การพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม

นายพงษ์ธร จรัญญากรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๐

001800

I16584582

FORCED CONVECTION IN TRIANGULAR DUCTS

Mr. Pongtorn Charunyakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1977

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ)
คณบดี

คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ไวฑูรย์ ชลิตพันธ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธวัชชัย เฮงรัศมี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์เรื่อง การพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม
โดย นายพงษ์ธร จรัญญากรณ์
แผนกวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม

ชื่อ นายพงษ์ธร จรัญญากรณ์

แผนกวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา ๒๕๒๐

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย การออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับทดลอง เพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม ซึ่งมีการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน โดยพิจารณาถึงอิทธิพลของช่วงปากทางเข้าของการไหลและการถ่ายเทความร้อน กล่าวคือ หาความสัมพันธ์ระหว่างนัสเซลท์นัมเบอร์ Nu กับ เรย์โนลด์สนัมเบอร์ Re, แพรนด์เติลนัมเบอร์ Pr, และความยาวท่อต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิค L/d_h ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น ได้ใช้ทฤษฎีและผลการทดลองเกี่ยวกับการพาความร้อนของอากาศในท่อสามเหลี่ยมที่มีการไหลแบบราบเรียบ และการพาความร้อนในท่อกลมเป็นแนวทาง ท่อที่ทำการทดลองมี ๒ ชนิด คือ ท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าและท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว

ผลการทดลองเป็นที่น่าพึงพอใจ ซึ่งได้สรุปรวบรวมไว้ในรูปของสูตรเอมไพริกัล ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบแล พัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.

Thesis Title Forced Convection in Triangular Ducts.

Name Mr.Pongtorn Charunyakorn

Department Mechanical Engineering

Academic Year 1977

ABSTRACT

Test equipment was designed and constructed to investigate turbulent forced convection in equilateral and right-angled isosceles triangular ducts with simultaneously developing velocity and temperature profiles for the thermal boundary condition of uniform wall temperature. Experimental results for various duct lengthswere obtained for the values of Reynolds number from 6,000 to 60,000. Since the results for both types of ducts showed the same trend, it was possible to deduce a general empirical formula for both equilateral and right-angled isosceles triangular ducts. The formula relating Nusselt number, Nu_l to Reynolds number, Re, Prandtl number, Pr, and length-diameter ratio, L/d_h is recommended for heat exchanger design within the range of Reynolds number mentioned above.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา, อาจารย์ ดร.ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง ที่ท่านได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ข้อคิดเกี่ยวกับการดำเนินงานและในการแก้ปัญหาตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอระลึกถึงความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดำรงศักดิ์ มะลิลา ในการที่ท่านได้กรุณาช่วยแก้ปัญหาและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้เขียนหลายต่อหลายครั้ง ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ ที่ท่านได้กรุณาให้ความกระจ่างเกี่ยวกับระเบียบการในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์หลายประการจากนายพีรพงศ์ ตั้งศิริมงคล ซึ่งขอขอบคุณมาณ โอกาสนี้ นอกจากนี้ ผู้เขียนได้รับข้อคิดเห็นและคำแนะนำจากท่านอาจารย์หลายท่านในแผนกวิศวกรรมเครื่องกล อันมีส่วนผลักดันให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดี ซึ่งผู้เขียนขอระลึกถึงและแสดงความขอบคุณ โอกาสนี้.

สารบาญ

หน้า

หัวเรื่องภาษาไทย.....ก
หัวเรื่องภาษาอังกฤษ.....ข
อนุมัติ.....ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมกประกาศ.....ฉ
รายการตารางประกอบ.....ฌ
รายการรูปประกอบ.....ญ
รายการสัญลักขณ์.....ฏ
ประมวลศัพท์.....ฐ

บทที่

๑. บทนำ.....๑
๑.๑ สาเหตุของการวิจัย.....๑
๑.๒ การสำรวจงานวิจัยที่ทำมาแล้ว.....๑
๑.๓ จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้.....๔
๒. ทฤษฎี และการคำนวณ.....๕
๒.๑ ทฤษฎี.....๕
๒.๒ การคำนวณผลการทดลอง.....๙
๓. วิธีทำการวิจัย.....๑๒
๓.๑ อุปกรณ์ทดลอง.....๑๒
๓.๒ วิธีทดลอง.....๒๑

บทที่ หน้า

๔. ผลการวิจัย.....๒๓

๔.๑ ผลการทดลอง และการอภิปราย.....๒๓

๔.๒ ข้อสรุป.....๒๙

๔.๓ ข้อเสนอแนะ.....๓๐

เอกสารอ้างอิง.....๓๑

ภาคผนวก.....๓๓

ประวัติการศึกษา.....๔๕

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

ก-๑ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว สำหรับ $L/d_h = 5.04$ ๓๔

ก-๒ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว สำหรับ $L/d_h = 11.39$ ๓๖

ก-๓ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว สำหรับ $L/d_h = 4.95$ ๓๘

ก-๔ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว สำหรับ $L/d_h = 11.64$ ๔๑

รายการรูปประกอบ

รูปที่ หน้า

๒-๑ การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลภายในท่อกับสิ่งแวดล้อมภายนอกท่อ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผิวท่อและของไหลในทิศทางตามความยาวของท่อ.....๑๐

๓-๑ ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์ทดลอง.....๑๓

๓-๒ ส่วนทดสอบ และระบบให้ความร้อน.....๑๔

๓-๓ กล่องผสม.....๑๕

๓-๔ กล่องระบายอากาศ.....๑๖

๓-๕ ออริฟิสมิเตอร์.....๑๘

๓-๖ การติดคู่ควบอุณหภูมิบนผิวท่อ.....๑๙

๓-๗ การจัดวงจรเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ.....๒๐

๔-๑ กราฟพล็อตระหว่างนัสเซลท์นัมเบอร์ Nu_1 กับ เรย์โนลด์สนัมเบอร์ Re สำหรับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว Pr = 0.71 .....๒๔

๔-๒ กราฟพล็อตระหว่างนัสเซลท์นัมเบอร์ Nu_1 กับเรย์โนลด์สนัมเบอร์ Re สำหรับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉากซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว Pr = 0.71.....๒๕

๔-๓ กราฟพล็อตระหว่าง นัสเซลท์นัมเบอร์ Nu_1 กับ อัตราส่วนระหว่าง Re ความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ L/d_h สำหรับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน.....๒๗

รูปที่ หน้า

๔-๔ กราฟพล็อตระหว่าง $Nu_1 (L/d_h)^{0.35}$ กับ เรย์โนลด์สนัมเบอร์ Re สำหรับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงทีการแจกแจงความ เร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อ เป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว Pr = 0.71 .....๒๘

รายการสัญลักษณ์

A	พื้นที่
A_c	พื้นที่หน้าตัด
C_p	ความจุความร้อนจำเพาะของของไหลที่ความดันคงที่
d	เส้นผ่าศูนย์กลาง
d_h	เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิค $4A_c/P$
E_H	เอดดี้ดิฟฟิวสิวิตี้สำหรับความร้อน
E_M	เอดดี้ดิฟฟิวสิวิตี้สำหรับโมเมนตัม
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
h_1	ค่าเฉลี่ยแบบล็อกของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
L	ความยาวของท่อง
P	เส้นรอบรูปของหน้าตัด
p	ความดันของของไหล
$\dot{q}$	อัตราการถ่ายเทความร้อน
t	อุณหภูมิ
v	ความเร็วของของไหล
w_b	ความเร็วเฉลี่ยของของไหลในทิศทางตามความยาวของท่อ
V	ปริมาตรอัตราไหลของของไหล
z	ระยะทางตามความยาวของท่อ
α	สัมประทสิทธิ์การแพร่ความร้อนของของไหล $k/\rho C_p$
μ	สัมประสิทธิ์ความหนืดไดนามิคของของไหล
ρ	ความหนาแน่นของของไหล
ϕ	ครึ่งหนึ่งของมุมยอดของท่อสามเหลี่ยม

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มไม่มีหน่วย

Nu	นัสเซลท์นัมเบอร์	hd/k
Pr	แพรนด์เติลนัมเบอร์	$\mu C_p/k$
Re	เรย์โนลด์สนัมเบอร์	$\rho vd/\mu$

อักษรห้อยท้าย

b	ค่าเฉลี่ย
c	หน้าตัด
f	ค่าสุดท้าย
l	ค่าเฉลี่ยแบบล็อก
o	ค่าเริ่มต้น
w	พื้นผิว

สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อ

(T1)	อุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว
(T2)	อุณหภูมิที่ผิวท่อเปลี่ยนแปลงตามความยาวของท่ออย่างสม่ำเสมอ
(H)	อัตราการให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สม่ำเสมอตลอดพื้นผิว

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
การวัดเทียบ	Calibration
กลุ่มไม่มีหน่วย	Dimensionless group
ขั้วร้อน	Hot junction
ขั้วเย็น	Cold junction
ความหนืด	Vicosity
คู่ ควบอุณหภูมิ	Thermocouple
ช่วงปากทางเข้าของการไหล	Hydraulic entrance region
ช่วงปากทางเข้าของการถ่ายเทความร้อน	Thermal entrance region
ปั่นป่วน	Turbulent
โปเทนชิโอมิเตอร์	Potentiometer
มุมยอด	Apex angle
ราบเรียบ	Laminar
ส่วนทดสอบ	Test section
สเตดดี้	steady

สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน	Thermal diffusivity
ออริฟิสมิเตอร์	Orifice meter
เอดดี้ดิฟฟิวสิวิตี้	Eddy diffusivity
อักษรห้อยท้าย	Subscripts
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	Heat exchanger