184

# โปรแกรมแนววัตถุสำหรับการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบยืดหยุ่น: กรณีบริเวณพินช์ที่ต่อเนื่อง

นาย ณัฐพร ทรงศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2538

ISBN 974-632-768-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16717765X

# OBJECT-ORIENTED PROGRAM FOR RESILIENT HEAT EXCHANGER NETWORK DESIGN: CONTINUOUS PINCH REGION CASE

MR. NATTAPPORN SONGSIRI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-768-2

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | โปรแกรมแนววัตถุสำหรับการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบยืดหยุ่น: กรณีบริเวณพินช์ที่ต่อเนื่อง |
| โดย | นาย ณัฐพร ทรงศิริ |
| ภาควิชา | วิศวกรรมเคมี |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี |

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ณัฐพร ทรงศิริ : โปรแกรมแนววัตถุสำหรับการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบยืดหยุ่น : กรณีบริเวณพินช์ที่ต่อเนื่อง (OBJECT-ORIENTED PROGRAM FOR RESILIENT HEAT EXCHANGER NETWORK DESIGN : CONTINUOUS PINCH REGION CASE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.มนตรี วงศ์ศรี, 182 หน้า. ISBN 974-632-768-2

RHEN เป็นซอฟต์แวร์ทางกราฟฟิกสำเร็จรูป สำหรับออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบยืดหยุ่น ซอฟต์แวร์ที่ได้นี้ใช้วิธีการออกแบบกระสวนการจับคู่ และวิธีการส่งผ่านความแปรปรวนของ Wongsri (1990) RHEN เขียนด้วยภาษา C++ และทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ DOS ลักษณะและฟังก์ชันที่สำคัญอื่นๆ คือ ตารางรับข้อมูล ตารางปัญหา ไดอะแกรมกริด เส้นโค้งคอมโพสิต เส้นโค้งแกรนด์-คอมโพสิต และค่าใช้จ่ายของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน นอกจากนี้ RHEN สามารถหาค่า $\Delta T_{min}$ ที่ประหยัดค่าใช้จ่ายของข่ายงานมากที่สุด และหาคำตอบของข่ายงานที่เป็นไปได้เกือบทุกคำตอบ ข่ายงานคำตอบที่ได้ มีความยืดหยุ่นโดยไม่จำเป็นต้องพัฒนาดัดแปลงในภายหลังอีก และมีการดึงพลังงานกลับคืนได้มากที่สุดด้วย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C616873 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: HEAT EXCHANGER NETWORK / OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING / PINCH / RESILIENCY

NATTAPORN SONGSIRI : OBJECT-ORIENTED PROGRAM FOR RESILIENT HEAT EXCHANGER NETWORK DESIGN : CONTINUOUS PINCH REGION CASE. THESIS ADVISOR : DR. MONTREE WONGSRI, 182pp. ISBN 974-632-768-2

RHEN is a graphical software package for synthesis of resilient heat exchanger networks. The software uses optimal resilient heat exchanger network design methods developed by Wongsri (1990), i.e., the Match Pattern design method and the Disturbance Propagation method. It is written in C++ language, and run on a DOS machine. Other features and functions are data input table, problem table, grid diagram, composite curves, grand composite curves and the cost of heat exchangers. RHEN can also optimize $\Delta T_{min}$ for capital and operating costs. It can find almost all possible network solutions. The solution networks obtained are resilient without further evolutionary development and feature maximum energy recovery.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ ประธานกรรมการ, ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความสนใจและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และน้องๆ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่สาว ซึ่งคอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญภาพ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....ญ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 คำนำ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....3
1.5 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....3

บทที่ 2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา
2.1 วิธีการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไม่ยืดหยุ่น.....5
2.1.1 การวิเคราะห์เป้าหมายของข่ายงาน.....5
2.1.2 การออกแบบข่ายงาน.....7
2.2 การออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบยืดหยุ่น.....11
2.2.1 การออกแบบข่ายงานด้วยวิธีการรวมข่ายงาน (Combination Design).....13
2.2.2 วิธีการออกแบบข่ายงานแบบยืดหยุ่นโดยตรง.....16

บทที่ 3 การออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบยืดหยุ่นของ Wongsri
3.1 ฮิวริสติกสำหรับการวิเคราะห์ข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....20
3.2 กระสวนการจับคู่ (Match patterns).....23
3.3 กระสวนการจับคู่ของข่ายงานแบบยืดหยุ่น.....29

หน้า

3.4 ชนิดของความแปรปรวน....35
3.5 สภาวะการออกแบบ....37
3.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ....39
3.7 วิธีการส่งผ่านความแปรปรวน (Disturbance Propagation Method, DPM)....44
3.8 การหาค่า $\Delta T_{min}$ ที่เหมาะสมกับข่ายงาน....48
3.8.1 จำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่น้อยที่สุด....48
3.8.2 พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน....50
3.8.3 ค่าใช้จ่ายของข่ายงาน....52

บทที่ 4 การออกแบบโปรแกรมและการใช้งาน
4.1 ภาษาเชิงวัตถุ....62
4.1.1 คลาสและวัตถุ....64
4.1.2 เอนแคปซูเลชัน (Encapsulation)....65
4.1.3 อินเฮอริแทนซ์ (Inheritance)....65
4.1.4 โพลีมอร์ฟีซึม (Polymorphism)....65
4.2 การออกแบบคลาสในข่ายงาน....66
4.3 โฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรม....75

บทที่ 5 การสาธิตการใช้โปรแกรม....80

บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์ผลงานวิจัย
6.1 สรุปผลการวิจัย....97
6.2 วิจารณ์ผลงานวิจัย....99

หน้า

รายการอ้างอิง.....101
ภาคผนวก ก ตัวอย่างคลาส กระสวนการจับคู่ และโค้ดโปรแกรม.....106
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการทดสอบโปรแกรม.....148
ประวัติผู้เขียน.....182

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1 ลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนคลาสต่างๆ.....25
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสองกระแส.....31
รูปที่ 3.3 เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของกระแสร้อนเพิ่มขึ้น 5°.....31
รูปที่ 3.4 เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของกระแสร้อนลดลงเหลือ 101°.....32
รูปที่ 3.5 เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของกระแสเย็นเพิ่มขึ้น 5°.....32
รูปที่ 3.6 เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของกระแสเย็นลดลงเหลือ 0°.....32
รูปที่ 3.7 การแลกเปลี่ยนความร้อนที่สภาวะปกติ.....34
รูปที่ 3.8 เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของกระแสร้อนเพิ่มขึ้น 1°.....34
รูปที่ 3.9 เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของกระแสร้อนลดลง 1°.....34
รูปที่ 3.10 เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของกระแสเย็นเพิ่มขึ้น 5°.....35
รูปที่ 3.11 เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของกระแสเย็นลดลง.....35
รูปที่ 3.12 ความแปรปรวนเนื่องจากอุณหภูมิฟินช์ในข่ายงานแบบยืดหยุ่น.....39
รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างการพิจารณาความแปรปรวนของกระแส.....42
รูปที่ 3.14 แสดงความร้อนและความแปรปรวนของกระแสก่อนการแลกเปลี่ยนความร้อน.....44
รูปที่ 3.15 การแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อ $L_C > L_H$ (คลาสเอ).....44
รูปที่ 3.16 การแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อ $L_C > L_H$ (คลาสบี).....45
รูปที่ 3.17 กรณี $L_C > L_H$ (คลาสเอ).....45
รูปที่ 3.18 กรณี $L_C > L_H$ (คลาสบี).....46
รูปที่ 3.19 แสดงข้อมูลของกระแสในตัวอย่างที่ 3.1.....46

หน้า

รูปที่ 3.20 แสดงค่าความแปรปรวนของกระแสที่คำนวณได้....47
รูปที่ 3.21 แสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนของกระแสทั้งสองที่สมบูรณ์แล้ว....48
รูปที่ 3.22 ไดอะแกรมกริดสำหรับตัวอย่างที่ 3.2....49
รูปที่ 3.23 เส้นโค้งคอมโพสิตสมดุลสำหรับการหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของข่ายงาน....50
รูปที่ 3.24 ผลของการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแนวตั้ง (a) และไม่ใช่แนวตั้ง (b)....53
รูปที่ 3.25 เส้นโค้งคอมโพสิตสมดุลของตัวอย่างที่ 3.3 โดย $\Delta T_{min.}$= 10°....57
รูปที่ 3.26 แสดงการแบ่งช่วงเอนทาลปีในไดอะแกรมกริด....58
รูปที่ 3.27 แสดงค่า $\Delta T_{min.}$ ในข่ายงานตัวอย่าง 3.3 ที่ประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด....60
รูปที่ 3.28 ค่าใช้จ่ายของข่ายงานเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันได....61
รูปที่ 4.1 แสดงการทำงานของโปรแกรมโดยรวม....67
รูปที่ 4.2 ข้อมูลกระแสสำหรับสร้างข่ายงานแลกเปลี่ยนความร้อน....68
รูปที่ 4.3 โหนดที่ 1 ใช้แพทเทิร์น A[H]....69
รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างที่สมบูรณ์ของข่ายงาน....69
รูปที่ 4.5 แสดงลำดับและสถานะของโหนดต่างๆ....70
รูปที่ 4.6 แสดงโหนดที่ 4 ใช้แพทเทิร์น A[H]....72
รูปที่ 4.7 แสดงโหนดที่ 4 ซึ่งเป็นโหนดลูกของโหนด O....72
รูปที่ 4.8 แสดงข่ายงานคำตอบที่สอง....73
รูปที่ 4.9 ไดอะแกรมของโหนดคำตอบข่ายงานคำตอบที่ 2 ที่เพิ่มขึ้นมา....73
รูปที่ 4.10 แสดงข่ายงานคำตอบที่สาม....74
รูปที่ 4.11 แสดงข่ายงานคำตอบที่สี่....74
รูปที่ 4.12 ไดอะแกรมของโหนดทั้งสี่คำตอบที่สมบูรณ์ในตัวอย่างที่ 4.1....74
รูปที่ 4.13 แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรมในการหาโครงสร้างของข่ายงาน....76
รูปที่ 4.13 (ต่อ)....77
รูปที่ 4.13 แสดงส่วนของการสร้างหน่วยยูทิลิตีและการตรวจสอบคำตอบ....79
รูปที่ 5.1 แสดงโปรแกรมเมื่อเริ่มเปิดใช้งาน....81
รูปที่ 5.2 ตารางสำหรับรับข้อมูลจำนวนกระแสและค่า $\Delta T_{min}$....82

หน้า

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างแสดงการช่วยเหลือของโปรแกรมเมื่อใช้ไอคอนรูปเครื่องหมาย
คำถามที่ตารางรับข้อมูลของจำนวนกระแสและค่า $\Delta T_{min}$.....83
รูปที่ 5.4 ตารางสำหรับรับข้อมูลอุณหภูมิและค่าของผลคูณอัตราการไหลกับความจุ
ความร้อนจำเพาะของกระแส.....84
รูปที่ 5.5 รับช่วงการแปรปรวนของผลคูณอัตราการไหลกับความจุความร้อนจำเพาะ.....85
รูปที่ 5.6 แสดงผลของตารางปัญหา.....85
รูปที่ 5.7 ไดอะแกรมกริด.....86
รูปที่ 5.8 เส้นโค้งคอมโพสิตที่ $\Delta T_{min} = 10°$.....87
รูปที่ 5.9 เส้นโค้งคอมโพสิตที่ $\Delta T_{min} = 15°$.....87
รูปที่ 5.1 เส้นโค้งแกรนด์คอมโพสิต.....88
รูปที่ 5.11 แสดงข่ายงานที่หาได้ 7 โครงสร้างในที่นี้แสดงโครงสร้างที่ 7.....89
รูปที่ 5.12 แสดงรายละเอียดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละตัว.....90
รูปที่ 5.13 โครงสร้างข่ายงานที่ประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด.....91
รูปที่ 5.14 รับข้อมูลเพื่อที่จะหาค่าออปติมัม $\Delta T_{min}$.....92
รูปที่ 5.15 เมื่อ $U$ คงที่ โปรแกรมจะให้ผู้ใช้ใส่ค่า ในที่นี้ $U$ เท่ากับ 0.00004 92
รูปที่ 5.16 แสดง $\Delta T_{min}$ ที่เหมาะสมกับข่ายงานซึ่งเท่ากับ 11°.(เมื่อให้ U คงที่).....93
รูปที่ 5.17 ตารางรับค่า $h$ เมื่อ $U$ ในข่ายงานไม่คงที่.....93
รูปที่ 5.18 แสดง $\Delta T_{min}$ ที่เหมาะสมกับข่ายงานซึ่งเท่ากับ 11° เมื่อให้ U ไม่คงที่
และคำนวณค่าจาก h แทน.....94
รูปที่ 5.19 การเลือกโหมดโครงสร้างข่ายงานแบบยืดหยุ่น.....95
รูปที่ 5.20 แสดงข่ายงานแบบยืดหยุ่นที่โปรแกรมหาได้.....95

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 โอเปอเรเตอร์ของกระสวนการจับคู่คลาสเอ และ คลาสบี.....26
ตารางที่ 3.1 (ต่อ) โอเปอเรเตอร์ของกระสวนการจับคู่คลาสซี และ คลาสดี.....27
ตารางที่ 3.2 โอเปอเรเตอร์กระสวนการจับคู่แบบยืดหยุ่น.....41
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลในการหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของข่ายงานของตัวอย่างที่ 3.3.....55
ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลในการคำนวณที่ $\Delta T_{min}$ เท่ากับ 10°.....58
ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของข่ายงานที่ $\Delta T_{min}$ ค่าต่างๆ.....58

# คำอธิบายสัญลักษณ์

| | |
|---|---|
| $A$ | พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน |
| C | กระแสเย็นในกระบวนการผลิต |
| CU | กระแสเย็นจากหน่วยยูทิลิตี |
| $D$ | ความแปรปรวน |
| $FC_P$ | ผลคูณของอัตราการไหล และความจุความร้อนจำเพาะ |
| $h$ | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์ม |
| H | กระแสร้อนในกระบวนการผลิต |
| HU | กระแสร้อนจากหน่วยยูทิลิตี |
| $L$ | ความร้อนที่ใช้ในการแลกเปลี่ยน |
| $N$ | จำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในข่ายงาน |
| $q$ | ความร้อนที่ใช้ในการแลกเปลี่ยน |
| $Q_{C,min}$ | ปริมาณความร้อนที่คูลเลอร์ใช้น้อยที่สุดในข่ายงาน |
| $Q_{H,min}$ | ปริมาณความร้อนที่ฮีตเตอร์ใช้น้อยที่สุดในข่ายงาน |
| $T$ | อุณหภูมิ |
| $\Delta T_{min}$ | ความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยที่สุดระหว่างการแลกเปลี่ยนความร้อนของกระแสแบบสวนทาง |
| $U$ | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม |
| $W$ | ผลคูณอัตราการไหลและความจุความร้อนจำเพาะ |