

การพาความร้อนโดยบังคับในท่อสาม เหลี่ยม



นายพงษ์ธร จริญญากรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๐

001800

I16584582

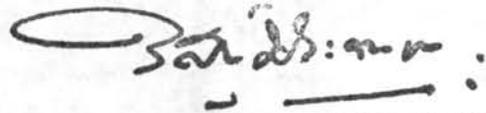
FORCED CONVECTION IN TRIANGULAR DUCTS

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

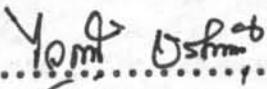
1977

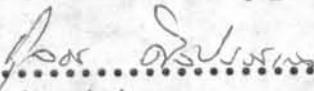
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

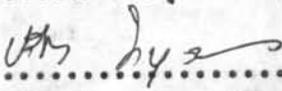


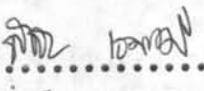
(ศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ)

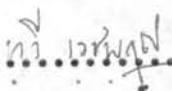
คณบดี

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

..........กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธรร ศิลปบรรเลง)

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

..........กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.วรัชชัย เสงร์ณี)

..........กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวี เวชพอดิต)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธรร ศิลปบรรเลง

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

วิทยานิพนธ์เรื่อง การหาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม  
โดย นายพงษ์ธร จรัญญากรณ์  
แผนกวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพาความร้อนโดยบังคับในท่อสาม เหลี่ยม  
 ชื่อ นายพงษ์ธร จรรย์ภากรณ์  
 แผนกวิชา วิศวกรรม เครื่องกล  
 ปีการศึกษา ๒๕๒๔ \*



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย การออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับทดลอง เพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสาม เหลี่ยม ซึ่งมีการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน โดยพิจารณาถึงอิทธิพลของช่วงปากทางเข้าของการไหลและการถ่ายเทความร้อน กล่าวคือ หาความสัมพันธ์ระหว่างนัสเซลท์นัมเบอร์  $Nu$  กับ เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์  $Re$ , แพรนด์เติลนัมเบอร์  $Pr$ , และความยาวท่อต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก  $L/d_h$  ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น ได้ใช้ทฤษฎีและผลการทดลองเกี่ยวกับการพาความร้อนของอากาศในท่อสาม เหลี่ยมที่มีการไหลแบบราบเรียบ และการพาความร้อนในท่อกลมเป็นแนวทาง ท่อที่ทำการทดลองมี ๒ ชนิด คือ ท่อสาม เหลี่ยมด้านเท่าและท่อสาม เหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว

ผลการทดลองเป็นที่น่าพึงพอใจ ซึ่งได้สรุปรวบรวมไว้ในรูปของสูตรเอมไพริคัล ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบแล 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 lengths were 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,  $Nu_1$  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.



## กิติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา, อาจารย์ ดร.ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ ศิลปบรรเลง ที่ท่านได้กรุณาใช้เวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ข้อคิดเกี่ยวกับการดำเนินงานและในการแก้ปัญหาตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอระลึกถึงความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ คำรงค์ดี มะลิลา ในการที่ท่านได้กรุณาช่วยแก้ปัญหาและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้เขียนหลายต่อหลายครั้ง ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ ที่ท่านได้กรุณาให้ความกระจ่างเกี่ยวกับระเบียบการในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์หลายประการจากนายพิรพงศ์ ตั้งศิริมงคล ซึ่งขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้ ผู้เขียนได้รับข้อคิดเห็นและคำแนะนำจากท่านอาจารย์หลายท่านในแผนกวิศวกรรม เครื่องกล อันมีส่วนผลักดันให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดี ซึ่งผู้เขียนขอระลึกถึงและแสดงความขอบคุณ ณ โอกาสนี้.

สารบัญ

หน้า

หัวเรื่องภาษาไทย.....	ก
หัวเรื่องภาษาอังกฤษ.....	ข
อนุมัติ.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
รายการตารางประกอบ.....	ณ
รายการรูปประกอบ.....	ญ
รายการสัญลักษณ์.....	ม
ประมวลศัพท์.....	ล



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.....	๘
๓. วิธีทำการวิจัย.....	๑๒
๓.๑ อุปกรณ์ทดลอง.....	๑๒
๓.๒ วิธีทดลอง.....	๒๑

บทที่

๔. ผลการวิจัย.....	๒๓
๔.๑ ผลการทดลอง และการอภิปราย.....	๒๓
๔.๒ ข้อเสนอสรุป.....	๒๔
๔.๓ ข้อเสนอแนะ.....	๓๐
เอกสารอ้างอิง.....	๓๑
ภาคผนวก.....	๓๓
ประวัติการศึกษา.....	๔๕

รายการตารางประกอบ

ตารางที่

หน้า

ก-๑ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสาม เหลี่ยมด้านเท่า  
ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการ  
แจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนแปลงพร้อมๆกัน สภาพการ  
ให้ความร้อนที่ผิวท่อ เป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว สำหรับ  
 $L/d_h = 5.04$  .....๓๔

ก-๒ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสาม เหลี่ยมด้านเท่า  
ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการ  
แจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนแปลงพร้อมๆกัน สภาพการ  
ให้ความร้อนที่ผิวท่อ เป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว สำหรับ  
 $L/d_h = 11.39$  .....๓๖

ก-๓ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสาม เหลี่ยมหน้าจั่ว  
มุมฉาก ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็ว  
และการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนแปลงพร้อมๆกัน  
สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อ เป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว  
สำหรับ  $L/d_h = 4.95$  .....๓๘

ก-๔ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสาม เหลี่ยมหน้าจั่ว  
มุมฉาก ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็ว  
และการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนแปลงพร้อมๆกัน  
สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อ เป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว  
สำหรับ  $L/d_h = 11.64$  .....๔๐

รายการรูปประกอบ

รูปที่

หน้า

๒-๑ การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลภายในท่อ กับสิ่งแวดล้อมภายนอกท่อ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผิวท่อและของไหลในทิศทางตามความยาวของท่อ.....๑๐

๓-๑ ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์ทดลอง.....๑๓

๓-๒ ส่วนทดสอบ และระบบให้ความร้อน.....๑๔

๓-๓ กล้องผสม.....๑๕

๓-๔ กล้องระบายอากาศ.....๑๖

๓-๕ ออร์ทิสมิเตอร์.....๑๘

๓-๖ การติดตั้งควมอุณหภูมิบนผิวท่อ.....๑๘

๓-๗ การจัดวงจรเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ.....๒๐

๔-๑ กราฟพล็อตระหว่างนัสเซลท์นัมเบอร์  $Nu_1$  กับ เรย์โนลด์ส นัมเบอร์  $Re$  สำหรับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว  $Pr = 0.71$  .....๒๔

๔-๒ กราฟพล็อตระหว่างนัสเซลท์นัมเบอร์  $Nu_1$  กับ เรย์โนลด์ส นัมเบอร์  $Re$  สำหรับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมหน้ามุมฉากซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว  $Pr = 0.71$ .....๒๕

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

๔-๔ กราฟพล็อตระหว่าง  $Nu_1 (L/d_h)^{0.35}$  กับ เรย์โนลด์สจำนวน เบอร์  $Re$  สำหรับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว  $Pr = 0.71$  .....๒๘

## รายการสัญลักษณ์

A	พื้นที่
$A_c$	พื้นที่หน้าตัด
$C_p$	ความจุความร้อนจำเพาะของของไหลที่ความดันคงที่
d	เส้นผ่าศูนย์กลาง
$d_h$	เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก $4A_c/P$
$E_H$	เอกซ์คิฟฟิวิติส์สำหรับความร้อน
$E_M$	เอกซ์คิฟฟิวิติส์สำหรับโมเมนตัม
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
$h_L$	ค่าเฉลี่ยแบบล็อกของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
L	ความยาวของท่อ
P	เส้นรอบรูปของหน้าตัด
p	ความดันของของไหล
q̇	อัตราการถ่ายเทความร้อน
t	อุณหภูมิ
v	ความเร็วของของไหล
$w_b$	ความเร็วเฉลี่ยของของไหลในทิศทางตามความยาวของท่อ
V	ปริมาตรอัตราไหลของของไหล
z	ระยะทางตามความยาวของท่อ
$\alpha$	สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนของของไหล $k/\rho C_p$
$\mu$	สัมประสิทธิ์ความหนืดไดนามิกของของไหล
$\rho$	ความหนาแน่นของของไหล
$\phi$	ครึ่งหนึ่งของมุมยอดของท่อสามเหลี่ยม



กลุ่มไม่มีหน่วย

Nu	นัสเซลท์นัมเบอร์	hd/k
Pr	แพรนค์เติลนัมเบอร์	$\mu C_p / k$
Re	เรย์โนลด์สนัมเบอร์	$\rho v d / \mu$

อักษรย่อท้าย

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
ซีวร้อน	Hot junction
ซีวเย็น	Cold junction
ความหนืด	Viscosity
คู่วัดอุณหภูมิ	Thermocouple
ช่วงปากทางเข้าของการไหล	Hydraulic entrance region
ช่วงปากทางเข้าของการถ่ายเทความร้อน	Thermal entrance region
ปั่นป่วน	Turbulent
โพเทนชิโอมีเตอร์	Potentiometer
มุมยอด	Apex angle
ราบเรียบ	Laminar
ส่วนทดสอบ	Test section
สแตตัส	steady

สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน

Thermal diffusivity

ออริฟิสมิเตอร์

Orifice meter

เอ็ดดี้ดิฟฟิวซิวิตี

Eddy diffusivity

อักษรย่อท้าย

Subscripts

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

Heat exchanger