ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการเลือกและการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

นายชาญเวช มุนินทร์นิมิตต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-634-836-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17175868

EXPERT SYSTEM FOR HEAT EXCHANGER SELECTION AND DESIGN

Mr. Charnwej Muninnimitt

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Chemical Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1996

ISBN 974-634-836-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการเลือกและการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
โดย	นายขาญเวช มุนินทร์นิมิตต์
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์

บันฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ชาญเวช มุนินทร์นิมิตต์ : ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการเลือกและการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (EXPERT SYSTEM FOR HEAT EXCHANGER SELECTION AND DESIGN)
อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, 133 หน้า. ISBN 974-634-836-1

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการเลือกและการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ (1) ส่วนการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม (2) ส่วนการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ และ (3) ส่วนฐานข้อมูลสมบัติของของไหล

โปรแกรมการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม พัฒนาขึ้นโดยอาศัยฐานความรู้ของข้อกำหนดต่างๆ ซึ่งรวบรวมจากผู้เชี่ยวชาญ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่นำมาพิจารณาเป็นชนิดที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม มี 5 ชนิด คือ Air-Cooled, Plate-and-Frame, Spiral, Double-Pipe และ Shell-and-Tube การทำงานของโปรแกรม เริ่มจากตรวจสอบสถานะของของไหล คำนวณอุณหภูมิที่ไม่ทราบค่า และคำนวณความร้อนที่ต้องการถ่ายโอนก่อนประมวลผลการเลือก กระบวนการเลือกกระทำโดยการคัดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่เหมาะสมกับข้อกำหนดต่างๆ ออก และตัดสินใจเลือกจากข้อกำหนดต่างๆ โดยวิธี SMART (Simple Multi Attribute Rating Technique) การแสดงผลประกอบด้วยเหตุผลของการเลือกและการคัดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่เหมาะสมออก พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องการ วัสดุที่เหมาะสมกับชนิดของของไหล และค่าใช้จ่ายของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยประมาณ

โปรแกรมการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ ใช้วิธีคำนวณความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ผลการคำนวณมีความน่าเชื่อถือเฉพาะในกรณีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลวกับของเหลว และปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมอย่างมาก คือ แฟกเตอร์ความเสียดทาน ที่อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของแฟกเตอร์ความเสียดทานต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม ประมาณ 1:11,326 และส่วนสุดท้ายคือส่วนฐานข้อมูลสมบัติของของไหล ประกอบด้วยข้อมูลความหนาแน่น ความหนืด ความจุความร้อน การนำความร้อน อุณหภูมิวิกฤต และความดันวิกฤต ของสาร 33 ชนิด ซึ่งผู้ใช้สามารถแก้ไขหรือเพิ่มเติมสมบัติของสารอื่นๆ เข้าไปได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

##C625619 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEY WORD: EXPERT SYSTEM / HEAT EXCHANGER / DESIGN
CHARNWEJ MUNINNIMITT : EXPERT SYSTEM FOR HEAT EXCHANGER SELECTION AND DESIGN. THESIS ADVISOR : PORNPOTE PIUMSOMBOON, Ph.D. 133 pp. ISBN 974-634-836-1

An expert system for selecting a heat exchanger and design was developed. The program composes of three parts : (1) the selection part, (2) the design part, and (3) the database of fluid properties. In the selection part, the heat exchanger selection program was developed using knowledge-based of criteria that was collected from the experts. The popular types of heat exchangers in the industry selected are; Air-Cooled, Plate-and-Frame, Spiral, Double-Pipe, and Shell-and-Tube. Before starting selection process, the program started from checking phase of the fluids and calculating an unknown temperature and heat load. The selection proceeded by excluding the ones that did not comply with criteria and decided based on these criteria by using SMART method (Simple Multi Attribute Rating Technique). The results display the reason of selecting and/or excluding each heat exchanger, heat exchange area, suitable material, and rough cost estimation.

In the design part, Shell-and-Tube heat exchanger design program optimizes the solution based on the economic aspect. The result is reliable for the case of liquid and liquid exchange. The friction factor is the most critical factor for the overall heat transfer coefficient calculation. The ratio of change of the overall heat transfer coefficient to unit of friction factor is about 11,326:1. And the last part, the database section contains the properties of 33 chemical species. The properties are density, viscosity, heat capacity, thermal conductivity, critical temperature, and critical pressure. The program allows a user to modify or add new data into the database.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมี เทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมี เทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และสนับสนุนอุปกรณ์ที่จำเป็นในการค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างดีโดยตลอด

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร และอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยชี้แนะให้งานวิจัยนี้เสนอเป็นผลงานได้อย่างดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยนี้

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำวิจัยนี้มาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

2 วารสารปริทัศน์ 3

ระบบผู้เชี่ยวชาญ 3

กลไกการถ่ายโอนความร้อน 8

การคำนวณสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 8

ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 13

การเลือกชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 20

การวิเคราะห์การตัดสินใจโดยวิธี SMART 26

การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ 28

ความดันลด 37

การออกแบบเชิงเครื่องกล 39

การตรวจสอบสถานะของของไหล 40

3 อุปกรณ์และขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม 42

อุปกรณ์ในการพัฒนาและทดสอบโปรแกรม 42

ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม 43

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม 43

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ ... 45

4 ผลการพัฒนาโปรแกรม 50

โปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม 50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	โปรแกรมเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ	66
	เปรียบเทียบผลการออกแบบของโปรแกรม HEXPERT กับโปรแกรม HEXTRAN	76
	การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรผลลัพธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์	77
	โปรแกรมฐานข้อมูลสมบัติของของไหล	78
5	วิจารณ์ผลการพัฒนาโปรแกรม	82
	การตรวจสอบสถานะของของไหล	82
	การรวบรวมข้อมูลเพื่อการเลือกชนิดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	82
	การเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม	86
	การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ	88
	ฐานข้อมูลสมบัติของของไหล	93
6	สรุปและข้อเสนอแนะ	94
	สรุป	94
	ขีดจำกัดของโปรแกรม HEXPERT	96
	ข้อเสนอแนะ	96
รายการอ้างอิง		97
ภาคผนวก		100
ก	ขั้นตอนการหาสมการพลังงานสูญเสียในท่อ	101
ข	ขั้นตอนการหาสัมประสิทธิ์ฟิล์มการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาในท่อ	104
ค	ค่าคงที่ของสมการหาสมบัติของของไหล	106
ง	ความเหมาะสมของวัสดุกับของไหล	115
จ	ตัวอย่างการคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	117
ฉ	ผลการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อจาก โปรแกรม HEXTRAN	124
ช	สมการแฟกเตอร์ความเสียดทานแบบต่างๆ	131
ประวัติผู้เขียน		133

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 กระบวนการถ่ายโอนความร้อนแบบต่างๆ 8

2.2 ข้อแนะนำในการเลือกชนิดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของ Larowski และ Taylor 21

2.3 ข้อแนะนำในการเลือกชนิดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของ Burley 23

2.4 การเปรียบเทียบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของ Bailey 24

2.5 การให้คะแนน (Rating) คุณสมบัติต่างๆ (U_{ij}) 26

2.6 น้ำหนักความสำคัญ (Rank weighting) ของคุณสมบัติจากตารางที่ 2.5 27

2.7 การคำนวณผลรวมของค่าใช้งาน (Total utility value, U_{id}) 27

4.1 สรุปข้อกำหนดของการเลือกชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 51

4.2 สภาพแวดล้อมของการคำนวณเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบเชลล์และท่อ 66

4.3 เปรียบเทียบผลของโปรแกรม HEXPERT กับโปรแกรม SimSci HEXTRAN 76

4.4 ค่าความผิดพลาดของผลการคำนวณจากโปรแกรม HEXPERT 76

4.5 ผลของตัวแปร F_s , B_i , B_o/n_b และแฟกเตอร์ความเสียดทาน ที่มีต่อค่า U_o 78

ค1 ค่าคงที่สมการหาความจุความร้อนจำเพาะของแก๊ส 107

ค2 ค่าคงที่สมการหาความจุความร้อนจำเพาะของของเหลว 108

ค3 ค่าคงที่สมการหาความหนาแน่นของของเหลว 109

ค4 ค่าคงที่สมการหาการนำความร้อนของแก๊ส 110

ค5 ค่าคงที่สมการหาการนำความร้อนของของเหลว 111

ค6 ค่าคงที่สมการหาความหนืดของแก๊ส 112

ค7 ค่าคงที่สมการหาความหนืดของของเหลว 113

ค8 อุณหภูมิวิกฤตและความดันวิกฤตของของไหล 114

ง1 ความเหมาะสมของวัสดุกับชนิดของของไหล 116

จ1 ข้อมูลป้อนเข้าของตัวอย่างการคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 118

จ2 ข้อมูลป้อนเข้าในหน่วยอังกฤษ 118

จ3 สมบัติของ Styrene ที่อุณหภูมิฟิล์มเฉลี่ย และของน้ำที่อุณหภูมิผนังท่อด้านใน 119

ช1 เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน 132

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ขั้นตอนการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ 4
2.2 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ 5
2.3 วิธีแก้ปัญหาของผู้เชี่ยวชาญ (Human expert) 7
2.4 วิธีแก้ปัญหาของระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) 7
2.5 อุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามกันและแบบไหลสวนกัน 10
2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศ 13
2.7 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเพลท 14
2.8 ลักษณะของ Corrugated plate 14
2.9 การรั่วไหลของปะเก็น 15
2.10 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหอยโข่ง 16
2.11 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 18
2.12 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ 18
3.1 แผนภูมิการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม 44
3.2 แผนภูมิการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ส่วนที่ 1) 46
3.3 แผนภูมิการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ส่วนที่ 2) 47
4.1 แสดงวินโดว์สโปรแกรมการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 55
4.2 ผลโปรแกรมการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 1 55
4.3 วินโดว์สอธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 1 56
4.4 วินโดว์สแสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 1 56
4.5 วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 57
4.6 ผลโปรแกรมการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 2 57
4.7 วินโดว์สอธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 2 58
4.8 วินโดว์สแสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 2 58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 59

4.10 ผลโปรแกรมการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 3 59

4.11 วินโดว์สอธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 3 60

4.12 วินโดว์สแสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 3 60

4.13 วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาที่ 4 61

4.14 ผลโปรแกรมการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 4 61

4.15 วินโดว์สอธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 4 62

4.16 วินโดว์สแสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 4 62

4.17 วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาที่ 5 63

4.18 ผลโปรแกรมการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 5 63

4.19 วินโดว์สอธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 5 64

4.20 วินโดว์สแสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 5 64

4.21 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D01 69

4.22 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D01 69

4.23 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D02 70

4.24 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D02 70

4.25 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D03 71

4.26 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D03 71

4.27 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D04 72

4.28 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D04 72

4.29 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D05 73

4.30 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D05 73

4.31 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D06 74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.32 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D06 74

4.33 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D07 75

4.34 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D07 75

4.35 วินโดว์สโปรแกรมฐานข้อมูลสมบัติของของไหล 79

4.36 วินโดว์สโปรแกรมฐานข้อมูลสมบัติของของไหล ส่วนสมบัติสถานะแก๊ส 80

4.37 วินโดว์สโปรแกรมฐานข้อมูลสมบัติของของไหล ส่วนสมบัติสถานะของเหลว 80

4.38 วินโดว์สโปรแกรมฐานข้อมูลสมบัติของของไหล ส่วนสมบัติจุดวิกฤต 81

4.39 วินโดว์สโปรแกรมฐานข้อมูลสมบัติของของไหล ส่วนความเหมาะสมของวัสดุ
กับของไหล 81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย