การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ของโรงงานผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย ปรีชา นาทอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-988-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019487 i17898642

TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF A FACTORY MANUFACTURING COIL-LOOP THERMOSIPHON HEAT EXCHANGERS

MR. PREECHA NATONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Program of Chemical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1992

ISBN 974-581-988-3

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค และทางเศรษฐศาสตร์ของโรงงานผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูปเทอร์โมไซฟอน
โดย	นาย ปรีชา นาทอง
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ จินตนา ศิริสันธนะ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย สุกาญจนัจที)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ จินตนา ศิริสันธนะ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ปรีชา นาทอง : การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ของโรงงานผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน (TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF A FACTORY MANUFACTURING COIL-LOOP THERMOSIPHON HEAT EXCHANGERS) อ.ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, นาง จินตนา สิริสันธนะ, 228 หน้า. ISBN 974-581-988-3

โครงการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงเทคนิคการสร้างและวิธีทดสอบสมรรถนะมาตรฐานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ตลอดจนศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการตั้งโรงงานผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ในระดับอุตสาหกรรม รวมทั้งการวางผังกระบวนการผลิตในโรงงานตลอดจนการหาเงินลงทุนและวิเคราะห์ผลตอบแทนของการลงทุน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างประกอบด้วยคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นที่มีขนาด 60×40 ตร.ซม. แต่ละคอยล์ประกอบด้วยท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว จำนวน 4 แถว การวางเรียงท่อเป็นแบบเหลื่อมกัน ติดครีบอลูมิเนียม 13 ครีบต่อนิ้ว ของไหลใช้งานคือฟรีออน-22 กรรมวิธีการสร้างใช้วิธีดูดสุญญากาศแล้วเติมของไหลใช้งานในสภาวะของของเหลว จากการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐานพบว่าเครื่องมีประสิทธิผลสูงสุด ร้อยละ 57 อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 3,200 วัตต์ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (คิดจากพื้นที่ผิวภายในท่อ) 174 วัตต์ ต่อ ตร.ม. ต่อ องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพในการเก็บกลับพลังงานในระบบทำความเย็นขนาด 36,000 บีทียู ต่อ ชม. เท่ากับ ร้อยละ 30

จากการศึกษาด้านการตั้งโรงงานผลิตและด้านการเงิน ได้ข้อสรุปดังนี้วัตถุดิบหลักคือท่อทองแดง กำลังการผลิตปกติ 3,000 เครื่องต่อปี ใช้กำลังคนทั้งโรงงาน 63 คน ให้ทำเลที่ตั้งของโรงงานอยู่ภายในการนิคมอุตสาหกรรมในภาคตะวันออก โดยใช้เนื้อที่ทั้งหมด 5,600 ตร.ม. อายุโครงการ 20 ปี การลงทุนดังกล่าวใช้เงินลงทุนทั้งสิ้น 50,000,000 บาท โดยเป็นเงินลงทุนของผู้ถือหุ้น 25,000,000 บาท และเงินกู้ระยะยาว 25,000,000 บาท จากการวิเคราะห์ด้านการเงินโดยคิดจากกระแสเงินสดของโครงการหลังหักภาษีโครงการให้ผลตอบแทนดังนี้ อัตราผลตอบแทนของโครงการ ร้อยละ 33.1 อัตราผลตอบแทนผู้ถือหุ้น ร้อยละ 45.7 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 60,005,819 บาท ระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 6 เดือน อนึ่งโครงการสามารถดำเนินการได้โดยที่ไม่ขาดทุน ถ้ามูลค่าการขายลดลงไม่เกิน ร้อยละ 11.5 หรือถ้าต้นทุนดำเนินการเพิ่มขึ้นไม่เกิน ร้อยละ 14.5

สรุปแล้วโครงการมีความเป็นไปได้ทั้งด้านเทคนิคการผลิตและด้านการเงิน

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C216130 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: HEAT PIPE/COIL-LOOP THERMOSIPHON/HEAT EXCHANGER/FEASIBILITY STUDY

BREECHA NATONG : TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF A FACTORY MANUFACTURING COIL-LOOP THERMOSIPHON HEAT EXCHANGERS. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WIWUT THANTHAPANICHAKOON, Ph.D, JINTANA SIRISUNTANA, 228 pp. ISBN 974-581-988-3

