สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อโดยใช้ของไหล 3 ชนิด

นายภูษิต จันทน์สุคนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0898-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19841616

A STUDY OF PERFORMANCE OF 3-FLUID SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER

Mr. Pusit Chunsukon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-13-0898-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ โดยใช้ของไหล 3 ชนิด
โดย	นายภูษิต จันทน์สุคนธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศรี จงรุ่งเรือง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงศักดิ์ มะลิลา)

ภูษิต จันทน์สุคนธ์ : สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ โดยใช้ของไหล 3 ชนิด. (A STUDY OF PERFORMANCE OF 3-FLUID SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์.ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง, 111 หน้า. ISBN 974-13-0898-1.

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ของไหล 3 ชนิด และศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหล

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ของไหล 3 ชนิด ที่ใช้ในการทดสอบมีด้วยกัน 3 ชนิด (ชนิดแรกเป็นแบบแยกส่วน ชนิดที่สองเป็นแบบท่อวางซ้อนกัน และชนิดที่สามเป็นแบบท่อวางขนานกัน) ผลการวิจัยพบว่าผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็นจะมีผลต่อประสิทธิผลทางความร้อน ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 ชนิดอยู่ 18-20% ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลจะมีผลต่อประสิทธิผลทางความร้อน ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดที่ 1 อยู่ 15-20% และชนิดที่ 2 และ 3 อยู่ 8-10%

จากผลการทดสอบในช่วงการไหลของของไหลร้อนตั้งแต่ 3 ลิตรต่อนาทีจนถึง 9 ลิตรต่อนาที พบว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดที่ 2 จะมีประสิทธิผลทางความร้อนต่ำกว่าชนิดที่ 3 อยู่ 2-5% และต่ำกว่า ชนิดที่ 1 อยู่ 10-12%

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต ภูษิต จันทน์สุคนธ์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4070375021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: PERFORMANCE / HEAT EXCHANGER / FLUID / SHELL / TUBE

PHUSIT CHUNSUKON : A STUDY OF PERFORMANCE OF 3-FLUID SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER . THESIS ADVISER : ASSOC.PROF. KULTHORN SILAPABANLENG,Ph.D., 111 pp. ISBN 974-13-0898-1.

The purpose of this research is to compare performance of 3-fluid shell and tube heat exchanger and effect from flow change.

There were 3 types of heat exchanger which were used in this research (First type was a separate type , the second type was a 2 vertical tube in 1 shell and the third type was a 2 horizontal tube in 1 shell). It was found that the effect of cold fluid flow rate change on the thermal effectiveness of the 3 types of heat exchanger were 18-20 %. The effect from hot fluid flow rate change on the thermal effectiveness of heat exchanger type 1 was 15-20% and on type 2 and 3 were 8-10 %.

From the study, it was found that during the hot fluid flow rate ranging from 3 l/min to 9 l/min, the thermal effectiveness of heat exchanger type 2 was lower than type 3 and type 1 by 2-5% and 8-10% respectively

Department	Mechanical Engineering	Student's signature	
Field of study	Mechanical Engineering	Adviser's signature	
Academic Year	2000	Co-adviser's signature	

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธร ศิลปบรรเลง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการวิจัย และให้ข้อคิดเห็นในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหา และเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง

อนึ่งงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านข้อมูล และอุปกรณ์บางส่วนจาก บริษัท ออสโมนิคส์ เอเชียแปซิฟิก จำกัด

นอกจากนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณท่านอาจารย์และเพื่อน ๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

- สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฑ

คำอธิบายสัญลักษณ์..... พ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิทยานิพนธ์..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 5

1.3 ขอบเขตของงาน..... 5

1.4 ประโยชน์..... 5

2 ทฤษฎีการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.1 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความร้อน..... 7

2.2 การออกแบบอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อน..... 11

2.3 คุณสมบัติของของไหล..... 17

3 อุปกรณ์และการดำเนินการทดลอง

3.1 อุปกรณ์..... 21

3.2 การดำเนินการทดสอบ..... 23

4 ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบ..... 26

4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ..... 29

5 อภิปราย สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปราย..... 44

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.2 สรุป..... 46

5.3 ข้อเสนอแนะ..... 47

รายการอ้างอิง..... 48

ภาคผนวก

ก. ภาพอุปกรณ์ในการทดลอง..... 50

ข. ผลการทดสอบ และกราฟแสดงผลการทดสอบ..... 53

ค. กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อนและของไหลเย็น (ΔTh, ΔTc) และอัตราความร้อนของของไหลร้อนและของไหลเย็น (Qh,Qc) กับอัตราการไหลของของไหล..... 89

ง. การเปรียบเทียบค่าอัตราความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบ. 103

