณ์ในอ่างทำความร้อนซึ่งประกอบไปด้วยขดลวดทำความร้อนท่อกวนน้ำและ
ท่อทดสอบ 48
3.13 ตำแหน่งของขดลวดทำความร้อนและมิติของอ่างทำความร้อน 49
3.14 แสดงตำแหน่งและมิติของท่อกวนน้ำ 50
3.15 แสดงท่อกวนน้ำท่อทดสอบและขดลวดทำความร้อนในอ่างทำความร้อน 51
3.16 ปั๊มน้ำซึ่งใช้เวียนน้ำในการกวนน้ำในอ่างทำความร้อน 52
3.17 ขดลวดทำความร้อนและท่อทดสอบในอ่างทำความร้อน 53
3.18 slide regulator ซึ่งใช้ปรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด 54
3.19 มาโนมิเตอร์วัดการสูญเสียความดันในท่อทดสอบ 55
3.20 แสดงอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและมาโนมิเตอร์ 56
3.21 แผนผังทางเดินไฟฟ้าของระบบทำความร้อน 57
3.22 แผนผังทางเดินไฟฟ้าของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิกับขดลวดทำความร้อน 58

รูปที่ หน้า

3.23 แสดงภาพด้านหน้าของลูกรีดท่อวงรี 59
3.24 แสดงภาพด้านข้างของลูกรีดท่อวงรี 59
3.25 มิติของลูกรีดท่อวงรี 60
3.26 ลูกรีดท่อวงรีพร้อมลูกปืนรองหมุน 61
3.27 แสดงภาพของเครื่องมือขึ้นรูปท่อวงรีด้านข้าง 62
3.28 เครื่องมือขึ้นรูปท่อวงรี 63
3.29 แสดงภาพของเครื่องมือขึ้นรูปท่อวงรีด้านหน้า 64
3.30 แสดงมิติของเครื่องมือขึ้นรูปท่อวงรีด้านข้าง 64
3.31 แสดงมิติของเครื่องมือขึ้นรูปท่อวงรีด้านหน้า 65
3.32 แผนผังแสดงตำแหน่งของจุดวัดความดันและจุดวัดอุณหภูมิของท่อทอสอบ 68
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number กับ Graetz number ที่ aspect ratio 0.25 80
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number กับ Graetz number ที่ aspect ratio 0.5 81
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง friction factor กับ Reynolds number ที่ aspect ratio 0.25 82
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง friction factor กับ Reynolds number ที่ aspect ratio 0.5 83
4.5 กราฟเปรียบเทียบ ค่า Nusselt number ของท่อวงรีกับท่อกลม (Hornbeck, 1965)ที่ aspect ratio 0.25 กับ 0.5.....84
4.6 กราฟเปรียบเทียบ ค่า friction factor ของท่อวงรีกับท่อกลม 85
4.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างสูตรเอมไพริกัลกับข้อมูลการทดลอง ที่ aspect ratio 0.25.....86
4.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างสูตรเอมไพริกัลกับข้อมูลการทดลองที่ aspect ratio 0.5.....87
4.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างสูตรเอมไพริกัลกับข้อมูลการทดลองที่ ที่ aspect ratio 0.25.....88

รูปที่ หน้า

4.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างสูตรเอมไพริกัลกับข้อมูลการทดลอง ที่ aspect ratio 0.5.....89

ก.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของน้ำกับอุณหภูมิของน้ำ

ก.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดไดนามิกของน้ำกับอุณหภูมิของน้ำ

ก.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความนำความร้อนของน้ำกับอุณหภูมิของน้ำ

ก.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะของน้ำกับอุณหภูมิของน้ำ

ก.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Prandtl number กับอุณหภูมิของน้ำ

จ.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิซึ่งอ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิลกับค่าอุณหภูมิซึ่งอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์

ช.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำขาเข้า อุณหภูมิของน้ำขาออก อุณหภูมิผนังท่อ และ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.25 อุณหภูมิผนังท่อ 42 °C

ช.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำขาเข้า อุณหภูมิของน้ำขาออก อุณหภูมิผนังท่อ และ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.25 อุณหภูมิผนังท่อ 52 °C

ช.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำขาเข้า อุณหภูมิของน้ำขาออก อุณหภูมิผนังท่อ และ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.25 อุณหภูมิผนังท่อ 57 °C

ช.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำขาเข้า อุณหภูมิของน้ำขาออก อุณหภูมิผนังท่อ และ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.5 อุณหภูมิผนังท่อ 42 °C

ช.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำขาเข้า อุณหภูมิของน้ำขาออก อุณหภูมิผนังท่อ และ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.5 อุณหภูมิผนังท่อ 52 °C