The present research investigated the fabrication technique, proposed a standard performance test method of the coil-loop thermosiphon heat exchanger, and made a feasibility study on the setup of a manufacturing factory, including the layout of the factory, the securing of investment capital and the analysis of return on investment

The constructed heat exchanger consisted of an evaporator coil and a condenser coil. Each coil had cross-sectional area of 60x40 sq.cm., used 3/8 inch copper tubes in 4 separate loops. The vacuum pump method was used to fill in liquid working fluid. From the standard performance test, it was found that the maximum effectiveness was 57%, the highest heat transfer rate 3,200 watt, the overall heat transfer coefficient (based on the inside surface) was 174.4 W/m^2-°C, and the efficiency of heat recovery in a 36,000 Btu/hr cooling system was 30%.

From a study on the setup of a manufacturing factory and its financial analysis, the following points were obtained. The major raw material was the copper tube. Production capacity was 3,000 units/year. The required manpower was estimated to be 63 persons. A proposed factory location was the eastern industrial estate with a total area of 5,600 sq.m.. The operation life of the project was 20 years. The total investment required was 50,000,000 Baht with owners' equities amounting to 25,000,000 Baht and 25,000,000 Baht as long-term loan. Conclusions obtained from a financial analysis based on the net cash-flow after taxed were as follows : internal rate of return 33.1%, rate of return on investor 45.7%, net present value 60,005,819 Baht., payback period 7 years and 6 months. The project would break even, if there was an 11.5% decrease in the sale revenue or a 14.5% increase in the operating cost.

In conclusion, the project was technically and financilly feasible.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการวิจัยและให้ข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจนัจที ประธานกรรมการ, อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี และ อาจารย์ จินตนา ศิริสันธนะ ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ดร. สรยุทธ มีนะพันธ์, คุณ สาธิต จิตต์ประทุม และคุณ พิชัย ตั้งสถาพรพานิชย์ ที่ได้ให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย และขอขอบคุณ Prof. Masakatsu Nomura ที่ได้กรุณาแนะนำทุนการศึกษา สุดท้ายขอขอบคุณ บริษัท ยูนิแฟ็บ อิควิปเมนต์ จำกัด และบริษัท ไดกิ้น (ประเทศไทย) ที่ได้ให้อนุญาติไปเยี่ยมชมกระบวนการผลิตหน่วยแฟนคอยล์ กับหน่วยคอนเดนซิ่ง ของโรงงาน

อนึ่งงานวิจัยนี้ได้รับความสนับสนุนทางด้านเครื่องมืออุปกรณ์จากโครงการวิจัย การพัฒนาสร้างและประยุกต์อุปกรณ์ฮีทไปป์ในระดับอุตสาหกรรม ของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และได้รับความสนับสนุนทางด้านการเงินจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนการศึกษาของ Minoo-chuo Rotary Club ของประเทศญี่ปุ่น ผู้เขียนจึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณอาจารย์และเพื่อนอีกหลายท่านที่มิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือข้าพเจ้าโดยประการทั้งปวง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 4

1.6 หลักการทำงานของฮีทไปป์ และคอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 4

1.7 การประยุกต์ใช้ประโยชน์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 10

1.8 ผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับฮีทไปป์ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

1.8.1 ผลงานวิจัยในอดีตที่ศึกษาที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 11

1.8.2 ผลงานวิจัยในต่างประเทศเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบคอยล์-ลูปเทอร์โมไซฟอน .. 16

1.8.3 ผลงานวิจัยทั่วๆ ไป 21

2. แนวทางในการออกแบบและสร้างฮีทไปป์ แบบคอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 22

2.1 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ 22

บทที่ หน้า

2.1.1 การเลือกส่วนประกอบต่างๆ 12
2.1.2 การออกแบบ 34
2.2 การสร้างฮีทไปป์ แบบคอยล์-ลูปเทอร์โมไซฟอน 41
2.2.1 ส่วนประกอบของฮีทไปป์ แบบคอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 41
2.2.2 การทำความสะอาดส่วนประกอบต่างๆ 44
2.2.3 ขั้นตอนการประกอบ 47
2.2.4 การตรวจสอบรอยรั่ว 48
2.2.5 การทำสุญญากาศและการเติมของไหลใช้งาน ... 48
2.2.6 การปิดผนึกท่อ 56
3. การสร้างและวิธีการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 57
3.1 การสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 57
3.1.1 เงื่อนไขในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 57
3.1.2 การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 58
3.1.3 ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 64
3.1.4 การทำความสะอาดส่วนประกอบต่างๆ 68
3.1.5 ขั้นตอนการประกอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 69
3.1.6 การตรวจสอบรอยรั่วของเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 71
3.1.7 การทำสุญญากาศและการเติมของไหลใช้งาน ... 72
3.1.8 การปิดผนึกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 78
3.1.9 รายละเอียดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ที่สร้าง 79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

3.2 วิธีการมาตรฐานในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 82
3.2.1 เงื่อนไขการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน 82
3.2.2 ชุดทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน 83
3.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน 87
3.2.4 ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน 89
3.2.5 ผลการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน 90
4. การผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ในอุตสาหกรรม 98
4.1 จุดมุ่งหมายและเงื่อนไขในการผลิต 98
4.2 การผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ในอุตสาหกรรม 98
4.2.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ 99
4.2.2 กระบวนการผลิต 100
4.2.3 โปรแกรมการผลิต 109
4.2.4 กำลังการผลิต 111
4.2.5 ที่ดิน อาคารสิ่งก่อสร้าง และเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิต 111
4.2.6 สถานที่ตั้งโรงงาน 115
4.2.7 การวางผังโรงงาน 116
4.2.8 วัตถุดิบ 119
4.2.9 สาธารณูปโภค 119
4.2.10 บุคลากร 120
5. การประเมินความเป็นไปได้ทางการเงินของโรงงานผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน 126
5.1 สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษา 126
5.2 การประมาณเงินลงทุนและด้านการเงิน 128
5.2.1 การประมาณเงินลงทุน 128
5.2.1.1 เงินลงทุน 128

บทที่ หน้า

5.2.1.2 แหล่งเงินทุน 130
5.2.2 การประมาณด้านการเงิน 133
5.2.2.1 การประมาณรายได้ 133
5.2.2.2 การประมาณค่าใช้จ่าย 134
5.2.2.3 ประมาณการงบกำไรขาดทุน 134
5.2.2.4 ประมาณการงบกระแสเงินสด 135
5.3 การวิเคราะห์ผลตอบแทน 142
5.3.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 142
5.3.2 อัตราผลการตอบแทนการลงทุน 143
5.3.3 ระยะเวลาคืนทุน 145
5.4 การประเมินผลด้านการเงินภายใต้ความไม่แน่นอน 151
5.4.1 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน 151
5.4.2 การวิเคราะห์ความไว 161
6. สรุปผลการวิจัย อุปสรรค และแนวทางวิจัยในอนาคต 166
เอกสารอ้างอิง 171
ภาคผนวก 179
ภาคผนวก ก : หน่วยเปรียบเทียบและค่าคงที่ต่างๆ 179
ภาคผนวก ข : คุณสมบัติของวัสดุของแข็ง ของไหลใช้งาน และอากาศ 182
ภาคผนวก ค : การประเมินค่าใช้จ่ายต่างๆ และตัวอย่างการวิเคราะห์ทางด้านการเงิน 191
ประวัติผู้เขียน 228

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	วิธีการส่งกลับของของเหลวควบแน่น	6
2.1	ช่วงอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมของของไหลใช้งานชนิดต่างๆ	24
2.2	ค่าตัวเลขเมอริท (M) ที่จุดเดือดของของไหลใช้งานในช่วงอุณหภูมิระหว่าง -200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส	27
2.3	ความเข้ากันได้ของวัสดุท่อกับของไหลใช้งาน	29
3.1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของของไหลใช้งาน	61
3.2	รายละเอียดของท่อเทอร์โมไซฟอน	80
3.3	รายละเอียดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูปเทอร์โมไซฟอน ที่สร้าง	81
3.4	การคำนวนหาประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน	96
4.1	โปรแกรมการผลิตของโครงการ	109
4.2	แผนภูมิแสดงการดำเนินการจัดตั้งโรงงานในช่วงปีที่ 1-2	110
4.3	รายการเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต	113
5.1	เงินลงทุนของโครงการ	131
5.2	การชำระเงินกู้และดอกเบี้ยในแต่ละปี	132
5.3	การประมาณต้นทุนการผลิตรายปี	136
5.4	การประมาณงบกำไร-ขาดทุน	138
5.5	การประมาณงบกระแสเงินสด	140
5.6	สรุป งบกระเงินสด และงบกำไร-ขาดทุน ของโครงการเพื่อใช้วิเคราะห์ผลตอบแทน	148
5.7	สรุปการวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการและผู้ถือหุ้น	150
5.8	ค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการดำเนินการของโครงการต่อปีในปีที่ 3 ..	155
5.9	มูลค่าการขายของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ปีที่ 3	155
5.10	ปริมาณการผลิตต่อปี ณ จุดคุ้มทุน ปีที่ 3	156
5.11	ราคาขายต่อหน่วย ณ จุดคุ้มทุน ปีที่ 3	156
5.12	สรุปการใช้จุดคุ้มทุนในการวิเคราะห์การขาย รายปี	157

5.13 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อโครงการ 164
5.14 สรุป การวิเคราะห์ความไวของโครงการ 165

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ฮีทไปป์และฮีทไปป์ไร้วิกค์ (เทอร์โมไซฟอน)	5
1.2	แนวความคิดในการออกแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน	7
1.3	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ...	8
1.4	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ชนิดสองทาง และชนิดทางเดียว	9
2.1	ความดันไอที่อุณหภูมิต่างๆของของไหลใช้งาน	25
2.2	ค่าตัวเลขเมอริทของของไหลใช้งานที่อุณหภูมิจุดเดือด	27
2.3	ความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำท่อชนิดต่างๆ	31
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง (ρ/f_{μ}) กับอุณหภูมิ	32
2.5	ค่า (kf_{μ}) ที่อุณหภูมิการใช้งานต่างๆของวัสดุ	33
2.6	การออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางของย่านไอผ่าน	36
2.7	ความดันไอที่อุณหภูมิต่างๆ ของของไหลใช้งาน	39
2.8	การออกแบบขนาดของท่อ	40
2.9	การออกแบบขนาดของหมวกปิดท่อ	40
2.10	ส่วนประกอบต่างๆของฮีทไปป์ทั่วไป	41
2.11	วิธีเชื่อมต่อหมวกปิดท่อแบบต่างๆ	43
2.12	แผนผังขั้นตอนการสร้างฮีทไปป์	44
2.13	วิธีผลิตฮีทไปป์แบบให้ความร้อนโดยตรง	49
2.14	วิธีผลิตฮีทไปป์แบบใช้ออยบาธ	50
2.15	ขั้นตอนการสร้างฮีทไปป์โดยใช้ปั๊มสูญญากาศแบบที่ 1	52
2.16	ระบบการผลิตฮีทไปป์โดยใช้ปั๊มสูญญากาศแบบที่ 1	53
2.17	ระบบการผลิตฮีทไปป์โดยใช้ปั๊มสูญญากาศแบบที่ 2	55
3.1	ลักษณะการวางเรียงท่อต่างๆ	59
3.2	แบบของคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่น	65
3.3	ภาพถ่ายของคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่น	66
3.4	ภาพถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ที่ประกอบเสร็จ และพร้อมทดสอบสมรรถนะ ...	71

รูปที่		หน้า
3.5	แผนผังชุดทำสุญญากาศและเติมของไหลใช้งาน	76
3.6	ลักษณะของท่อชนิดมีร่องเกลียวภายใน	80
3.7	ไดอะแกรมชุดทดสอบสมรรถนะมาตราฐาน	84
3.8	จุดต่างๆที่วัดความเร็วลมภายในท่อเพื่อหาความเร็วเฉลี่ย	85
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมของลมร้อนกับความดันลด	86
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมของลมเย็นกับความดันลด	86
3.11	รูปแบบการถ่ายเทความร้อน	89
3.12	ผลการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน	93
3.13	อิทธิพลของ w_{max}/w_{min} ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย	94
3.14	การเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถนะกับผลการทดลองของสเทาร์เดอร์	95
4.1	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ชนิดมาตรฐาน	99
4.2	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ชนิดแยกส่วนประกอบ	100
4.3	ขบวนการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน โดยสังเขป	101
4.4	แสดงขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตของ คอยล์ระเหย และคอยล์ควบแน่น	104
4.5	แสดงขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมาตรฐาน	106
4.6	แสดงขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแยกส่วนประกอบ.....	108
4.7	ผังบริเวณโรงงาน	117
4.8	ผังภายในโรงงาน	118
4.9	ผังการจัดองค์กรการบริหาร	121
5.1	ผลการวิเคราะห์อิทธิพลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเดี่ยวต่อความไวของโครงการ	166