จ. ตัวอย่างการคำนวณ..... 109

ประวัติผู้เขียน..... 111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	ตัวอย่างการทดลองโดยใช้ของไหล 4 ชนิด.....	2
1-2	ข้อมูลของของไหลร้อน 9 ชนิด และของไหลเย็น 2 ชนิด.....	3
4-1	แสดงค่า Reynold Number ของของไหลร้อน (น้ำ).....	29
4-2	แสดงค่า Reynold Number ของของไหลเย็น.....	29
4-3	แสดงค่า WCp ของของไหลร้อน (น้ำ).....	29
4-4	แสดงค่า WCp ของของไหลเย็น.....	30
ข-1	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที.....	53
ข-2	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที.....	54
ข-3	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที.....	55
ข-4	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที.....	56
ข-5	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที.....	57
ข-6	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที.....	58
ข-7	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที.....	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ข-8 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 60

ข-9 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 61

ข-10 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 62

ข-11 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 63

ข-12 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 64

ข-13 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 65

ข-14 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 66

ข-15 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 67

ข-16 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 68

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ข-17 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 69

ข-18 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 70

ข-19 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 71

ข-20 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 72

ข-21 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 73

ข-22 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 74

ข-23 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 75

ข-24 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 76

ข-25 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 77

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ข-26 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 78

ข-27 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 79

ข-28 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 80

ข-29 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 81

ข-30 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 82

ข-31 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 83

ข-32 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 84

ข-33 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 85

ข-34 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตรา การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล ของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 86

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ข-35 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 87

ข-36 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 88

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1-1.....	2
1-2	ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1-1.....	2
1-3	ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1-2 Design above the pinch.....	4
1-4	ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1-2 Design below the pinch.....	4
2-1	แผนผังแสดงการจำแนกชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	7
2-2	แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ของไหล 3 ชนิด แบบที่ 1.....	12
2-3	แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนส่วนแรกแบบ Counter flow.....	13
2-4	แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนส่วนที่ 2 แบบ Counter flow.....	13
2-5	แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ของไหล 3 ชนิด แบบที่ 2 (ท่อวางซ้อนกัน).....	15
2-6	แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ของไหล 3 ชนิด แบบที่ 2 (ท่อวางขนานกัน).....	16
2-7	การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นกับอุณหภูมิ.....	18
2-8	การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนจำเพาะกับอุณหภูมิ.....	18
2-9	ค่าการนำความร้อนกับอุณหภูมิ.....	18
2-10	การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดกับอุณหภูมิ.....	19
3-1	กระบวนการในการปรับค่าอัตราการไหลของของไหล.....	23
3-2	แสดงกระบวนการในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนที่ใช้ของไหล 3 ชนิด.....	24
4-1	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออกของของไหล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 ที่อัตราการไหลของของไหลร้อน 7 ลิตรต่อนาที.....	27
4-2	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออกของของไหล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 ที่อัตราการไหลของของไหลร้อน 7 ลิตรต่อนาที.....	27
4-3	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออกของของไหล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 ที่อัตราการไหลของของไหลร้อน 7 ลิตรต่อนาที.....	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

4-4 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 30

4-5 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 31

4-6 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 31

4-7 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 32

4-8 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 33

4-9 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 33

4-10 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 34

4-11 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 34

4-12 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 35

4-13 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 36

4-14 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 36

4-15 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 37

4-16 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที..... 37

4-17 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที..... 38

4-18 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 39

4-19 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 39

4-20 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal Effectiveness ใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที..... 40

4-21 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal Effectiveness ใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที..... 41

4-22 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal Effectiveness ใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 42

4-23 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal Effectiveness ใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที..... 42

4-24 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal Effectiveness ใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 43

4-25 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal Effectiveness ใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 43

4-26 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal Effectiveness ใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 43

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

5-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความจุความร้อน(R) ของ Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที..... 44

5-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความจุความร้อน(R) ของ Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 44

5-3 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที..... 45

5-4 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 45

ก-1 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1..... 50

ก-2 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2,3..... 50

ก-3 แสดงอุปกรณ์ชุดทดลอง..... 51

ก-4 แสดงอุปกรณ์ชุดทดลอง(ต่อ)..... 51

ก-5 แสดงอุปกรณ์ทำความร้อนแบบรัดท่อกับ Temperature Controller..... 52

ก-6 การติดตั้ง Heater กับปั๊มน้ำ..... 52

ข-1 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 53

ข-2 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 54

ข-3 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 55

ข-4 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 56

ข-5 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตรา

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

	การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที.....	57
ข-6	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที.....	58
ข-7	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที.....	59
ข-8	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที.....	60
ข-9	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที.....	61
ข-10	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที.....	62
ข-11	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที.....	63
ข-12	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที.....	64
ข-13	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที.....	65
ข-14	ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล	

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 66

ข-15 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา
การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล
ของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 67

ข-16 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตรา
การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล
ของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 68

ข-17 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตรา
การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล
ของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 69

ข-18 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตรา
การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล
ของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 70

ข-19 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตรา
การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล
ของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 71

ข-20 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตรา
การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล
ของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 72

ข-21 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตรา
การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล
ของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 73

ข-22 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา
การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล
ของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 74

ข-23 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา
การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหล
ของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 75

ข-24 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 76

ข-25 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 77

ข-26 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 78

ข-27 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 79

ข-28 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 80

ข-29 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 81

ข-30 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 82

ข-31 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 83

ข-32 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 84

ข-33 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 85

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ข-34 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 86

ข-35 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 87

ข-36 ผลการทดลองในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของของไหลเย็นที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 88

ค-1 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 89

ค-2 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 89

ค-3 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 89

ค-4 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 9 ลิตรต่อนาที..... 90

ค-5 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 9 ลิตรต่อนาที..... 90

ค-6 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 9 ลิตรต่อนาที..... 90

ค-7 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

แบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 91
ค-8 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 91
ค-9 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 91
ค-10 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที..... 92
ค-11 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที..... 92
ค-12 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที..... 92
ค-13 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 93
ค-14 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 93
ค-15 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 93
ค-16 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที..... 94
ค-17 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหล

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

เย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที..... 94

ค-18 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที..... 94

ค-19 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 95

ค-20 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 95

ค-21 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 95

ค-22 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 96

ค-23 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 96

ค-24 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 7 ลิตรต่อนาที..... 96

ค-25 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 9 ลิตรต่อนาที..... 97

ค-26 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 9 ลิตรต่อนาที..... 97
ค-27 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3
เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 9 ลิตรต่อนาที..... 97
ค-28 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1
เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 98
ค-29 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2
เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 98
ค-30 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3
เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 98
ค-31 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1
เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที..... 99
ค-32 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2
เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที..... 99
ค-33 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3
เมื่ออัตราการไหลร้อนเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที..... 99
ค-34 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1
เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 100
ค-35 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2
เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 100
ค-36 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา

- สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

การไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3
เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 100
ค-37 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1
เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที..... 101
ค-38 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2
เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที..... 101
ค-39 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3
เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที..... 101
ค-40 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1
เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 102
ค-41 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2
เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 102
ค-42 กราฟแสดงอัตราความร้อนของของไหลร้อน และของไหลเย็นกับอัตรา
การไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3
เมื่ออัตราการไหลเย็นเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที..... 102
ง-1 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger
ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที..... 103
ง-2 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger
ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที..... 103
ง-3 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger
ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 104
ง-4 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger
ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที..... 104

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ง-5 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 105

ง-6 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 105

ง-7 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 105

ง-8 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที..... 106

ง-9 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที..... 106

ง-10 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 107

ง-11 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที..... 107

ง-12 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที..... 108

ง-13 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 2 ลิตรต่อนาที..... 108

ง-14 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที..... 108

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a	ค่าพื้นที่หน้าตัดของท่อ	(m^2)
A	ค่าพื้นที่ผิวท่อ	(m^2)
A_i	ค่าพื้นที่ผิวภายในท่อ	(m^2)
A_o	ค่าพื้นที่ผิวภายนอกท่อ	(m^2)
Cp	ค่าความจุความร้อนของของไหล	(kJ/kg.C)
D_i	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ	(m)
Do	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ	(m)
h_i	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลภายในท่อ	(W/m^2K)
h_o	สัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลภายนอกท่อ	(W/m^2K)
HX	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	
HX1	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1	
HX2	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2	
HX3	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3	
k	ค่าการนำความร้อนของท่อ	(W/mK)
m	อัตราการไหลของของไหล	(kg/s)
Q	อัตราความร้อน	(W)
Qh	อัตราความร้อนของของไหลร้อน	(W)
Qc	อัตราความร้อนของของไหลเย็น	(W)
R	อัตราส่วนความจุความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	
Rd	ค่าความต้านทาน ผิวนอกท่อ (fouling resistance)	
Re	ค่า Reynold Number ของของไหล	
Tc	อุณหภูมิของของไหลเย็น	(C)
Th	อุณหภูมิของของไหลร้อน	(C)
ΔT	ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็น	(C)
ΔTc	ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลเย็น	(C)
ΔTh	ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อน	(C)

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
ΔT_m	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ย	(C)
U	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ของพื้นที่ผิวนอกของท่อ	(W/m^2K)
V	ค่าความเร็วของของไหล	(m/s)
W	ผลคูณระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความจุความร้อนของของไหล	(kJ/s.C)
ν	ค่าความหนืดเปรียบเทียบของของไหล	(m^2/s)
ε	ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	