ช.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำขาเข้า อุณหภูมิของน้ำขาออก อุณหภูมิผนังท่อ และ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.5 อุณหภูมิผนังท่อ 57 °C

ช.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิของน้ำขาออกกับอุณหภูมิของน้ำขาเข้า

รูปที่ หน้า

และผลต่างของอุณหภูมิของผนังท่อกับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำที่ aspect ratio 0.25 อุณหภูมิผนังท่อ 42 °C

ช.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิของน้ำขาออกกับอุณหภูมิของน้ำขาเข้า และผลต่างของอุณหภูมิของผนังท่อกับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำที่ aspect ratio 0.25 อุณหภูมิผนังท่อ 52 °C

ช.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิของน้ำขาออกกับอุณหภูมิของน้ำขาเข้า และผลต่างของอุณหภูมิของผนังท่อกับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำที่ aspect ratio 0.25 อุณหภูมิผนังท่อ 57 °C

ช.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิของน้ำขาออกกับอุณหภูมิของน้ำขาเข้า และผลต่างของอุณหภูมิของผนังท่อกับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำที่ aspect ratio 0.5 อุณหภูมิผนังท่อ 42 °C

ช.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิของน้ำขาออกกับอุณหภูมิของน้ำขาเข้า และผลต่างของอุณหภูมิของผนังท่อกับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำที่ aspect ratio 0.5 อุณหภูมิผนังท่อ 52 °C

ช.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิของน้ำขาออกกับอุณหภูมิของน้ำขาเข้า และผลต่างของอุณหภูมิของผนังท่อกับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำที่ aspect ratio 0.5 อุณหภูมิผนังท่อ 57 °C

ช.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.25 อุณหภูมิผนังท่อ 42 °C

ช.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.25 อุณหภูมิผนังท่อ 52 °C

ช.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.25 อุณหภูมิผนังท่อ 57 °C

ช.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.5 อุณหภูมิผนังท่อ 42 °C

ช.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio 0.5 อุณหภูมิผนังท่อ 52 °C

ช.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน กับอัตราการไหลของน้ำ ที่

รูปที่ หน้า

aspect ratio Ø.5 อุณหภูมิผนังท่อ 57 °C

ช.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number Graetz number และ Prandtl number กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio Ø.25 อุณหภูมิผนังท่อ 42 °C

ช.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number Graetz number และ Prandtl number กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio Ø.25 อุณหภูมิผนังท่อ 52 °C

ช.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number Graetz number และ Prandtl number กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio Ø.25 อุณหภูมิผนังท่อ 57 °C

ช.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number Graetz number และ Prandtl number กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio Ø.5 อุณหภูมิผนังท่อ 42 °C

ช.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number Graetz number และ Prandtl number กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio Ø.5 อุณหภูมิผนังท่อ 52 °C

ช.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number Graetz number และ Prandtl number กับอัตราการไหลของน้ำ ที่ aspect ratio Ø.5 อุณหภูมิผนังท่อ 57 °C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ

a - semi-major axis ของท่อวงรี (m^2)

A - พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน (m^2)

b - semi-minor axis ของท่อวงรี (m.)

B - พื้นที่หน้าตัดของวงรี (m^2)

C_p - ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg °C)

d_h - hydraulic diameter ของท่อวงรี (m.)

E - complete elliptic integal of the second kind

f - ค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทาน

g - ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

h - สัมประสิทธ์การพาความร้อน (W/m^2 °C)

h_h - ค่าความสูญเสียความดันสถิตย์ของท่อทดสอบ (mm.น้ำ)

k - ค่าความนำความร้อนของน้ำ (W/m °C)

L - ค่าความยาวของท่อทดสอบ (m.)

p - ค่าความดันซึ่งเกิดขึ้นกับของไหล (Pa)

P - ความยาวของเส้นรอบรูปวงรี (m.)

t - เวลา (s.)

T - อุณหภูมิ (°C)

v - ความเร็วเฉลี่ยของน้ำ (m/s)

Dimensionless Groups

Gz - Graetz number

Nu - Nusselt number

Pr - Prandtl number

Re - Reynolds number

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอักษรกรีก

ϱ – ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

λ – ค่า aspect ratio ของท่อวงรี

μ – ค่าความหนืดไดนามิกของน้ำ (kg/m.s)

ν – ค่าความหนืดไคนาเมติกของน้ำ (m^2/s)

α – ค่าความกระจายความร้อนของน้ำ (m^2/s)

ตัวห้อยท้าย (subscript)

b – เฉลี่ยทางอุณหภูมิ

f – เกี่ยวกับของไหล

i – ที่ทางเข้า

o – ที่ทางออก

w – ที่ผนังท่อ

x – ในแนวแกน x

y – ในแนวแกน y

z – ในแนวแกน z

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย