

การลดการสูญเสียของเอกเซอร์จีในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยใช้เทคโนโลยีพินซ์



นางสาว กมลทิพย์ อัสวเดชวุฒิ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN-974-03-0869-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REDUCTION OF EXERGY LOSS FROM A HEAT EXCHANGER NETWORK
IN A THERMAL POWER PLANT USING THE PINCH TECHNOLOGY



Miss Kamoltip Atsawadechwuth

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN-974-03-0869-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดการสูญเสียของเอกเซอร์จีในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยใช้เทคโนโลยีพินซ์

โดย

นางสาว กมลทิพย์ อัสวเดชวุฒิ

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ภาสันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ภาสันต์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วรัญ เต้ไพสิฐพงษ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรุ่ง ปริษานนท์)

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กมลทิพย์ อัสวเดชวุฒิ : การลดการสูญเสียของเอกเซอร์จีในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยใช้เทคโนโลยีพินช์ (Reduction of Exergy Loss from a Heat Exchanger Network in a Thermal Power Plant Using The Pinch Technology)
อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ประเสริฐ ภาวนันต์, 153 หน้า ISBN-974-03-0869-4

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามหลักการของเทคโนโลยีพินช์ โดยใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ร่วมในการพิจารณาเลือกเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถเลือกได้ว่าเป็นการลงทุนสร้างเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่หรือเป็นการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเดิมที่มีอยู่ งานวิจัยได้ใช้เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือเป็นกรณีศึกษา โดยผลการวิเคราะห์พบว่าสถานะการทำงานจริงของโรงไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น การเสื่อมคุณภาพของฉนวนที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพลดลง การออกแบบเครือข่ายที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น จากการศึกษพบว่าสาเหตุที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดคือ การออกแบบที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากไม่สามารถควบคุมสถานะการดำเนินงานในสอดคล้องกับสถานะที่ใช้ในการออกแบบได้ โดยอาจมีสาเหตุมาจากการใช้ค่าผลต่างอุณหภูมิที่น้อยที่สุด (ΔT_{\min}) ในสถานะการดำเนินงานจริงสูงกว่า ΔT_{\min} ที่ได้จากการออกแบบ ส่งผลให้เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงไฟฟ้านี้มีการสูญเสียความร้อนโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากมีพลังงานไหลผ่านจุดพินช์ และเพื่อที่จะทำให้ไม่เกิดปัญหานี้ การออกแบบควรจะพิจารณาถึงขนาดของ ΔT_{\min} ที่เหมาะสมที่ทำให้การสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด นอกจากนี้งานวิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการ โดยการปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของแหล่งพลังงานในบริเวณเหนือจุดพินช์และใต้จุดพินช์ โดยให้แหล่งพลังงานความร้อนเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสายเซ็นที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในบริเวณเหนือจุดพินช์เพื่อที่จะทำให้สามารถลดอุณหภูมิของแหล่งพลังงานลงได้ และให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนและแหล่งรับความร้อนภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในช่วงใต้จุดพินช์เพื่อไม่ให้อุณหภูมิของแหล่งรับพลังงานภายนอกมีค่าต่ำเกินไป ซึ่งการพิจารณาปรับเปลี่ยนเช่นนี้จะส่งผลให้เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีการสูญเสียเอกเซอร์จีน้อยลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2544	

4170208021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : EXERGY / HEAT EXCHANGER NETWORK / PINCH TECHNOLOGY

KAMOLTIP ATSAWADECHWUTH : REDUCTION OF EXERGY LOSS FROM A HEAT EXCHANGER NETWORK IN A THERMAL POWER PLANT USING THE PINCH TECHNOLOGY

In this work, a user-friendly software for the design of heat exchanger network was developed. Pinch technology was employed as a tool to create a set of heat exchanger networks with minimum energy/exergy losses whilst the final decision on the most optimal network was decided through the economical consideration. The software also included the option for only modifying the existing network in which the economical analysis would take into account only the changes occurred in the network. The North Bangkok power plant was employed as the model system for this study. It was found that the efficiency of the heat exchanger network from this power plant was lower than the designed value. Few possible causes of this inefficiency, were bad insulation, sealing problem, and improper design of heat exchanger network. The analysis suggested that the inappropriate design was the main cause for this problem. This was possible because it might be difficult to maintain designed conditions in actual working situation. Further investigation revealed that the actual ΔT_{\min} should be higher than the designed value in order not to allow energy and exergy losses due to the heat transfer through pinch point. The appropriate ΔT_{\min} , therefore, should be thoroughly analyzed to ensure the lowest level of energy/exergy losses in this heat exchanger network. Moreover, this work investigated the possibility in reducing exergy loss by adjusting operating conditions of external energy source/sink. It was shown that the exergy loss could be lowered by minimizing the temperature of heat source above pinch point and maximizing the temperature of heat sink below pinch point.

Department Chemical Engineering Student's signature

Field of study Chemical Engineering Advisor's signature

Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประเสริฐ ภาวสันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ
คุณประสาน วิสาลพัทธ์ ผู้เชี่ยวชาญระดับ 10 ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา
แนะแนวทางการทำวิจัย และข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและปรับปรุง
เพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย ศ.ดร.วิวัฒน์ ตันทะพานิช
กุล (ประธานกรรมการ) อ.ดร.วรัญ เต้ไพสิฐพงษ์ (กรรมการ) และ ผศ.ดร.สิริรุ่ง ปริชานนท์
(กรรมการ) ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์
มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา เพื่อน และผู้มีอุปการะคุณที่ให้การ
สนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สารบัญตาราง	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 มูลเหตุและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เทคโนโลยีพินซ์	5
2.2 ปริมาณเอกเซอร์จี	30
2.3 การวิเคราะห์การลงทุนทางเศรษฐศาสตร์	31
2.4 วารสารปริทรรศน์	33
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและวิธีการใช้โปรแกรม	39
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	39
3.2 การคำนวณหาเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้โปรแกรม เทคโนโลยีพินซ์.....	56

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์ผล	66
4.1 การออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากการออกแบบ โดยใช้เทคโนโลยีพินซ์	66
4.2 การวิเคราะห์เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สภาวะการดำเนินงาน ของเครือข่ายที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน	66
4.3 ผลการพิจารณาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการของแหล่ง พลังงาน	78
 บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	137
5.1 บทสรุป	137
5.2 ข้อเสนอแนะ	139
 รายการอ้างอิง	140
 ภาคผนวก	143
ภาคผนวก ก เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	144
ก.1 การคำนวณหาขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	144
ก.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	147
ภาคผนวก ข ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์	150
ข.1 Marshall and Swift Cost Indexes	150
ข.2 ค่าใช้จ่ายของยูทิลิตี้	151
ข.3 การประเมินต้นทุนในการลงทุน	151
 ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	153

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับพลังงานความร้อนของสายร้อน 9
รูปที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับพลังงานความร้อนของสายเย็น 10
รูปที่ 2.3	กราฟคอมโพสิตที่ $\Delta T_{\min} = 10 \text{ K}$ 11
รูปที่ 2.4	กราฟคอมโพสิตที่ $\Delta T_{\min} = 20 \text{ K}$ 11
รูปที่ 2.5	การไหลของพลังงานผ่านจุดพินช์ 12
รูปที่ 2.6	ผลการจัดการพลังงานความร้อนที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ 13
รูปที่ 2.7	ปริมาณการไหลผ่านของพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง 17
รูปที่ 2.8	ปริมาณพลังงานที่ให้เข้าไปบริเวณที่อยู่เหนือจุดพินช์และอยู่ใต้จุดพินช์ ของกราฟคอมโพสิต 18
รูปที่ 2.9	การจับคู่สายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณใต้จุดพินช์ 19
รูปที่ 2.10	การจับคู่สายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์ 20
รูปที่ 2.11	ข้อมูลค่าความจุความร้อนของสายแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ใต้จุดพินช์ 21
รูปที่ 2.12	การจับคู่ของสายแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความ ร้อนกันได้ 21
รูปที่ 2.13	การจับคู่ของสายร้อนและสายเย็นที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกัน โดยการแบ่งค่าพลังงานความร้อนของสายร้อน 21
รูปที่ 2.14	การจับคู่แลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณใต้จุดพินช์ 22
รูปที่ 2.15	ข้อมูลค่าความจุความร้อนของสายแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์ 23
รูปที่ 2.16	การจับคู่ของสายร้อนและสายเย็นที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน 23
รูปที่ 2.17	การจับคู่แลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์ 24
รูปที่ 2.18	การรวมเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์กับบริเวณ ใต้จุดพินช์ 24
รูปที่ 2.19	การจับคู่สายแลกเปลี่ยนความร้อนที่มี Loop เกิดขึ้น 1 Loop 25
รูปที่ 2.20	การจับคู่สายแลกเปลี่ยนความร้อนที่มี 1 Subset 26
รูปที่ 2.21	การจับคู่สายแลกเปลี่ยนความร้อนที่มี Loop เกิดขึ้น 2 Loop 27
รูปที่ 2.22	การลดจำนวน Loop ที่เกิดขึ้นในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 28

รูปที่ 2.23	เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังจากลด Loop ที่เกิดขึ้นแล้ว	28
รูปที่ 2.24	เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังทำการปรับแก้ไข	29
รูปที่ 2.25	เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบ โดยใช้เทคโนโลยี พินช์	29
รูปที่ 3.1	กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังน้ำ	40
รูปที่ 3.2	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โปรแกรมหลักของเทคโนโลยีพินช์	47
รูปที่ 3.3	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาจุดพินช์กับปริมาณพลังงานที่ ต้องให้กับระบบและปริมาณพลังงานที่ต้องดึงออกจากระบบ	48
รูปที่ 3.4	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความ ร้อนที่อยู่เหนือจุดพินช์	49
รูปที่ 3.5	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความ ร้อนที่อยู่ใต้จุดพินช์	50
รูปที่ 3.6	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจับคู่สายแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแบ่ง สายเย็น	51
รูปที่ 3.7	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกาจับคู่สายแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแบ่ง สายร้อน	52
รูปที่ 3.8	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวนจับคู่สายแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อการ ออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ครบทุกกรณี	53
รูปที่ 3.9	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อลดการวน Loop หรือลดจำนวน Subset ที่เกิด ขึ้นในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	54
รูปที่ 3.10	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณการลงทุนเบื้องต้นทาง เศรษฐศาสตร์	55
รูปที่ 3.11	การตั้งค่าในโปรแกรม Microsoft Access ขั้นที่ 1	56
รูปที่ 3.12	การตั้งค่าในโปรแกรม Microsoft Access ขั้นที่ 2	57
รูปที่ 3.13	หน้าจอเริ่มต้นการใช้โปรแกรม	57
รูปที่ 3.14	หน้าจอเข้าสู่โปรแกรม	58
รูปที่ 3.15	หน้าจอข้อมูลของแต่ละสายแลกเปลี่ยนความร้อน	59
รูปที่ 3.16	หน้าจอข้อมูลผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็น	59
รูปที่ 3.17	หน้าจอการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุด พินช์ (Above Pinch) และบริเวณใต้จุดพินช์ (Below Pinch)	60

รูปที่ 3.18	หน้าจอตารางสอบบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบวน Loop และซ้ำซ้อนกัน	61
รูปที่ 3.19	หน้าจอข้อมูลการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์	61
รูปที่ 3.20	หน้าจอการคำนวณการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์	62
รูปที่ 3.21	รายงานข้อมูลสถานะการดำเนินงานของสายแลกเปลี่ยนความร้อน	62
รูปที่ 3.22	รายงานข้อมูลการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์	63
รูปที่ 3.23	รายงานผลการคำนวณหาจุดพินช์	63
รูปที่ 3.24	รายงานผลความเป็นไปได้ในการลงทุนเบื้องต้นในการออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ Pinch Technology	64
รูปที่ 4.1	เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$	111
รูปที่ 4.2	ลูกศรพลังงานของเครื่องถ่ายวันที่ 5 ธันวาคม 2542 ก่อนทำการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	112
รูปที่ 4.3	ลูกศรพลังงานของเครื่องถ่ายวันที่ 30 พฤศจิกายน 2543 ก่อนทำการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	113
รูปที่ 4.4	ลูกศรพลังงานของเครื่องถ่ายวันที่ 5 ธันวาคม 2542 หลังทำการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	114
รูปที่ 4.5	ลูกศรพลังงานของเครื่องถ่ายวันที่ 30 พฤศจิกายน 2543 หลังทำการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	115
รูปที่ 4.6	เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$	116
รูปที่ 4.7	เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณใต้จุดพินช์ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$...	117
รูปที่ 4.8	เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวมจากเครื่องถ่ายบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$	118
รูปที่ 4.9	เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวมจากเครื่องถ่ายบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 2 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$	119
รูปที่ 4.10	เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$	120
รูปที่ 4.11	เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวมจากเครื่องถ่ายบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$	121
รูปที่ 4.12	การไหลผ่านของปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอ็กเซอร์จีจากบริเวณเหนือจุดพินช์ไปยังบริเวณใต้จุดพินช์ของเครื่องถ่ายที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$	122
รูปที่ 4.13	การไหลผ่านของปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอ็กเซอร์จีจากบริเวณเหนือจุดพินช์ไปยังบริเวณใต้จุดพินช์ของเครื่องถ่ายที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$	123

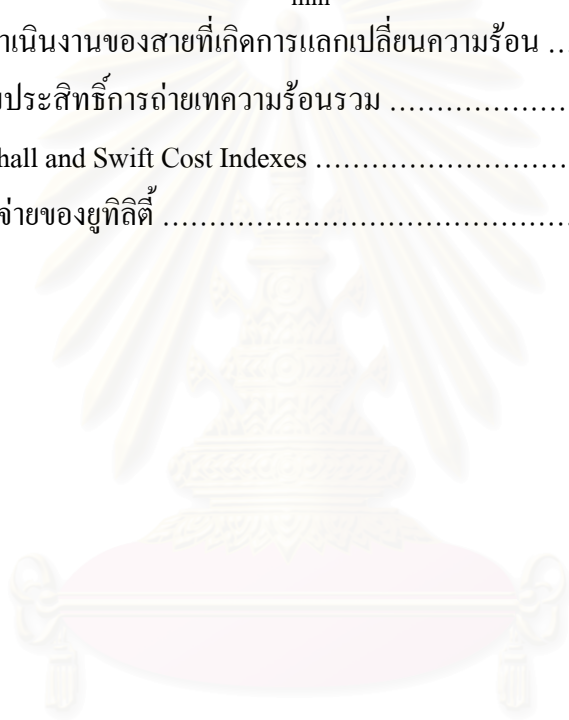
รูปที่ 4.14	การไหลผ่านของปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอนโทรปีจากบริเวณ เหนือจุดพินช์ไปยังบริเวณใต้จุดพินช์เมื่อสภาวะการทำงานจริง ($\Delta T_{\min} =$ 4.1 K) ไม่ตรงกับสภาวะที่ใช้ในการออกแบบ ($\Delta T_{\min} = 2.8$ K) 124
รูปที่ 4.15	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ 125
รูปที่ 4.16	การเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถใช้ของเดิมที่มีอยู่ในรูปที่ 4.8 126
รูปที่ 4.17	การเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถใช้ของเดิมที่มีอยู่ในรูปที่ 4.9 127
รูปที่ 4.18	การลดจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครือข่ายที่ $\Delta T_{\min} = 4.1$ K ของรูปที่ 4.4 128
รูปที่ 4.19	การลดจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครือข่ายที่ $\Delta T_{\min} = 4.1$ K ของรูปที่ 4.5 129
รูปที่ 4.20	เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกรณีศึกษาที่ 1 ก่อนทำการปรับ เปลี่ยนสภาวะการดำเนินงาน 130
รูปที่ 4.21 (ก)	สายเย็นสายที่ 5 กับระบบทำความร้อน ของกรณีศึกษาที่ 1 131
รูปที่ 4.21 (ข)	สายเย็นสายที่ 5 กับสายร้อนสายที่ 2 ของกรณีศึกษาที่ 1 131
รูปที่ 4.22 (ก)	สายเย็นสายที่ 4 กับระบบทำความร้อน ของกรณีศึกษาที่ 1 132
รูปที่ 4.22 (ข)	สายเย็นสายที่ 4 กับสายร้อนสายที่ 1 ของกรณีศึกษาที่ 1 132
รูปที่ 4.23 (ก)	สายร้อนสายที่ 2 กับระบบทำความเย็น ของกรณีศึกษาที่ 1 133
รูปที่ 4.23 (ข)	สายร้อนสายที่ 2 กับสายเย็นสายที่ 5 ของกรณีศึกษาที่ 1 133
รูปที่ 4.24	เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกรณีศึกษาที่ 1 หลังทำการปรับ เปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของระบบทำความเย็น 134
รูปที่ 4.25 (ก)	สายร้อนสายที่ 1 กับระบบทำความเย็น ของกรณีศึกษาที่ 2 135
รูปที่ 4.25 (ข)	สายร้อนสายที่ 1 กับสายเย็นสายที่ 6 ของกรณีศึกษาที่ 2 135
รูปที่ 4.26	เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 4.1$ K หลังทำการปรับ เปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของระบบทำความเย็น ของกรณีศึกษาที่ 2 136
รูปที่ ก.1	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่การไหลเป็นแบบสวนทาง 146
รูปที่ ก.2	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่การไหลเป็นแบบขนาน 147
รูปที่ ก.3	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบU-Tube 148
รูปที่ ก.4	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อความยาวของท่อ มีการเปลี่ยนแปลงไป 149
รูปที่ ก.5	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อขนาดของท่อมีการ เปลี่ยนแปลงไป 149

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ข้อมูลในแต่ละสาย 6
ตารางที่ 2.2	การแบ่งประเภทของสายตามหลักการเทคโนโลยีพินซ์..... 8
ตารางที่ 2.3	การเรียงลำดับของอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็น 14
ตารางที่ 2.4	การแบ่งช่วงอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นเมื่อ $\Delta T_{\min} = 0 \text{ K}$ 15
ตารางที่ 2.5	การแบ่งช่วงอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นเมื่อ $\Delta T_{\min} = 20 \text{ K}$ 16
ตารางที่ 2.6	การคำนวณค่าการถ่ายเทพลังงานของระบบ 16
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลของสายแต่ละสายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน 41
ตารางที่ 3.2	ปริมาณพลังงานและปริมาณเอกเซอร์จีที่เกิดขึ้นในแต่ละสาย 44
ตารางที่ 3.3	ปริมาณพลังงานและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียในแต่ละอุปกรณ์ 45
ตารางที่ 4.1	การไหลผ่านของพลังงานที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งเป็นผลจากการคำนวณ ที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$ 83
ตารางที่ 4.2	เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินซ์และใต้จุดพินซ์ ที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$ 84
ตารางที่ 4.3	การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวันที่ 5 ธันวาคม 2542... 85
ตารางที่ 4.4	การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวันที่ 30 พฤศจิกายน 2543 86
ตารางที่ 4.5	ข้อมูลของแต่ละสายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ 87
ตารางที่ 4.6	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีของแต่ละสายที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ 88
ตารางที่ 4.7	การไหลผ่านของพลังงานที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จากการคำนวณที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ 89
ตารางที่ 4.8	เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินซ์และใต้จุดพินซ์ ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ 90
ตารางที่ 4.9	ผลการรวมเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินซ์รูปแบบ ที่ 1 กับเครือข่ายบริเวณใต้จุดพินซ์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ 91
ตารางที่ 4.10	ผลการรวมเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินซ์รูปแบบ ที่ 1 กับเครือข่ายบริเวณใต้จุดพินซ์รูปแบบที่ 2 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ 92

ตารางที่ 4.11	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียของแต่ละสายใน เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินซ์รูปแบบที่ 1 กับ เครือข่ายบริเวณใต้จุดพินซ์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$	93
ตารางที่ 4.12	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียของแต่ละสายใน เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินซ์รูปแบบที่ 1 กับ เครือข่ายบริเวณใต้จุดพินซ์รูปแบบที่ 2 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$	94
ตารางที่ 4.13	ข้อมูลของแต่ละสายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$	95
ตารางที่ 4.14	ปริมาณพลังงานและปริมาณเอกเซอร์จีของแต่ละสายที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$	96
ตารางที่ 4.15	การไหลของพลังงานที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จากการคำนวณที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$	97
ตารางที่ 4.16	ผลการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$	98
ตารางที่ 4.17	ผลที่ได้จากการรวมเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินซ์ รูปแบบที่ 1 กับเครือข่ายบริเวณใต้จุดพินซ์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$	99
ตารางที่ 4.18	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียของแต่ละสายจาก เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินซ์รูปแบบที่ 1 กับเครือ ข่ายบริเวณใต้จุดพินซ์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$	100
ตารางที่ 4.19	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$	101
ตารางที่ 4.20	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$	102
ตารางที่ 4.21	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่อง แลกเปลี่ยนที่สภาวะการดำเนินงานจริง (วันที่ 5 ธันวาคม 2542) ภายใต้เครือ ข่ายที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน	103
ตารางที่ 4.22	ผลการคำนวณหาความเป็นไปได้ในการลงทุนของรูปที่ 4.8	104
ตารางที่ 4.23	ผลการคำนวณหาความเป็นไปได้ในการลงทุนของรูปที่ 4.9	105
ตารางที่ 4.24	ข้อมูลของสายแต่ละสายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับกรณีศึกษา ที่ 1	106
ตารางที่ 4.25	ผลการออกแบบเครือข่ายโดยใช้เทคโนโลยีพินซ์สำหรับกรณีศึกษาที่ 1	106
ตารางที่ 4.26	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนของกรณีศึกษาที่ 1 ก่อนทำการปรับเปลี่ยนสภาวะ การดำเนินงาน	107

ตารางที่ 4.27	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอนโทรปีที่สูญเสียจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกรณีศึกษาที่ 1 หลังทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงาน	108
ตารางที่ 4.28	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอนโทรปีที่สูญเสียจากเครื่องของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ ก่อนทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงาน	109
ตารางที่ 4.29	ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอนโทรปีที่สูญเสียจากเครื่องของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ หลังทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของสายที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน	110
ตารางที่ ก.1	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	145
ตารางที่ ข.1	Marshall and Swift Cost Indexes	150
ตารางที่ ข.2	ค่าใช้จ่ายของยูทิลิตี้	151



คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

A	คือ	พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน, ตารางเมตร (m^2)
C_P	คือ	ค่าความจุความร้อนของสาร, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
$C_{P,C}$	คือ	ค่าความจุความร้อนของสายเย็น, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
$C_{P,H}$	คือ	ค่าความจุความร้อนของสายร้อน, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
Energy Loss _i	คือ	ปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียของเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในแต่ละชุดข้อมูล
Ex	คือ	ปริมาณเอกเซอร์จี, กิโลวัตต์ (kW)
H_{ea}	คือ	ค่าเอนทัลปีของระบบที่รับพลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ (kW)
H_{ed}	คือ	ค่าเอนทัลปีของระบบที่ให้พลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ (kW)
I	คือ	อัตราดอกเบี้ย, เปอร์เซ็นต์ (%)
I _{VO}	คือ	ดัชนีของค่าเงิน ณ ปีที่เป็นฐาน
I _{VP}	คือ	ดัชนีของค่าเงิน ณ ปีปัจจุบัน
L	คือ	จำนวนของ Loop ในเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
n	คือ	จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์
N	คือ	จำนวนของสายที่ต้องการแลกเปลี่ยนความร้อน
N	คือ	ระยะเวลาในการคืนทุน, ปี (year)
N_C	คือ	จำนวนสายของสายเย็น
N_H	คือ	จำนวนสายของสายร้อน
OC	คือ	เงินลงทุน ณ ปีที่เป็นฐาน, ดอลลาร์ (US\$)
P	คือ	เงินในการลงทุนทั้งหมด ณ ปีปัจจุบัน, ดอลลาร์ (US\$)
PC	คือ	เงินลงทุน ณ ปีปัจจุบัน, ดอลลาร์ (US\$)
Q	คือ	ปริมาณพลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ (kW) ถ้า Q มีค่าเป็น + แสดงว่าต้องให้พลังงานความร้อนออกมา ถ้า Q มีค่าเป็น - แสดงว่าต้องรับพลังงานความร้อนเพิ่มเข้าไป
Q	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน, กิโลวัตต์ (kW)
R	คือ	ค่าใช้จ่ายในแต่ละปี, ดอลลาร์ (US\$)

S	คือ	จำนวนของ Subset ในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
S_{ea}	คือ	ค่าเอนโทรปีของระบบที่รับพลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
S_{ed}	คือ	ค่าเอนโทรปีของระบบที่ให้พลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
T	คือ	อุณหภูมิที่สภาวะการดำเนินงานใดๆ, เคลวิน (K)
T_0	คือ	อุณหภูมิที่สภาวะแวดล้อมขณะนั้น, เคลวิน (K)
T_1	คือ	อุณหภูมิของสายร้อนทางด้านขาเข้า มีหน่วยเป็นเคลวิน(K)
T_2	คือ	อุณหภูมิของสายเย็นทางด้านขาออก มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)
T_3	คือ	อุณหภูมิของสายร้อนทางด้านขาออกมีหน่วยเป็นเคลวิน (K)
T_4	คือ	อุณหภูมิของสายเย็นทางด้านขาเข้า มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)
U	คือ	จำนวนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
U	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร เคลวิน $\left(\frac{\text{kW}}{\text{K} \cdot \text{m}^2} \right)$
$\Delta C_{P,A}$	คือ	ผลต่างของค่าความจุความร้อนระหว่างสายเย็นกับสายร้อนที่บริเวณเหนือจุดพินช์, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
$\Delta C_{P,B}$	คือ	ผลต่างของค่าความจุความร้อนระหว่างสายร้อนกับสายเย็นที่บริเวณต่ำกว่าจุดพินช์, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
ΔE_x	คือ	ปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากแต่ละอุปกรณ์, กิโลวัตต์ (kW)
ΔT	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิที่เริ่มต้นกับอุณหภูมิที่ต้องการ, เคลวิน (K)
ΔT_m	คือ	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึมระหว่างสายร้อนและสายเย็นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 มุลเหตุและที่มาของงานวิจัย

ในรอบทศวรรษที่ผ่านมาเศรษฐกิจโลกได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ภาคอุตสาหกรรมมีการเจริญเติบโตมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นความต้องการในการใช้พลังงานจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยต้องประสบกับปัญหาวิกฤติทางเศรษฐกิจ อันเนื่องมาจากการปรับตัวของค่าเงินบาทและการปรับระดับของราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง และเนื่องด้วยประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ตั้งอยู่ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาและต้องนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก จึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงจากผลกระทบนี้ได้ ส่งผลให้มีการสำรวจเพื่อแสวงหาแหล่งพลังงานรูปแบบอื่นที่มีอยู่ภายในประเทศ เช่น ถ่านหินลิกไนต์ ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซโซฮอสลล์ เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ พร้อมกับการรณรงค์ให้มีการประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพกันมากขึ้น

การประหยัดพลังงานหมายถึงการใช้พลังงานอย่างเหมาะสมหรือการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีการสูญเสียเกิดขึ้นน้อยที่สุด [5] ผลจากการประหยัดพลังงานนอกจากจะช่วยลดต้นทุนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมแล้วยังเป็นการช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทางหนึ่งด้วย พลังงานที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน เป็นต้น การประหยัดพลังงานความร้อนสามารถทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการออกแบบกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีพินช์ (Pinch Technology) [8,12]

เทคโนโลยีพินช์เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดรูปแบบของเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีการใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนของสารในแต่ละสายอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้พลังงานความร้อนจากสารในแต่ละสายถูกนำไปถ่ายเทให้กับสารในสายที่ต้องการรับพลังงานความร้อนได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้ปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียออกจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีจำนวนลดน้อยลง การออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามหลัก

การของพินช์จะเป็นการออกแบบที่คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนตามกฎข้อที่หนึ่งและกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ และข้อจำกัดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แม้ว่าเทคโนโลยีของพินช์จะช่วยให้สามารถออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนของสารในสายต่างๆ ได้มากที่สุด แต่เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้นั้นสามารถมีได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ออกแบบ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประหยัดพลังงานในโรงงานไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้น้ำมันเตาเป็นวัตถุดิบในการให้พลังงานความร้อน เพื่อใช้เป็นกรณีตัวอย่างในการปรับใช้เทคโนโลยีนี้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่นต่อไป โดยได้ทำการศึกษาปรับปรุงกระบวนการผลิตดังกล่าวให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นตามหลักการเทคโนโลยีของพินช์ (Pinch Technology)

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักที่สำคัญดังนี้คือ ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงงานไฟฟ้าพลังความร้อน (พระนครเหนือ) ให้มีการใช้พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการอย่างประหยัดหรือมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและมีปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสีย (Exergy Loss) จากกระบวนการน้อยที่สุด โดยการออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นใหม่ตามหลักการเทคโนโลยีของพินช์ (Pinch Technology)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถคำนวณหาช่วงอุณหภูมิที่เป็นจุดพินช์และปริมาณยูทิลิตี้ (Utility) ที่น้อยที่สุดที่ต้องให้กับเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- 1.3.2 พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.3.3 วิเคราะห์หาปริมาณพลังงานที่สูญเสีย (Energy Loss) และปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสีย (Exergy Loss) จากโรงไฟฟ้าก่อนและหลังทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ
- 1.3.4 ศึกษาถึงผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของสถานะการดำเนินงานภายในโรงงานต่อรูปแบบที่ได้จากการปรับปรุงตามเทคโนโลยีของพินช์
- 1.3.5 ศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 เลือกโรงงานอุตสาหกรรมที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในเรื่องการประหยัดพลังงาน
- 1.4.2 ศึกษากระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว
- 1.4.3 คำนวณหาปริมาณยูทิลิตี้ (Utilities) ที่ต้องให้กับเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงไฟฟ้าพร้อมกับการคำนวณหาปริมาณพลังงานที่สูญเสีย (Energy Loss) และปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสีย (Exergy Loss) จากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงไฟฟ้าที่ดำเนินงานอยู่ในปัจจุบัน
- 1.4.4 พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคำนวณหาช่วงอุณหภูมิที่เป็นจุดพินช์และปริมาณยูทิลิตี้ที่น้อยที่สุดที่ต้องให้กับเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- 1.4.5 พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.4.6 ออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถนำปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นกลับมาใช้ได้มากที่สุด (Maximum Energy Recovery, MER)
- 1.4.7 คำนวณหาปริมาณยูทิลิตี้ที่ต้องให้กับเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พร้อมกับการคำนวณหาปริมาณพลังงานที่สูญเสียและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการที่ได้ทำการปรับปรุงแก้ไข
- 1.4.8 ทำการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้ในข้อ 1.4.3 กับ ข้อ 1.4.7
- 1.4.9 ทำการปรับปรุงแก้ไขเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากข้อ 1.4.7 โดยคำนึงถึงผลตอบแทนเบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์ในด้านการลงทุน
- 1.4.10 วิเคราะห์ และสรุปผล
- 1.4.11 จัดพิมพ์รายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 ได้รับความรู้ ความเข้าใจ ถึงวิธีการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถนำปริมาณพลังงานความร้อนจากโรงไฟฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และทราบถึงวิธีการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- 1.5.2 ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถคำนวณหาช่วงอุณหภูมิที่เป็นจุดพินช์ และปริมาณยูทิลิตี้ (Utilities) ที่น้อยที่สุดที่ต้องให้กับเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- 1.5.3 ได้แนวทางและรูปแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่จะทำให้โรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้เป็นกรณีศึกษามีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 เทคโนโลยีพินช์ (Pinch Technology)

เทคโนโลยีพินช์ เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการออกแบบและปรับปรุงเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการ [8] โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเอาความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด หลักการที่สำคัญของเทคโนโลยีพินช์คือ การออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ไม่มีการไหลของพลังงานความร้อนผ่านจุดพินช์ ซึ่งมีหลักการในการพิจารณาออกแบบเบื้องต้นคือ การนำเอาพลังงานความร้อนที่ต้องการกำจัดออกจากสารที่ต้องการถ่ายเทพลังงานความร้อนไปให้กับสารที่ต้องการรับพลังงานความร้อน ซึ่งการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสายของสารที่ต้องการถ่ายเทพลังงานความร้อน (สายร้อน) มีอุณหภูมิสูงกว่าสายของสารที่ต้องการรับพลังงานความร้อน (สายเย็น) หรือเมื่อสายร้อนมีศักย์ของพลังงานสูงกว่าสายเย็น และโดยทั่วไปแล้วการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสายร้อนและสายเย็นมีอุณหภูมิแตกต่างกันในระดับหนึ่ง และเรียกค่าผลต่างของอุณหภูมิที่แตกต่างกันน้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้นี้ว่า ผลต่างอุณหภูมิน้อยที่สุด (ΔT_{\min}) ซึ่งค่าผลต่างอุณหภูมิน้อยที่สุดนี้จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้นดังนี้

1. การแลกเปลี่ยนความร้อนกันโดยที่สารทั้งสองสัมผัสกันโดยตรง ค่า ΔT_{\min} เท่ากับศูนย์
2. การแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ค่า ΔT_{\min} จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

มีขั้นตอนในการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามเทคโนโลยีพินช์ [8,12,14] ดังนี้

1. แบ่งประเภทของสายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนให้เป็นสายร้อนหรือสายเย็น
2. สร้างกราฟคอมโพสิตของสายร้อนและสายเย็น
3. คำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละช่วงอุณหภูมิของเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
4. จับคู่สายที่จะนำมาแลกเปลี่ยนความร้อน

5. รวมเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบ
6. พิจารณาจำนวนอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากการรวมกันของบริเวณเหนือจุดพินช์และใต้จุดพินช์

1. แบ่งประเภทของสายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนให้เป็นสายร้อนหรือสายเย็น

- 1.1 สายร้อน (Hot Stream) หมายถึง สายที่มีอุณหภูมิลดต่ำลง หรือสายที่ต้องการถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับสายเย็นหรือให้ออกมาสู่ภายนอก
- 1.2 สายเย็น (Cold Stream) หมายถึง สายที่มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น หรือสายที่ต้องการรับพลังงานความร้อนจากสายร้อนหรือจากภายนอก

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลของสายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อน โดยสมมติให้มีสาย 4 สายสำหรับนำมาออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้เทคโนโลยีพินช์ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลในแต่ละสาย

สายที่	ค่าความจุความร้อน (C_p ; kW/ K)	อุณหภูมิเริ่มต้น (K)	อุณหภูมิที่ต้องการ (K)
1	2.0	423	333
2	8.0	363	333
3	2.5	293	398
4	3.0	298	373

จากข้อมูลในตารางที่ 2.1 เราสามารถแบ่งประเภทของสายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนได้ 2 วิธี คือ

1. การแบ่งประเภทโดยพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสายที่ต้องการแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถแบ่งประเภทของสายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1.1 สายที่มีแนวโน้มของอุณหภูมิในสายที่ลดต่ำลงมี 2 สาย คือ สายที่ 1 และ 2 จัดเป็นสายร้อน

- 1.2 สายที่มีแนวโน้มของอุณหภูมิในสายที่เพิ่มสูงขึ้นมี 2 สาย คือ สายที่ 3 และ 4 จัดเป็น สายเย็น
2. การแบ่งประเภทโดยพิจารณาที่ปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องการในแต่ละสาย โดยสามารถคำนวณปริมาณพลังงานความร้อนได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q = C_p \Delta T \quad (2.1)$$

เมื่อ	C_p	คือ	ค่าความจุความร้อนของสาร, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
	Q	คือ	ปริมาณพลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ (kW) ถ้า Q มีค่าเป็น + แสดงว่าต้องให้พลังงานความร้อนออกมา ถ้า Q มีค่าเป็น - แสดงว่าต้องรับพลังงานความร้อนเพิ่มเข้าไป
	ΔT	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิที่เริ่มต้นกับอุณหภูมิที่ต้องการ, เคลวิน (K)

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณพลังงานของแต่ละสาย

$$\text{สายที่ 1} \quad Q = 2(423 - 333) = +180 \text{ kW}$$

$$\text{สายที่ 3} \quad Q = 2.5(293 - 398) = -262.5 \text{ kW}$$

จากการคำนวณพบว่าสายที่ 1 ให้พลังงานความร้อนออกมาเท่ากับ 180 kW ส่วนสายที่ 3 ต้องการรับพลังงานความร้อนเข้าไปเท่ากับ 262.5 kW และเมื่อทำการคำนวณในลักษณะเดียวกันกับสายที่ 2 และสายที่ 4 จะได้ผลสรุปดังนี้

- 2.1 สายที่ต้องการให้พลังงานความร้อนมี 2 สาย คือ สายที่ 1 และ 2 จัดเป็นสายร้อน
- 2.2 สายที่ต้องการรับพลังงานความร้อนมี 2 สาย คือ สายที่ 3 และ 4 จัดเป็นสายเย็น

หลักการแบ่งประเภททั้งสองที่กล่าวถึงข้างต้นจะให้ผลลัพธ์เดียวกัน โดยจะแบ่งประเภทของสายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดังตารางที่ 2.2

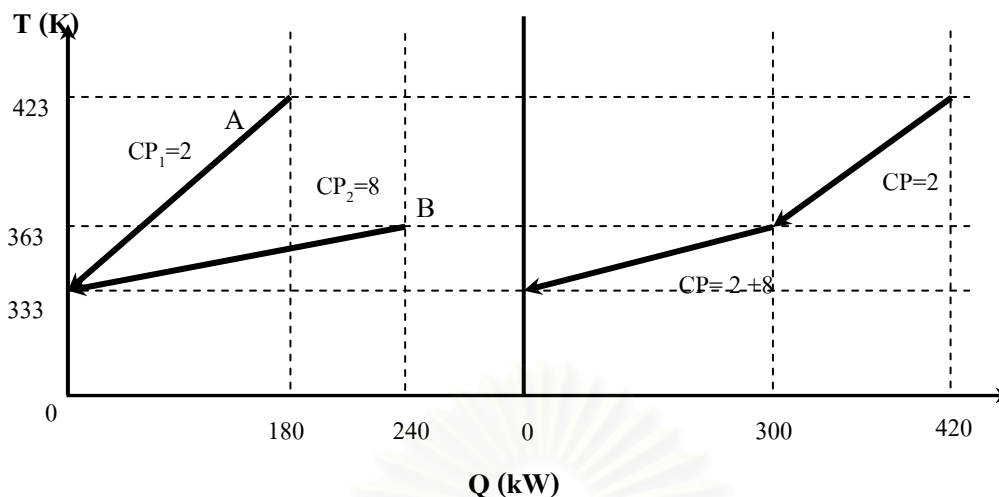
ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทของสายตามเทคโนโลยีฟินซ์

สาย ที่	ประเภท ของสาย	ค่าความจุ ความร้อน C_p (kW/ K)	อุณหภูมิ เริ่มต้น (K)	อุณหภูมิที่ ต้องการ (K)	พลังงาน ความร้อน* (kW)
1	สายร้อน	2.0	423	333	180.0
2	สายร้อน	8.0	363	333	240.0
3	สายเย็น	2.5	293	398	-262.5
4	สายเย็น	3.0	298	373	-225.0
				รวม	-67.5

* พลังงานความร้อนที่มีค่าเป็น + หมายถึง พลังงานความร้อนที่ให้ออกมา
พลังงานความร้อนที่มีค่าเป็น - หมายถึง พลังงานความร้อนที่รับเข้าไป

2. สร้างกราฟคอมโพสิทของสายร้อนและสายเย็น

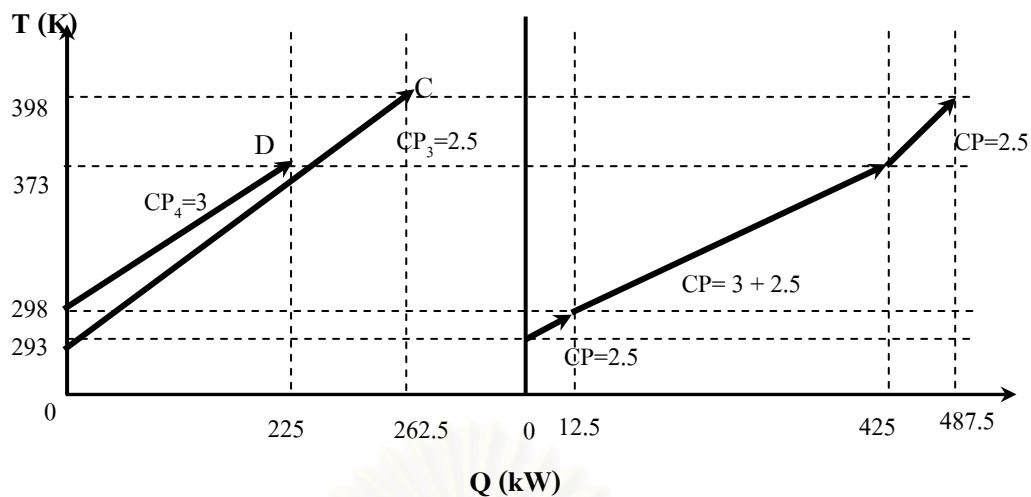
กราฟคอมโพสิท (Composite Curve) เป็นกราฟที่เขียนขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณความร้อนรวมของสายร้อนและสายเย็นทุกสายในช่วงอุณหภูมิต่างๆ รูปที่ 2.1 เป็นตัวอย่างการสร้างกราฟคอมโพสิทของสายร้อนที่มีรายละเอียดตามตารางที่ 2.2 โดยกราฟทางด้านซ้ายมือเป็นกราฟที่แสดงให้เห็นถึงช่วงอุณหภูมิและค่าพลังงานความร้อนของแต่ละสาย เมื่อนำข้อมูลของทั้งสองสายร้อนมารวมกัน ได้ดังกราฟทางขวามือของรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับพลังงานความร้อนของสายร้อน

ในกราฟทางด้านซ้ายมือของรูปที่ 2.1 เส้น A เป็นเส้นที่บ่งบอกถึงเส้นทางการถ่ายเทความร้อนของสาย 1 โดยที่สายที่ 1 จะมีอุณหภูมิลดลงจาก 423 K เป็น 333 K และให้พลังงานความร้อนออกมาทั้งหมด 180 kW ส่วนเส้น B เป็นเส้นที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ลดจาก 363 K มาเป็น 333 K แต่เนื่องจากค่าความจุความร้อนของสายที่ 2 มีค่ามากกว่าสายที่ 1 ทำให้สายที่ 2 สามารถให้พลังงานออกมาได้มากกว่าสายที่ 1 โดยสายที่ 2 สามารถให้พลังงานออกมาได้เท่ากับ 240 kW ซึ่งเมื่อรวมการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากสายที่ 1 และสายที่ 2 แล้วจะพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 423 K ถึง 363 K จะมีเพียงสายที่ 1 เท่านั้นที่ให้พลังงานความร้อนออกมาได้ ส่วนในช่วงอุณหภูมิ 363 K ถึง 333 K ทั้งสายที่ 1 และสายที่ 2 สามารถให้ความร้อนออกมาได้ ค่าความจุความร้อนในช่วงดังกล่าวจึงมีค่าเท่ากับ ค่าความจุความร้อนของสายที่ 1 และสายที่ 2 รวมกัน ($C_p = 2 + 8 = 10 \text{ kW/K}$) เมื่อนำมาเขียนกราฟใหม่จะได้ดังกราฟทางด้านขวามือของรูปที่ 2.1

ในทำนองเดียวกันข้อมูลของสายเย็นของตารางที่ 2.2 สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟคอมโพสิตได้ดังรูปที่ 2.2

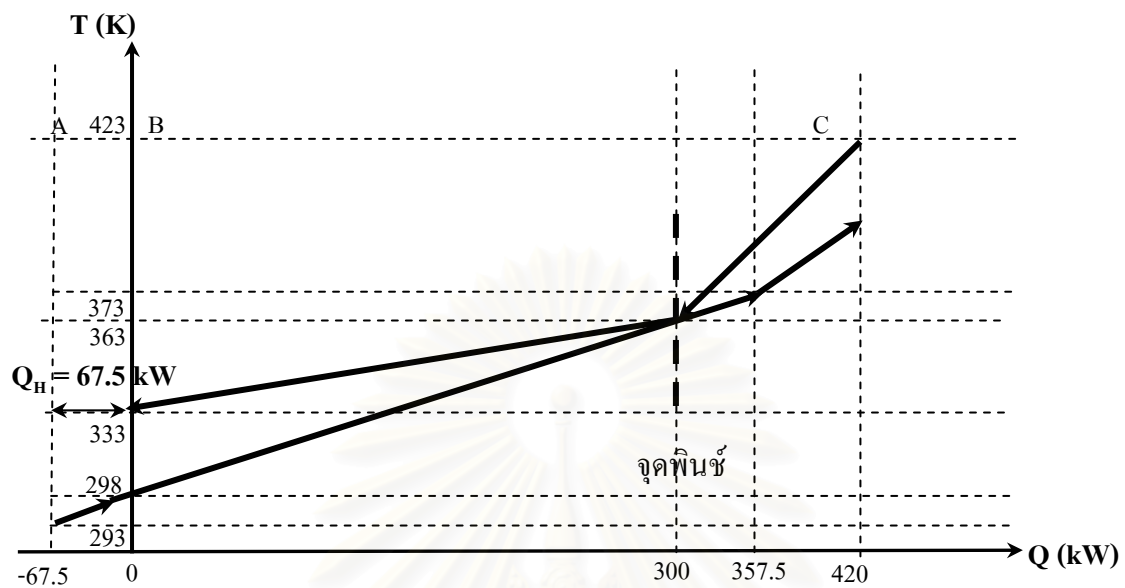


รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับพลังงานความร้อนของสายเย็น

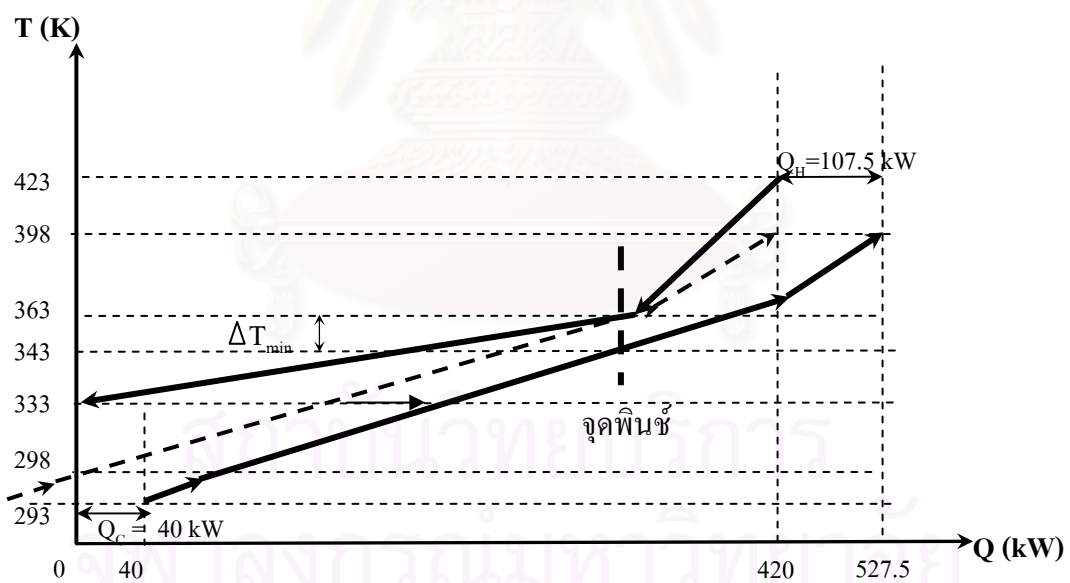
ต่อจากนั้นให้นำกราฟทางด้านขวามือของรูปที่ 2.1 และ 2.2 มารวมกันได้ดังรูปที่ 2.3 โดยจัดให้เส้นกราฟของสายเย็นอยู่ต่ำกว่าเส้นกราฟของสายร้อน เพื่อให้ระบบมีการแลกเปลี่ยนพลังงานจากสายที่มีศักยภาพสูงกว่า (สายร้อน) ไปยังสายที่มีศักยภาพต่ำกว่า (สายเย็น) นอกจากนี้การเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปในระบบควรเป็นในลักษณะการเพิ่มระบบทำความร้อนให้กับสายเย็นซึ่งมีอุณหภูมิสูงแทนการเพิ่มระบบทำความร้อนให้กับสายเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และเพิ่มระบบทำความเย็นให้กับสายร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าแทนการเพิ่มระบบทำความเย็นให้กับสายร้อนที่มีอุณหภูมิสูงอยู่แล้ว ในรูปนี้พบว่า การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนและสายเย็นสามารถเกิดขึ้นได้เองในช่วง B-C เนื่องจากมีการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากสายที่มีศักยภาพสูงกว่าไปยังสายที่มีศักยภาพต่ำกว่า ส่วนในช่วง A-B ไม่มีสายที่สามารถนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้ทำให้ต้องเพิ่มระบบทำความร้อนเข้าไปในช่วง A-B เพื่อให้พลังงานความร้อนเพิ่มเข้าไปในระบบ (Q_H) บริเวณที่เส้นกราฟทั้งสองมีระยะห่างกันน้อยที่สุดหรือมีผลต่างอุณหภูมิต่ำที่สุดในกราฟรูปที่ 2.3 นี้คือ ช่วงอุณหภูมิที่เป็นจุดพินช์ โดยกรณีของกราฟรูปที่ 2.3 พบว่ามี $\Delta T_{\min} = 0$ K (บริเวณที่เส้นมาสัมผัสกัน) ซึ่งในความเป็นจริงไม่มีวัสดุใดที่สามารถนำมาสร้างเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถทำการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยไม่มีผลต่างของอุณหภูมิต่างระหว่างสายร้อนและสายเย็นได้ จึงต้องทำการเลื่อนเส้นกราฟของสายเย็นออกไปในแนวนอนจนกระทั่งได้ผลต่างของอุณหภูมิที่เหมาะสมกับประเภทของวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังรูป 2.4 โดยสมมติให้ ΔT_{\min} ที่เหมาะสมในที่นี้มีค่า = 20 K (ยิ่งค่า ΔT_{\min} มีค่ามาก ค่า Q_H และ Q_C ก็จะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย)

กราฟคอมโพสิตจะช่วยบอกให้เราทราบถึงช่วงอุณหภูมิที่เป็นพินช์ ค่าผลต่างอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อน และยังสามารถบอกให้ทราบถึงปริมาณพลังงาน

ความร้อนที่ระบบต้องได้รับเพิ่มเติมเข้าไปในระบบ (Q_H) และปริมาณพลังงานที่ระบบต้องการถ่ายเทออกมา (Q_C) อีกด้วย



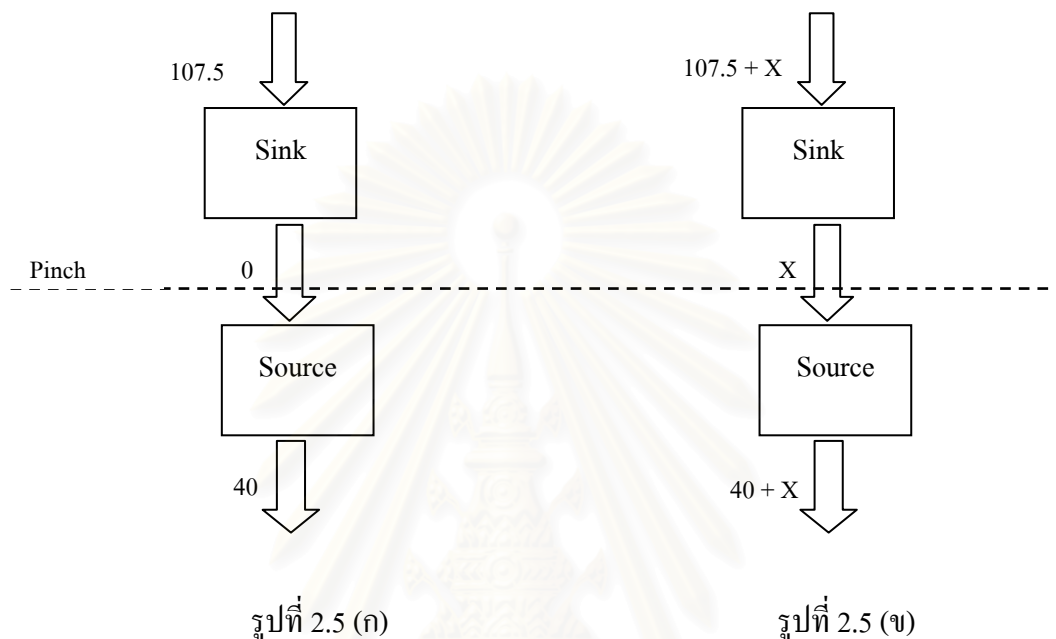
รูปที่ 2.3 กราฟคอมโพลิตที่ $\Delta T_{\min} = 0$ K



รูปที่ 2.4 กราฟคอมโพลิตที่ $\Delta T_{\min} = 20$ K

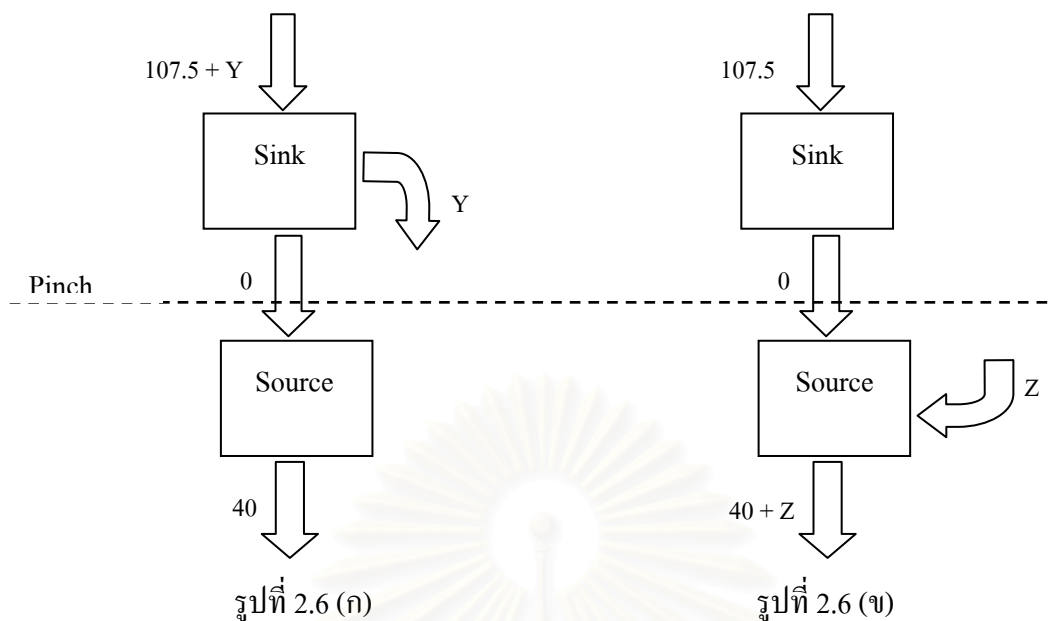
3. คำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละช่วงอุณหภูมิของเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จุดพินช์ คือ บริเวณที่ไม่มีพลังงานความร้อนไหลผ่าน เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ไหลผ่านบริเวณดังกล่าวนี้จะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ โดยทั่วไปแล้วเราจะออกแบบให้ไม่มีพลังงานความร้อนไหลผ่านจุดพินช์ (รูปที่ 2.5 (ก))



รูปที่ 2.5 การไหลผ่านของพลังงานผ่านจุดพินช์ (ก) สามารถใช้พลังงานเกิดประโยชน์สูงสุด
(ข) เกิดการสูญเสียพลังงานโดยไม่เกิดประโยชน์

รูปที่ 2.5 (ข) แสดงให้เห็นว่าถ้าให้พลังงานความร้อนเข้าไปในระบบมากกว่าพลังงานความร้อนที่ระบบต้องการในปริมาณ X หน่วย จะทำให้พลังงานความร้อนส่วนนี้ถูกถ่ายเทออกสู่ภายนอก ระบบโดยมิได้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ เป็นการเน้นให้เห็นว่าการออกแบบระบบถ่ายเทความร้อนที่สามารถนำเอาพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด คือ การออกแบบที่ไม่มีพลังงานความร้อนไหลผ่านจุดพินช์



รูปที่ 2.6 ผลการจัดการพลังงานความร้อนที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์

(ก) ช่วงเหนือจุดพิงช์ (ข) ช่วงใต้จุดพิงช์

รูปที่ 2.6 (ก) และ 2.6 (ข) เป็นรูปที่แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการไหลผ่านของพลังงานความร้อนที่มากเกินไปความต้องการที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ โดยในรูปที่ 2.6 (ก) แสดงให้เห็นถึงการให้พลังงานในปริมาณมากเกินไปความต้องการในปริมาณ Y หน่วย แล้วจึงปริมาณพลังงานความร้อนดังกล่าวออกสู่ภายนอกนอกระบบเหนือจุดพิงช์โดยใช้ระบบทำความเย็นซึ่งพลังงานจำนวน Y หน่วยมิได้ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์กับระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแต่อย่างใด ส่วนรูปที่ 2.6 (ข) เป็นการแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มปริมาณพลังงานความร้อนให้กับระบบบริเวณใต้จุดพิงช์ในปริมาณ Z หน่วยโดยใช้ระบบทำความร้อน จากนั้นปล่อยให้พลังงานดังกล่าวผ่านออกนอกระบบโดยมิได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์แต่อย่างใด และสามารถสรุปเป็นหลักการไหลของพลังงานผ่านจุดพิงช์ได้ดังนี้

1. ไม่มีการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านจุดพิงช์
2. ไม่ดึงพลังงานความร้อนออกจากระบบในบริเวณเหนือจุดพิงช์ เพราะต้องทำการเพิ่มพลังงานความร้อนเข้าไปในระบบโดยไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังรูปที่ 2.6 (ก)
3. ไม่ให้พลังงานความร้อนเพิ่มเข้าไปในบริเวณใต้จุดพิงช์ เนื่องจากพลังงานดังกล่าวถูกถ่ายเทออกสู่ภายนอกนอกระบบโดยไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังรูปที่ 2.6 (ข)

เมื่อเข้าใจถึงลักษณะการไหลของพลังงานผ่านจุดพินช์ในรูปแบบต่างๆ ทั้งที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมแล้ว ต่อไปจะกล่าวถึงวิธีการในการคำนวณหาจุดพินช์และพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงอุณหภูมิ จากข้อมูลในตารางที่ 2.1 ให้ทำการแบ่งอุณหภูมิของสายร้อนและสายเย็นออกเป็นช่วงๆ โดยการกรอกข้อมูลอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิที่ต้องการในแต่ละสายเรียงลำดับจากอุณหภูมิสูงไปหาอุณหภูมิต่ำกว่าเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิของสารในแต่ละช่วงของแต่ละสาย ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเรียงลำดับของอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็น

ช่วงที่	อุณหภูมิ (K)			
	สายร้อนที่ 1 $C_P=2.0 \text{ kW/K}$	สายร้อนที่ 2 $C_P=8.0 \text{ kW/K}$	สายเย็นที่ 3 $C_P=2.5 \text{ kW/K}$	สายเย็นที่ 4 $C_P=3.0 \text{ kW/K}$
1	423			
2			398	
3				373
4		363		
5	333	333		
6				298
7			293	

จากข้อมูลในตารางที่ 2.3 ให้สมมติ ΔT_{\min} ของการออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 0 K แล้วทำการคำนวณหาอุณหภูมิในช่องว่างที่เหลือได้ดังตารางที่ 2.4

ตัวอย่างการคำนวณหาอุณหภูมิในช่วงที่ 3 ของสายร้อนที่ 1 และสายเย็นที่ 3

- ในช่องว่างของสายร้อนที่ 1 จะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของสายเย็นที่ 4 (ในช่วงเดียวกันซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทราบค่า) รวมกับค่าผลต่างอุณหภูมิน้อยที่สุดที่กำหนดไว้ คือ 0 K จะได้ค่าของอุณหภูมิของสายร้อนที่ 1 เท่ากับ $373+0 \text{ K} = 373 \text{ K}$
- ในช่องว่างของสายเย็นที่ 3 จะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของสายเย็นที่ 4 (ในช่วงเดียวกันซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทราบค่า) แต่ไม่ต้องนำไปรวมกับค่าของผลต่างอุณหภูมิน้อยที่สุดที่กำหนดไว้ เนื่องจากอุณหภูมิของสายที่ทราบค่านั้นเป็นประเภทเดียวกับสายที่ต้องการคำนวณ (คือเป็นสายเย็นเหมือนกัน) จะได้ค่าของอุณหภูมิของสายเย็นที่ 3 เท่ากับ 373 K

ตารางที่ 2.4 การแบ่งช่วงอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นเมื่อ $\Delta T_{\min} = 0 \text{ K}$

ช่วงที่	อุณหภูมิ (K)			
	สายร้อนที่ 1 $C_p=2.0 \text{ kW/K}$	สายร้อนที่ 2 $C_p=8.0 \text{ kW/K}$	สายเย็นที่ 3 $C_p=2.5 \text{ kW/K}$	สายเย็นที่ 4 $C_p=3.0 \text{ kW/K}$
1	423			
2	398		398	
3	373		373	373
4	363	363	363	363
5	333	333	333	333
6			298	298
7			293	

ตารางที่ 2.4 แสดงการแบ่งช่วงการแลกเปลี่ยนความร้อนกันโดยไม่มีผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็น ($\Delta T_{\min} = 0 \text{ K}$) ซึ่งในทางทฤษฎีสายร้อนและสายเย็นที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิเดียวกันสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่กันได้ (โดยมีเงื่อนไขของ C_p ดังจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป) แต่ในสภาพความเป็นจริงการแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ดังนั้นในการกำหนดค่า ΔT_{\min} ควรคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนและสายเย็น เพื่อให้เป็นตัวอย่างสำหรับการคำนวณในช่วงต่อจากนี้ไป จะกำหนดให้ $\Delta T_{\min} = 20 \text{ K}$ (อุณหภูมิของสายร้อนจะต้องมีค่ามากกว่าอุณหภูมิของสายเย็นอย่างน้อย 20 K จึงจะสามารถเกิดการถ่ายเทพลังงานได้) แล้วทำการแบ่งอุณหภูมิสายร้อนและสายเย็นออกเป็นช่วงๆ โดยใช้ตารางที่ 2.3 มาทำการคำนวณหาอุณหภูมิใหม่ได้ดังตารางที่ 2.5

เมื่อแบ่งช่วงอุณหภูมิที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนกันได้แล้ว ให้ทำการคำนวณหาค่าพลังงานที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนในแต่ละช่วงโดยใช้สมการที่ 2.1 ซึ่งจะได้ค่าดังตารางที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพลังงานในช่วงที่ 5 เกิดจากการนำเอาค่าผลต่างของความจุความร้อนของสายร้อนในช่วงอุณหภูมิ 363 ถึง 333 K (ซึ่งประกอบด้วยสายร้อนสายที่ 1 และสายร้อนสายที่ 2) กับสายเย็นในช่วงอุณหภูมิ 343 ถึง 313 K (ซึ่งประกอบด้วยสายเย็นสายที่ 3 และสายเย็นสายที่ 4) คูณกับค่าผลต่างอุณหภูมิของสายร้อนหรือสายเย็นที่ทราบค่าซึ่งมีค่าเท่ากับ 135 kW ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 การแบ่งช่วงอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นเมื่อ $\Delta T_{\min} = 20 \text{ K}$

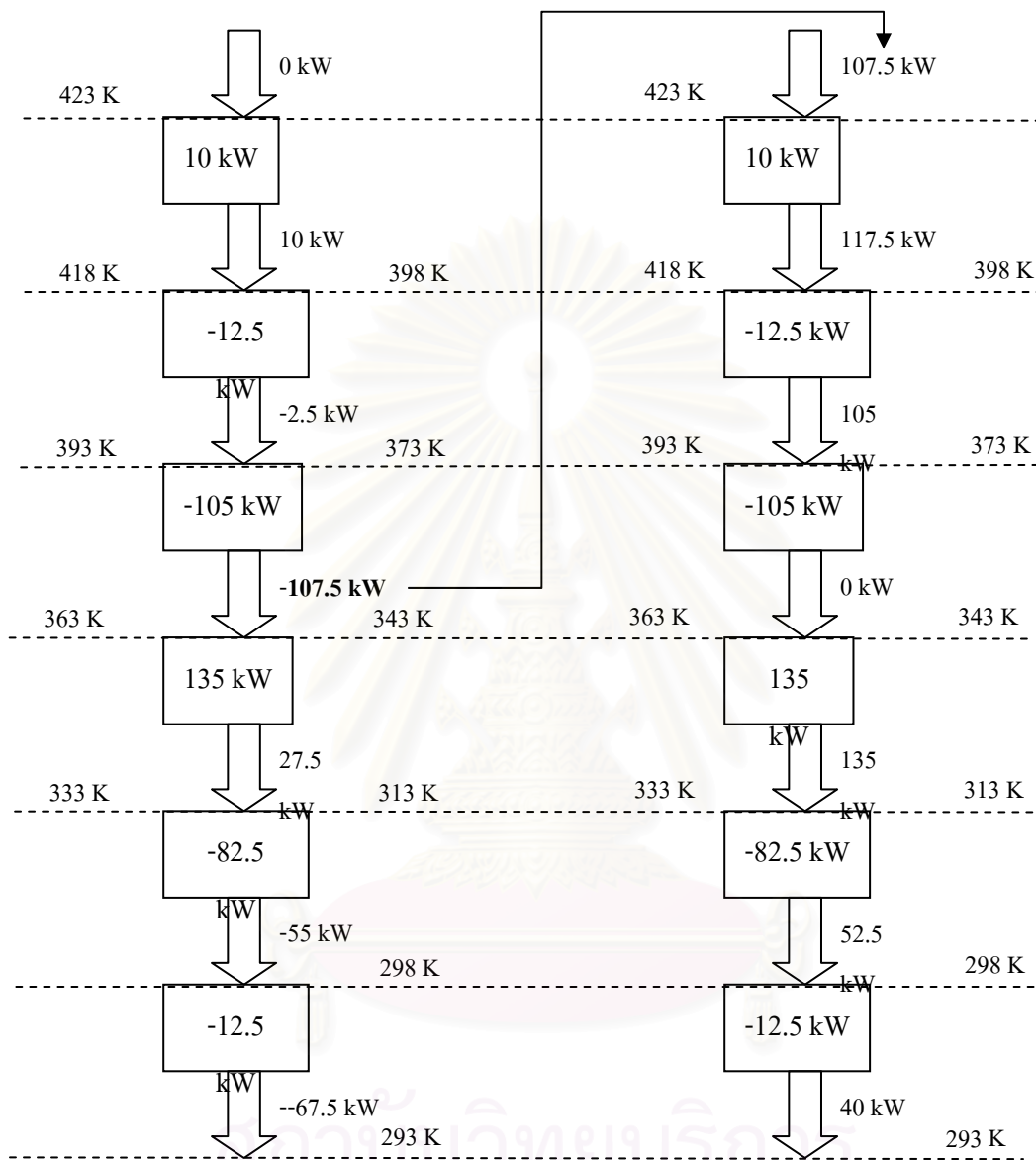
ช่วงที่	อุณหภูมิ (K)			
	สายร้อนที่ 1 $C_p=2.0 \text{ kW/K}$	สายร้อนที่ 2 $C_p=8.0 \text{ kW/K}$	สายเย็นที่ 3 $C_p=2.5 \text{ kW/K}$	สายเย็นที่ 4 $C_p=3.0 \text{ kW/K}$
1	423			
2	418		398	
3	393		373	373
4	363	363	343	343
5	333	333	313	313
6			298	298
7			293	

ตารางที่ 2.6 การคำนวณหาค่าการถ่ายเทพลังงานของระบบ

ช่วงที่	อุณหภูมิ (K)		การคำนวณหา พลังงาน	พลังงานที่เกิดขึ้น ในแต่ละช่วง (kW)
	สายร้อน	สายเย็น		
1	423			
2	418	398	$= 2 \times (423-418)$	10
3	393	373	$= (2-2.5) \times (418-393)$	-12.5
4	363	343	$= (2-2.5-3) \times (393-363)$	-105
5	333	313	$= (2+8-2.5-3) \times (363-333)$	135
6		298	$= (-2.5-3) \times (313-298)$	-82.5
7		293	$= -2.5 \times (298-293)$	-12.5

จากตารางที่กล่าวมาข้างต้นให้คำนวณหาปริมาณที่ไหลผ่านในแต่ละช่วงได้ดังรูปที่ 2.7 (ก) ซึ่งพบว่าถ้าจะให้ระบบดังกล่าวเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้นั้น ระบบต้องได้รับพลังงานความร้อนจากภายนอกสูงสุดเป็นจำนวน 107.5 kW (ซึ่งเป็นค่าพลังงานความร้อนที่อยู่ในช่วงที่ 4 ของรูปที่ 2.7 (ก)) จากนั้นให้ทำการคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ไหลผ่านระบบใหม่ โดยให้ระบบใหม่ได้รับพลังงานความร้อนเท่ากับที่ระบบต้องได้รับเพิ่มเติม ส่งผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีกรไหล

ผ่านของพลังงานความร้อน และเรียกบริเวณดังกล่าวว่า จุดพินช์ ซึ่งตรงกับช่วงการไหลผ่านของพลังงานที่ 4 ของรูปที่ 2.7 (ข)



รูปที่ 2.7 (ก)

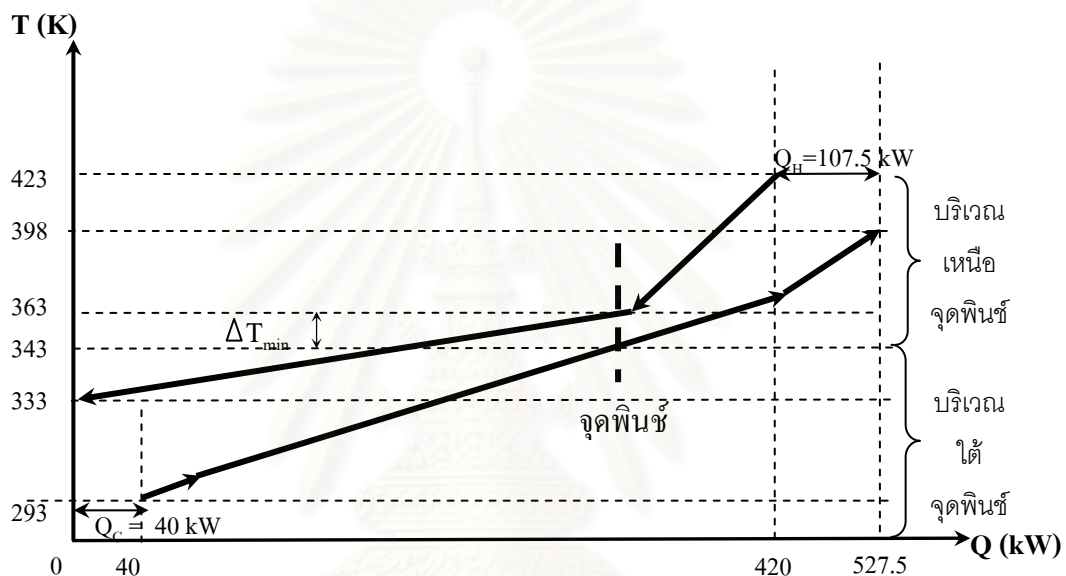
รูปที่ 2.7 (ข)

รูปที่ 2.7 ปริมาณการไหลผ่านของพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง

(ก) ก่อนให้พลังงาน (ข) หลังให้พลังงาน

4. จับคู่สายที่จะนำมาแลกเปลี่ยนความร้อน

ปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อน คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็น และปริมาณพลังงานความร้อนที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนกันได้ระหว่างสายร้อนและสายเย็น โดยใช้กราฟคอมโพสิตที่กล่าวในหัวข้อข้างต้นมาประกอบการพิจารณา ออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนพร้อมกับใช้จุดพินช์เป็นเครื่องมือในการแบ่งบริเวณที่นำมาพิจารณาซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 บริเวณหลัก ดังรูปที่ 2.8 คือ บริเวณใต้จุดพินช์ และบริเวณเหนือจุดพินช์ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของกราฟได้ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ



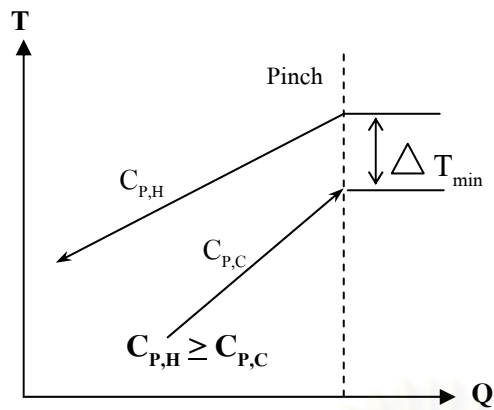
รูปที่ 2.8 ปริมาณพลังงานที่ให้เข้าไปบริเวณที่อยู่เหนือจุดพินช์ และอยู่ใต้จุดพินช์ของกราฟคอมโพสิต

4.1 บริเวณที่อยู่ใต้จุดพินช์

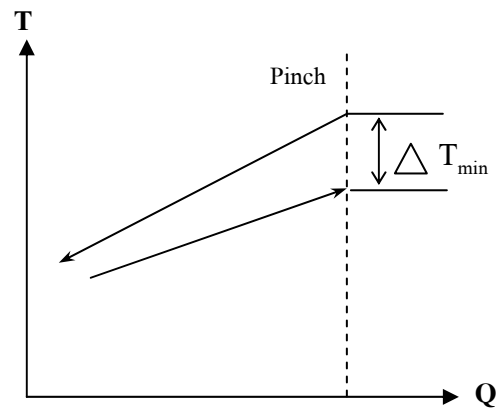
$$4.1.1 \quad N_H \geq N_C$$

$$4.1.2 \quad C_{P,H} \geq C_{P,C}$$

$$4.1.3 \quad \Delta C_{P,B} = C_{P,H} - C_{P,C}$$



รูปที่ 2.9 (ก)



รูปที่ 2.9 (ข)

รูปที่ 2.9 การจับคู่สายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณใต้จุดพินช์
(ก) สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน (ข) ไม่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน

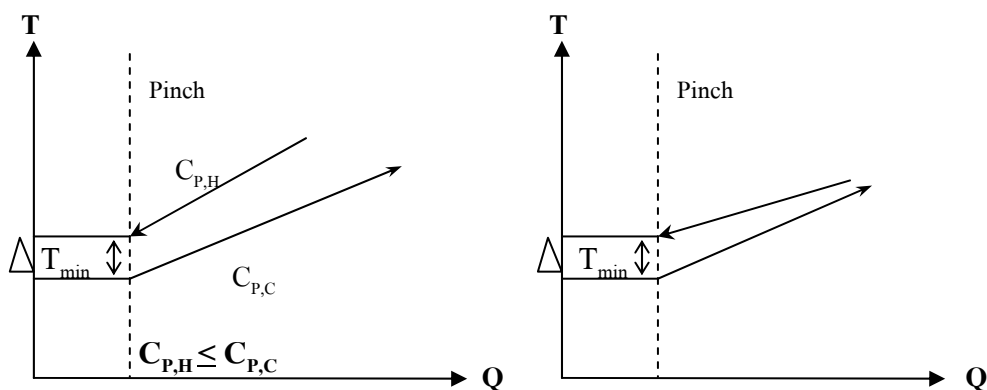
4.2 บริเวณที่อยู่เหนือจุดพินช์

$$4.2.1 \quad N_H \leq N_C$$

$$4.2.2 \quad C_{P,H} \leq C_{P,C}$$

$$4.2.3 \quad \Delta C_{P,A} = C_{P,C} - C_{P,H}$$

เมื่อ	$C_{P,C}$	คือ	ค่าความจุความร้อนของสายเย็น, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
	$C_{P,H}$	คือ	ค่าความจุความร้อนของสายร้อน, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
	N_C	คือ	จำนวนสายของสายเย็น
	N_H	คือ	จำนวนสายของสายร้อน
	$\Delta C_{P,A}$	คือ	ผลต่างของค่าความจุความร้อนระหว่างสายเย็นกับสายร้อนที่บริเวณเหนือจุดพินช์, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
	$\Delta C_{P,B}$	คือ	ผลต่างของค่าความจุความร้อนระหว่างสายร้อนกับสายเย็นที่บริเวณใต้จุดพินช์, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)



รูปที่ 2.10 (ก)

รูปที่ 2.10 (ข)

รูปที่ 2.10 การจับคู่สายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์
(ก) สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน (ข) ไม่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากรูปที่ 2.9 (ก) และรูปที่ 2.10 (ก) พบว่าค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นที่มีค่าน้อยที่สุดนั้นต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าผลต่างของอุณหภูมิที่จุดพินช์ (ΔT_{\min}) ระบบจึงสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้ ซึ่งแตกต่างจากรูปที่ 2.9 (ข) และรูปที่ 2.10 (ข) ที่มีช่วงที่มีค่าผลต่างของอุณหภูมิน้อยกว่าผลต่างของอุณหภูมิที่เป็นจุดพินช์ ทำให้ระบบไม่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้ ส่วนค่าความจุความร้อนก็มีผลต่อค่าผลต่างของอุณหภูมิเช่นกัน โดยพิจารณาจากค่าความชันของเส้นกราฟซึ่งมีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่าความจุความร้อน สำหรับบริเวณที่อยู่ใต้จุดพินช์ถ้าค่าความจุความร้อนของสายเย็นมีค่าสูงกว่าค่าความจุความร้อนของสายร้อนจะทำให้เส้นกราฟของสายเย็นมีความชันลดน้อยลง ส่งผลให้ค่าผลต่างอุณหภูมิของสายร้อนและสายเย็นมีค่าลดน้อยลงตามไปด้วย ในทำนองเดียวกันถ้าค่าความจุความร้อนของสายร้อนของบริเวณที่อยู่เหนือจุดพินช์มีค่ามากกว่าค่าความจุความร้อนของสายเย็นจะทำให้ค่าผลต่างอุณหภูมิของทั้งสองสายมีค่าลดน้อยลงเช่นเดียวกัน

ในกรณีที่ไม่สามารถจับคู่ระหว่างสายที่จะนำมาแลกเปลี่ยนความร้อน ได้ดังหลักการในข้อ 4.1 และ 4.2 ให้ทำการแบ่งค่าพลังงานของสายที่มีค่าพลังงานความร้อนซึ่งเป็นประเภทตรงข้ามกับสายที่ไม่สามารถจับคู่แลกเปลี่ยนพลังงานได้ออกเป็น 2 ส่วน โดยจะแบ่งให้มีค่าพลังงานความร้อนเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ แต่ต้องมีค่าความจุความร้อนที่เป็นไปตามหลักการในข้อ 4.1.2 และ 4.2.2 เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงหลักเกณฑ์ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ชัดเจนขึ้น จึงขอยกตัวอย่างการจับคู่สายแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 2.1 และกราฟคอมโพสิทรูปที่ 2.8 มาออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้เป็น 2 บริเวณ คือ

1. บริเวณใต้จุดพินช์

$C_{P,H} \geq C_{P,C}$			
สายที่ 1	2.0	สายที่ 3	2.5
สายที่ 2	8.0	สายที่ 4	3.0

รูปที่ 2.11 ข้อมูลค่าความจุความร้อนของสายแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ใต้จุดพินช์

$C_{P,H} \geq C_{P,C}$	
2.0	2.5
8.0	3.0

รูปที่ 2.12 (ก)

$C_{P,H} \geq C_{P,C}$	
2.0	2.5
8.0	3.0

รูปที่ 2.12 (ข)

รูปที่ 2.12 (ก) และ (ข) การจับคู่ของสายแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้

$C_{P,H} \geq C_{P,C}$	
2.0	2.0
0.5	2.5
8	0.5
0.5	3.0

รูปที่ 2.13 (ก)

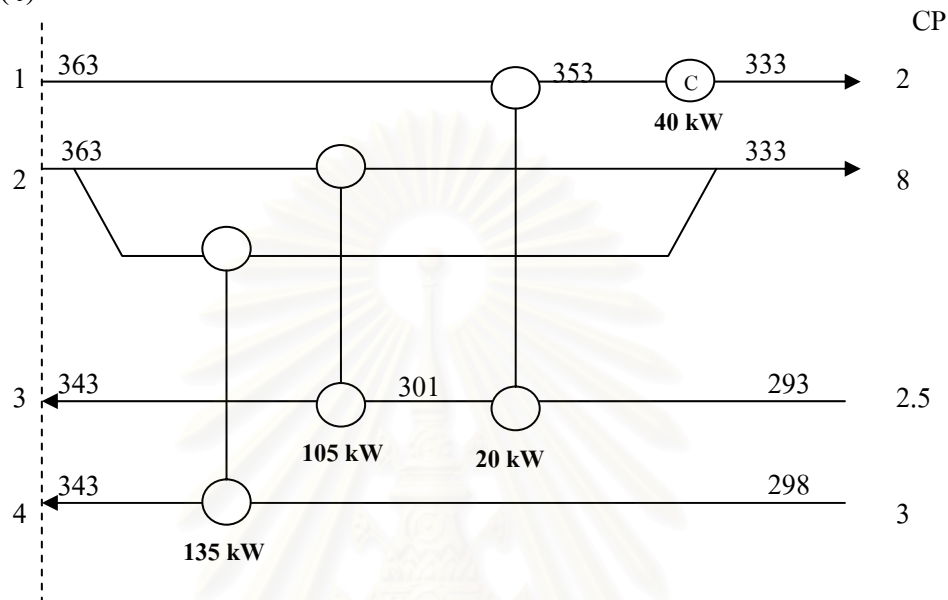
$C_{P,H} \geq C_{P,C}$	
2.0	2.5
3.5	3.0
8	4.5

รูปที่ 2.13 (ข)

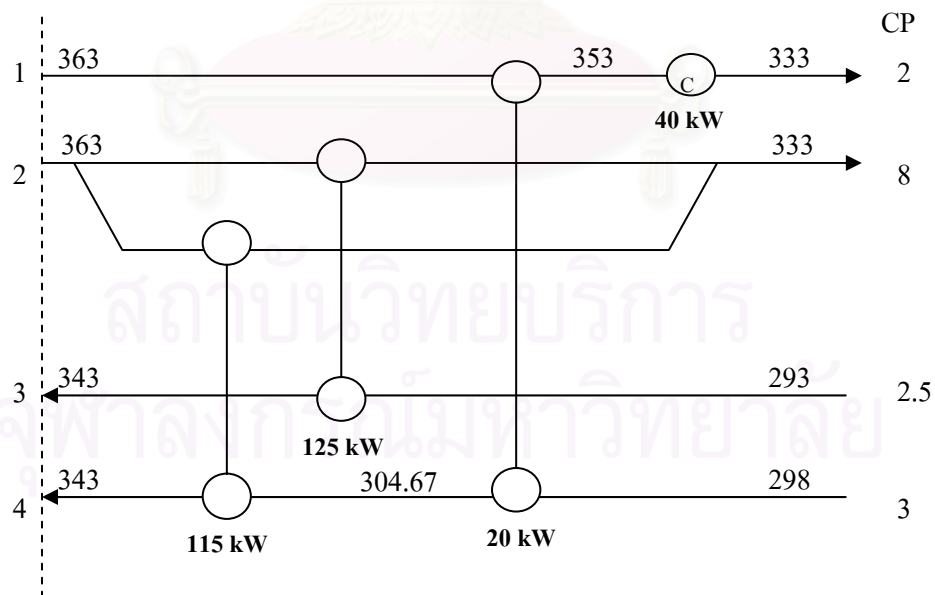
รูปที่ 2.13 (ก) และ (ข) แสดงการจับคู่สายร้อนและสายเย็นที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกัน โดยการแบ่งค่าพลังงานความร้อนของสายร้อน

จากรูปที่ 2.12 (ก) และ 2.12 (ข) พบว่าการจับคู่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนและสายเย็นสามารถจับคู่กันได้ตามเงื่อนไขของค่าความจุความร้อน ซึ่งสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้เพียงคู่เดียว (คือ สายที่ 2 กับสายที่ 4 หรือ สายที่ 2 กับสายที่ 3) แต่สายที่ 1 ไม่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้เนื่องจากค่าความจุความร้อนมีค่าต่ำเกินไปเมื่อทำการแลกเปลี่ยนกับอีก

สาย ดังนั้นเพื่อให้การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าวจึงต้องทำการแบ่งค่าความจุความร้อนของสายร้อนออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งผู้ออกแบบสามารถกำหนดค่าความจุความร้อนที่เกิดขึ้นใหม่นี้ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ดังกล่าวได้หลายแบบ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.13 (ก) และ 2.13 (ข) ซึ่งสามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดังรูปที่ 2.14 (ก) และ 2.14 (ข)



รูปที่ 2.14 (ก) (A)



รูปที่ 2.14 (ข)

รูปที่ 2.14 (ก) และ รูปที่ 2.14 (ข) การจับคู่แลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณใต้จุดพินช์

2. บริเวณเหนือจุดพินช์

$C_{P,H} \leq C_{P,C}$			
สายที่ 1	2.0	สายที่ 3	2.5
		สายที่ 4	3.0

รูปที่ 2.15 ข้อมูลค่าความจุความร้อนของสายแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์

$C_{P,H} \leq C_{P,C}$	
2.0	2.5
	3.0

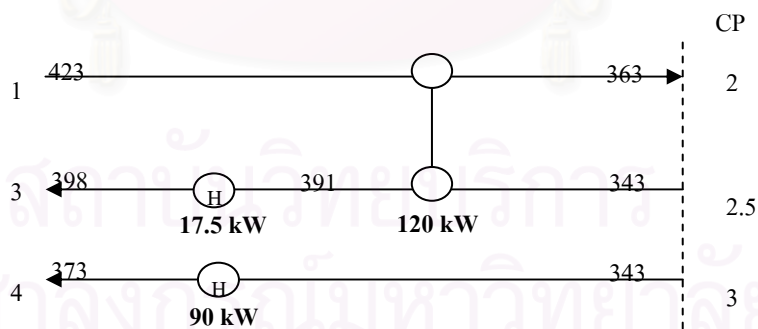
รูปที่ 2.16 (ก)

$C_{P,H} \leq C_{P,C}$	
2.0	2.5
	3.0

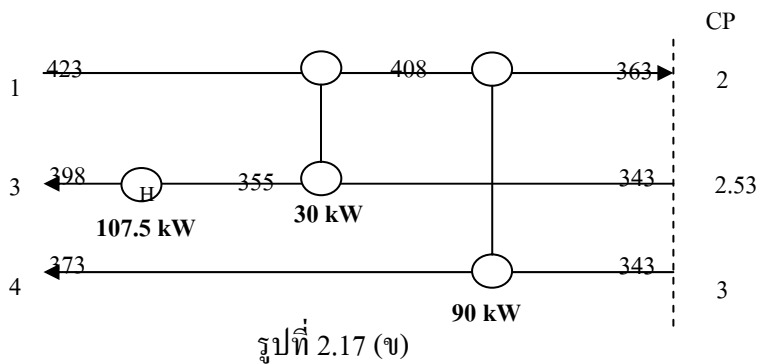
รูปที่ 2.16 (ข)

รูปที่ 2.16 (ก) และ (ข) การจับคู่ของสายร้อนและสายเย็นที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากรูปที่ 2.16 (ก) และ 2.16 (ข) พบว่าการจับคู่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนและสายเย็นสามารถเกิดขึ้นได้ตามเงื่อนไขของค่าความจุความร้อน และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดังรูป 2.17 (ก) และ 2.17 (ข)



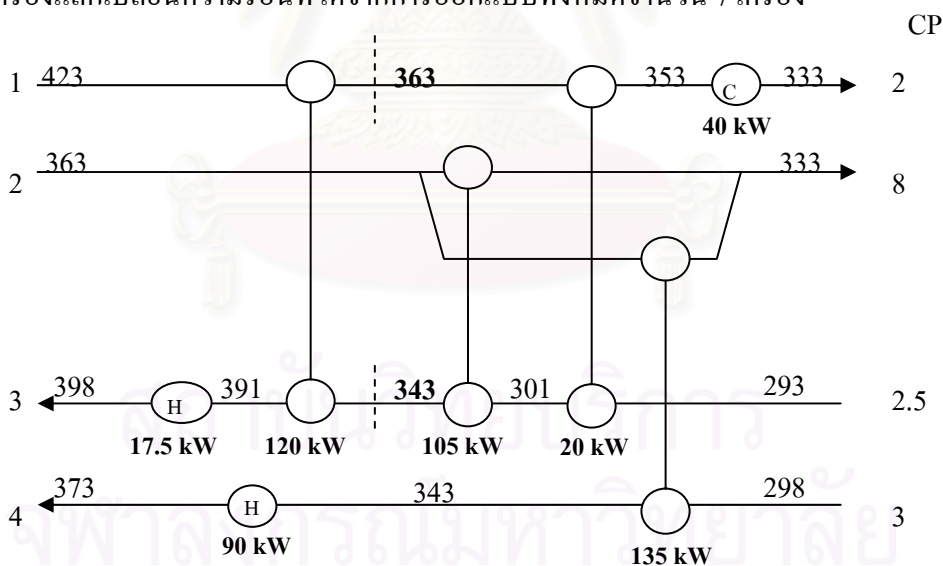
รูปที่ 2.17 (ก)



รูปที่ 2.17 (ก) และ (ข) การจับคู่แลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์

5. รวมเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบ

เมื่อออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับบริเวณใต้จุดพินช์และบริเวณเหนือจุดพินช์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้นำเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบในแต่ละบริเวณมารวมกัน (โดยในที่นี้เลือกรูปที่ 2.14 (ก) และ รูปที่ 2.17 (ก)) ดังรูปที่ 2.18 ซึ่งมีจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบทั้งหมดจำนวน 7 เครื่อง



รูปที่ 2.18 การรวมเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์กับบริเวณใต้จุดพินช์

6. พิจารณาจำนวนอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากการรวมกันของบริเวณเหนือจุดพินช์และใต้จุดพินช์

6.1 การหาจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่น้อยที่สุด

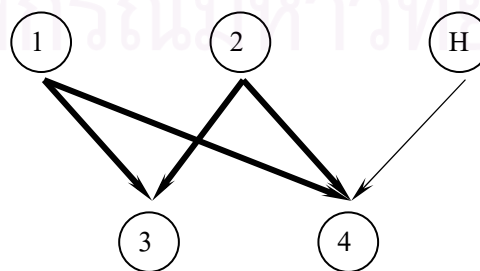
การออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามเทคโนโลยีพินช์จะเป็นการออกแบบที่คำนึงถึงความเหมาะสมในด้านผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกัน ส่งผลให้มีจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นในเครือข่ายเป็นจำนวนมาก Linnhoff [16] ได้กล่าวถึงวิธีการคำนวณหาจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่น้อยที่สุดโดยใช้ทฤษฎีของ Euler ดังสมการต่อไปนี้

$$U = N + L - S \quad (2.2)$$

เมื่อ	U	คือ จำนวนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
	N	คือ จำนวนของสายที่ต้องการแลกเปลี่ยนความร้อน
	L	คือ จำนวนของ Loop ในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
	S	คือ จำนวนของ Subset ในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

6.1.1 การนับจำนวนของ Loop ในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

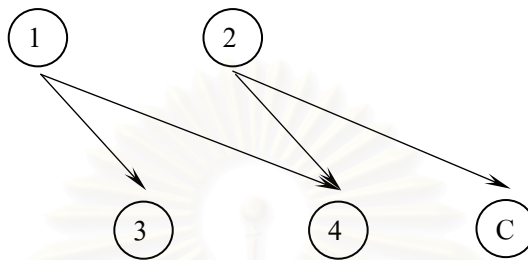
จำนวนของ Loop ในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ บริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนซ้ำซ้อนกันหรือบริเวณที่เกิดการวนของสายแลกเปลี่ยนความร้อนที่ย้อนกลับไปยังสายเริ่มต้น ดังรูปที่ 2.19 ดังนั้นเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่น้อยที่สุดควรมีจำนวน Loop เท่ากับ 0



รูปที่ 2.19 การจับคู่สายแลกเปลี่ยนความร้อนที่มี Loop เกิดขึ้น 1 Loop

6.1.2 การนับจำนวนของ Subset ในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Subset คือ บริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนกันระหว่างสายร้อนและสายเย็นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่น้อยที่สุดควรมีจำนวน Subset อยู่เพียง 1 Subset เท่านั้น ดังรูปที่ 2.20



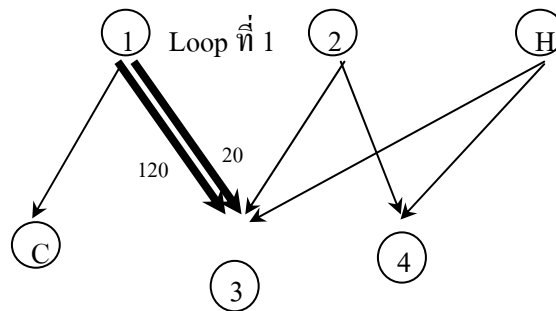
รูปที่ 2.20 การจับคู่สายแลกเปลี่ยนความร้อนที่มี 1 Subset

ในกรณีที่ $S = 1$, $L = 0$ จะได้จำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่น้อยที่สุดสำหรับเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใดๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

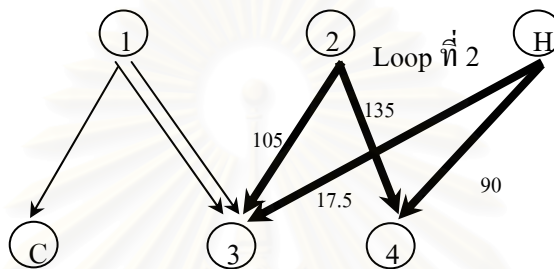
$$U_{\min} = N - 1 \quad (2.3)$$

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.18 พบว่าเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวมีจำนวนสายร้อน 2 สาย สายเย็น 2 สาย ระบบเพิ่มความร้อน 1 ระบบ ระบบหล่อเย็น 1 ระบบ ดังนั้นจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่น้อยที่สุดสำหรับเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.3 ควรมีจำนวน 5 เครื่อง แต่ข้อมูลในรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีจำนวนทั้งหมด 7 เครื่อง ซึ่งมีจำนวนที่มากเกินไปกว่าค่าที่น้อยที่สุด เนื่องจากในระบบนี้มี Loop เกิดขึ้น 2 Loop ดังนี้

1. รูปที่ 2.21 (ก) Loop ที่ 1 เกิดขึ้นจากสายร้อนสายที่ 1 เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสายเย็นสายที่ 3 ซ้ำกัน 2 ครั้ง
2. รูปที่ 2.21 (ข) Loop ที่ 2 เกิดขึ้นจากสายร้อนสายที่ 2 เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสายเย็นสายที่ 3 แล้วสายเย็นสายที่ 3 เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับระบบทำความร้อน จากนั้นระบบทำความร้อนก็แลกเปลี่ยนความร้อนกับสายเย็นสายที่ 4 และสายเย็นสายที่ 4 ก็แลกเปลี่ยนความร้อนกับสายร้อนสายที่ 2 ซึ่งเป็นสายเริ่มต้นของ Loop ที่กำลังพิจารณา



รูปที่ 2.21 (ก) การจับคู่สายแตกเปลี่ยนความร้อนที่มี Loop เกิดขึ้น Loop ที่ 1



รูปที่ 2.21 (ข)

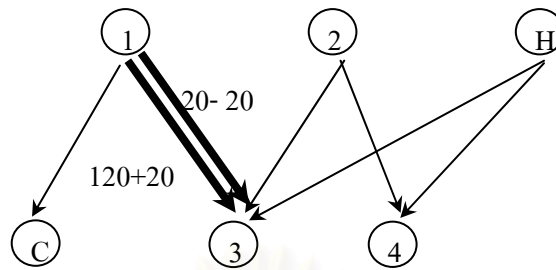
รูปที่ 2.21 การจับคู่สายแตกเปลี่ยนความร้อนที่มี Loop เกิดขึ้น Loop ที่ 2

6.2 การลดจำนวน Loop ในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

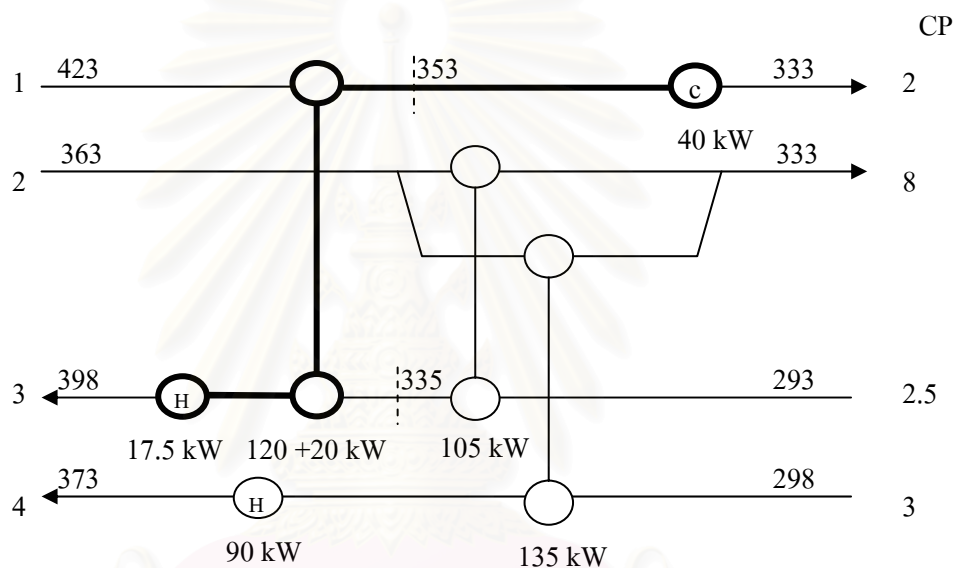
การลดจำนวน Loop ในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถทำได้โดยการยอมให้มีพลังงานไหลผ่านจุดพินช์ ซึ่งทำให้สามารถลดจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบดังกล่าวได้ 1 เครื่องต่อ 1 Loop จนกระทั่งไม่มี Loop เกิดขึ้นในเครือข่าย ดังนั้นเราจะเลือกเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีปริมาณการถ่ายเทพลังงานความร้อนเกิดขึ้นที่น้อยที่สุดใน Loop นั้นๆ ออก หรืออาจเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีช่วงอุณหภูมิในการถ่ายเทพลังงานความร้อนต่ำที่สุดออก (เพื่อป้องกันมิให้ต้องใช้พลังงานเพิ่มเติมจากแหล่งที่มีศักยภาพความร้อนหรือแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงเกินไป)

ใน Loop ที่ 1 รูปที่ 2.21 (ก) เป็น Loop ที่เริ่มจากสายร้อนที่ 1 ไปยังสายเย็นที่ 3 และกลับมายังสายร้อนที่ 1 อีกครั้ง สามารถลด Loop ดังกล่าวที่เกิดขึ้นได้โดยเลือกเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีปริมาณการถ่ายเทพลังงานความร้อนเกิดขึ้นที่น้อยที่สุดออกจาก Loop นั้นๆ ซึ่งในที่นี้ก็คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีปริมาณการถ่ายเทความร้อน = 20 kW จะได้

เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ดังรูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23 โดยปริมาณการถ่ายเทความร้อนรวมของระบบยังคงเท่าเดิม

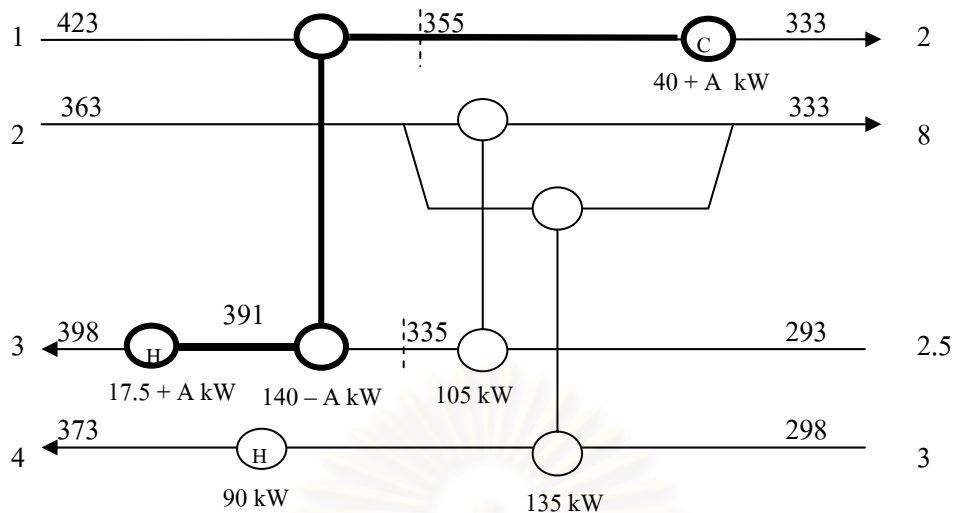


รูปที่ 2.22 การลดจำนวน Loop ที่เกิดขึ้นในเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



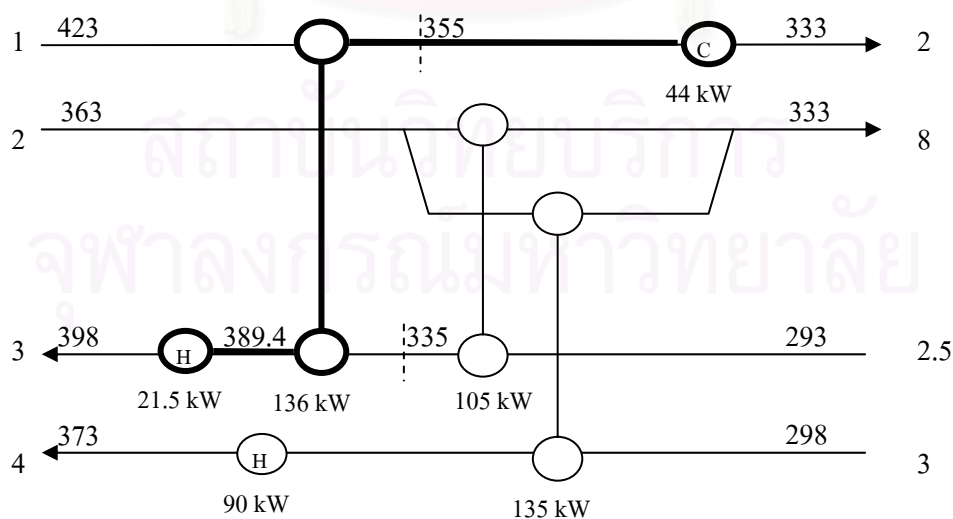
รูปที่ 2.23 เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังจากลด Loop ที่เกิดขึ้นแล้ว

จากรูปที่ 2.23 พบว่าหลังจากทำการลด Loop ที่เกิดขึ้นแล้วค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นมีค่าต่ำกว่าค่าผลต่างอุณหภูมิที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.5 ($\Delta T_{\min} = 20 \text{ K}$; $363 - 343 \text{ K}$) จึงต้องทำการปรับค่าอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นใหม่เพื่อให้ระบบสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้ โดยได้ทำการปรับอุณหภูมิของสายร้อนจากเดิม 353 K ให้กลายเป็น 355 K ส่งผลให้ค่าผลต่างอุณหภูมิของสายร้อนและสายเย็นที่เกิดการแลกเปลี่ยนกันมีค่าเท่ากับ 20 K หลังจากที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสายร้อนส่งผลให้ต้องทำการคำนวณหาปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ใน Loop ดังกล่าวใหม่ ได้ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังทำการปรับแก้ไข

จากรูปที่ 2.24 ทำการคำนวณหาค่าพลังงานใหม่พบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนที่ 1 กับสายเย็นที่ 3 จะมีปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดการถ่ายเทพลังงานกันได้ = $(2 \times (423 - 355)) = 136 \text{ kW}$ ซึ่งมีปริมาณการถ่ายเทพลังงานลดน้อยลงจากเดิม 4 kW ส่งผลให้ต้องให้พลังงานความร้อนเข้าไปในเครือข่ายเพิ่มขึ้นจากเดิม 4 kW พร้อมกับต้องดึงพลังงานความร้อนออกจากเครือข่ายจำนวน 4 kW ดังรูปที่ 2.25 ซึ่งพลังงานดังกล่าวที่ให้เข้าไปเพิ่มขึ้นนั้นจะเป็นค่าพลังงานที่มีได้นำไปก่อให้เกิดประโยชน์แต่อย่างใด ส่งผลให้มีการถ่ายเทพลังงานผ่านจุดพินช์จำนวน 4 kW



รูปที่ 2.25 เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีพินช์

รูปที่ 2.25 เป็นเพียงรูปแบบการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพียงรูปแบบหนึ่งเท่านั้น จากหลักการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่กล่าวมาแล้วข้างต้นสามารถมีรูปแบบการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ที่ทำการออกแบบ ดังนั้นรูปแบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการปรับปรุงแก้ไขของผู้ออกแบบแต่ละคนจึงไม่จำเป็นต้องมีรูปแบบเหมือนกัน

2.2 ปริมาณเอกเซอร์จี (Exergy ; Ex)

ปริมาณเอกเซอร์จี (Exergy ; Ex) คือ ศักยภาพสูงสุดในการทำงานของระบบที่สภาวะแวดล้อมขณะนั้น (T_0, P_0) โดยปริมาณเอกเซอร์จี (Exergy) [22, 34] สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับการดุลพลังงาน (Energy Balance) ของระบบซึ่งประกอบไปด้วยกฎข้อที่หนึ่งและกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการหลักในการคำนวณได้ดังนี้ คือ

$$Ex = (H - H_0) - T_0 (S - S_0) \quad (2.4)$$

$$\text{โดย } (H - H_0) = (H_{ed} - H_{ea}) = \Delta H = Q$$

$$\text{และ } (S - S_0) = (S_{ed} - S_{ea}) = \Delta S = \frac{Q}{T}$$

$$\text{จะได้ } Ex = Q - T_0 \left(\frac{Q}{T} \right) \quad (2.5)$$

เมื่อ	Ex	คือ	ปริมาณเอกเซอร์จี, กิโลวัตต์ (kW)
	H_{ea}	คือ	ค่าเอนทัลปีของระบบที่รับพลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ (kW)
	H_{ed}	คือ	ค่าเอนทัลปีของระบบที่ให้พลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ (kW)
	Q	คือ	ปริมาณพลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ (kW)
	S_{ea}	คือ	ค่าเอนโทรปีของระบบที่รับพลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)

S_{ed}	คือ	ค่าเอนโทรปีของระบบที่ให้พลังงานความร้อน, กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/K)
T	คือ	อุณหภูมิที่สภาวะการดำเนินงานใดๆ, เคลวิน (K)
T_0	คือ	อุณหภูมิที่สภาวะแวดล้อมขณะนั้น, เคลวิน (K)

2.3 การวิเคราะห์การลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์การลงทุนทางเศรษฐศาสตร์เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถประเมินอย่างคร่าวๆ ได้ถึงผลตอบแทนในการลงทุนปรับเปลี่ยนเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอยู่ในปัจจุบันหรือใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นใหม่ โดยสามารถวิเคราะห์การลงทุนในระดับเบื้องต้นได้โดยใช้ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์เช่น ค่าใช้จ่ายในแต่ละปี (Annual Cost) ระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Periods) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเอาการวิเคราะห์ดังกล่าวมาใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกรูปแบบที่เหมาะสมทั้งในด้านการลงทุนและด้านการประหยัดพลังงานของเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ออกแบบตามเทคโนโลยีพินซ์

2.3.1 ระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Periods)

ระยะเวลาในการคืนทุน หมายถึง ช่วงระยะเวลาที่ผลรวมของค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการปรับปรุงเครื่องถ่ายมีค่าเท่ากับเงินลงทุนทั้งหมดในการปรับปรุงเครื่องถ่าย โดยคำนึงถึงค่าของเงินที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ [24]

$$N = \frac{\ln(R/(R-PI))}{\ln(I+1)} \quad (2.6)$$

เมื่อ	I	คือ	อัตราดอกเบี้ย, เปอร์เซ็นต์ (%)
	P	คือ	เงินในการลงทุนทั้งหมด ณ ปีปัจจุบัน, ดอลลาร์ (US\$)
	N	คือ	ระยะเวลาในการคืนทุน, ปี (year)
	R	คือ	ค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อปี, ดอลลาร์ (US\$)

2.3.2 ค่าเงินลงทุนในแต่ละปี (Annual Cost)

เงินลงทุนในแต่ละปี คือ การนำเอาค่าของเงินลงทุนทั้งหมด ณ ปีปัจจุบันมากระจายเป็นค่าของเงินลงทุนในแต่ละปีตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด โดยคำนึงถึงค่าของเงินที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ [24]

$$R = P \times \left(\frac{I \times (1+I)^N}{(1+I)^N - 1} \right) \quad (2.7)$$

เมื่อ	I	คือ	อัตราดอกเบี้ย, เปอร์เซนต์ (%)
	P	คือ	เงินในการลงทุนทั้งหมด ณ ปีปัจจุบัน, ดอลลาร์ (US\$)
	N	คือ	ระยะเวลาในการคืนทุน, ปี (year)
	R	คือ	ค่าใช้จ่ายในแต่ละปี, ดอลลาร์ (US\$)

2.3.3 เงินลงทุนขั้นต้น (Capital Investment Cost)

เงินลงทุนขั้นต้นประกอบด้วย ต้นทุนทางตรง (Direct Cost) และต้นทุนทางอ้อม (Indirect Cost) โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะพิจารณาเฉพาะต้นทุนทางตรงเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย [24]

2.3.3.1 เงินลงทุนในการซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Cost)

2.3.3.2 เงินลงทุนในการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Installation Cost) โดยมีค่าอยู่ประมาณ 25-55% ของเงินลงทุนในการซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2.3.3.3 เงินลงทุนในการเชื่อมต่อเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Piping Installation Cost) โดยมีค่าอยู่ประมาณ 10-80% ของเงินลงทุนในการซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ซึ่งค่าของเงินลงทุนขั้นต้นที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะเป็นค่าของเงินในการลงทุนทั้งหมด ณ ปีปัจจุบัน

2.3.4 เงินลงทุนในการซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Cost)

ในการคำนวณค่าของเงินลงทุนในการซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 2.3.4.1 ประเภทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- 2.3.4.2 วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- 2.3.4.3 พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน
- 2.3.4.4 ขนาดของท่อและความยาวของท่อ
- 2.3.4.5 ความดันที่ใช้ในการดำเนินงาน

เมื่อกำหนดหาเงินที่ต้องใช้ในการลงทุนซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้แล้วให้นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าของเงินลงทุนที่แท้จริง ณ ปีปัจจุบัน โดยนำไปคูณกับอัตราส่วนระหว่างดัชนีของค่าเงิน ณ ปีปัจจุบันเทียบกับดัชนีของค่าเงิน ณ ปีที่เป็นฐานหรือปีที่ทราบค่าใช้จ่าย ดังสมการต่อไปนี้ [24]

$$PC = OC \times \left(\frac{IVP}{IVO} \right) \quad (2.8)$$

เมื่อ	PC	คือ	เงินลงทุน ณ ปีปัจจุบัน, ดอลลาร์ (US\$)
	OC	คือ	เงินลงทุน ณ ปีที่เป็นฐาน, ดอลลาร์ (US\$)
	IVP	คือ	ดัชนีของค่าเงิน ณ ปีปัจจุบัน
	IVO	คือ	ดัชนีของค่าเงิน ณ ปีที่เป็นฐาน

2.4 วารสารปริทรรศน์

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากกระบวนการกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เทคโนโลยีของพินช์ (Pinch Technology) และการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการ (Exergy Loss)

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเทคโนโลยีพินช์ (Pinch Technology)

Linnhoff และคณะ [8, 12] ศึกษาวิธีการในการนำปริมาณพลังงานที่สูญเสียจากกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยเริ่มจากการที่กำหนดค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสายร้อน (Hot Streams) และสายเย็น (Cold Streams) ที่เหมาะสมที่สามารถทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์ได้ **Su และ Motard [21]** ได้นำเสนอหลักเกณฑ์และวิธีการในการจับคู่สายที่จะนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกัน หลังจากนั้น **Linnhoff และ Flower [14]** ได้ทำการคำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละสายของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการแบ่งอุณหภูมิออกเป็นช่วงๆ ผลจากการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนในบริเวณต่างๆ ของระบบทำให้ทราบว่าบริเวณใดในระบบที่มีค่าพลังงานความร้อนที่ไม่เพียงพอในการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อปรับปรุงบริเวณดังกล่าวให้มีปริมาณพลังงานความร้อนเพียงพอที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน และเรียกช่วงอุณหภูมิที่ไม่มีความร้อนไหลผ่านว่า จุดพินช์ (Pinch) หลังจากคำนวณหาจุดพินช์ได้แล้ว **Linnhoff [10]** ได้ทำการแบ่งสายแลกเปลี่ยนความร้อนออกเป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณที่อยู่เหนือจุดพินช์ (Above Pinch) และบริเวณที่อยู่ใต้จุดพินช์ (Below Pinch) แล้วทำการจับคู่ระหว่างสายร้อนและสายเย็นในบริเวณทั้ง 2 นี้ แยกจากกัน เพื่อออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนในแต่ละบริเวณ ก่อนที่จะนำบริเวณทั้ง 2 มารวมกันและได้ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถนำปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด (Maximum Energy Recovery) ส่งผลให้ระบบโดยรวมมีปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนลดน้อยลงและมีการนำพลังงานมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ **Linnhoff และ Tjoe [16]** ยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องความเหมาะสมในการลดจำนวนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีได้ในระบบโดยคำนึงถึงผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์อย่างคร่าวๆ ก่อนที่จะดำเนินการปรับปรุงแก้ไข ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้้นำเอาหลักการวิเคราะห์แบบพินช์มาใช้ในการลดปริมาณการสูญเสียพลังงาน ได้แก่ งานวิจัยของ **Linnhoff และ Verdeveld [11]** ที่ได้นำเอาเทคโนโลยีพินช์มาใช้ในการปรับปรุงแก้ไขระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงงานไอซีไอ (ICI) ส่งผลให้โรงงานดังกล่าวมีปริมาณการใช้พลังงานลดลงจาก 133×10^6 Btu/h เหลือ 92×10^6 Btu/h (ปริมาณการใช้พลังงานลดลงจากเดิม 30 %) โดยรูปแบบดังกล่าวเป็นรูปแบบที่ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถนำพลังงานกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด (Maximum Energy Recovery) จากนั้นนักวิจัยคณะนี้ได้ทำการปรับปรุงระบบแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้ให้มีความเหมาะสม

สมในด้านเศรษฐศาสตร์มากขึ้น โดยได้ทำการลดจำนวน Loop และจำนวน Subset ให้น้อยลง พบว่าต้องให้ปริมาณยูทิลิตี้ (Utility) เพิ่มขึ้นจากที่ได้ทำการปรับปรุงในครั้งแรก ประมาณ 4.5×10^6 Btu/h (ปริมาณการใช้พลังงานลดลงจากรูปแบบเดิม 28 %) แต่แบบดังกล่าวสามารถลดจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการลดน้อยลงจากเดิมที่ต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด 6 ตัวเหลือเพียง 2 ตัว และการปรับปรุงดังกล่าวจะใช้ระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 6 เดือน

งานวิจัยในเรื่องการประหยัดพลังงานของบริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด [5, 31] โดยบริษัทได้นำเอาหลักการเทคโนโลยีพินซ์มาทำการปรับปรุงกระบวนการในหลายด้าน เช่น การควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้ไม่ให้มีในปริมาณมากเกินไปเพื่อลดการสูญเสียพลังงานที่ถ่ายเทให้กับอากาศโดยไม่เกิดประโยชน์ การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันดิบให้สูงขึ้นก่อนที่จะนำไปกลั่นแยกโดยใช้ความร้อนจากผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ออกจากหอกลั่นซึ่งมีอุณหภูมิสูง เพราะในการเก็บผลิตภัณฑ์น้ำมันจะต้องทำการลดอุณหภูมิให้ต่ำลงก่อนจะนำเข้าสู่ถังเก็บ และการนำไอน้ำที่เกิดขึ้นในกระบวนการกลับมาใช้ให้ความร้อนกับบริเวณที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงมากนัก เป็นต้น จากการปรับปรุงดังกล่าวทำให้บริษัทบางจากสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงจากเดิมร้อยละ 6 เหลือเพียงร้อยละ 2.1 ของปริมาณน้ำมันดิบที่นำเข้าสู่กระบวนการกลั่นแยก การประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้มีสาเหตุมาจากการนำพลังงานมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลงและยังเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรในประเทศและสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย

Linnhoff และคณะ [13, 17] ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับประเภทหรือลักษณะของแหล่งให้พลังงานความร้อน (Hot Utility) และแหล่งรับพลังงานความร้อน (Cold Utility) จากกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้กราฟแกรนด์คอมโพสิท (Grand Composite) ซึ่งทำให้ผู้ออกแบบสามารถประเมินค่าผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์อย่างคร่าวๆ ได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้กราฟดังกล่าวยังแสดงให้เห็นบริเวณที่สามารถเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างสายร้อนและสายเย็นได้

ต่อมา **Linnhoff** ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมร่วมกับ **S. Ahmad** และ **R. Smith.** [15, 30] ถึงวิธีการเลือกระบบแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ต่ำที่สุด พบว่ามีหลายปัจจัยที่จะต้องนำมาประกอบการพิจารณา ตัวอย่างเช่น อัตราส่วนระหว่างค่าความจุความร้อนของสายร้อนต่อสายเย็นของแต่ละคู่ที่อยู่ใกล้บริเวณที่เป็นจุดพินซ์ของ

เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ควรจะมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนโดยรวมของค่าความจุความร้อนของสายร้อนต่อสายเย็นของทั้งกระบวนการ และค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นที่นำมาพิจารณาก็มีผลต่อขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น แต่ผลจากการค้นคว้าดังกล่าวยังไม่สามารถสรุปใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการเลือกเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีปริมาณการลงทุนต่ำที่สุดได้

Linnhoff [9] ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงการนำวิธีในการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการมาใช้กับเทคโนโลยีพินช์ จากการออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้เทคโนโลยีพินช์พบว่า ในแต่ละระบบที่ได้จากการออกแบบที่มีค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นเท่ากันจะมีปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสีย (Exergy Loss) จากกระบวนการเกิดขึ้นในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งจะป็นรูปแบบการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีสามารถนำปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกลับมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุด (Maximum Energy Recovery) และสามารถคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการได้ การนำความรู้ในเรื่องดังกล่าวประกอบกับเทคโนโลยีพินช์ ทำให้ผู้ออกแบบสามารถทราบถึงปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียไปกับกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน นอกจากนี้กราฟดังกล่าวยังได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างกฎข้อที่หนึ่ง (พิจารณาเฉพาะค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ของระบบ) และกฎข้อที่สอง (พิจารณาเฉพาะค่าเอนโทรปี (Entropy) ของระบบ) ของเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย

นอกจากนี้ **Linnhoff และ Dhole [17]** ยังได้นำเอาความรู้ในเรื่องเทคโนโลยีพินช์มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเอทิลีน (Ethylene) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการดำเนินงานที่อุณหภูมิต่ำกว่าสภาพแวดล้อม โดยส่วนของกระบวนการผลิตเอทิลีนที่นำมาวิเคราะห์ประกอบไปด้วยขั้นตอนการแยกสาร ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน และระบบทำความเย็น คณะผู้วิจัยได้เน้นการพิจารณาการปรับปรุงไปที่ระบบทำความเย็น พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงแก้ไขระบบทำความเย็นแล้ว จะลดปริมาณการให้พลังงานเข้าไปในกระบวนการดังกล่าวลดน้อยลงจาก 12.911 MW เหลือเพียง 9.151 MW และต่อมา **Linnhoff และ Dhole [33]** ได้ทำการปรับปรุงเพิ่มเติมโดยรวมขั้นตอนการแยกสารเข้าไว้ใน การคำนวณเพื่อลดปริมาณการสูญเสียพลังงานให้ลดน้อยลงไปอีก

2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณเอกเซอร์จี (Exergy)

Ishida และ Zheng [23] ทำการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีของกระบวนการเพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนอัตราการป้อนย้อนกลับของสาร (Reflux ratio) และตำแหน่งการป้อนสารเข้าไปในหอกลั่นแยกเฮกเซน (n-hexane) ออกจากออกเทน (n-octane) โดยใช้ตัวเปรียบเทียบคือปริมาณการถ่ายเทพลังงานและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียไปในแต่ละชั้นของหอกลั่น นอกจากนี้ **Taprap และ Ishida [29]** ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากหอกลั่นเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีปริมาณการสูญเสียพลังงานลดน้อยลง

จากความรู้ในเรื่องการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสีย (Exergy Loss) ของกระบวนการ **Banerjee และคณะ [26, 27]** ได้ทำการวิจัยหาปริมาณพลังงานที่ใช้ในการดำเนินงานของหอดูดซับที่มีการปรับเปลี่ยนความดัน (Pressure Swing Adsorption) กับหอดูดซับที่ไม่มีปรับเปลี่ยนความดัน (Pressure Equalization) โดยใช้วิธีการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จี (Exergy Analysis) มาวิเคราะห์หาสถานะที่ใช้ในการดำเนินงานเพื่อให้ได้งานมากที่สุด พบว่าหอดูดซับที่ไม่มีปรับเปลี่ยนความดันจะมีปริมาณพลังงานที่สูญเสียจากกระบวนการน้อยกว่าหอดูดซับที่มีการปรับเปลี่ยนความดัน โดยแสดงผลที่ได้จากการคำนวณหาปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละอุปกรณ์ของหอดูดซับในรูปของลูกศรพลังงาน (Exergy Flow) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ลูกศรพลังงานในส่วนที่เกิดจากพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ (Reversible)
2. ลูกศรพลังงานในส่วนที่เกิดจากพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ (Irreversible)

Ratkje de Swaan Arons [32] ได้ทำการศึกษาวิธีในการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการที่มีปฏิกิริยาเคมีและการแพร่กระจายของสารเกิดขึ้น แล้วนำผลที่ได้จากการคำนวณมาใช้ในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

Feng และคณะ [34] ได้ทำการคำนวณหาปริมาณพลังงานที่สูญเสียจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้วิธีการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จี (Exergy Analysis) ของ

แต่ละอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าและได้จัดแบ่งประเภทของพลังงานที่สูญเสียจากกระบวนการออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการที่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (Avoidable Exergy Losses, AVO) สามารถคำนวณได้จากผลต่างของค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ของแต่ละสายที่เข้าและออกจากอุปกรณ์ ซึ่งเป็นปริมาณพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่
2. ปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (Inevitable Exergy Losses, INE) สามารถคำนวณได้จากผลต่างของค่าเอนโทรปี (Entropy) ของแต่ละสายที่เข้าและออกจากอุปกรณ์ โดยปริมาณพลังงานสูญเสียดังกล่าวมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์มีประสิทธิภาพในการทำงานไม่เต็มที่ และการทำงานของระบบที่ไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible Process)

ดังนั้นการลดปริมาณพลังงานที่สูญเสียออกจากกระบวนการจึงมุ่งเน้นไปที่การลดปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการที่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (Avoidable Losses) ซึ่งเป็นพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ โดยการนำพลังงานดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อันจะส่งผลให้กระบวนการมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ยังได้มีผู้ทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างเทคโนโลยีพินช์ (Pinch Technology) กับการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการ (Exergy Loss) ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ **Radgen และ Lucas [25]** ที่ศึกษาเปรียบเทียบข้อแตกต่างของทั้งสองวิธีโดยใช้กระบวนการผลิตปุ๋ยเป็นตัวอย่างในการพิจารณา พบว่าทั้งสองวิธีนั้นมีพื้นฐานของการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์เหมือนกัน แต่เทคโนโลยีพินช์ (Pinch Technology) นั้นเป็นวิธีการที่พิจารณาเฉพาะค่าพลังงานของกระบวนการเท่านั้น ส่วนการวิเคราะห์การคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสีย (Exergy Loss) จากกระบวนการเป็นวิธีที่พิจารณาทั้งในด้านพลังงานและการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารภายในกระบวนการผลิต ซึ่งเทคโนโลยีพินช์ไม่สามารถทำได้ เพื่อให้เกิดผลที่ดีในการปรับปรุงกระบวนการจึงควรใช้ทั้งสองควบคู่กันในการปรับปรุงกระบวนการ

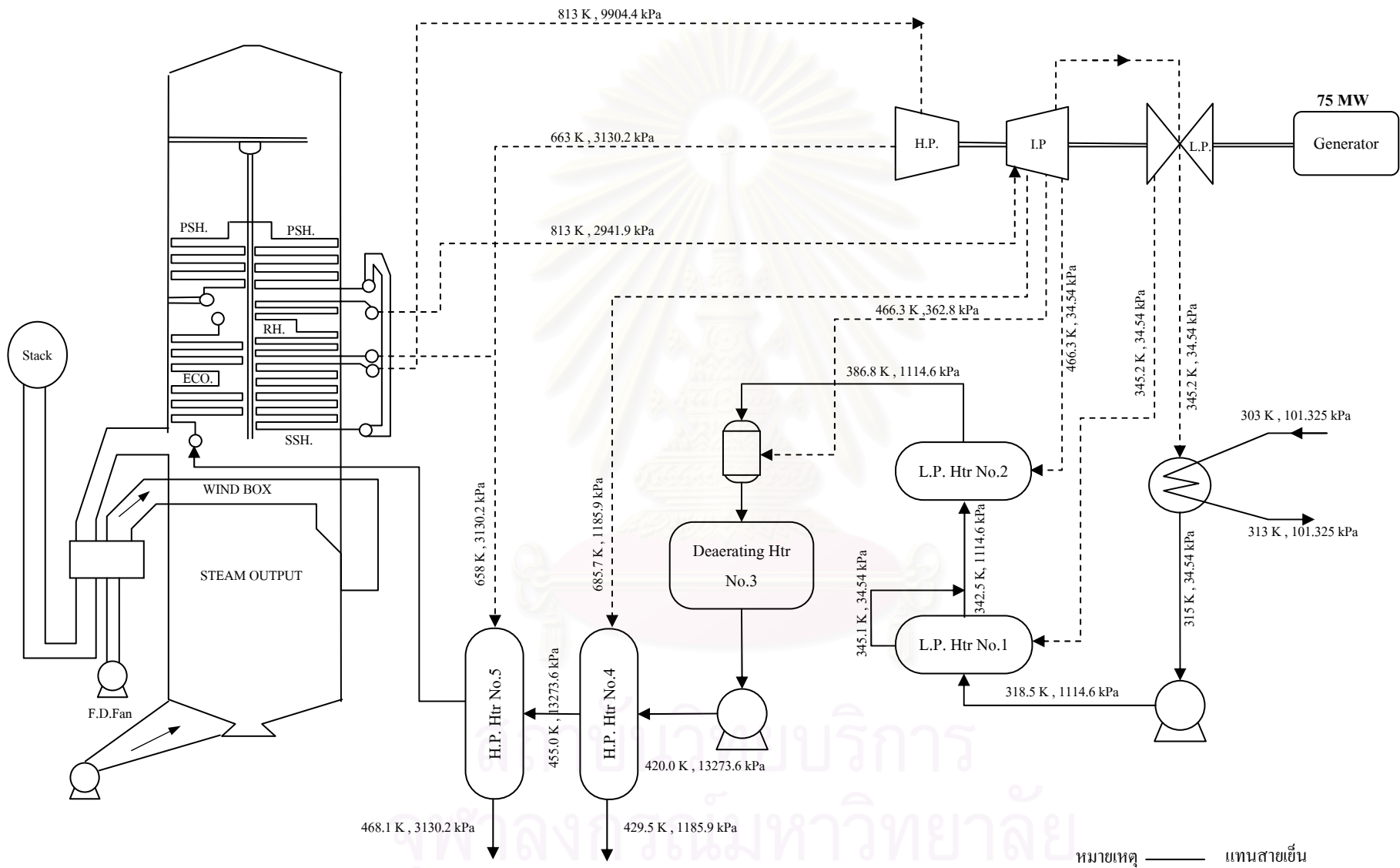
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และวิธีการใช้โปรแกรม

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีฟินซ์มาใช้ในการออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้โรงงานไฟฟ้าพลังความร้อน (โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ) มาเป็นตัวอย่างกรณีศึกษาซึ่งระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังไอน้ำของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือมีแผนผังกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 3.1 พร้อมทั้งทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานะการดำเนินงานของกระบวนการผลิตรวมไปถึงประเภทของวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งในที่นี้พบว่าใช้ Carbon Steel โดยระบบดังกล่าวมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นจำนวน 4 เครื่อง และระบบทำความเย็น 1 เครื่อง และผลจากการคำนวณหาค่าความจุความร้อนของแต่ละสายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของสายแต่ละสายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน

ลำดับ ที่	อุปกรณ์	ประเภท	ทางด้านขาเข้า		ทางด้านขาออก		ค่าความจุ ความร้อน (kW/K)
			อุณหภูมิ (K)	ความดัน (kPa)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (kPa)	
1	ระบบทำความเย็น	สายร้อน	345.2	35	315.0	35	147
2	LP. Htr No.1	สายร้อน	345.2	35	345.1	35	56278
3	LP. Htr No.1	สายเย็น	318.5	1,115	342.5	1,115	235
4	LP. Htr No.2	สายร้อน	466.3	179	348.0	179	100
5	LP. Htr No.2	สายเย็น	342.5	659	386.8	659	266
6	HP. Htr No.4	สายร้อน	685.7	1,079	429.5	1,079	46
7	HP. Htr No.4	สายเย็น	420.0	12,748	455.0	12,748	340
8	HP. Htr No.5	สายร้อน	658.0	3,530	468.1	3,530	90
9	HP. Htr No.5	สายเย็น	455.0	12,748	504.0	12,748	352

3.1.2 ฟังก์ชันการผลิต

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ โดยกระบวนการเริ่มจากการเผาไหม้ น้ำมันเตาในเตาเผา (Furnace) ขณะเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาเผาเปลวไฟที่เกิดขึ้นจะเพิ่มความร้อนของเตาเผาให้ร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 1366 K ส่งผลให้อากาศที่อยู่ภายในเตาให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเราเรียกอากาศร้อนส่วนนี้ว่าก๊าซร้อน จากนั้นนำก๊าซร้อนที่ได้ไปให้ความร้อนกับน้ำในหม้อต้ม (Boiler) ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งน้ำกลายเป็นไอน้ำ หลังจากนั้นไอน้ำที่ได้จากหม้อต้มจะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการที่ทำให้ไอน้ำกลายเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated Steam) ที่ความดันคงที่โดยใช้พลังงานจากก๊าซร้อนที่ได้จากหม้อต้มในบริเวณที่เรียกว่าซูเปอร์ฮีตเตอร์ (Superheater) ซึ่งแบ่งเป็น ช่วงในการให้ความร้อนเบื้องต้น ช่วงการทำให้ไอน้ำเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Primary Superheater Steam; PSH) และช่วงการให้ความร้อนขั้นที่ 2 ในการทำให้ไอน้ำเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Secondary Superheater Steam; SSH) จากนั้นไอน้ำร้อนยิ่งยวดดังกล่าวจะถูกส่งต่อไปยังกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ที่ต่อเชื่อมกับตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

กระบวนการขยายตัวของไอน้ำในกังหันเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนที่ 1

กังหันไอน้ำความดันสูง (High Pressure Steam Turbine; ความดัน 9,904 kPa) จะทำให้ไอน้ำขยายตัวแบบไอเซนโทรปิก (Isentropic; $\Delta S = 0$) จนกระทั่งมีความดันปานกลาง หลังจากนั้นไอน้ำจะถูกส่งกลับไปให้ความร้อนใหม่ที่รีฮีตเตอร์ (Reheater; RH) จนกระทั่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ทางเข้าของกังหันไอน้ำความดันสูง เพื่อช่วยลดปัญหาอันเนื่องมาจากปริมาณความชื้นของไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำความดันสูงซึ่งมีมากเกินไป จากนั้นไอน้ำที่ได้เข้าไปยังกังหันไอน้ำในขั้นตอนที่ 2

2. ขั้นตอนที่ 2

ในขั้นตอนนี้ประกอบด้วยกังหันไอน้ำ 2 ตัว คือ กังหันไอน้ำความดันปานกลาง (Intermediate Pressure Steam Turbine; ความดัน 2,972 kPa) และกังหันไอน้ำความดันต่ำ (Low Pressure Steam Turbine; ความดัน 1,186 kPa) โดยในขั้นตอนนี้ไอน้ำจะเกิดการขยายตัวแบบไอเซนโทรปิกจนกระทั่งได้ไอน้ำที่มีความดันเท่ากับความดันของภายในเครื่องควบแน่น (Condenser)

ในเครื่องควบแน่น (Condenser) น้ำที่ออกจากเครื่องควบแน่นจะอยู่ในสถานะของผสมอิ่มตัวที่อุณหภูมิอิ่มตัว (Saturation Temperature) โดยมีค่าความดันสอดคล้องกับค่าความดันภายในเครื่องควบแน่น น้ำที่ได้จากเครื่องควบแน่นจะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอน้ำร้อนที่ออกจากกังหันไอน้ำในแต่ละตัวดังรูปที่ 3.1 เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ได้ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนความดันต่ำ (Low Pressure Heater)

ส่วนนี้ประกอบไปด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2 เครื่อง คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนความดันต่ำตัวที่ 1 (L.P. Htr No.1) เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำที่ออกจากเครื่องควบแน่นกับไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำความดันต่ำ จากนั้นน้ำที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนความดันต่ำตัวที่ 2 (L.P. Htr No.2) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำความดันปานกลางใน

ส่วนท้าย จากนั้นน้ำจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องดีเออริเจตติ้ง (Deaerating) ที่ทำหน้าที่ไล่อากาศที่ผสมอยู่ในน้ำกับไอน้ำความดันต่ำที่ได้จากกังหันไอน้ำความดันปานกลาง จากนั้นจะส่งน้ำที่ได้ไปยังเครื่องปั๊ม (Pump) เพื่อทำให้น้ำมีความดันเพิ่มมากขึ้นใกล้เคียงกับความดันของหม้อต้ม แล้วจึงส่งน้ำดังกล่าวไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนความดันสูงในบริเวณถัดไป

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนความดันสูง (High Pressure Heater)

ส่วนนี้ประกอบไปด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2 เครื่อง คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนความดันสูงตัวที่ 4 (H.P. Htr No.4) เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำที่ออกจากเครื่องปั๊มกับไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำความดันปานกลางในส่วนต้น จากนั้นน้ำที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนความดันสูงตัวที่ 2 (H.P. Htr No.5) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำความดันสูง จากนั้นน้ำจะถูกส่งกลับเข้าไปในอีโคโนไมเซอร์ (Economizer; ECO) ในหม้อต้ม โดยอีโคโนไมเซอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งเข้าไปในกระบวนการเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำก่อนที่จะถูกนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตใหม่อีกครั้ง

นอกจากนี้ยังได้เพิ่มแอร์พรีฮีตเตอร์ (Air Preheater) เข้าไปในส่วนท้ายของหม้อต้ม เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซร้อนที่ออกจากหม้อต้มกลับมาใช้ประโยชน์โดยเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศก่อนที่จะเข้าไปในเตาเผา

3.1.3 สมมติฐานในการคำนวณ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเอาเทคโนโลยีของฟินช์มาปรับปรุงเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยสมมติให้

1. ค่าความจุความร้อนที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าความจุความร้อนเฉลี่ยของสายนั้นๆ ในกรณีที่สายๆ นั้นมีการเปลี่ยนแปลงสถานะเกิดขึ้นให้สมมติค่าผลต่างอุณหภูมิของสายดังกล่าวให้มีค่าเท่ากับ 0.1 K
2. สภาวะการดำเนินงานของสายนั้นๆ มีค่าความดันคงที่ และถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะเกิดขึ้น ไม่มีการสูญเสียพลังงานความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม
3. ค่าอุณหภูมิอ้างอิงที่สภาวะแวดล้อมขณะนั้นมีค่า 298 K

3.1.4 การคำนวณหาปริมาณพลังงานที่สูญเสีย (Energy Loss) และปริมาณเอนโทรปีที่สูญเสีย (Exergy Loss)

การคำนวณหาปริมาณพลังงานที่สูญเสียและปริมาณเอนโทรปีที่สูญเสียจากกระบวนการผลิต เริ่มต้นจากการคำนวณหาค่าปริมาณพลังงานและปริมาณเอนโทรปีที่เกิดขึ้นในแต่ละสายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้สมการที่ 2.1 และ 2.8 ตามลำดับ และได้ผลดังตารางที่ 3.2 จากนั้นนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาคำนวณหาปริมาณพลังงานที่สูญเสีย ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าผลต่างของปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละอุปกรณ์ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ปริมาณพลังงานและปริมาณเอนโทรปีที่เกิดขึ้นในแต่ละสาย

ลำดับ ที่	อุปกรณ์	ประเภท	ค่าความจุ ความร้อน (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน ในแต่ละ สาย* ¹ (kW)	ปริมาณเอน โทรปีที่ในแต่ละ สาย* ² (kW)
				ทางด้าน ขาเข้า	ทางด้าน ขาออก		
1	ระบบทำความเย็น	สายร้อน	147	345.2	315.0	4,451	430
2	LP. Htr No.1	สายร้อน	56,278	345.2	345.1	5,628	769
3	LP. Htr No.1	สายเย็น	235	318.5	342.5	-5,628	-551
4	LP. Htr No.2	สายร้อน	100	466.3	348.0	11,807	3,108
5	LP. Htr No.2	สายเย็น	266	342.5	386.8	-11,807	-2,146
6	HP. Htr No.4	สายร้อน	46	685.7	429.5	11,962	5,453
7	HP. Htr No.4	สายเย็น	340	420.0	455.0	-11,962	-3,804
8	HP. Htr No.5	สายร้อน	90	658.0	468.1	17,154	7,988
9	HP. Htr No.5	สายเย็น	352	455.0	504.0	-17,153	-6,477

*1 พลังงานความร้อนที่มีค่าเป็น + เป็นพลังงานความร้อนที่สายให้ออกมา, - เป็นพลังงานความร้อนที่ต้องรับเข้าไป

*2 ปริมาณเอนโทรปีที่ที่มีค่าเป็น + เป็นปริมาณเอนโทรปีที่สายให้ออกมา, - เป็นปริมาณเอนโทรปีที่ต้องรับเข้าไป

ตารางที่ 3.3 ปริมาณพลังงานและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียในแต่ละอุปกรณ์

อุปกรณ์	พลังงานความร้อน ในแต่ละสาย (kW)		พลังงานความ ร้อนที่สูญเสีย ในแต่ละ อุปกรณ์ (kW)	ปริมาณเอกเซอร์จีใน แต่ละสาย (kW)		ปริมาณเอก เซอร์จีที่สูญเสีย ในแต่ละ อุปกรณ์ (kW)
	สายร้อน	สายเย็น		ทางด้าน ขาเข้า	ทางด้าน ขาออก	
ระบบทำความเย็น	4,451	0	4,451	430	0	430
LP. Htr No.1	5,628	-5,628	0	769	-551	218
LP. Htr No.2	11,807	-11,807	0	3,108	-2,146	962
HP. Htr No.4	11,962	-11,962	0	5,453	-3,804	1,649
HP. Htr No.5	17,154	-17,153	1	7,988	-6,477	1,511
รวม			4,452			4,769

3.1.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เทคโนโลยีพินซ์ที่กล่าวในบทข้างต้นสามารถนำมาปรับเขียนให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนาแบบจำลองดังกล่าวให้อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Microsoft Access) ได้ดังรูปที่ 3.2 โดยมีข้อมูลที่ต้องกรอกให้กับโปรแกรมดังต่อไปนี้

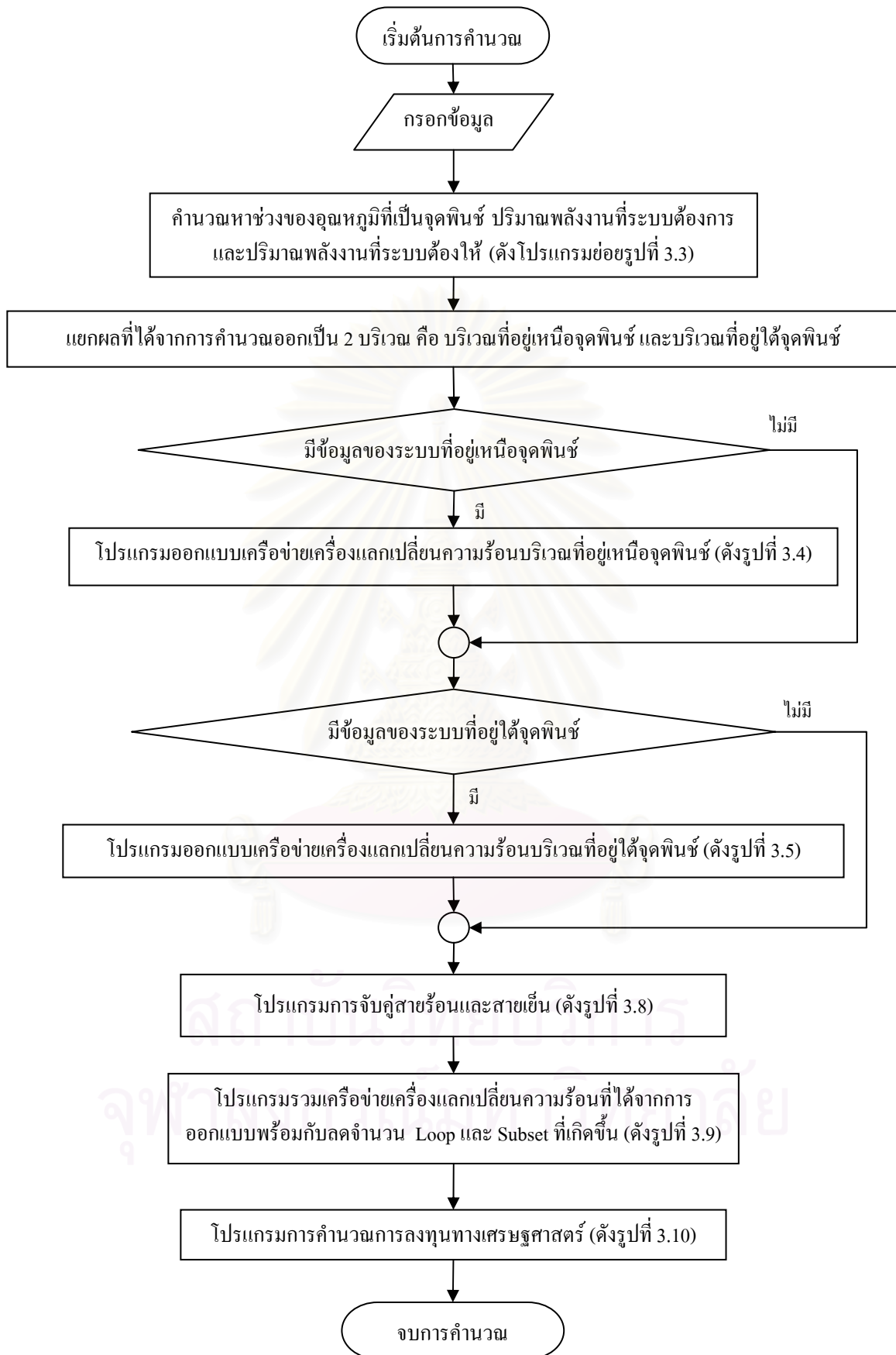
1. ข้อมูลของแต่ละสาย
 - 1.1 สถานะของสาย
 - 1.2 อุณหภูมิที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์
 - 1.3 ค่าความจุความร้อนของสายแต่ละสาย
2. ค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นที่น้อยที่สุด
3. ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์
 - 3.1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
 - 3.2 ค่าใช้จ่ายสำหรับยูทิลิตี้ที่ต้องให้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
เช่น ยูทิลิตี้ของระบบให้ความร้อนและยูทิลิตี้ของระบบทำความเย็น

ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาเขียนเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้โดยแบ่งรายละเอียดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้เป็น 5 ส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้

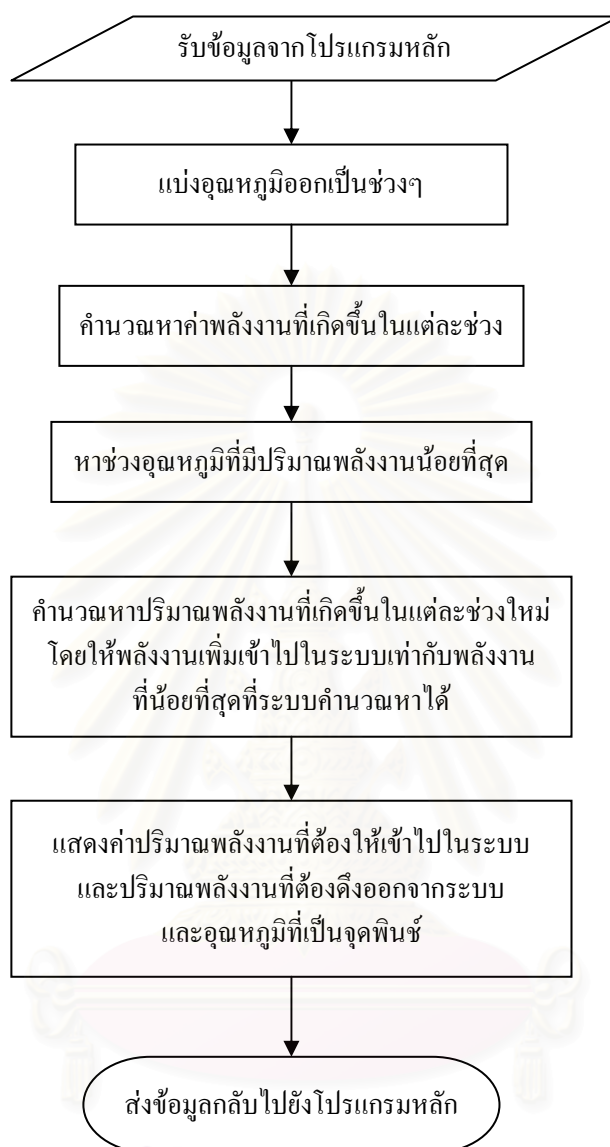
1. การคำนวณหาจุดพินช์และปริมาณพลังงานที่ระบบต้องได้รับเข้าไปหรือปริมาณพลังงานที่ระบบต้องให้ออกมา (รูปที่ 3.3)
2. การออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์ (รูปที่ 3.4)
3. การออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณใต้จุดพินช์ (รูปที่ 3.5)
4. การลดจำนวน Loop หรือ Subset ที่เกิดขึ้นในเครือข่าย (รูปที่ 3.9)
5. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (รูปที่ 3.10)



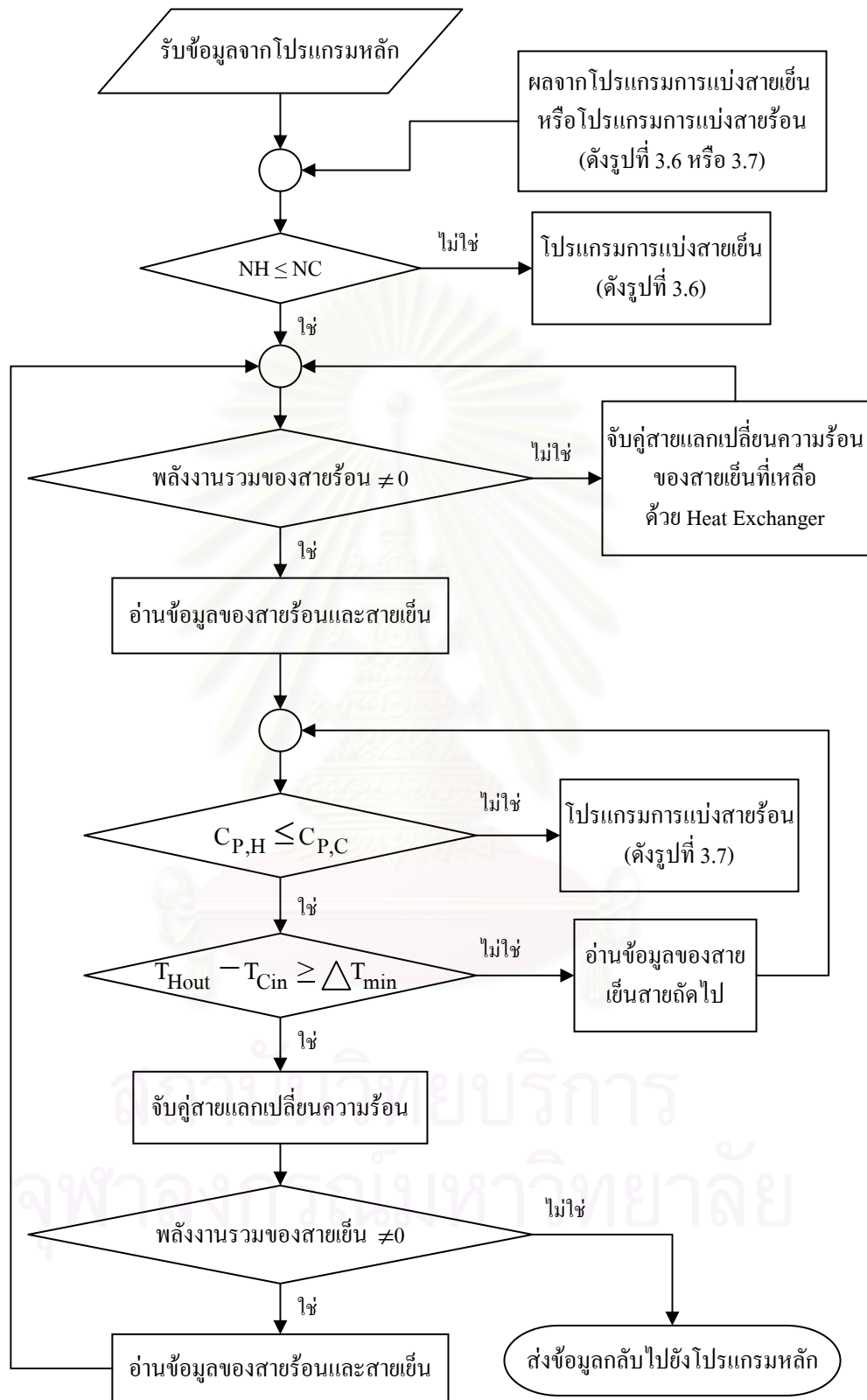
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



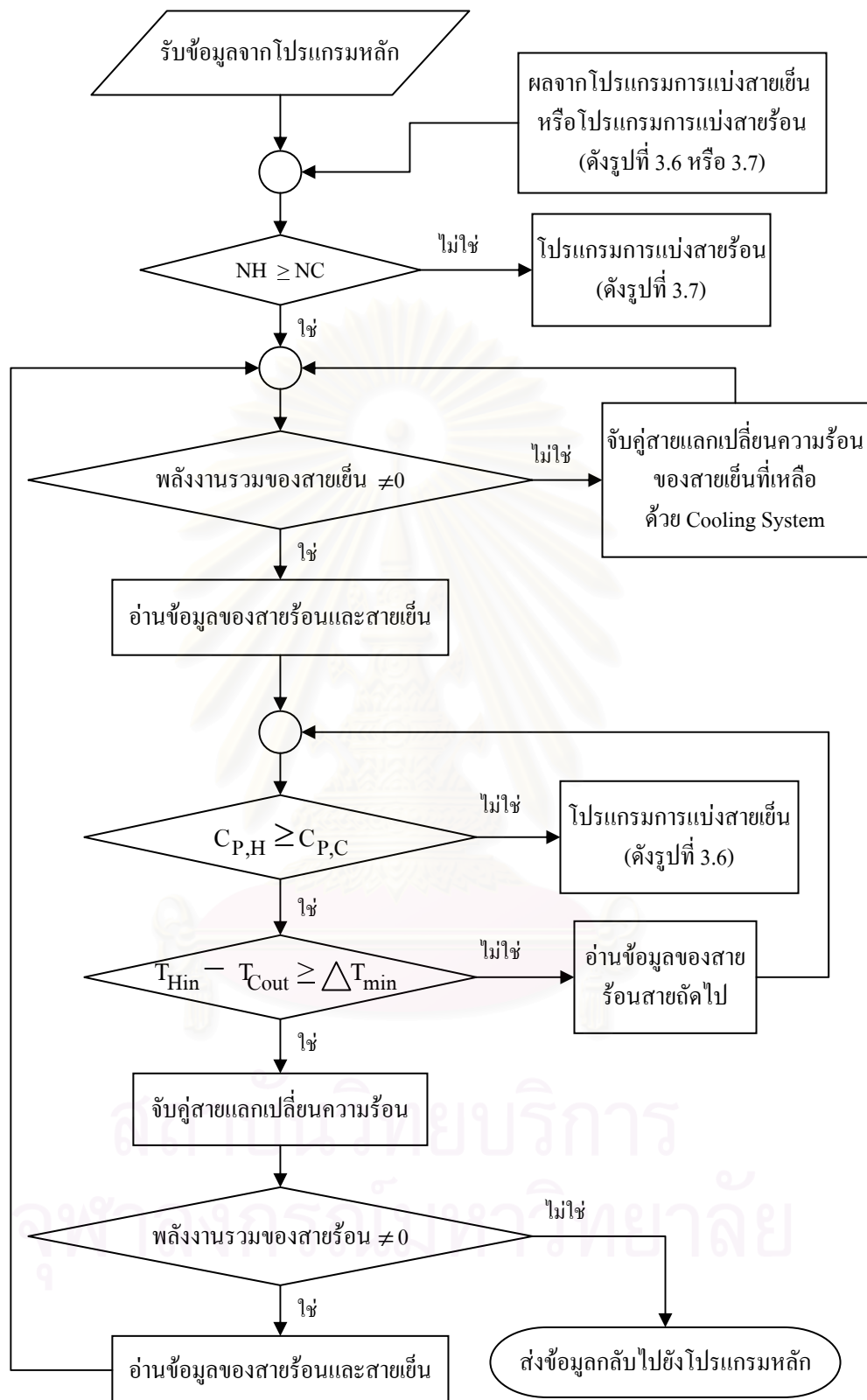
รูปที่ 3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โปรแกรมหลักของเทคโนโลยีพิงซ์



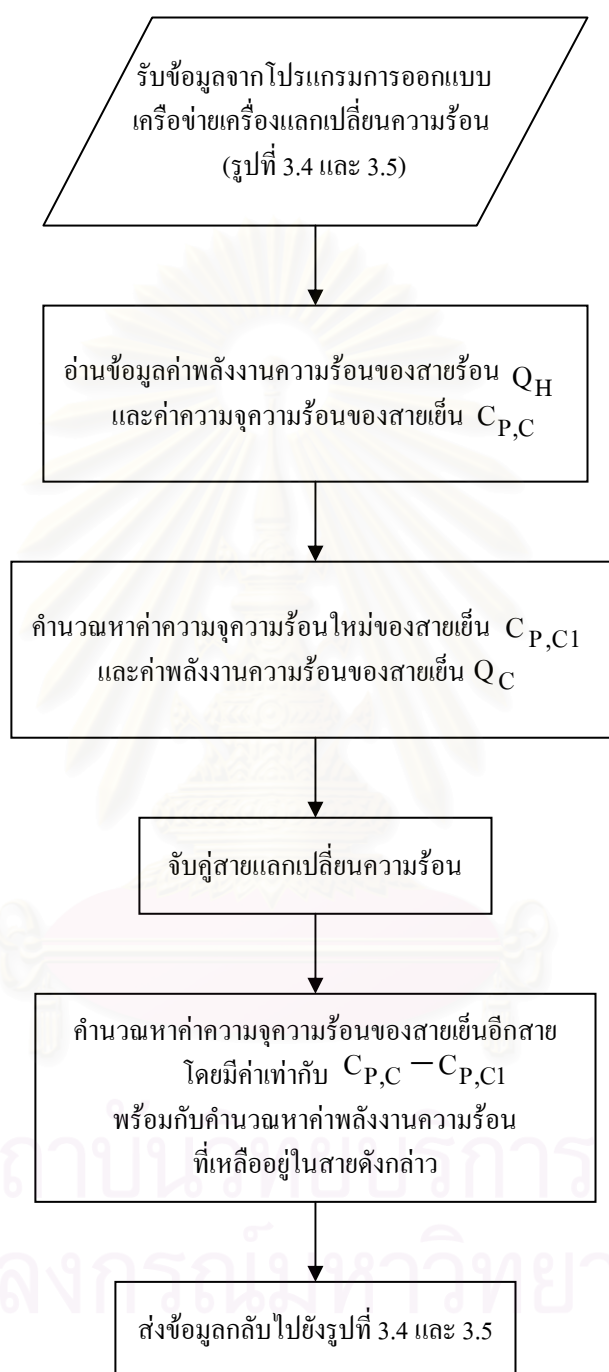
รูปที่ 3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาจุดพินช์กับปริมาณพลังงานที่ต้องให้กับระบบและปริมาณพลังงานที่ต้องดึงออกจากระบบ



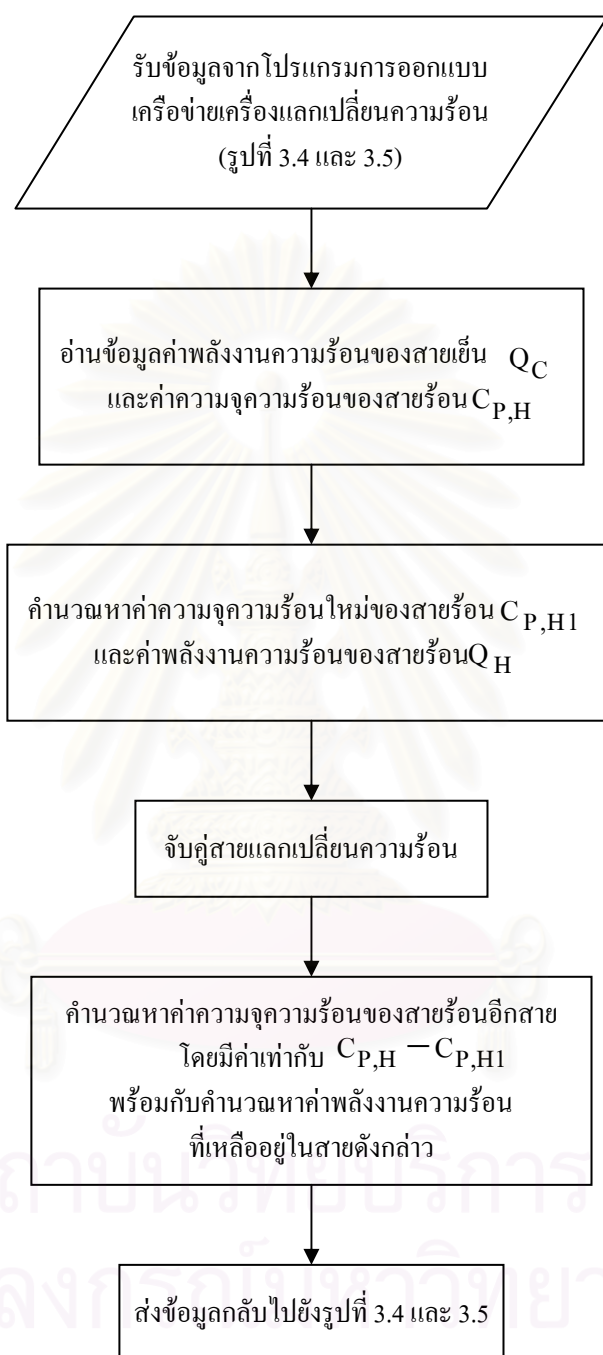
รูปที่ 3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบ
เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่เหนือจุดพินช์



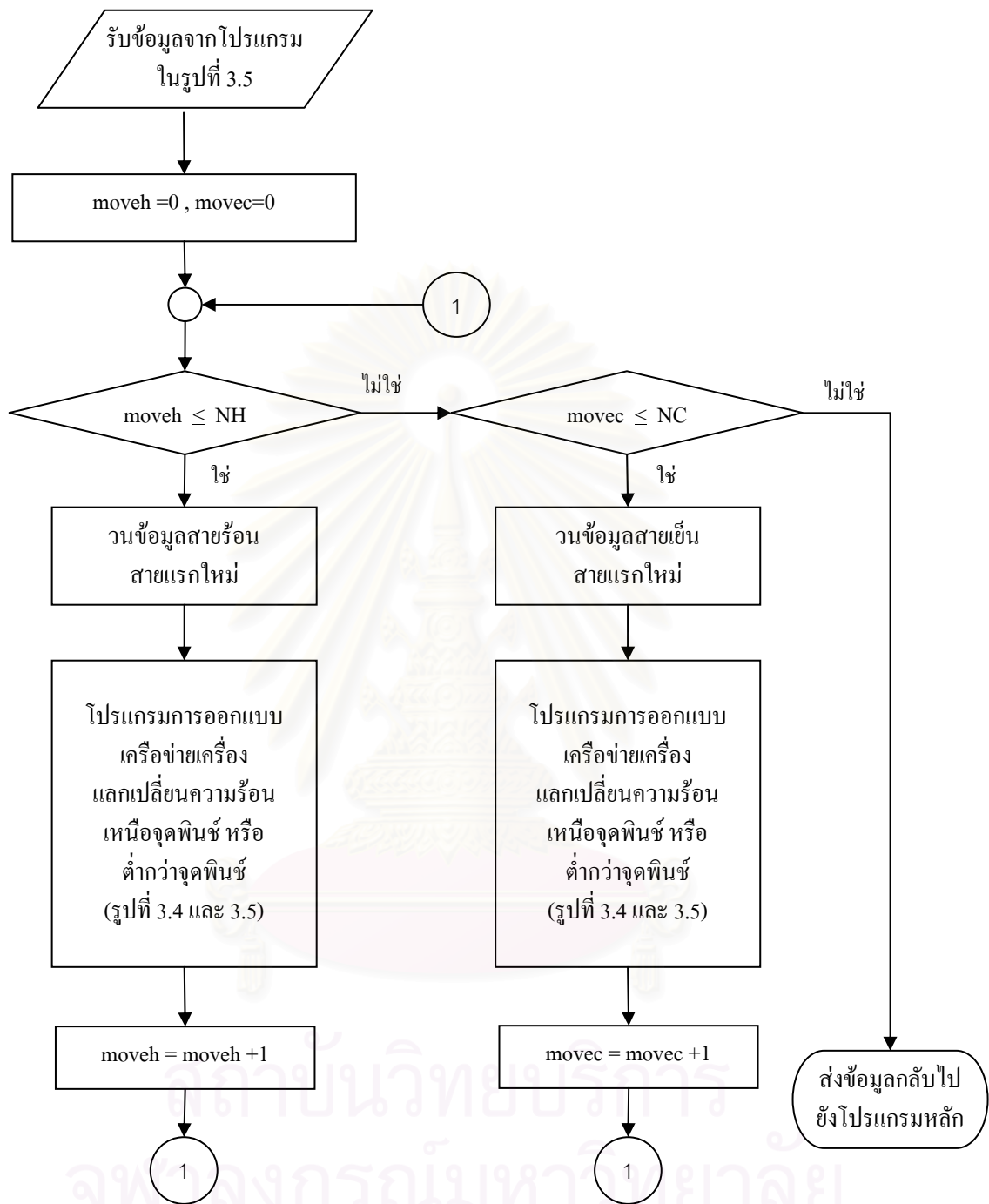
รูปที่ 3.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบ
เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ได้จุดพินช์



รูปที่ 3.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจับคู่สาย
แลกเปลี่ยนความร้อน โดยการแบ่งสายเย็น

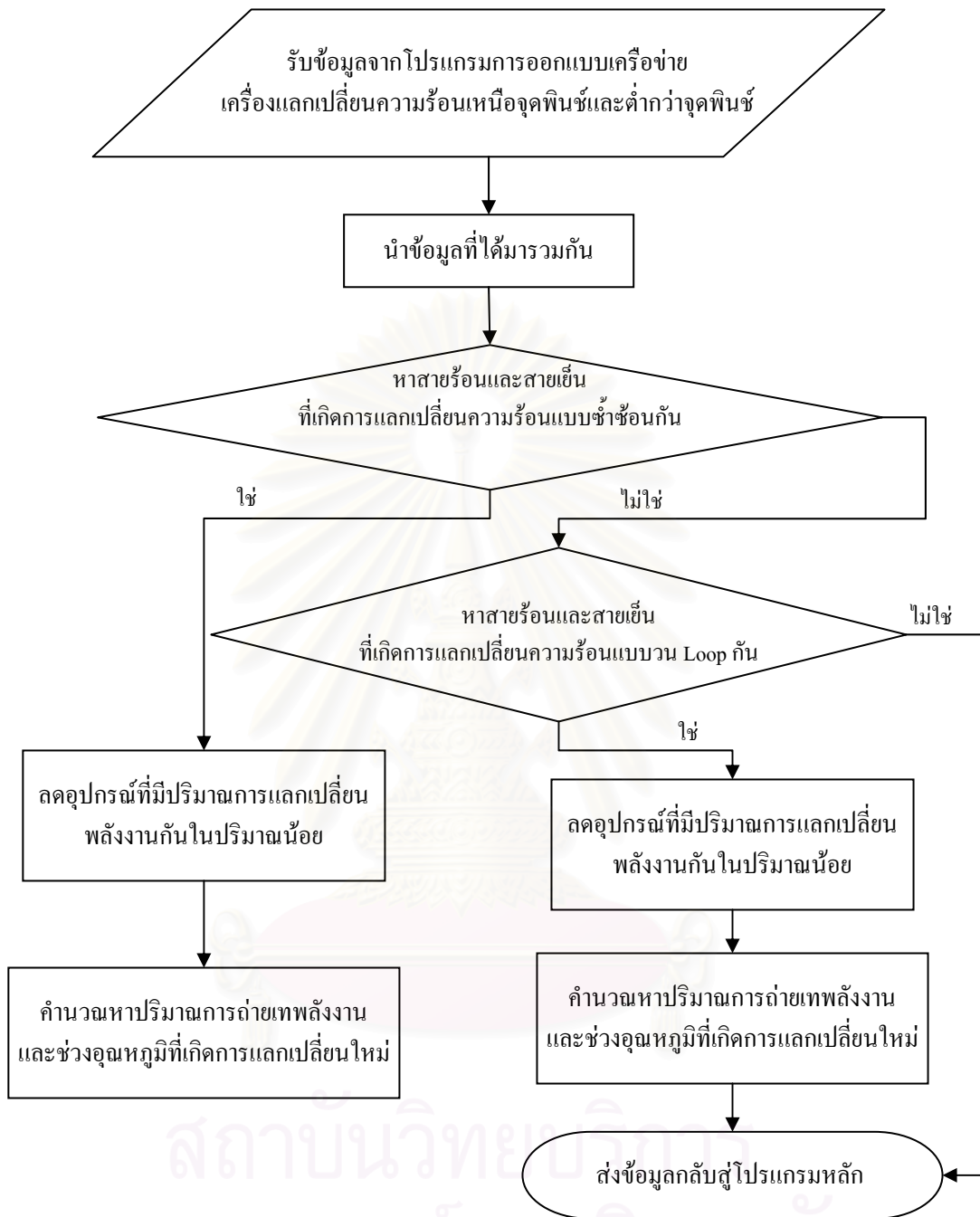


รูปที่ 3.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจับคู่สาย
แลกเปลี่ยนความร้อน โดยการแบ่งสายร้อน

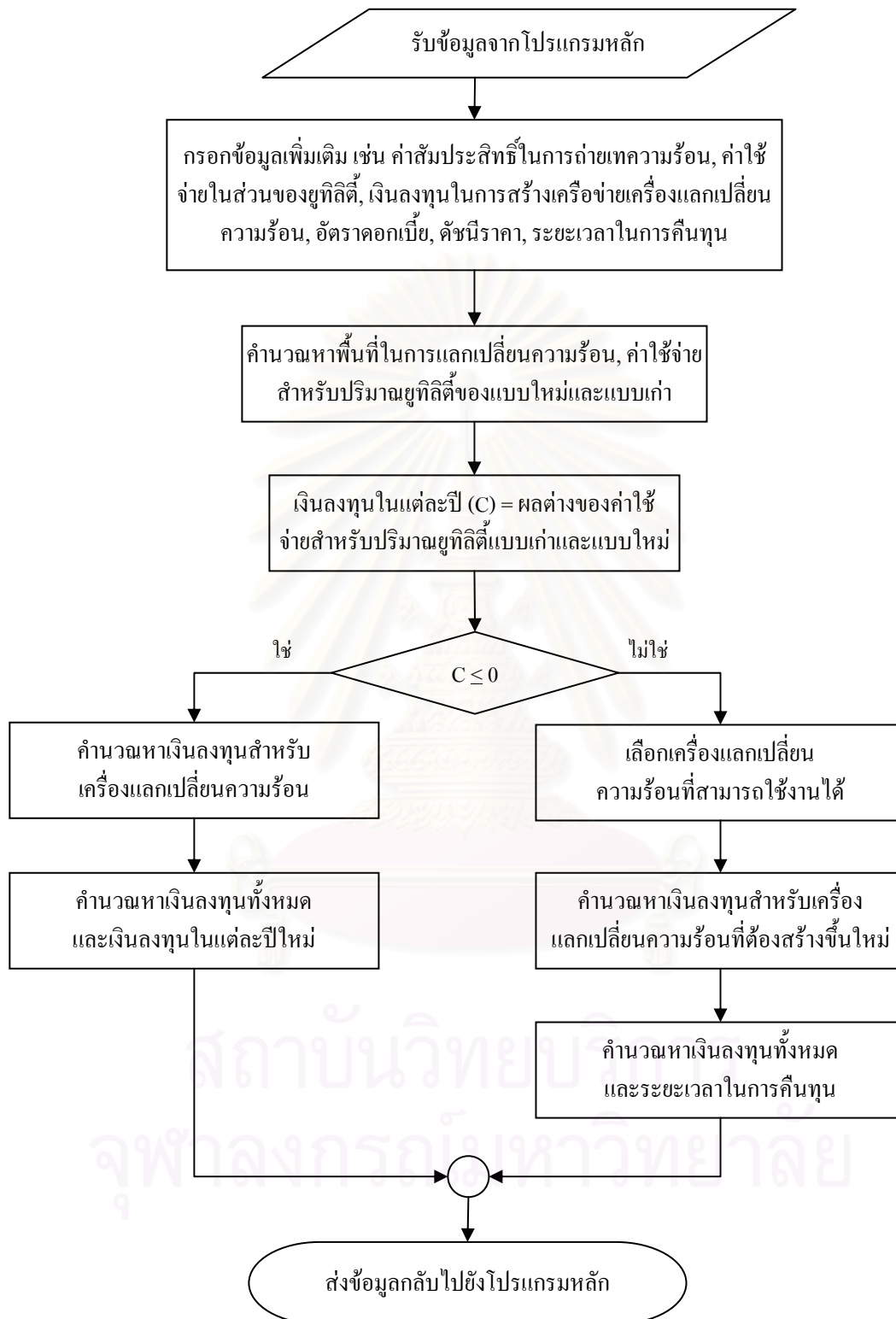


รูปที่ 3.8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวนจับคู่สายแลกเปลี่ยนความร้อน
เพื่อการออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ครบทุกกรณี

หมายเหตุ moveh และ movec เป็นตัวแปรที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการนับจำนวนการวนรอบของสายร้อนและสายเย็น
ที่ใช้ในการคำนวณ



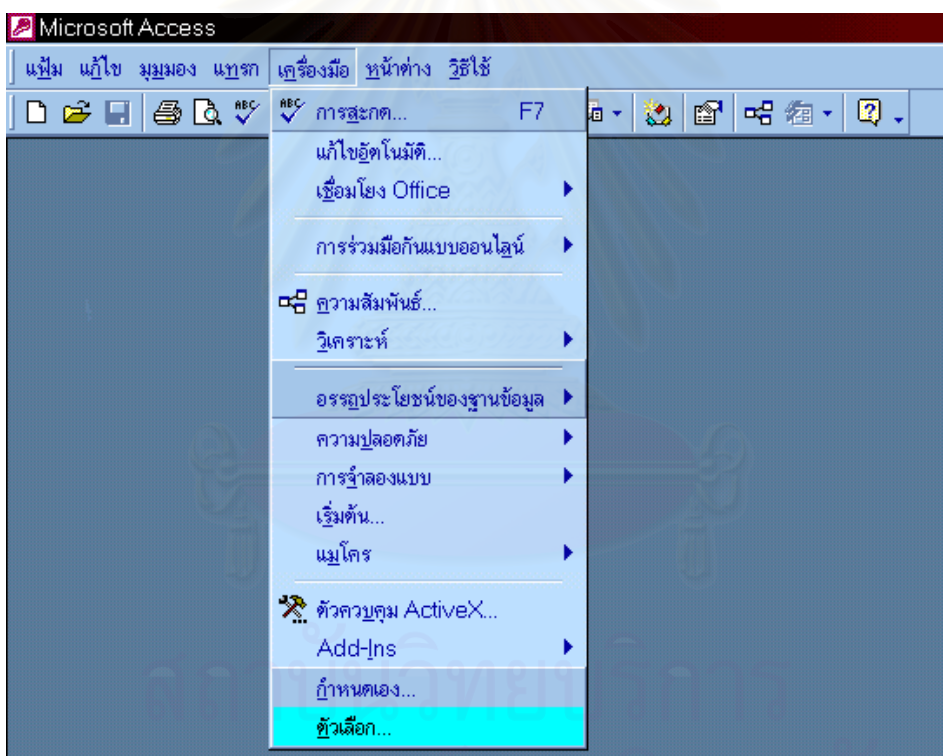
รูปที่ 3.9 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อลดการวน Loop หรือลดจำนวน Subset ที่เกิดขึ้นในเครื่องจ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



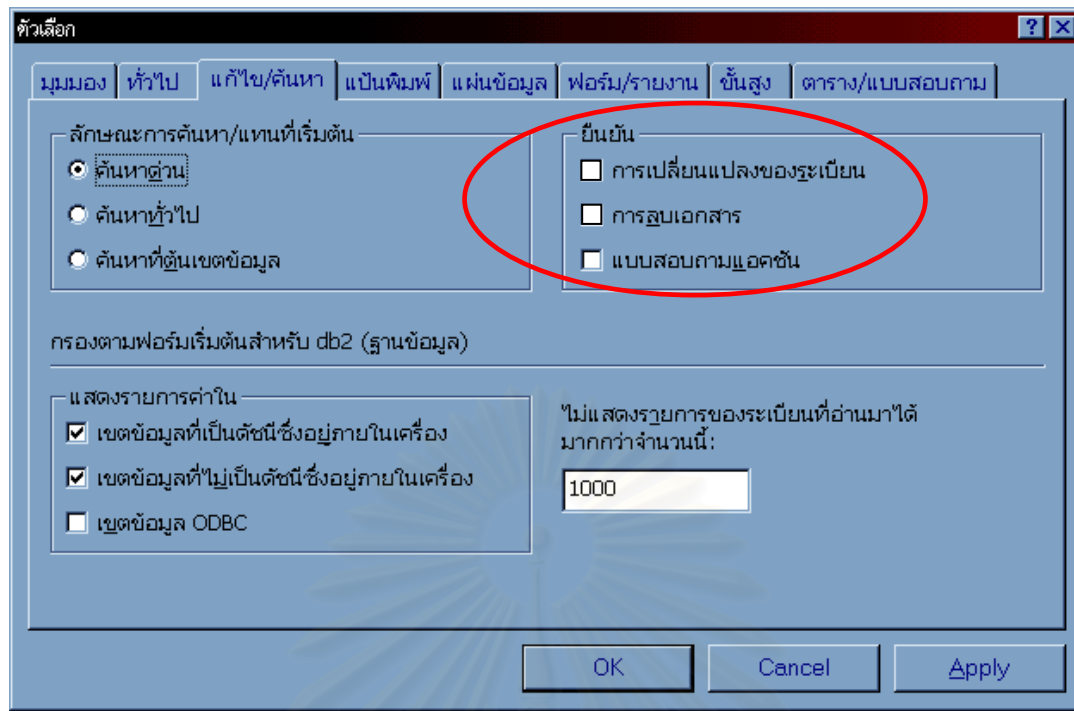
รูปที่ 3.10 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณการลงทุนเบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์

3.2 การคำนวณหาเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้โปรแกรมเทคโนโลยีพินซ์

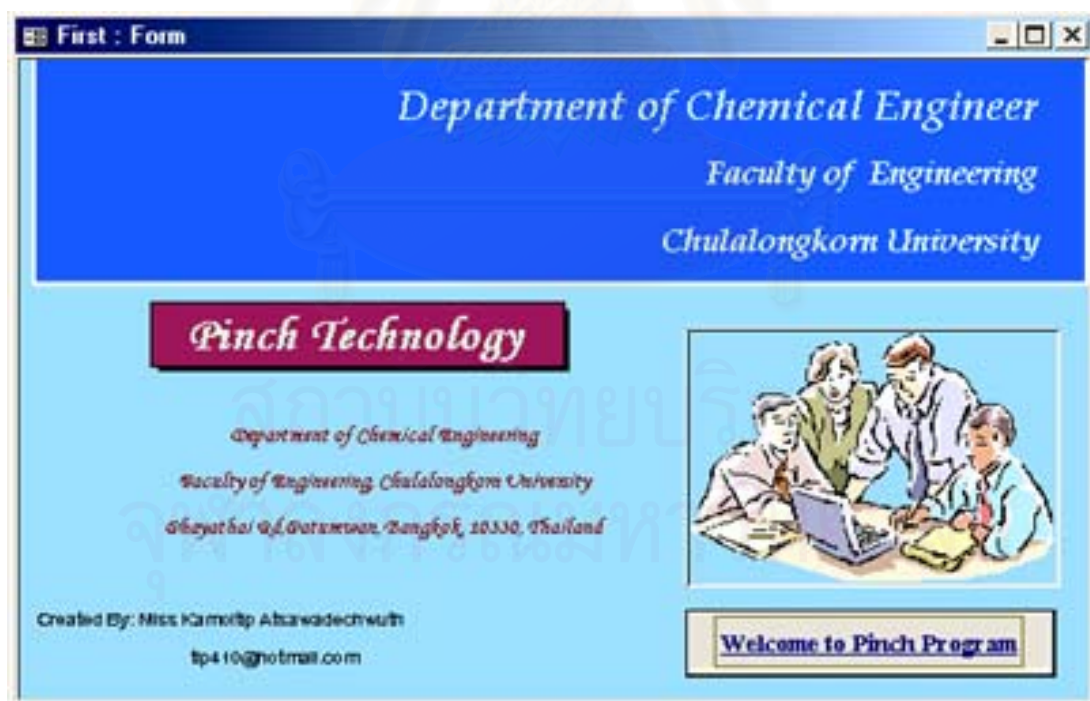
โปรแกรมเทคโนโลยีพินซ์จัดทำขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมและคำนวณหาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลงทุน ก่อนเริ่มใช้งานให้ทำการตั้งค่าเพิ่มเติมสำหรับโปรแกรมดังกล่าวที่โปรแกรม Microsoft Access โดยเลือกเครื่องมือแล้วเลือกตัวเลือก ต่อจากนั้นไปที่ไอคอนแก้ไข/ค้นหาไปที่ยืนยันให้ทำการเอาเครื่องหมายถูกออกให้หมดดังรูปที่ 3.11 และ 3.12 แล้วจึงเริ่มใช้โปรแกรมดังกล่าว เมื่อเริ่มการใช้งานจะเข้าสู่หน้าจอเริ่มต้นดังรูปที่ 3.13 เมื่อคลิกที่เข้าสู่โปรแกรมจะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 3.14



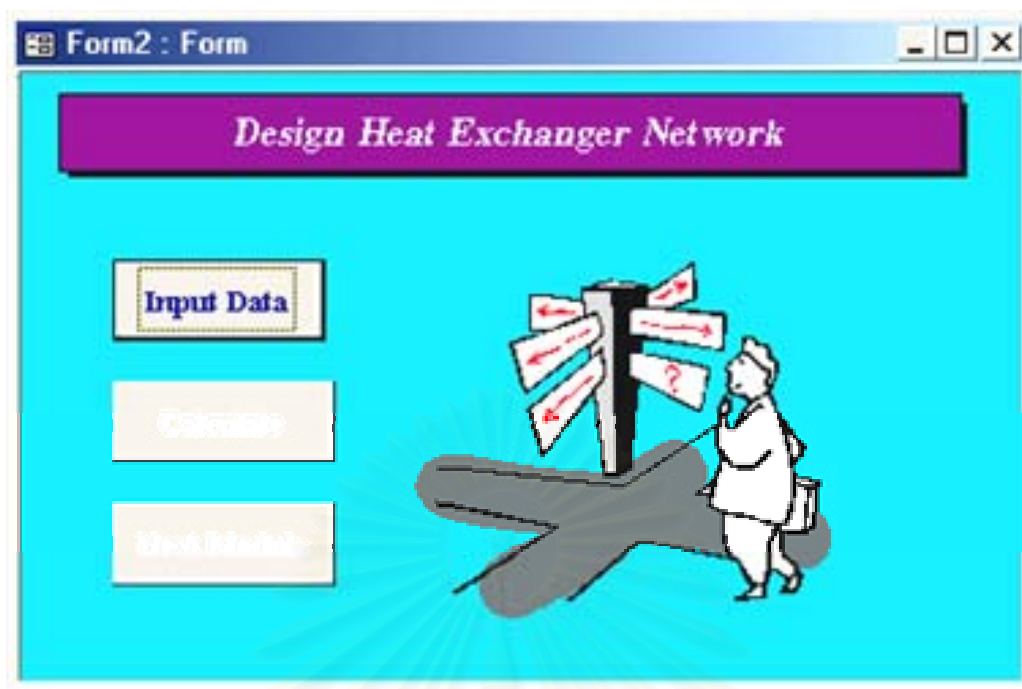
รูปที่ 3.11 การตั้งค่าในโปรแกรม Microsoft Access ขั้นที่ 1



รูปที่ 3.12 การตั้งค่าในโปรแกรม Microsoft Access ขั้นที่ 2



รูปที่ 3.13 หน้าจอเริ่มต้นการใช้โปรแกรม



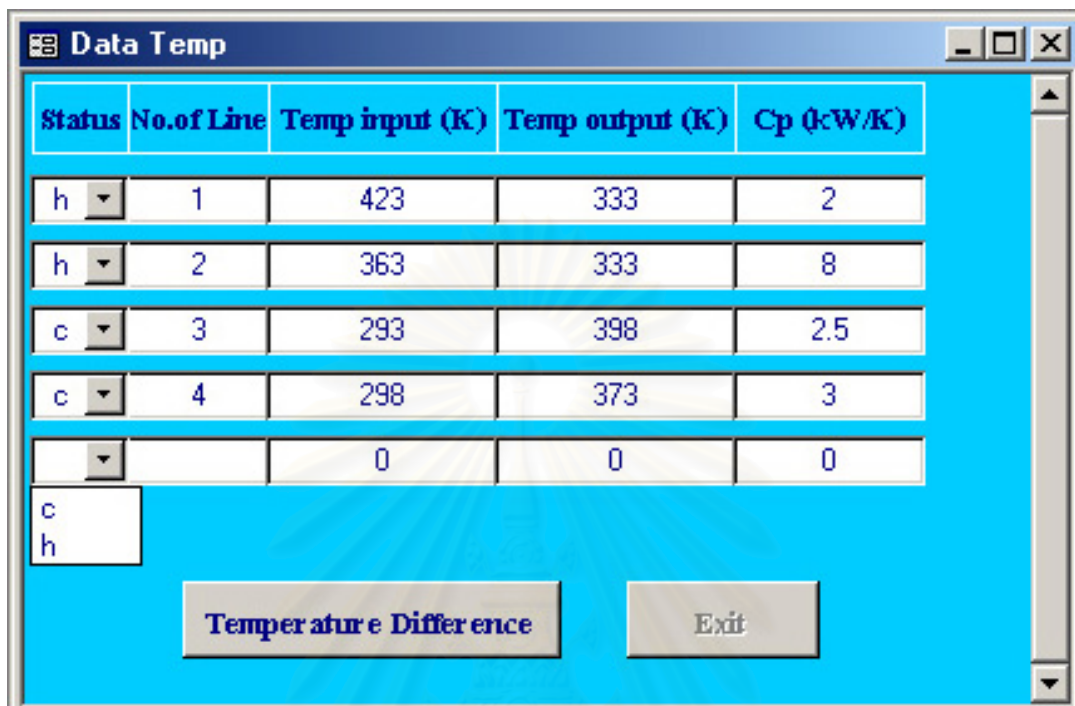
รูปที่ 3.14 หน้าจอเข้าสู่โปรแกรม

จากรูปที่ 3.14 เมื่อคลิก Input Data โปรแกรมจะถามว่าต้องการลบข้อมูลเก่าหรือไม่ ถ้าตอบว่า "ไม่" โปรแกรมจะไม่ทำการลบข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น แต่ถ้าตอบว่า "ใช่" โปรแกรมจะทำการลบข้อมูลของแต่ละสายแลกเปลี่ยนความร้อนพร้อมกับปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 3.15 เพื่อให้กรอกข้อมูลสำหรับแต่ละสายที่จะนำมาออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ดังนี้

1. สถานะของสาย
2. ลำดับของสาย (ให้กรอกเรียงลำดับโดยกรอกเริ่มจาก 1 ไปเรื่อยๆ)
3. อุณหภูมิขาเข้าอุปกรณ์และขาออกจากอุปกรณ์ของสาย
4. ค่าความจุความร้อนจำเพาะของแต่ละสาย (ในกรณีที่สายนั้นๆ มีการเปลี่ยนแปลงสถานะให้ใช้ค่าความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของสายนั้นๆ โดยคำนวณได้จากค่าปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นส่วนด้วยค่าผลต่างของอุณหภูมิในขณะนั้นๆ)

นอกจากนี้แล้วผู้ที่ใช้โปรแกรมยังต้องทำการกรอกข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นโดยคลิกที่ปุ่ม Temperature Difference เมื่อคลิกแล้วจะเข้าสู่หน้าจอดังรูปที่ 3.16 เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จแล้วให้คลิกปุ่ม Exit เพื่อกลับสู่หน้าจอโปรแกรมหลัก (ดังรูปที่ 3.14) จากนั้นให้คลิกปุ่ม Calculate และปุ่ม Next Module ตามลำดับ ผลจากการคำนวณจะทำให้ทราบช่วง

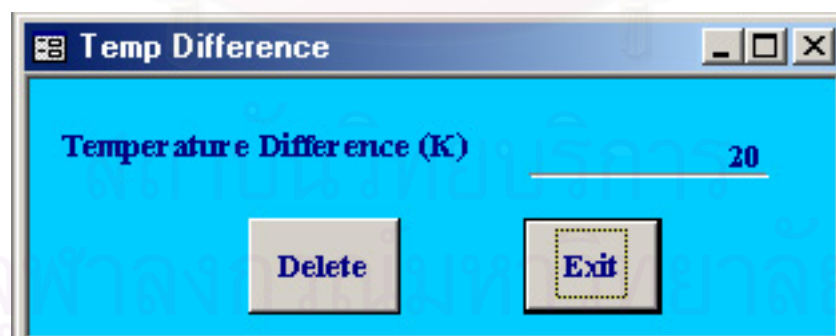
อุณหภูมิที่เป็นจุดพินช์ของระบบ, ปริมาณยูทิลิตี้ของระบบทำความร้อนและปริมาณยูทิลิตี้ของระบบทำความเย็นที่ให้กับเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



Status	No.of Line	Temp input (K)	Temp output (K)	Cp (kW/K)
h	1	423	333	2
h	2	363	333	8
c	3	293	398	2.5
c	4	298	373	3
		0	0	0

Buttons: Temperature Difference, Exit

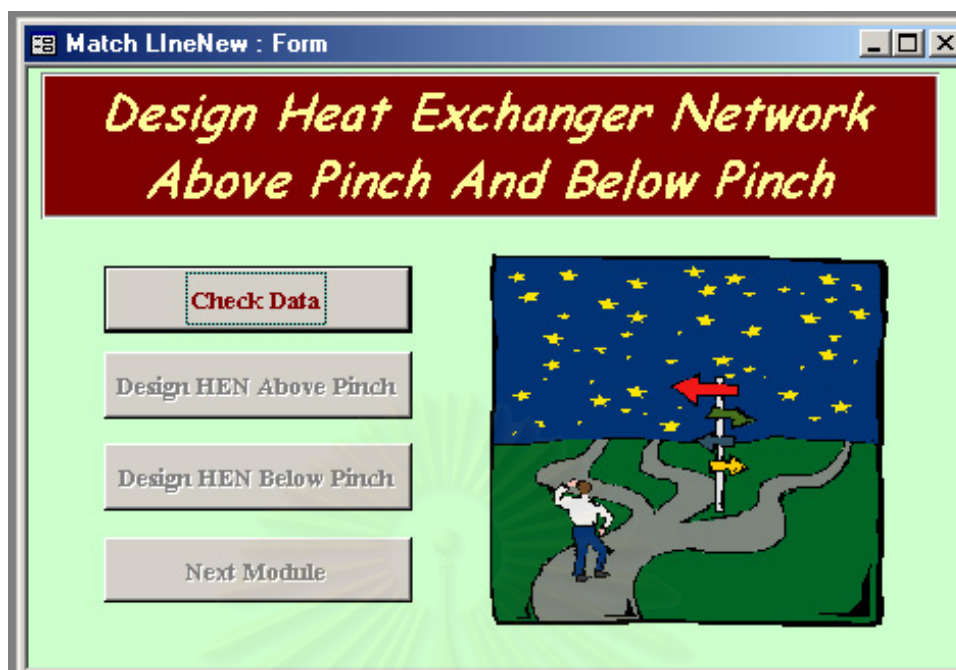
รูปที่ 3.15 หน้าจอข้อมูลของแต่ละสายแลกเปลี่ยนความร้อน



Temperature Difference (K) 20

Buttons: Delete, Exit

รูปที่ 3.16 หน้าจอข้อมูลผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็น



รูปที่ 3.17 หน้าจอการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน บริเวณเหนือจุดพิงช์ (Above Pinch) และบริเวณใต้จุดพิงช์ (Below Pinch)

ต่อจากนั้นจะเข้าสู่หน้าจอการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพิงช์ และบริเวณใต้จุดพิงช์ (ดังรูปที่ 3.17) โดยจะเริ่มคลิกปุ่ม Check Data เพื่อทำการตรวจสอบและแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 บริเวณ คือบริเวณที่อยู่เหนือจุดพิงช์และบริเวณที่อยู่ใต้จุดพิงช์แล้วจึงคลิกปุ่ม Design HEN Above Pinch และ Design HEN Below Pinch ตามลำดับเพื่อออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 เมื่อทำตามขั้นตอนดังกล่าวเสร็จเรียบร้อยแล้วให้คลิก Next Module เพื่อไปยังหน้าจอการตรวจสอบบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบวน Loop และแบบซ้ำซ้อนกัน (ดังรูปที่ 3.18) ในหน้าจอนี้จะให้ผู้ใช้โปรแกรมทำการเลือกรูปแบบที่ได้จากแต่ละบริเวณมารวมกัน เมื่อเลือกเสร็จเรียบร้อยแล้วให้คลิกปุ่ม Merge Data เพื่อรวมข้อมูลแล้วจึงทำการตรวจสอบบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบวน Loop หรือแบบซ้ำซ้อนกันเมื่อทำการตรวจสอบเสร็จโปรแกรมจะปรากฏหน้าจอให้กรอกข้อมูลเกี่ยวกับการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์แล้วจึงทำการคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับปริมาณยูทิลิตี้ที่ให้กับระบบทั้งก่อนและหลังการแก้ไข พร้อมกับแสดงค่าผลต่างในการดำเนินงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลคำนวณในหน้าจอข้อมูลการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป (ดังรูปที่ 3.18) ถ้าผลต่างที่ได้เป็นมีค่าเป็นบวกโปรแกรมในหน้าจอถัดไปจะนำค่าผลต่างที่ได้มาใช้ในการลงทุนปรับปรุงเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งสามารถคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุนได้ดังรูปที่ 3.24 (ก) แต่ถ้าผลต่างมีค่าเป็นลบแสดงว่าไม่สามารถนำค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการปรับปรุงตามเทคโนโลยีพิงช์มาใช้เป็นเงินทุนในการปรับปรุงได้หรือเป็นกรณีที่

สร้างเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นใหม่ส่งผลให้โปรแกรมในหน้าจอถัดไปทำการคำนวณหาปริมาณเงินลงทุนในการสร้างเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องจ่ายในแต่ละปี ดังรูปที่ 3.24 (จ) ซึ่งผู้ใช้โปรแกรมจะต้องทำการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถใช้ของเดิมที่มีอยู่ในระบบได้โดยการคลิกที่ช่องยอมรับจากนั้นจึงคลิกปุ่ม Save และปุ่ม Calculate Investment ตามลำดับในรูปที่ 3.20 เมื่อคำนวณเสร็จเรียบร้อยแล้วให้คลิกปุ่มสุดท้ายจะปรากฏรายงานต่างๆ ดังรูปที่ 3.21, 3.22, 3.23 และ 3.24

รูปที่ 3.18 หน้าจอตรวจสอบบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบวน Loop และซ้ำซ้อนกัน

Economic Data			
Marshall Swift Cost Index	1,075	Mass of Steam for Old Process (kg/h)	150
Overall Coefficient (kW/sqm K)	0.11	Input Steam Temperature (K)	500
Percent Installation (25-55%)	40	Output Steam Temperature (K)	500
Percent Piping (10-80%)	50	Steam Enthalpy (kJ/kg)	2,804
Percent Instrumentation (6-30%)	20	Mass of Cooling Water for Old Process (kg/h)	1,472
Interest Rate (%)	16	Input cooling water temperature (K)	298
Payback Period (year)	10	Output cooling water temperature (K)	313
Steam Cost (\$/kg)	\$0.01180	Cooling Water Heat Capacity (kJ/kg K)	4,200
Cooling Cost (\$/kg)	\$0.00033		

รูปที่ 3.19 หน้าจอข้อมูลการลงทุนเศรษฐศาสตร์

Hot			Cold			TotalHeat	Area	Accept
No. Line	Temp in (K)	Temp out (K)	No. Line	Temp in (K)	Temp out (K)			
1	363	333	Cooler	298	313	60	12.57359	<input checked="" type="checkbox"/>
1	423	363	3	343	398	120	47.19785	<input checked="" type="checkbox"/>
2.1	363	333	4	298	336.3333	115	33.07264	<input type="checkbox"/>
2.2	363	333	3	293	343	125	38.17966	<input type="checkbox"/>
Heater	500	500	4	336.3333	373	110	6.706156	<input checked="" type="checkbox"/>
								<input type="checkbox"/>

รูปที่ 3.20 หน้าจอการคำนวณการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

Data for Calculation by Pinch Technology

Status	Line	Input Temp (K)	Output Temp (K)	Cp (kW/K)
h	1	423	333	2.00
h	2	363	333	8.00
c	3	293	398	2.50
c	4	298	373	3.00

รูปที่ 3.21 รายงานข้อมูลสถานะการดำเนินงานของสายแลกเปลี่ยนความร้อน

Economic Data

Marshall Swift Cost Index	1,075	Mass of Steam for Old Process (kg/h)	150
Over all Coefficient (kW/sq.m K)	0.11	Input Steam Temp (K)	500
Installation (% Purchase Cost)	40	Output Steam Temp (K)	500
Piping (% Purchase Cost)	50	Steam Enthalpy (kJ/kg)	2,804
Instrumentation (% Purchase Cost)	20	Mass of Cooling Water for Old Process (kg/h)	391,472
Interest Rate (%)	16	Input Temp of Cooling Water (K)	298
Payback Period (Years)	10	Output Temp of Cooling Water (K)	313
Cost of Steam (\$US/kW)	\$0.01180	Cooling Water Heat Capacity (J/kg K)	4,200
Cost of Cold (\$US/kW)	\$0.00033		

รูปที่ 3.22 รายงานข้อมูลการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

Pinch Point Calculation Report

Temperature (K)		Heat Transfer in each interval (kW)	Heat (kW)	
Hot	Cold		input	output
423.0	0.0			
418.0	398.0	10	108	118
393.0	373.0	-13	118	105
363.0	343.0	-105	105	0
333.0	313.0	135	0	135
0.0	298.0	-83	135	53
0.0	293.0	-13	53	40

รูปที่ 3.23 รายงานผลการคำนวณหาจุดพินช์

Heat Exchanger Network Design Report By Pinch Technology

Case	Hot Stream	Cph (kW/K)	Hot Stream Temp (K)		Cold Stream	Cpc (kW/K)	Cold Stream Temp (K)		Heat (kW)	Area (sq.m)	Purchased Cost (\$US)	Total Cost (\$US)
			input	output			input	output				
1	1	2	363	333	Cooler	0	298	313	60	13	6,460.9	13,567.9
1	1	2	423	363	3	3	343	398	120	47	6,541.3	13,736.6
1	2.1	4	363	333	4	3	298	336	115	33	6,508.5	13,667.8
1	2.2	4	363	333	3	3	293	343	125	38	6,520.3	13,692.7
1	Heater	0	500	500	4	3	336	373	110	7	6,447.3	13,539.4
TotalCost										0	0.0	27,360.4
Annual saving										0	0.0	85,169.4
Payback Period										0	0.0	0.4

รูปที่ 3.24 (ก) รายงานผลความเป็นไปได้ในการลงทุนเบื้องต้นในการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ Pinch Technology

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Heat Exchanger Network Design Report By Pinch Technology

Case	Hot Stream	Cph (kW/K)	Hot Stream Temp (K)		Cold Stream	Cpc (kW/K)	Cold Stream Temp (K)		Heat (kW)	Area (sq.m)	Purchased Cost (\$US)	Total Cost (\$US)
			input	output			input	output				
1	1	2	363	333	Cooler	0	298	313	60	13	6,460.9	13,567.9
1	1	2	423	363	3	3	343	398	120	47	6,541.3	13,736.6
1	2.1	4	363	333	4	3	298	336	115	33	6,508.5	13,667.8
1	2.2	4	363	333	3	3	293	343	125	38	6,520.3	13,692.7
1	Heater	0	500	500	4	3	336	373	110	7	6,447.3	13,539.4
TotalCost										0	0.0	68,204.4
Annual saving										0	0.0	85,169.4
Payback Period										0	0.0	0.9

รูปที่ 3.24 (ข) รายงานผลความเป็นไปได้ในการลงทุนเบื้องต้นในการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้ Pinch Technology

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย และการวิเคราะห์ผล

4.1 การออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีพินช์

ตารางที่ 4.1 เป็นเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการนำข้อมูลการแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ (ในตารางที่ 3.1) มาผ่านการวิเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีพินช์ ซึ่งค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นเท่ากับ 2.8 K (ตามข้อมูลการออกแบบจริง) จากการวิเคราะห์พบว่าช่วงอุณหภูมิที่เป็นจุดพินช์คือ 345.2 K ของสายร้อน และ 342.5 K ของสายเย็น และต้องดึงเอาพลังงานความร้อนออกจากระบบเท่ากับ 4,451 kW จากข้อมูลดังกล่าวสามารถออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์และบริเวณใต้จุดพินช์แล้วนำมาทำการรวมรูปแบบที่ได้จากการออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของทั้งสองบริเวณ โดยในกรณีนี้รูปแบบของเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้ ทั้งบริเวณเหนือจุดพินช์และใต้จุดพินช์มีเพียง 1 รูปแบบเท่านั้น ดังตารางที่ 4.2 (รูปที่ 4.1) จะเห็นได้ว่ารูปแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากเทคโนโลยีพินช์มีลักษณะไม่แตกต่างไปจากรูปแบบของเครื่องถ่ายที่ทางโรงไฟฟ้าพระนครเหนือได้ทำการออกแบบไว้แล้ว

4.2 การวิเคราะห์เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สภาวะการดำเนินงานของเครื่องถ่ายที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

เมื่อทำการพิจารณาข้อมูลที่สภาวะการดำเนินงานในวันที่ 5 ธันวาคม 2542 และ วันที่ 30 พฤศจิกายน 2543 สำหรับเครื่องถ่ายที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยใช้แผนผังที่เป็นลักษณะของลูกศรพลังงานในแต่ละช่วงของการถ่ายเทความร้อน (รูปที่ 4.2 และ 4.3) พบว่ามีปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและเครื่องควบแน่นในทุก ๆ ช่วงของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งปริมาณพลังงานที่สูญเสียจากเครื่องถ่ายนั้นอาจมีสาเหตุมาจาก

1. การเสื่อมสภาพของฉนวนที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
2. การเสื่อมประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
3. ความไม่เหมาะสมของการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

4.2.1 การเสื่อมสภาพของฉนวนที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงสภาพการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. รูปที่ 4.2 (วันที่ 5 ธันวาคม 2542)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุดคือ เครื่องควบแน่นที่มีปริมาณการสูญเสียความร้อน 380 kW โดยพลังงานจำนวนนี้คิดเป็น 8.70% ของปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ต้องถ่ายเทผ่านเครื่องควบแน่นนี้ และเครื่อง L.P. Htr. No.1 ที่มีการสูญเสียความร้อนปริมาณ 232 kW คิดเป็น 4.19% ของปริมาณพลังงานที่เครื่องได้รับ

2. รูปที่ 4.3 (วันที่ 30 พฤศจิกายน 2543)

จากการคำนวณพบว่าเครื่องที่มีปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุดคือ เครื่องควบแน่น โดยมีพลังงานสูญเสียปริมาณ 474 kW คิดเป็น 10.65% ของปริมาณพลังงานที่เครื่องได้รับ

ในกรณีที่มีการสูญเสียความร้อนนี้เกิดเนื่องจากการไม่มีการป้องกันการรั่วไหลของพลังงานอย่างเหมาะสม เช่น ไม่มีการบุฉนวนในบริเวณท่อเดินไอน้ำ ฯลฯ ทางโรงไฟฟ้าจะสามารถทำการลดปริมาณพลังงานที่สูญเสียนี้ได้โดยการปรับปรุงฉนวนที่ใช้สำหรับเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ใหม่

4.2.2 การเสื่อมประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

พลังงานความร้อนที่สูญเสียจากเครือข่ายอาจเกิดเนื่องจากการเสื่อมประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อดำเนินงานไปสักระยะ

หนึ่งอาจจะเกิดตะกรันขึ้นที่พื้นผิวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนทำให้พื้นผิวมีค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น นั่นคือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นผิวนี้มีค่าลดลง ซึ่งปัญหานี้อาจแก้ไขได้โดยการล้างทำความสะอาดพื้นผิวเพื่อกำจัดตะกรันที่อาจก่อตัวที่พื้นผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนให้ได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยที่ตารางที่ 4.3 และ 4.4 เป็นตารางสรุปการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของระบบในปัจจุบันก่อนการทำความสะอาดพื้นผิวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (คำนวณโดยใช้ค่าพลังงานความร้อนของสายเย็นที่ได้รับตามสมการ ก.1) และหลังการทำความสะอาด (คำนวณโดยใช้ค่าพลังงานความร้อนของสายร้อนที่ให้กับสายเย็นตามสมการ ก.1) ในวันที่ 5 ธันวาคม 2542 และ 30 พฤศจิกายน 2543 ตามลำดับ

ข้อมูลในตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ควรทำการปรับปรุงคือ เครื่องควบแน่น (Condenser) และเครื่อง L.P. Htr. No.1 เนื่องจากทั้งสองเครื่องนี้เป็นจุดที่มีปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าที่ต้องการมากเมื่อเทียบกับเครื่องอื่น ๆ ในเครือข่าย ถ้าทำการล้างเครื่องควบแน่นและเครื่อง L.P. Htr. No.1 จะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น และมีปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนลดลงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ดังนี้

1. รูปที่ 4.4 (วันที่ 5 ธันวาคม 2542) มีปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนลดลงจากเดิม 734 kW เหลือ 122 kW
2. รูปที่ 4.5 (วันที่ 30 พฤศจิกายน 2543) มีปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนลดลงจากเดิม 610 เหลือ 116 kW

จะเห็นว่าปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปจากเครือข่ายหลังทำการปรับปรุงมีปริมาณน้อยลงมาก นั่นคือโรงไฟฟ้าสามารถดำเนินงานภายใต้เครือข่ายที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันได้โดยไม่ต้องมีการลงทุนการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มเติม

นอกจากนี้ผลการคำนวณในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ยังพบว่าเครื่อง L.P. Htr. No. 2 และเครื่อง H.P. Htr. No.4 มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแตกต่างกันค่อนข้างมากทั้งนี้อาจมีสาเหตุได้หลายประการ ตัวอย่างเช่น การรั่วของไอน้ำที่ท่อหรือไอน้ำในระบบมีปริมาณมากเกินไปทำให้ต้องปล่อยไอน้ำส่วนเกินออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ความแปรปรวนของอุณหภูมิ ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทพลังงานมีค่าแตกต่างกันมากกว่าเครื่องอื่น ๆ

4.2.3 ความไม่เหมาะสมของการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การสูญเสียพลังงานในเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนยังอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะการกำหนดค่าผลต่างของอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่สามารถจะให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้นั้นอาจมีความไม่เหมาะสม และส่งผลให้มีปริมาณพลังงานที่สูญเสียจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากกว่าที่ได้ออกแบบไว้ หัวข้อต่อไปนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าผลต่างอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินงานที่กรณีศึกษา 2 กรณี (วันที่ 5 ธันวาคม 2542 และวันที่ 30 พฤศจิกายน 2543)

4.2.3.1 การดำเนินงานจริงในช่วงวันที่ 5 ธันวาคม 2542

ตารางที่ 4.5 เป็นข้อมูลสภาวะการดำเนินงานจริงในช่วงวันที่ 5 ธันวาคม 2542 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 4.5 มาผ่านการวิเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีพินช์จะพบว่ารูปแบบการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้มีลักษณะไม่เหมือนกับรูปแบบเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบในหัวข้อ 4.1 โดยเครือข่ายที่สภาวะการดำเนินงานนี้มีค่าผลต่างของอุณหภูมิตั้งระหว่างสายร้อนและสายเย็นเท่ากับ 4.1 K เนื่องจากถ้าใช้ค่าผลต่างอุณหภูมิตั้งระหว่างสายร้อนและสายเย็นเท่ากับ 2.8 K จะทำให้ไม่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นตามหลักการเทคโนโลยีพินช์ได้ แต่ถ้าใช้ค่าผลต่างอุณหภูมิมากกว่า 4.1 K จะทำให้เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้มีปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น

ในกรณีนี้เครือข่ายในสภาวะการทำงานจริงในวันที่ 5 ธันวาคม 2542 นี้จะมีจุดพินช์ที่อุณหภูมิ 346.3 K ของสายร้อน และ 342.2 K ของสายเย็นแทนที่จุดพินช์ของเครือข่ายเดิม และต้องดึงเอาพลังงานความร้อนออกจากระบบเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากค่าผลต่างอุณหภูมิตั้งระหว่างสายร้อนและสายเย็นที่น้อยที่สุดมีค่าเพิ่มมากขึ้นจาก 2.8 K มาเป็น 4.1 K

ตารางที่ 4.6 สรุปข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณพลังงานที่แต่ละสายต้องการหรือปริมาณพลังงานที่แต่ละสายต้องให้ออกมา เมื่อนำค่าพลังงานเหล่านี้มารวมกันพบว่าปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายที่มีค่าเท่ากับ 4,689 kW และ 4,835 kW ตามลำดับ ตารางที่ 4.7 เป็นตารางสรุปการไหลผ่านของความร้อนที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ของเครือข่ายใหม่ซึ่งผลจากตารางแสดงให้เห็นว่าจะ

ต้องดึงพลังงานความร้อนออกจากเครื่องถ่ายเท่ากับ 4,689 kW เมื่อทำการออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้เทคโนโลยีพินช์จะได้รูปแบบการจับคู่ของสายแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์จำนวน 1 รูปแบบ และบริเวณใต้จุดพินช์จำนวน 2 รูปแบบ ดังตารางที่ 4.8 (รูปที่ 4.6 และ 4.7) ตามลำดับ จากนั้นทำการรวมรูปแบบที่ได้จากการออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของทั้งสองบริเวณพบว่า จะได้รูปแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ 2 รูปแบบ ดังนี้

1. เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากรูปแบบที่ 1 ของเครื่องถ่ายบริเวณเหนือจุดพินช์กับรูปแบบที่ 1 ของเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินช์ ได้ดังตารางที่ 4.9 (รูปที่ 4.8)
2. เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากรูปแบบที่ 1 ของเครื่องถ่ายบริเวณเหนือจุดพินช์กับรูปแบบที่ 2 ของเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินช์ ได้ดังตารางที่ 4.10 (รูปที่ 4.9)

เมื่อนำเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้ในตารางที่ 4.9 และ 4.10 มาทำการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้นใหม่พบว่าเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้ทั้งสองรูปแบบมีปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครื่องถ่ายในปริมาณเท่ากัน โดยมีปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียเท่ากับ 4,689 kW และปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียเท่ากับ 4,835 kW ดังตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ โดยมีจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องถ่ายทั้งสองดังนี้

1. เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้ในรูปที่ 4.8 จะมีจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 6 เครื่อง และระบบทำความเย็นจำนวน 3 เครื่อง
2. เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้ในรูปที่ 4.9 จะมีจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 7 เครื่อง และระบบทำความเย็นจำนวน 2 เครื่อง

4.2.3.2 การดำเนินงานจริงในช่วงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2543

ตารางที่ 4.13 เป็นข้อมูลสถานะการดำเนินงานจริงในช่วงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2543 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 4.13 มาผ่านการวิเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยี

พินช์จะพบว่ารูปแบบการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้มีลักษณะไม่เหมือนกับรูปแบบ
 เครื่องถ่ายที่ได้จากการออกแบบในหัวข้อ 4.1 โดยเครื่องถ่ายที่สภาวะการดำเนินงานนี้มี
 ค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นเท่ากับ 4.7 K เนื่องจากถ้าใช้ค่าผล
 ต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นเท่ากับ 2.8 K จะทำให้เครื่องถ่ายไม่สามารถ
 เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นตามหลักการเทคโนโลยีพินช์ได้ แต่ถ้าใช้ค่าผลต่าง
 อุณหภูมิมากกว่า 4.7 K จะทำให้เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้มีปริมาณ
 พลังงานความร้อนที่สูญเสียจากเครื่องถ่ายเพิ่มมากขึ้น

ในกรณีนี้เครื่องถ่ายในสภาวะการทำงานจริงในวันที่ 5 ธันวาคม 2542 นี้จะมีจุด
 พินช์ที่อุณหภูมิ 345.2 K ของสายร้อน และ 340.5 K ของสายเย็นแทนที่จุดพินช์ของ
 เครื่องถ่ายเดิมที่ได้ในตารางที่ 4.1 และต้องดึงเอาพลังงานความร้อนออกจากระบบเพิ่ม
 มากขึ้น เนื่องจากค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นที่น้อยที่สุดมีค่าเพิ่ม
 มากขึ้นจาก 2.8 K มาเป็น 4.7 K

ตารางที่ 4.14 สรุปข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณพลังงานที่แต่ละสายต้องการหรือเป็น
 พลังงานที่แต่ละสายต้องให้ออกมา เมื่อนำค่าพลังงานเหล่านี้มารวมกันพบว่าปริมาณ
 พลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครื่องถ่ายที่มีค่าเท่ากับ 4,583
 kW และ 4,704 kW ตามลำดับ ตารางที่ 4.15 สรุปข้อมูลเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนความ
 ร้อนที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยน
 ความร้อนพบว่าจะได้รูปแบบการจับคู่ของสายแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณ
 เหนือจุดพินช์และบริเวณใต้จุดพินช์จำนวน 1 รูปแบบดังตารางที่ 4.16 (รูปที่ 4.10)
 แล้วทำการรวมรูปแบบที่ได้จากการออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
 ของทั้งสองบริเวณพบว่า จะได้รูปแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ 1
 รูปแบบ (รูปแบบที่ 1 ของเครื่องถ่ายบริเวณเหนือจุดพินช์กับรูปแบบที่ 1 ของเครื่องถ่าย
 บริเวณใต้จุดพินช์) ดังตารางที่ 4.17 (รูปที่ 4.11)

เมื่อนำเอาข้อมูลในตารางที่ 4.17 มาทำการคำนวณหาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสีย
 จากเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพบว่าเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความ
 ร้อนที่ได้มีปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียเท่ากับ 4,583
 และ 4,704 kW ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.18

4.2.3.3 การเปรียบเทียบผลจากการดำเนินงานของเครื่องถ่ายที่สภาวะการดำเนินงานจริงกับเครื่องถ่ายที่ทางโรงไฟฟ้าได้ออกแบบไว้

เมื่อทำการวิเคราะห์เครื่องถ่ายตามหลักการเทคโนโลยีพินพบว่าเครื่องถ่ายที่สภาวะการดำเนินงานที่ได้จากการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีพินซึ่งมีรูปแบบแตกต่างไปจากเครื่องถ่ายที่ใช้งานในปัจจุบัน ($\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$) เพราะในสภาวะนี้จะเกิดการไหลของพลังงานความร้อนที่ไม่เป็นไปตามหลักการเทคโนโลยีพิน (มีปริมาณพลังงานความร้อนไหลผ่านจุดพินซ์) เมื่อนำเอาข้อมูลของวันที่ 5 ธันวาคม 2542 มาเป็นตัวอย่างในการเปรียบเทียบจะได้ผลดังต่อไปนี้

1. ตารางที่ 4.19 (รูปที่ 4.12) เป็นตารางแสดงปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีในบริเวณเหนือจุดพินซ์และใต้จุดพินซ์ของเครื่องถ่ายที่ทางโรงไฟฟ้าได้ทำการออกแบบไว้ที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$ พบว่ามีปริมาณพลังงานความร้อนไหลผ่านบริเวณเหนือจุดพินซ์และบริเวณใต้จุดพินซ์เท่ากับ 0 kW และ 4,451 kW ตามลำดับ
2. ตารางที่ 4.20 (รูปที่ 4.13) เป็นตารางแสดงปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีในบริเวณเหนือจุดพินซ์และบริเวณใต้จุดพินซ์ของสภาวะการดำเนินงานจริงที่ออกแบบเครื่องถ่ายใหม่โดยใช้เทคโนโลยีพินซึ่งที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ พบว่ามีปริมาณความร้อนไหลผ่านบริเวณเหนือจุดพินซ์และใต้จุดพินซ์เท่ากับ 0 kW และ 4,688 kW ตามลำดับ
3. ตารางที่ 4.21 (รูปที่ 4.14) เป็นตารางแสดงปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีในบริเวณเหนือจุดพินซ์และบริเวณใต้จุดพินซ์ของสภาวะการดำเนินงานจริง ($\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$) ที่ดำเนินงานภายใต้เครื่องถ่ายที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ($\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$) ส่งผลให้มีปริมาณพลังงานความร้อนไหลผ่านบริเวณเหนือจุดพินซ์เท่ากับ 5,715 kW และมีปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องให้เข้าไปในเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินซ์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1,026 kW

ผลจากการคำนวณปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียออกจากเครื่องถ่ายทั้ง 3 แบบพบว่า

1. เครื่องข่ายในตารางที่ 4.19 ($\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$) จะมีปริมาณพลังงานความร้อนสูญเสียจากเครื่องข่ายน้อยที่สุดโดยมีปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียเท่ากับ 4,451 kW
2. เครื่องข่ายในตารางที่ 4.20 ($\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ ที่ถูกนำมาออกแบบเครื่องข่ายใหม่โดยใช้เทคโนโลยีพินซ์) จะมีปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากเครื่องข่ายเท่ากับ 4,688 kW ซึ่งมีปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนมากกว่าเครื่องข่ายในตารางที่ 4.19 เท่ากับ 237 kW
3. เครื่องข่ายในตารางที่ 4.21 ($\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ ที่ถูกนำมาดำเนินงานภายใต้เครื่องข่ายที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$) จะมีปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากบริเวณเหนือจุดพินซ์และใต้จุดพินซ์รวมแล้วเท่ากับ 6,741 kW โดยเครื่องข่ายในตารางที่ 4.21 มีปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากเครื่องข่ายเพิ่มขึ้นจากเครื่องข่ายในตารางที่ 4.20 เท่ากับ 2,053 kW นั่นคือปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากเครื่องข่ายเพิ่มขึ้นจากเครื่องข่ายในตารางที่ 4.19 เท่ากับ 2,290 kW

ผลจากการคำนวณหาปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียพบว่าการใช้เครื่องข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่เหมาะสมกับสภาวะการดำเนินงานจะส่งผลให้เครื่องข่ายมีปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้น

ข้อสรุปนี้ชี้ให้เห็นว่าถ้าค่า ΔT_{\min} ที่ใช้ในการออกแบบเบื้องต้นของโรงไฟฟ้ามีค่าไม่เหมาะสม จะทำให้มีการสูญเสียพลังงานความร้อนมากโดยไม่จำเป็น ดังนั้นในการออกแบบเครื่องข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้เทคโนโลยีพินซ์ควรนำเอาข้อมูลที่สภาวะการดำเนินงานที่มีอยู่มาทำการวิเคราะห์หา ΔT_{\min} ที่ทำให้เครื่องข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด นั่นคือการออกแบบเครื่องข่ายโดยมีวัตถุประสงค์ต่อไปนี้

$$\min_{\Delta T_{\min}} \sum_{i=1}^n (\text{energy loss})_i \quad (4.1)$$

เมื่อ n

คือ จำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

(energy loss)_i คือ ปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียจาก
เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของแต่ละชุดข้อมูล

จากสมการที่ 4.1 เป็นสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของข้อมูลในแต่ละช่วงการดำเนินงานไปพร้อม ๆ กับการพิจารณาค่าผลต่างอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการดำเนินงานที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เป็นไปตามข้อกำหนดของเทคโนโลยีพินซ์ จากนั้นนำผลที่ได้มาศึกษาเพื่อหาค่าผลต่างอุณหภูมิที่น้อยที่สุด โดยมีปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียในปริมาณที่เหมาะสมในการดำเนินงาน

4.2.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

หัวข้อนี้แสดงขั้นตอนในการคำนวณผลทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้มีการปรับปรุงตามผลการวิเคราะห์ข้างต้น โดยในที่นี้จะได้นำเอาผลการออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สภาวะการดำเนินงานจริง ($\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ ในหัวข้อ 4.2.3.1) มาเป็นตัวอย่างในการคำนวณ ผลการคำนวณที่จะแสดงต่อไปนี้เป็นผลที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมการออกแบบเครื่องถ่ายเทคโนโลยีพินซ์ที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยให้ความสะดวกในการคำนวณและสามารถแสดงผลในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย โดยโปรแกรมนี้ช่วยในการคำนวณหาปริมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมดในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นใหม่ตามสมการที่ 2.8 – 2.10 ซึ่งผู้ใช้งานโปรแกรมจะต้องกรอกข้อมูลที่จำเป็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ดังรูปที่ 4.15 เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับปริมาณยูทิลิตี้ของเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งของเครื่องถ่ายเดิมและเครื่องถ่ายที่ได้จากการออกแบบ

ในกรณีที่ผลการคำนวณแสดงว่าค่าใช้จ่ายสำหรับปริมาณยูทิลิตี้ของเครื่องถ่ายเดิมมีค่ามากกว่าเครื่องถ่ายใหม่ โปรแกรมจะนำค่าผลต่างของค่าใช้จ่ายที่ลดลงมาเป็นเงินทุนในการปรับเปลี่ยนเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในแต่ละปี และโปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานสามารถลดจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องทำการสร้างเพิ่มเติมได้โดยการเลือกคลิกเครื่องหมายถูกที่ช่อง Accept สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถใช้ของเดิมที่มีอยู่ในกระบวนการได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.16 และ 4.17 ซึ่งในกรณีนี้โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นใหม่โดยไม่รวมค่าใช้จ่าย

จ่ายในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถใช้ของเดิมที่มีอยู่ในเครือข่ายได้ สรุปได้ดังตารางที่ 4.22 และ 4.23

ส่วนในกรณีที่ค่าใช้จ่ายของเครือข่ายเดิมมีค่าน้อยกว่าของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบใหม่ โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าเงินลงทุนในการปรับปรุงเครือข่ายโดยใช้ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับที่กำหนดในรูปที่ 4.15 โดยไม่ต้องคลิกเครื่องหมายถูกที่ช่อง Accept จากนั้น โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องจ่ายในแต่ละปี

4.2.4.1 ผลคำนวณการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปที่ 4.8

ผลจากการคำนวณการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นพบว่าเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีฟินช์จะต้องเพิ่มเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นใหม่อีก 4 เครื่องด้วยกัน ดังนี้

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ 1 สร้างขึ้นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนสายที่ 1 กับระบบทำความเย็น โดยเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 232 kW และมีขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 52 m²
2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ 2 สร้างขึ้นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนสายที่ 2 กับระบบทำความเย็น โดยเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 101 kW และมีขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 22 m²
3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ 3 สร้างขึ้นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนสายที่ 3 กับสายเย็นสายที่ 7 โดยเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 76 kW และมีขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2 m²
4. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ 4 สร้างขึ้นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนสายที่ 4 กับสายเย็นสายที่ 7 โดยเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 4 kW และมีขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 0.13 m²

ซึ่งเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายในแต่ละปีเป็นจำนวน US\$ 122,521 และในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความ

ร้อนขึ้นใหม่จำนวน 4 เครื่อง จะต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวน US\$ 54,401 ใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 0.5 ปี

4.2.4.2 ผลคำนวณการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปที่ 4.9

ผลจากการคำนวณการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นพบว่าเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีพินช์ จะต้องเพิ่มเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นใหม่จากเดิมอีก 4 เครื่องด้วยกัน ดังนี้

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ 1 สร้างขึ้นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนสายที่ 3 กับสายเย็นสายที่ 7 โดยเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 76 kW และมีขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2 m²
2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ 2 สร้างขึ้นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนสายที่ 4 กับสายเย็นสายที่ 7 โดยเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 4 kW และมีขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 0.13 m²
3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ 3 สร้างขึ้นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนสายที่ 1 กับระบบทำความเย็น โดยเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 333 kW และมีขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 76 m²
4. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องที่ 4 สร้างขึ้นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนสายที่ 2 กับสายเย็นสายที่ 6 โดยเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 101 kW และมีขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 22 m²

ซึ่งเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายในแต่ละปีเป็นจำนวน US\$ 122,521 และในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นใหม่จำนวน 4 เครื่อง จะต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวน US\$ 55,231 ใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 0.5 ปี

พบว่าเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากเทคโนโลยีพินช์จะมีเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เป็นไปได้ 2 แบบ โดยทั้ง 2 แบบมีปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายในปริมาณที่เท่ากัน

และเมื่อนำมาพิจารณาค่าความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นใหม่ที่เงินลงทุนในแต่ละปีที่เท่ากันพบว่าเครื่องถ่ายในรูปแบบที่ 4.8 และ 4.9 จะใช้ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากันทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเงินที่ใช้ในการลงทุนมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นสามารถทำการปรับปรุงเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ทั้งสองรูปแบบ

4.2.4.3 การลดจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องถ่ายวันที่ 5 ธันวาคม 2542

ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ให้หัวข้อ 4.2.4.1 และ 4.2.4.2 พบว่ามีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบางเครื่องที่มีขนาดเล็กเกินไป ตัวอย่างเช่นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนสายที่ 4 และสายเย็นสายที่ 7 ที่มีขนาดของเครื่องเพียง 0.13 m^2 ซึ่งไม่คุ้มกับการลงทุน จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนเครื่องถ่ายใหม่โดยเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาดเล็กออกจากเครื่องถ่ายและยอมให้มีปริมาณพลังงานความร้อนไหลผ่านจุดพินช์ ดังนี้

1. เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบที่ 4.8

ทำการปรับเปลี่ยนโดยนำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนจำนวน 76 kW และ 4 kW มารวมกันดังรูปที่ 4.18 จากนั้นนำเอาพลังงานความร้อนที่เหลือในสายร้อนสายที่ 4 ออกไปกับเครื่องควบแน่นและยอมให้มีการสูญเสียพลังงานความร้อนที่สายร้อนที่ 4 เกิดขึ้นจำนวน 4 kW ทำให้มีปริมาณพลังงานความร้อนไหลผ่านบริเวณเหนือจุดพินช์จำนวน 4 kW ส่งผลให้ต้องใช้น้ำในการลดอุณหภูมิที่เครื่องควบแน่นมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

2. เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบที่ 4.9

ดำเนินการปรับเปลี่ยนเช่นเดียวกับในหัวข้อ 4.5.1 แต่ต้องทำการลดเครื่องแลกเปลี่ยนเพิ่ม 1 เครื่องคือ เครื่องที่เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างสายร้อนสายที่ 2 กับสายเย็นสายที่ 6 ซึ่งมีปริมาณพลังงานความร้อนไหลผ่านจำนวน 101 kW ถ้าทำการลดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวจะทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนสายที่ 1 กับสายเย็นสายที่ 6 ได้รับความร้อนเพิ่มจำนวน 101 kW (ตรงกับเครื่อง L.P. Htr. No.1) ดังรูปที่ 4.19 ส่ง

ผลให้มีปริมาณพลังงานความร้อนไหลผ่านบริเวณเหนือจุดพินช์จำนวน 4 kW และได้จุดพินช์จำนวน 101 kW ซึ่งพลังงานจำนวนดังกล่าวจะถูกถ่ายเทให้กับเครื่องควบแน่นรวม 105 kW ส่งผลให้มีปริมาณน้ำที่นำมาใช้ในการลดอุณหภูมิมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

4.3 ผลการพิจารณาปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการของแหล่งพลังงาน

การพิจารณาปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยทั่วไปมิได้นำเอาสถานะการดำเนินงานของแหล่งพลังงานความร้อนที่เพิ่มเข้าไปในเครือข่ายมาพิจารณาด้วย (ซึ่งต่างจากการคำนวณการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นที่ได้นำเอาสถานะการดำเนินงานของระบบทำความร้อนและระบบทำความเย็นมาประกอบการพิจารณา) ผลการวิจัยในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นว่าถ้านำเอาสถานะการดำเนินงานของแหล่งพลังงานมาคำนวณหาปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการด้วย จะสามารถทำการปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของแหล่งพลังงานได้ โดยมีหลักในการพิจารณาดังนี้

1. การพิจารณาบริเวณเหนือจุดพินช์ โดยการปรับเปลี่ยนให้อุณหภูมิของระบบทำความร้อนมีค่าต่ำที่สุดที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงเหนือพินช์ได้
2. การพิจารณาบริเวณใต้จุดพินช์ โดยการปรับเปลี่ยนให้อุณหภูมิของระบบทำความเย็นมีค่าสูงที่สุดที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงใต้จุดพินช์ได้

ซึ่งผลจากการพิจารณานี้ช่วยให้สามารถลดปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียให้น้อยลงได้ ดังแสดงในกรณีศึกษาต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1

ตารางที่ 4.24 แสดงตัวอย่างสถานะการดำเนินงานของระบบทำความร้อนและระบบทำความเย็นที่มีอยู่ในเครือข่ายที่สามารถทำการปรับเปลี่ยนให้มีปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากกระบวนการของแหล่งพลังงานให้ลดน้อยลงได้ เมื่อใช้เทคโนโลยีพินช์มาออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและกำหนดให้ค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นมีค่าเท่ากับ 10 K จะได้เครือข่ายที่สามารถนำพลังงานความร้อนกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ดังตารางที่ 4.25 (รูปที่ 4.20)

จากข้อมูลที่ได้จากตารางดังกล่าวและข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งพลังงานที่เพิ่มเข้าไปในเครือข่าย โดยกำหนดสถานะต่างๆ ไว้ดังนี้

1. อุณหภูมิอ้างอิงที่สถานะแวดล้อมมีค่าเท่ากับ 280 K เนื่องจากค่าอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดในกระบวนการมีค่า 283 K จึงไม่สามารถกำหนดค่าอุณหภูมิอ้างอิงที่สถานะแวดล้อมที่ค่าปกติได้ (298 K)
2. สถานะการดำเนินงานของระบบทำความร้อน มีดังนี้
 - 2.1 ที่เกิดการแลกเปลี่ยนกับสายเย็นสายที่ 5 มีอุณหภูมิขาเข้า 463 K และอุณหภูมิขาออก 460 K เนื่องจากสายเย็นที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยมีอุณหภูมิขาเข้า 448.5 K และขาออก 453 K
 - 2.2 ที่เกิดการแลกเปลี่ยนกับสายเย็นสายที่ 4 มีอุณหภูมิขาเข้า 334 K และอุณหภูมิขาออก 333 K เนื่องจากสายเย็นที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยมีอุณหภูมิขาเข้า 323 K และขาออก 324 K
3. สถานะการดำเนินงานของระบบทำความเย็น โดยมีอุณหภูมิขาเข้า 283 K และอุณหภูมิขาออก 290.5 K เนื่องจากข้อกำหนดในเรื่องผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกันจะต้องมีค่าผลต่างของอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ 10 K ซึ่งเป็นค่าที่สายร้อนและสายเย็นสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานโดยมีปริมาณพลังงานความร้อนสูญเสียน้อยที่สุด

สามารถคำนวณหาปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายได้ดังตารางที่ 4.26 จากนั้นนำเครือข่ายที่ได้จากตารางดังกล่าวมาพิจารณาการปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของแหล่งพลังงานได้ดังนี้

1. การปรับเปลี่ยนในบริเวณเหนือจุดพินช์

- 1.1 การปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของสายเย็นสายที่ 5 กับระบบทำความร้อน

การปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของสายเย็นสายที่ 5 กับระบบทำความร้อนดังรูปที่ 4.21 (ก) เกิดขึ้นตามเงื่อนไขค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็น ผลจากการปรับเปลี่ยนส่งผลให้เกิดการปรับเปลี่ยนที่ต่อเนื่องไปยังสายเย็นสายที่ 5 ที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสายร้อนสายที่ 2 ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนที่ไม่เป็น

ไปตามเงื่อนไขค่าผลต่างอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ($\Delta T_{\min} < 10 \text{ K}$) ส่งผลให้การปรับเปลี่ยนที่เกิดขึ้นในรูปที่ 4.21 (ข) ไม่สามารถเกิดขึ้นได้

1.2 การปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของสายเย็นสายที่ 4 กับระบบทำความร้อน

การปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของสายเย็นสายที่ 4 กับระบบทำความร้อนดังรูปที่ 4.22 (ก) เกิดขึ้นตามเงื่อนไขค่าผลต่างอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างสายร้อนและสายเย็น ผลจากการปรับเปลี่ยนส่งผลให้เกิดการปรับเปลี่ยนที่ต่อเนื่องไปยังสายเย็นสายที่ 4 ที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสายร้อนสายที่ 1 ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนที่เป็นไปตามเงื่อนไขค่าผลต่างอุณหภูมิตั้งแต่ที่กำหนดไว้ ($\Delta T_{\min} \geq 10 \text{ K}$) ส่งผลให้การปรับเปลี่ยนที่เกิดขึ้นในรูปที่ 4.22 (ข) สามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของระบบทำความร้อนแต่อย่างใด เนื่องจากค่าอุณหภูมิจึงมีการปรับเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2. การปรับเปลี่ยนในบริเวณใต้จุดพินช์

การปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของสายร้อนสายที่ 2 กับระบบทำความเย็นดังรูปที่ 4.23 (ก) เกิดขึ้นโดยคำนึงถึงค่าผลต่างอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างสายร้อนและสายเย็น ผลจากการปรับเปลี่ยนดังกล่าวส่งผลให้เกิดการปรับเปลี่ยนที่ต่อเนื่องไปยังสายร้อนสายที่ 2 ที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสายเย็นสายที่ 5 ผลจากการปรับเปลี่ยนพบว่าค่าผลต่างอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างสายร้อนสายที่ 2 กับสายเย็นสายที่ 5 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับผลต่างอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างสายร้อนและสายเย็นที่น้อยที่สุด ($\Delta T_{\min} = 10 \text{ K}$) ส่งผลให้การปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของระบบทำความเย็นดังรูปที่ 4.23 (ข) สามารถเกิดขึ้นได้ ผลจากการปรับเปลี่ยนทำให้อุณหภูมิของสายเย็นของระบบทำความเย็นสามารถมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 283 K มาเป็น 295.5 K ได้ และทำให้ปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากการปรับเปลี่ยนในบริเวณใต้จุดพินช์มีค่าลดต่ำลงจาก 2 kW เหลือ 1 kW ส่งผลให้ปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายโดยรวมมีค่าลดลงจาก 45 kW เหลือเพียง 44 kW การปรับปรุงระบบในลักษณะดังกล่าวช่วยลดค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหล่อเย็น ทั้งนี้เนื่องจากการปรับเปลี่ยนทำให้ค่าสถานะการดำเนินงานของระบบทำความเย็นที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนต้องมีอุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วงอุณหภูมิปกติ วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการลดอุณหภูมิของสายร้อนคือน้ำซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย แต่ถ้าเป็นสถานะการดำเนินงานของระบบทำความเย็น ก่อนทำการปรับ

เปลี่ยนพบว่าระบบต้องการวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการลดอุณหภูมิของสายร้อนที่มีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิปกติของน้ำ ส่งผลให้การเพิ่มระบบทำความเย็นเข้าไปในเครือข่ายต้องเสียค่าใช้จ่าย เพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของแหล่งพลังงานของระบบแลกเปลี่ยน ความร้อนในตารางที่ 4.26 สามารถทำการปรับเปลี่ยนได้เฉพาะแหล่งพลังงานที่เป็นระบบทำความเย็น นั่นคือใช้แหล่งพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิการดำเนินงานสูงขึ้นได้ เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนโดยมีปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนใหม่ดังตารางที่ 4.27 (รูปที่ 4.24)

กรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ 2 เป็นตัวอย่างของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือตารางที่ 4.12 (รูปที่ 4.9) ซึ่งนำมาพิจารณาในการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของระบบทำความร้อนและระบบทำความเย็นของเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีพินช์ เริ่มจากการคำนวณหาปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายโดยคำนึงถึงแหล่งพลังงานที่เพิ่มเข้าไปในเครือข่ายด้วย ซึ่งจะให้ผลดังตารางที่ 4.28 จากนั้นนำผลที่ได้มาพิจารณาการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของแหล่งพลังงาน สำหรับในกรณีศึกษาที่สามารถทำการปรับเปลี่ยนได้เฉพาะในบริเวณใต้จุดพินช์ ดังนั้นการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของสายร้อนสายที่ 1 กับระบบทำความเย็นดังรูปที่ 4.25 (ก) เกิดขึ้นโดยคำนึงถึงค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็น ผลจากการปรับเปลี่ยนส่งผลให้เกิดการปรับเปลี่ยนที่ต่อเนื่องไปยังสายร้อนสายที่ 1 ที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสายเย็นสายที่ 6 ดังรูปที่ 4.25 (ข) ซึ่งพบว่าค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนสายที่ 1 กับสายเย็นสายที่ 6 เป็นไปตามเงื่อนไขของผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็นที่น้อยที่สุด ส่งผลให้การปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของระบบทำความเย็นดังรูปที่ 4.24 สามารถเกิดขึ้นได้

ดังนั้นการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของแหล่งพลังงานในตารางที่ 4.28 ซึ่งทำการปรับเปลี่ยนได้เฉพาะในส่วนที่เป็นระบบทำความเย็น จะได้เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ที่มีปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายดังตารางที่ 4.29 (รูปที่ 4.26) โดยผลจากการคำนวณพบว่าเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนทำปรับเปลี่ยนและหลังทำการปรับเปลี่ยนระบบทำความเย็นจะมีปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่

สูญเสียจากเครือข่ายในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ พลังงานความร้อนที่สูญเสีย 0 kW และเอกเซอร์จีที่สูญเสียประมาณ 4,706 kW ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสายร้อนสายที่ 1 ไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงไม่ทำให้ปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายหลังการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานมีค่าแตกต่างไปจากเครือข่ายก่อนทำการปรับเปลี่ยน

จากกรณีศึกษาทั้งหมดที่กล่าวมานั้น ทำให้ทราบว่าวิธีการในการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของแหล่งพลังงานสามารถนำมาใช้ในการปรับเปลี่ยนเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อช่วยลดปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียได้ ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถทำได้ในบางรูปแบบหรือบางกรณีเท่านั้นไม่สามารถนำมาใช้ได้เสมอไป ทั้งนี้เนื่องจากการพิจารณาให้เกิดปรับเปลี่ยนดังกล่าวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างสายร้อนและสายเย็น และวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเพิ่มและลดปริมาณความร้อน เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 การไหลผ่านของพลังงานที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งเป็นผลการคำนวณ
ที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$

อุณหภูมิ (K)		Cp (kW/K)		พลังงานความร้อนที่ต้องการ ในแต่ละช่วง อุณหภูมิ (kW)*1	ปริมาณพลังงานในแต่ละช่วง (kW)			
					ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
สายร้อน	สายเย็น	สายร้อน	สายเย็น		ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก
685.7	0.0							
658.0	0.0	47	0	1,293	0	1,293	0	1,293
506.3	503.6	137	0	20,781	1,293	22,074	1,293	22,074
468.1	465.4	137	352	-8,208	22,074	13,867	22,074	13,866
466.3	463.5	47	352	-562	13,867	13,305	13,866	13,305
457.6	454.9	147	352	-1,784	13,305	11,521	13,305	11,521
457.6	454.8	147	0	4	11,521	11,525	11,521	11,525
429.5	426.8	147	340	-5,413	11,525	6,112	11,525	6,112
422.4	419.6	100	340	-1,713	6,112	4,399	6,112	4,399
389.6	386.8	100	0	3,279	4,399	7,678	4,399	7,678
348.3	345.6	100	266	-6,843	7,678	835	7,678	835
345.2	342.5	0	266	-835	835	0	835	0
345.1	342.4	56,426	235	5,619	0	5,619	0	5,619
321.3	318.5	147	235	-2,090	5,619	3,530	5,619	3,530
315.0	0.0	147	0	921	3,530	4,451	3,530	4,451

*1 พลังงานความร้อนที่มีค่าเป็น + เป็นพลังงานความร้อนที่สายให้ออกมา, - เป็นพลังงานความร้อนที่สายต้องการรับเข้าไป

ตารางที่ 4.2 เครื่องข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์และใต้จุดพินช์ ที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$

บริเวณ	รูปแบบ ที่	ลำดับที่	สายร้อน				สายเย็น				ปริมาณ พลังงานความ ร้อน (kW)
			สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		
					ขาเข้า	ขาออก			ขาเข้า	ขาออก	
เหนือ จุดพินช์	1	1	4	90.3	658.0	468.1	9	351.9	454.9	503.6	17,152
		2	3	46.7	685.7	429.5	8	339.6	419.6	454.8	11,961
		3	2	100.1	466.3	348.3	7	266.0	342.5	386.8	11,807
ใต้ จุดพินช์	1	1	1	56,278.2	345.2	345.1	6	235.0	318.5	342.5	5,628
		2	5	147.4	345.2	315.0	Cooler	0.0	0.0	0.0	4,451

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวันที่ 5 ธันวาคม 2542

ลำดับ ที่	อุปกรณ์	อุณหภูมิสายร้อน (K)		อุณหภูมิสายเย็น (K)		ผลต่าง อุณหภูมิ เฉลี่ยเชิง ล็อก การิทึม (K)	พลังงานความร้อน (kW)		ค่าสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทพลังงานความ ร้อน \times พื้นที่ (kW/K)		เปอร์เซ็นต์ใน การเพิ่มค่า สัมประสิทธิ์ การถ่ายเท พลังงาน ความร้อน
		ทางด้า น ขาเข้า	ทางด้า น ขาออก	ทางด้า น ขาเข้า	ทางด้า น ขาออก		ก่อน ปรับปรุง	หลัง ปรับปรุง	ก่อน ปรับปรุง	หลัง ปรับปรุง	
1	LP. Htr. No.1	345.4	345.3	317.9	340.8	12.78	5,307	5,539	415.39	433.53	4.37
2	LP. Htr. No.2	460.8	345.3	342.2	386.4	22.44	11,752	11,774	523.82	524.80	0.19
3	เครื่องควบแน่น	345.0	315.0	303.0	313.0	18.20	3,976	4,355	218.40	239.25	9.54
4	HP. Htr. No. 4	686.3	429.5	423.9	462.8	59.11	14,401	14,477	243.63	244.91	0.53
5	HP. Htr. No.5	663.6	468.2	462.8	510.9	44.07	17,221	17,225	390.73	390.81	0.02

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 การปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวันที่ 30 พฤศจิกายน 2543

ลำดับ ที่	อุปกรณ์	อุณหภูมิสายร้อน (K)		อุณหภูมิสายเย็น (K)		ผลต่าง อุณหภูมิ เฉลี่ยเชิง ล็อก การิทึม (K)	พลังงานความร้อน (kW)		ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท พลังงานความร้อน x พื้นที่ (kW/K)		เปอร์เซ็นต์ใน การเพิ่มค่า สัมประสิทธิ์ การถ่ายเท พลังงาน ความร้อน
		ทางด้า น ขาเข้า	ทางด้า น ขาออก	ทางด้า น ขาเข้า	ทางด้า น ขาออก		ก่อน ปรับปรุง	หลัง ปรับปรุง	ก่อน ปรับปรุง	หลัง ปรับปรุง	
1	LP. Htr. No.1	345.2	345.1	317.1	341.0	12.55	5,608	5,628	447.04	448.60	0.35
2	LP. Htr. No.2	465.2	348.3	340.6	384.8	30.99	11,748	11,797	379.06	380.65	0.42
3	เครื่องควบแน่น	345.2	315.0	303.0	313.0	18.26	3,976	4,450	217.75	243.70	11.90
4	HP. Htr. No. 4	686.3	435.4	428.6	463.1	61.99	11,813	11,863	190.57	191.39	0.43
5	HP. Htr. No.5	668.0	468.2	460.1	508.8	50.73	17,241	17,256	339.81	340.13	0.09

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลของแต่ละสายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1\text{K}$

ลำดับที่	อุปกรณ์	ประเภท	ทางด้านขาเข้า		ทางด้านขาออก		ค่าความจุความร้อน (kW/K)
			อุณหภูมิ (K)	ความดัน (kPa)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (kPa)	
1	LP. Htr No.1	สายร้อน	345.4	35	345.3	35	55,390
2	LP. Htr No.1	สายเย็น	317.9	1,115	340.8	1,115	232
3	LP. Htr No.2	สายร้อน	460.8	179	345.3	179	102
4	LP. Htr No.2	สายเย็น	342.2	659	386.4	659	266
5	เครื่องควบแน่น	สายร้อน	345.0	35	315.0	35	145
6	HP. Htr No.4	สายร้อน	686.3	1,186	429.5	1,186	56
7	HP. Htr No.4	สายเย็น	423.9	13,274	462.8	13,274	370
8	HP. Htr No.5	สายร้อน	663.6	3,130	468.2	3,130	88
9	HP. Htr No.5	สายเย็น	462.8	13,274	510.9	13,274	358

ตารางที่ 4.6 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีของแต่ละสาย ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1\text{K}$

ลำดับที่	อุปกรณ์	ประเภท	ค่าความจุ ความร้อน (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		พลังงานความร้อน ในแต่ละสาย* ¹ (kW)	ปริมาณเอกเซอร์จี ในแต่ละสาย* ² (kW)
				ทางด้าน ขาเข้า	ทางด้าน ขาออก		
1	LP. Htr No.1	สายร้อน	55,390	345.4	345.3	5,539	759
2	LP. Htr No.1	สายเย็น	232	317.9	340.8	-5,307	-503
3	LP. Htr No.2	สายร้อน	102	460.8	345.3	11,774	3,008
4	LP. Htr No.2	สายเย็น	266	342.2	386.4	-11,752	-2,127
5	เครื่องควบแน่น	สายร้อน	145	345.0	315.0	4,355	420
6	HP. Htr No.4	สายร้อน	56	686.3	429.5	14,477	6,604
7	HP. Htr No.4	สายเย็น	370	423.9	462.8	-14,401	-4,716
8	HP. Htr No.5	สายร้อน	88	663.6	468.2	17,225	8,062
9	HP. Htr No.5	สายเย็น	358	462.8	510.9	-17,221	-6,672
ปริมาณการสูญเสียรวมที่เกิดขึ้นในเครือข่าย						4,689	4,835

*1 พลังงานความร้อนที่มีค่าเป็น + เป็นพลังงานความร้อนที่สายให้ออกมา, - เป็นพลังงานความร้อนที่สายต้องรับเข้าไป

*2 ปริมาณเอกเซอร์จีที่มีค่าเป็น + เป็นปริมาณเอกเซอร์จีที่สายให้ออกมา, - เป็นปริมาณเอกเซอร์จีที่สายต้องรับเข้าไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 การไหลผ่านของพลังงานที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จากการคำนวณ
ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$

อุณหภูมิ (K)		Cp (kW/K)		พลังงานความร้อน ที่เกิดขึ้นใน แต่ละช่วง (kW) *1	ปริมาณพลังงานในแต่ละช่วง	
สายร้อน	สายเย็น	สายร้อน	สายเย็น		ขาเข้า	ขาออก
686.3	0.0					
663.6	0.0	56	0	1,282	0	1,282
515.0	510.9	145	0	21,474	1,282	22,756
468.2	464.1	145	358	-10,011	22,756	12,745
466.9	462.8	56	358	-374	12,745	12,371
460.8	456.7	56	370	-1,932	12,371	10,440
429.5	425.4	158	370	-6,629	10,440	3,811
428.0	423.9	102	370	-392	3,811	3,419
390.5	386.4	102	0	3,829	3,419	7,248
346.3	342.2	102	266	-7,248	7,248	0
345.4	341.3	102	0	95	0	95
345.3	341.2	55,492	0	3,275	95	3,371
345.3	341.2	55,390	0	2,270	3,371	5,641
345.0	340.9	0	0	0	5,641	5,641
344.9	340.8	145	0	18	5,641	5,658
322.0	317.9	145	232	-1,984	5,658	3,674
315.0	0.0	145	0	1,015	3,674	4,689

*1 พลังงานความร้อนที่มีค่าเป็น + เป็นพลังงานความร้อนที่สายให้ออกมา, - เป็นพลังงานความร้อนที่สายต้องรับเข้าไป

ตารางที่ 4.8 เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์และใต้จุดพินช์ ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$

บริเวณ	รูปแบบ ที่	ลำดับที่	สายร้อน				สายเย็น				ปริมาณ พลังงานความ ร้อน (kW)
			สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		
					ขาเข้า	ขาออก			ขาเข้า	ขาออก	
เหนือ จุดพินช์	1	1	4	88	663.5	468.2	9	358	462.8	510.9	17,221
		2	3	56	685.0	429.5	8	370	423.9	462.8	14,401
		3	2	102	460.8	346.3	7	266	342.2	386.1	11,672
		4	4	88	663.6	663.5	7	266	386.1	386.1	4
		5	3	56	686.3	685.0	7	266	386.1	386.4	76
ใต้ จุดพินช์	1	1	1	55,390	345.4	345.3	6	232	317.9	340.8	5,307
		2	5	145	345.0	315.0	Cooler	-	-	-	4,355
		3	2	102	346.3	345.3	Cooler	-	-	-	101
		4	1	55,390	345.3	345.3	Cooler	-	-	-	232
	2	1	2	102	346.3	345.3	6	232	340.3	340.8	101
		2	1	55,390	345.4	345.3	6	232	317.9	340.3	5,206
		3	5	145	345.0	315.0	Cooler	-	-	-	4,355
		4	1	55,390	345.3	345.3	Cooler	-	-	-	333

ตารางที่ 4.9 ผลการรวมเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครือข่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$

สายร้อน				สายเย็น				ปริมาณ พลังงานความ ร้อน (kW)
สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		
		ขาเข้า	ขาออก			ขาเข้า	ขาออก	
4	88	663.5	468.2	9	358	462.8	510.9	17,221
3	56	685.0	429.5	8	370	423.9	462.8	14,401
2	102	460.8	346.3	7	266	342.2	386.1	11,672
4	88	663.6	663.5	7	266	386.1	386.1	4
3	56	686.3	685.0	7	266	386.1	386.4	76
จุดพินช์								
1	55,390	345.4	345.3	6	232	317.9	340.8	5,307
5	145	345.0	315.0	Cooler	-	-	-	4,355
2	102	346.3	345.3	Cooler	-	-	-	101
1	55,390	345.3	345.3	Cooler	-	-	-	232

ตารางที่ 4.10 ผลการรวมเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 2 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$

สายร้อน				สายเย็น				ปริมาณ พลังงานความ ร้อน (kW)
สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		
		ขาเข้า	ขาออก			ขาเข้า	ขาออก	
4	88	663.5	468.2	9	358	462.8	510.9	17,221
3	56	685.0	429.5	8	370	423.9	462.8	14,401
2	102	460.8	346.3	7	266	342.2	386.1	11,672
4	88	663.6	663.5	7	266	386.1	386.1	4
3	56	686.3	685.0	7	266	386.1	386.4	76
จุดพินช์								
2	102	346.3	345.3	6	232	340.3	340.8	101
1	55,390	345.4	345.3	6	232	317.9	340.3	5,206
5	145	345.0	315.0	Cooler	-	-	-	4,355
1	55,390	345.3	345.3	Cooler	-	-	-	333

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียของแต่ละสายใน
 เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$

สายที่	สายร้อน				สายที่	สายเย็น			
	อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)		อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)
	ขาเข้า	ขาออก				ขาเข้า	ขาออก		
1	345.3	345.3	232	32	Cooler	-	-	-	-
1	345.4	345.3	5,308	728	6	317.9	340.8	-5,307	-503
2	346.3	345.3	101	14	Cooler	-	-	-	-
2	460.8	346.3	11,672	2,994	7	342.2	386.1	-11,672	-2,109
3	685.0	429.5	14,401	6,560	8	423.9	462.8	-14,401	-4,716
3	686.3	685.0	76	43	7	386.1	386.4	-76	-17
4	663.5	468.2	17,221	8,060	9	462.8	510.9	-17,221	-6,672
4	663.6	663.5	4	2	7	386.1	386.1	-4	-1
5	345.0	315.0	4,355	420	Cooler	-	-	-	-
รวม			53,371	18,853				-48,682	-14,018
ปริมาณที่สูญเสียรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเครื่องถ่าย								4,689	4,835

ตารางที่ 4.12 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียของแต่ละสายใน
 เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 2 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$

สายที่	สายร้อน				สายที่	สายเย็น			
	อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)		อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)
	ขาเข้า	ขาออก				ขาเข้า	ขาออก		
2	460.8	346.3	11672	2994	7	342.2	386.1	-11672	-2109
3	685.0	429.5	14401	6560	8	423.9	462.8	-14401	-4716
3	686.3	685.0	76	43	7	386.1	386.4	-76	-17
4	663.5	468.2	17221	8060	9	462.8	510.9	-17221	-6672
4	663.6	663.5	4	2	7	386.1	386.1	-4	-1
1	345.3	345.3	333	46	Cooler	-	-	-	-
1	345.4	345.3	5206	714	6	317.9	340.3	-5206	-490
2	346.3	345.3	101	14	6	340.3	340.8	-101	-13
5	345.0	315.0	4355	420	Cooler	-	-	-	-
รวม			53,370	18,853				-48,682	-14,018
ปริมาณที่สูญเสียรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเครื่องถ่าย								4,689	4,835

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลของแต่ละสายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$

ลำดับที่	อุปกรณ์	ประเภท	ทางด้านขาเข้า		ทางด้านขาออก		ค่าความจุความร้อน (kW/K)
			อุณหภูมิ (K)	ความดัน (kPa)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (kPa)	
1	LP. Htr No.1	สายร้อน	345.2	35	345.1	35	56,278
2	LP. Htr No.1	สายเย็น	317.1	1,115	341.0	1,115	235
3	LP. Htr No.2	สายร้อน	465.2	179	348.3	179	101
4	LP. Htr No.2	สายเย็น	340.6	659	384.8	659	266
5	เครื่องควบแน่น	สายร้อน	345.2	35	315.0	35	147
6	HP. Htr No.4	สายร้อน	686.3	1,186	435.4	1,186	47
7	HP. Htr No.4	สายเย็น	428.6	13,274	463.1	13,274	342
8	HP. Htr No.5	สายร้อน	668.0	3,130	468.2	3,130	86
9	HP. Htr No.5	สายเย็น	460.1	13,274	508.8	13,274	354

ตารางที่ 4.14 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีของแต่ละสาย ที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$

ลำดับที่	อุปกรณ์	ประเภท	ค่าความจุความร้อน (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		พลังงานความร้อน ในแต่ละสาย* ¹ (kW)	ปริมาณเอกเซอร์จีในแต่ละสาย* ² (kW)
				ทางด้านขาเข้า	ทางด้านขาออก		
1	LP. Htr No.1	สายร้อน	56,278	345.2	345.1	5,628	769
2	LP. Htr No.1	สายเย็น	235	317.1	341.0	-5,608	-527
3	LP. Htr No.2	สายร้อน	101	465.2	348.3	11,797	3,094
4	LP. Htr No.2	สายเย็น	266	340.6	384.8	-11,748	-2,083
5	เครื่องควบแน่น	สายร้อน	147	345.2	315.0	4,450	430
6	HP. Htr No.4	สายร้อน	47	686.3	435.4	11,863	5,452
7	HP. Htr No.4	สายเย็น	342	428.6	463.1	-11,813	-3,913
8	HP. Htr No.5	สายร้อน	86	668.0	468.2	17,256	8,109
9	HP. Htr No.5	สายเย็น	354	460.1	508.8	-17,241	-6,626
ปริมาณที่สูญเสียรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเครือข่าย						4,583	4,704

*1 พลังงานความร้อนที่มีค่าเป็น + เป็นพลังงานความร้อนที่สายให้ออกมา, - เป็นพลังงานความร้อนที่สายต้องรับเข้าไป

*2 ปริมาณเอกเซอร์จีที่มีค่าเป็น + เป็นปริมาณเอกเซอร์จีที่สายให้ออกมา, - เป็นปริมาณเอกเซอร์จีที่สายต้องรับเข้าไป

ตารางที่ 4.15 การไหลของพลังงานในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ผลจากการคำนวณที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$

อุณหภูมิ (K)		Cp (kW/K)		พลังงานความร้อน ที่เกิดขึ้นใน แต่ละช่วง (kW) ^{*1}	ปริมาณพลังงานในแต่ละช่วง	
สายร้อน	สายเย็น	สายร้อน	สายเย็น		ขาเข้า	ขาออก
686.3	0.0					
668.0	0.0	47	0	867	0	867
513.5	508.8	134	0	20,653	867	21,519
468.2	463.5	134	354	-9,970	21,519	11,549
467.8	463.1	47	354	-129	11,549	11,420
465.2	460.5	47	696	-1,681	11,420	9,740
464.7	460.1	148	696	-241	9,740	9,499
435.4	430.7	148	342	-5,690	9,499	3,808
433.3	428.6	101	342	-521	3,808	3,287
389.4	384.8	101	0	4,423	3,287	7,710
348.3	343.6	101	266	-6,778	7,710	932
345.7	341.0	0	266	-704	932	227
345.3	340.6	0	501	-215	227	12
345.2	340.5	0	235	-12	12	0
345.1	340.4	56,426	235	5,619	0	5,620
321.8	317.1	147	235	-2,040	5,620	3,579
315.0	0.0	147	0	1,004	3,579	4,583

*1 พลังงานความร้อนที่มีค่าเป็น + เป็นพลังงานความร้อนที่สายให้ออกมา, - เป็นพลังงานความร้อนที่สายต้องรับเข้าไป

ตารางที่ 4.16 ผลการออกแบบเครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 4.7\text{K}$

บริเวณ	รูปแบบ ที่	ลำดับที่	สายร้อน				สายเย็น				ปริมาณ พลังงานความ ร้อน (kW)
			สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		
					ขาเข้า	ขาออก			ขาเข้า	ขาออก	
เหนือ จุดพินช์	1	1	4	86	667.8	468.2	9	354	460.1	508.8	17,241
		2	3	47	685.3	435.4	8	342	428.6	463.1	11,813
		3	2	101	464.7	348.3	7	266	340.6	384.8	11,748
		4	4	86	668.0	667.8	6	235	340.5	340.6	15
		5	3	47	686.3	685.3	6	235	340.6	340.8	50
		6	2	101	465.2	464.7	6	235	340.8	341.0	49
ใต้ จุดพินช์	1	1	1	56,278	345.2	345.1	6	235	317.1	340.5	5,496
		2	5	147	345.2	315.0	Cooler	-	-	-	4,450
		3	1	56,278	345.1	345.1	Cooler	-	-	-	132

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 ผลที่ได้จากการรวมเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
บริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครือข่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$

สายร้อน				สายเย็น				ปริมาณ พลังงานความ ร้อน (kW)
สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		
		ขาเข้า	ขาออก			ขาเข้า	ขาออก	
4	86	667.8	468.2	9	354	460.1	508.8	17,241
3	47	685.3	435.4	8	342	428.6	463.1	11,813
2	101	464.7	348.3	7	266	340.6	384.8	11,748
4	86	668.0	667.8	6	235	340.5	340.6	15
3	47	686.3	685.3	6	235	340.6	340.8	50
2	101	465.2	464.7	6	235	340.8	341.0	49
จุดพินช์								
1	56,278	345.2	345.1	6	235	317.1	340.5	5,496
5	147	345.2	315.0	Cooler	-	-	-	4,450
1	56,278	345.1	345.1	Cooler	-	-	-	132

ตารางที่ 4.18 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียของแต่ละสาย
จากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครือข่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$

สายที่	สายร้อน				สายที่	สายเย็น			
	อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)		อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)
	ขาเข้า	ขาออก				ขาเข้า	ขาออก		
4	668.0	667.8	15	8	6	340.5	340.6	-15	-2
2	465.2	464.7	49	17	6	340.8	341.0	-49	-6
3	686.3	685.3	50	28	6	340.6	340.8	-50	-6
1	345.1	345.1	132	18	Cooler	-	-	-	-
5	345.2	315.0	4,450	430	Cooler	-	-	-	-
1	345.2	345.1	5,496	751	6	317.1	340.5	-5,496	-513
2	464.7	348.3	11,748	3,077	7	340.6	384.8	-11,748	-2,083
3	685.3	435.4	11,813	5,424	8	428.6	463.1	-11,813	-3,913
4	667.8	468.2	17,241	8,101	9	460.1	508.8	-17,241	-6,626
รวม			50,994	17,853				-46,411	-13,149
ปริมาณที่สูญเสีย (kW)								4,583	4,704

ตารางที่ 4.19 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$

บริเวณ	สายที่	สายร้อน				สายที่	สายเย็น			
		อุณหภูมิ (K)		พลังงานความร้อน (kW)	ปริมาณเอกเซอร์จี (kW)		อุณหภูมิ (K)		พลังงานความร้อน (kW)	ปริมาณเอกเซอร์จี (kW)
		ขาเข้า	ขาออก				ขาเข้า	ขาออก		
เหนือจุดพินช์	2	466.3	348.3	11,807	3,108	7	342.5	386.8	-11,807	-2,146
	3	685.7	429.5	11,961	5,452	8	419.6	454.8	-11,961	-3,804
	4	658.0	468.1	17,152	7,987	9	454.8	503.6	-17,152	-6,476
	รวม			40,920	16,547	รวม			-40,920	-12,426
	ปริมาณการสูญเสียบริเวณเหนือจุดพินช์								0	4,121
ใต้จุดพินช์	1	345.2	345.1	5,628	769	6	318.5	342.45	-5,628	-551
	5	345.2	315	4,451	430	Cooler	-	-	-	-
	รวม			10,079	1,199	รวม			-5,628	-551
	ปริมาณการสูญเสียบริเวณใต้จุดพินช์								4,451	648

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$

บริเวณ	สายที่	สายร้อน				สายที่	สายเย็น			
		อุณหภูมิ (K)		พลังงานความร้อน (kW)	ปริมาณเอกเซอร์จี (kW)		อุณหภูมิ (K)		พลังงานความร้อน (kW)	ปริมาณเอกเซอร์จี (kW)
		ขาเข้า	ขาออก				ขาเข้า	ขาออก		
เหนือ จุดพินช์	4	663.5	468.2	17,221	8,060	9	462.8	510.9	-17,221	-6,671
	3	685	429.5	14,401	6,560	8	423.9	462.8	-14,401	-4,715
	2	460.8	346.3	11,672	2,994	7	342.2	386.1	-11,672	-2,108
	4	663.6	663.5	4	2	7	386.1	386.1	-4	-1
	3	686.3	685	76	43	7	386.1	386.4	-76	-17
	รวม				43,374	17,660	รวม		-43,374	-13,513
	ปริมาณการสูญเสียบริเวณเหนือจุดพินช์									0
ใต้ จุดพินช์	2	346.3	345.3	101	14	6	340.3	340.8	-101	-13
	1	345.4	345.3	5,206	714	6	317.9	340.3	-5,206	-490
	5	345	315	4,355	420	Cooler	-	-	-	-
	1	345.3	345.3	333	46	Cooler	-	-	-	-
	รวม				9,995	1,193	รวม		-5,307	-503
	ปริมาณการสูญเสียบริเวณใต้จุดพินช์									4,688

ตารางที่ 4.21 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ที่สภาวะการดำเนินงานจริง (วันที่ 5 ธันวาคม 2542) ภายใต้เครือข่ายที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

บริเวณ	สายที่	สายร้อน				สายที่	สายเย็น			
		อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)		อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)
		ขาเข้า	ขาออก				ขาเข้า	ขาออก		
เหนือ จุดพินช์	2	460.8	345.3	11,774	3,008	7	342.5	386.4	-11,678	-2,118
	3	686.3	429.5	14,477	6,604	8	423.9	462.8	-14,401	-4,716
	4	663.6	468.2	17,225	8,062	9	462.8	510.9	-17,221	-6,672
	1	345.4	345.3	5,539	759	Cooler	-	-	-	-
	รวม				49,015	18,433	รวม		-43,301	-13,505
	ปริมาณการสูญเสียบริเวณเหนือจุดพินช์								5,715	4,928
ใต้ จุดพินช์	Heater	-	-	-	-	6	317.9	340.8	-5,307	-503
	5	345.0	315.0	4,355	420	7	342.2	342.5	-74	-10
	รวม				4,355	420	รวม		-5,381	-513
	ปริมาณการสูญเสียบริเวณใต้จุดพินช์								-1,026	-93
ปริมาณการสูญเสียจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน								6,741	5,021	

ตารางที่ 4.22 ผลการคำนวณหาความเป็นไปได้ในการลงทุนของรูปที่ 4.8

กรณี	สายร้อน	สายเย็น	พลังงานความร้อน (kW)	พื้นที่ (m ²)	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (US\$)		
					ณ ปี 1990	ณ ปีปัจจุบัน	
1	1	Cooler	232	52	6,553	13,760	
1	1	6	5,307	3,657	15,582	32,721	
1	2	Cooler	101	22	6,484	13,618	
1	2	7	11,672	4,230	17,090	35,889	
1	3	8	14,401	2,161	11,707	24,585	
1	3	7	76	2	6,437	13,518	
1	4	9	17,221	3,455	15,051	31,607	
0	4	7	4	0.13	6,432	13,507	
1	5	Cooler	4,355	1,619	10,339	21,712	
ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด (\$US)						54,401	
ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในแต่ละปี (\$US)						122,521	
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						0.50	

ตารางที่ 4.23 ผลการคำนวณหาความเป็นไปได้ในการลงทุนของรูปที่ 4.9

กรณี	สายร้อน	สายเย็น	พลังงานความร้อน (kW)	พื้นที่ (m ²)	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (US\$)		
					ณ ปี 1990	ณ ปีปัจจุบัน	
1	2	7	11,672	4,230	17,090	35,889	
1	3	8	14,401	2,161	11,707	24,585	
1	3	7	76	2	6,437	13,518	
1	4	9	17,221	3,455	15,051	31,607	
1	4	7	4	0	6,432	13,507	
3	1	Cooler	333	76	6,605	13,871	
3	1	6	5,206	3,472	15,095	31,700	
3	2	6	101	169	6,826	14,335	
3	5	Cooler	4,355	1,711	10,339	21,712	
ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด (US\$)						55,231	
ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในแต่ละปี (US\$)						122,251	
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						0.50	

ตารางที่ 4.24 ข้อมูลของสายแต่ละสายที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน
สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

ลำดับที่	ประเภท	อุณหภูมิ (K)		ค่าความจุความร้อน (kW/K)
		ขาเข้า	ขาออก	
1	สายร้อน	473	308	3.8
2	สายร้อน	473	293	2
3	สายเย็น	303	453	4
4	สายเย็น	323	324	532
5	สายเย็น	283	453	2.2

ตารางที่ 4.25 ผลการออกแบบเครือข่ายโดยใช้เทคโนโลยีพินซ์สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

สายร้อน				สายเย็น				ปริมาณ พลังงาน ความร้อน (kW)
สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		สายที่	Cp (kW/K)	อุณหภูมิ (K)		
		ขาเข้า	ขาออก			ขาเข้า	ขาออก	
1	4	473.0	470.9	4	532	323.0	323.0	8
Heater	-	-	-	5	2	448.5	453.0	10
2	2	473.0	313.0	5	2	303.0	448.5	320
Heater	-	-	-	4	532	323.0	324.0	524
1	4	470.9	313.0	3	4	303.0	453.0	600
2	2	300.5	293.0	Cooler	-	-	-	15
1	4	313.0	308.0	5	2	294.4	303.0	19
2	2	313.0	300.5	5	2	283.0	294.4	25

*หมายเหตุ บริเวณที่แรเงาคือบริเวณที่สามารถเกิดการปรับเปลี่ยน

ตารางที่ 4.26 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ของกรณีศึกษาที่ 1 ก่อนทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงาน

สายที่	สายร้อน				สายที่	สายเย็น			
	อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)		อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)
	ขาเข้า	ขาออก				ขาเข้า	ขาออก		
1	473.0	470.9	8.0	3.3	4	323.0	323.0	-8.0	-1.1
Heater	463	460	10.0	3.9	5	448.5	453.0	-10.0	-3.8
2	473.0	313.0	320.0	88.8	5	303.0	448.5	-320.0	-78.5
Heater	334	333	524.0	84.1	4	323.0	324.0	-524.0	-70.5
1	470.9	313.0	600.0	165.4	3	303.0	453.0	-600.0	-149.6
2	300.5	293.0	15.0	0.8	Cooler	283.0	290.5	-15.0	-0.6
1	313.0	308.0	19.0	1.9	5	294.4	303.0	-19.0	-1.2
2	313.0	300.5	25.0	2.2	5	283.0	294.4	-25.0	-0.7
รวม			1,521	350				-1,521	-306
ปริมาณที่สูญเสีย (kW)								0	45

*หมายเหตุ บริเวณที่แรเงาคือบริเวณที่เกิดการปรับเปลี่ยน

ตารางที่ 4.27 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ของกรณีศึกษาที่ 1 หลังทำการปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงาน

สายที่	สายร้อน				สายที่	สายเย็น			
	อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)		อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)
	ขาเข้า	ขาออก				ขาเข้า	ขาออก		
1	473.0	470.9	8.0	3.3	4	324.0	324.0	-8.0	-1.1
Heater	463	460	10.0	3.9	5	448.5	453.0	-10.0	-3.8
2	473.0	313.0	320.0	88.8	5	303.0	448.5	-320.0	-78.5
Heater	334	333	524.0	84.1	4	323.0	324.0	-524.0	-70.5
1	470.9	313.0	600.0	165.4	3	303.0	453.0	-600.0	-149.6
2	313.0	305.5	15.0	0.8	Cooler	295.5	303.0	-15.0	-1.0
1	313.0	308.0	19.0	1.9	5	294.4	303.0	-19.0	-1.2
2	305.5	293.0	25.0	2.2	5	283.0	294.4	-25.0	-0.7
รวม			1,521	350				-1,521	-306
ปริมาณที่สูญเสีย (kW)								0	44

*หมายเหตุ บริเวณที่แรเงาคือบริเวณที่เกิดการปรับเปลี่ยน

ตารางที่ 4.28 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสีย
จากเครือข่ายของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ ก่อนทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงาน

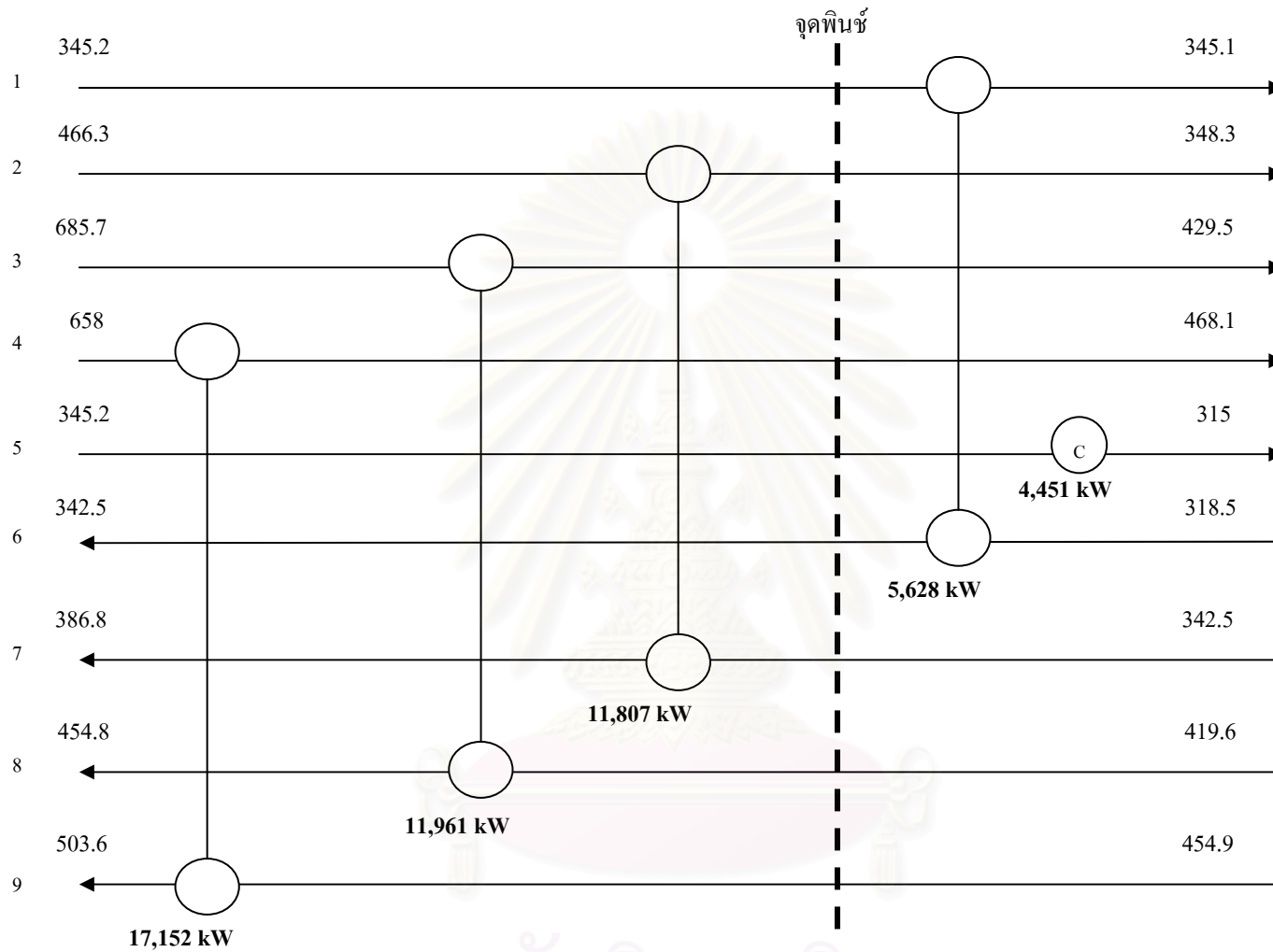
สายที่	สายร้อน				สายที่	สายเย็น			
	อุณหภูมิ (K)		พลังงานความร้อน (kW)	ปริมาณเอกเซอร์จี (kW)		อุณหภูมิ (K)		พลังงานความร้อน (kW)	ปริมาณเอกเซอร์จี (kW)
	ขาเข้า	ขาออก				ขาเข้า	ขาออก		
2	460.78	346.32	11,672	2,994	7	342.22	386.09	-11,672	-2,109
3	684.98	429.50	14,401	6,560	8	423.94	462.83	-14,401	-4,716
3	686.33	684.98	76	43	7	386.10	386.39	-76	-17
4	663.53	468.17	17,221	8,060	9	462.83	510.89	-17,221	-6,672
4	663.58	663.53	4	2	7	386.09	386.10	-4	-1
1	345.30	345.29	333	46	Cooler	300.00	313.00	-333	-9
1	345.39	345.30	5,206	714	6	317.89	340.34	-5,206	-490
2	346.32	345.33	101	14	6	340.34	340.78	-101	-13
5	345.00	315.00	4,355	420	Cooler	300.00	313.00	-4,355	-120
รวม			53,370	18,853				-53,370	-14,147
ปริมาณที่สูญเสีย (kW)								0	4,706

*หมายเหตุ บริเวณที่แรเงาคือบริเวณที่เกิดการปรับเปลี่ยน

ตารางที่ 4.29 ปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสีย
จากเครือข่ายของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ หลังทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของสายที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน

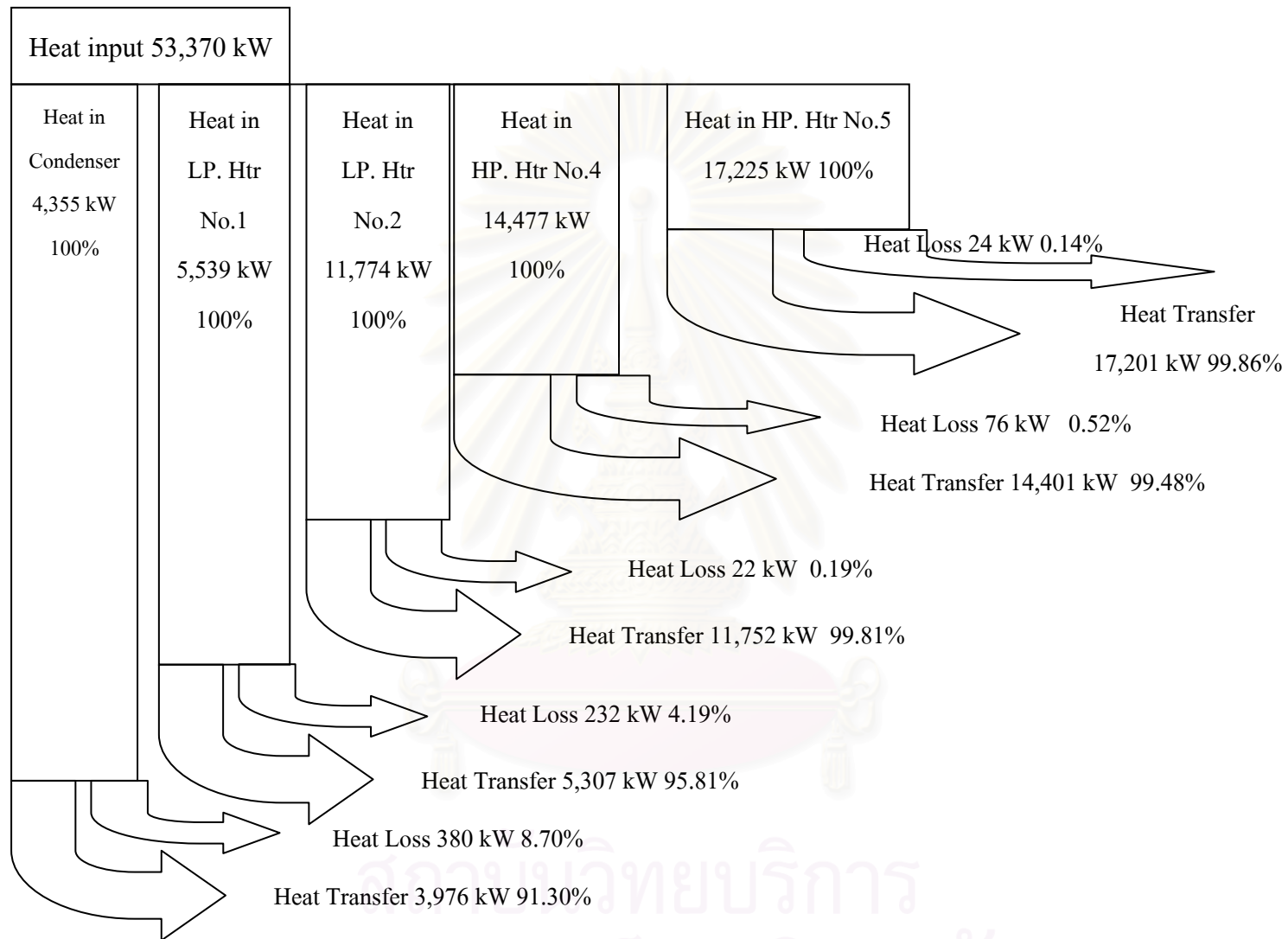
สายที่	สายร้อน				สายที่	สายเย็น			
	อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)		อุณหภูมิ (K)		พลังงาน ความร้อน (kW)	ปริมาณ เอกเซอร์จี (kW)
	ขาเข้า	ขาออก				ขาเข้า	ขาออก		
2	460.78	346.32	11,672	2,994	7	342.22	386.09	-11,672	-2,109
3	684.98	429.50	14,401	6,560	8	423.94	462.83	-14,401	-4,716
3	686.33	684.98	76	43	7	386.10	386.39	-76	-17
4	663.53	468.17	17,221	8,060	9	462.83	510.89	-17,221	-6,672
4	663.58	663.53	4	2	7	386.09	386.10	-4	-1
1	345.38	345.39	333	46	Cooler	300.00	313.00	-333	-9
1	345.29	345.38	5,206	714	6	317.89	340.34	-5,206	-490
2	346.32	345.33	101	14	6	340.34	340.78	-101	-13
5	345.00	315.00	4,355	420	Cooler	300.00	313.00	-4,355	-120
รวม			53,370	18,853			-53,370	-14,147	
ปริมาณที่สูญเสีย (kW)								0	4,706

*หมายเหตุ บริเวณที่แรเงาคือบริเวณที่เกิดการปรับเปลี่ยน

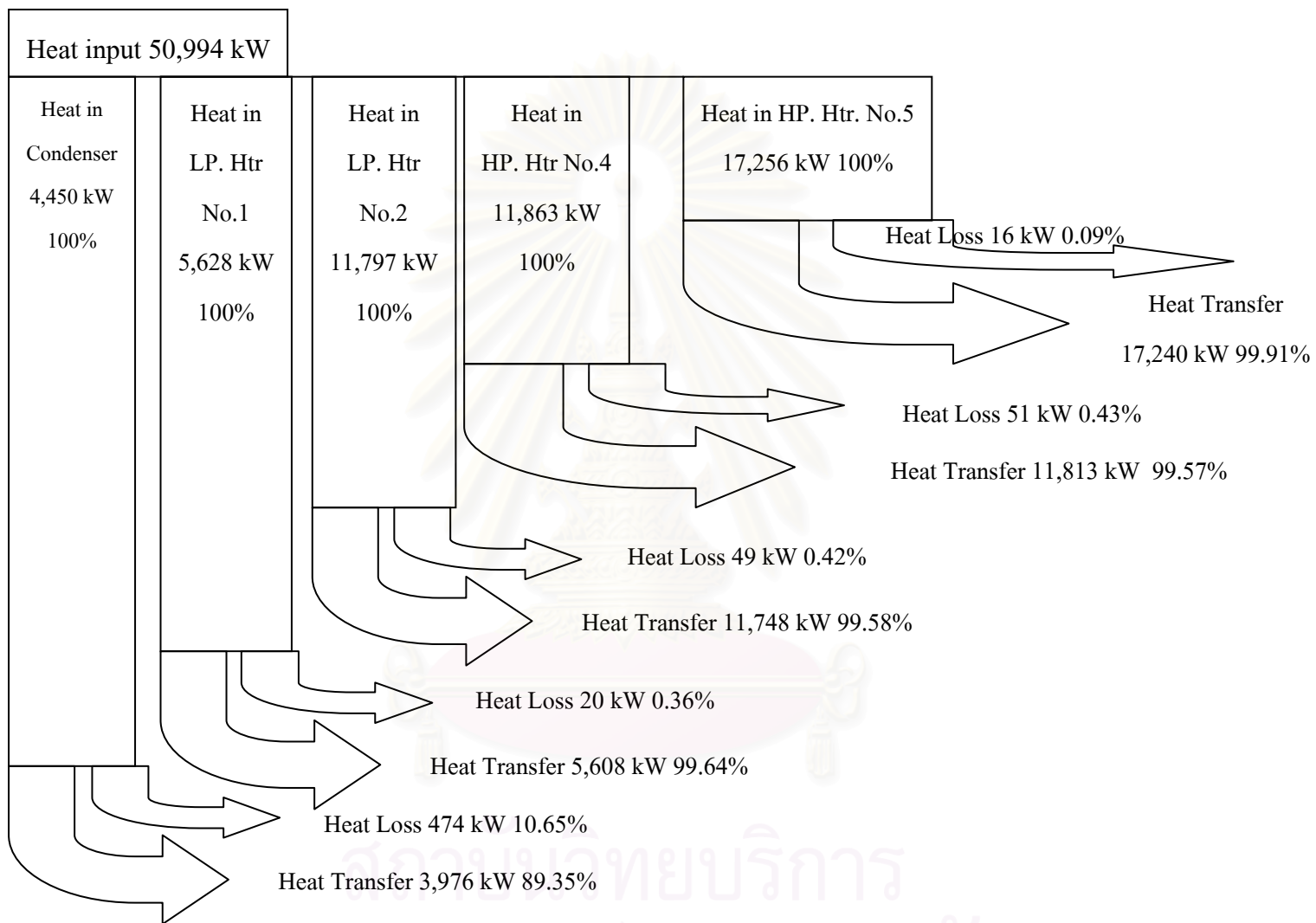


รูปที่ 4.1 เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$

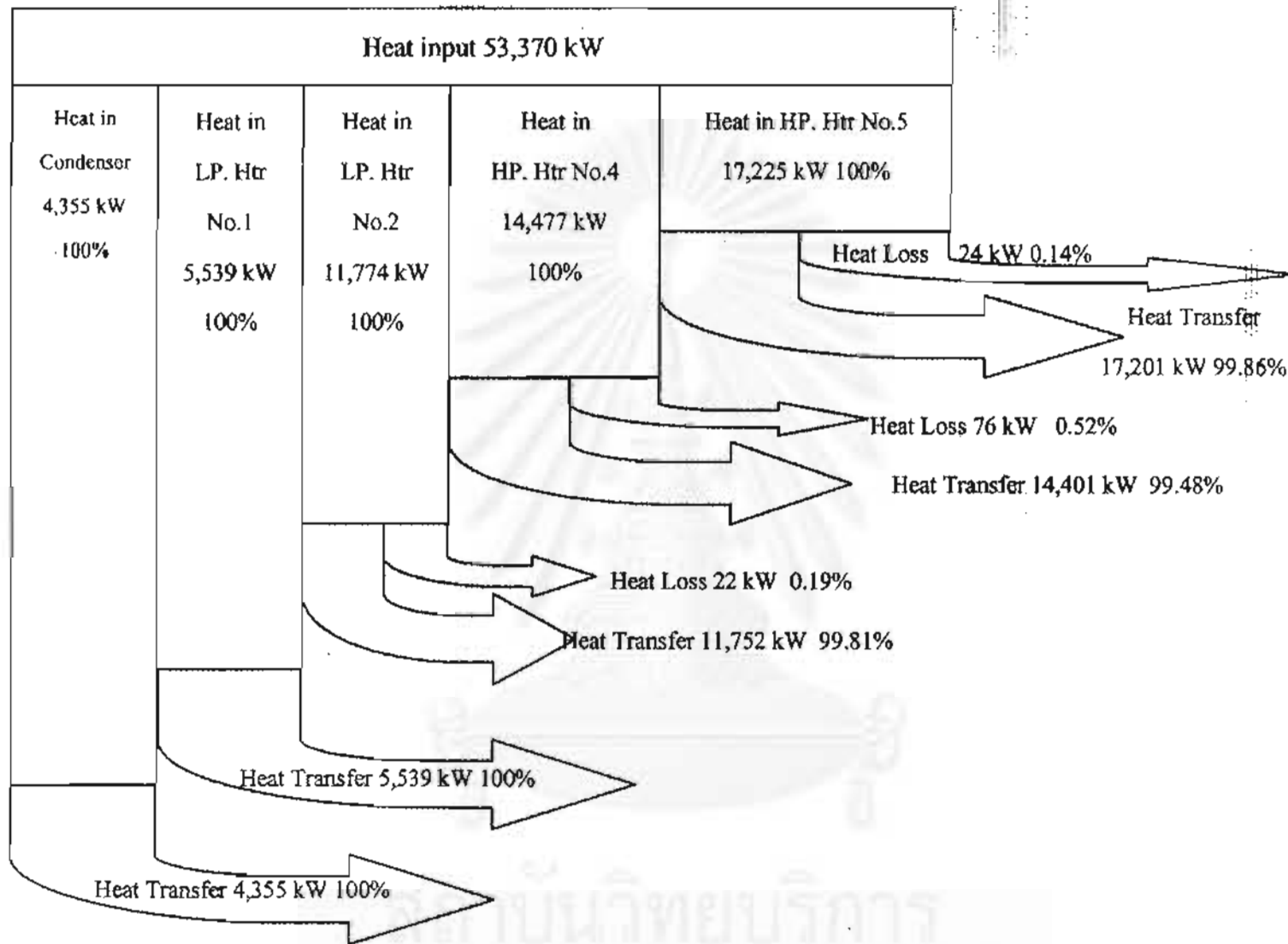
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



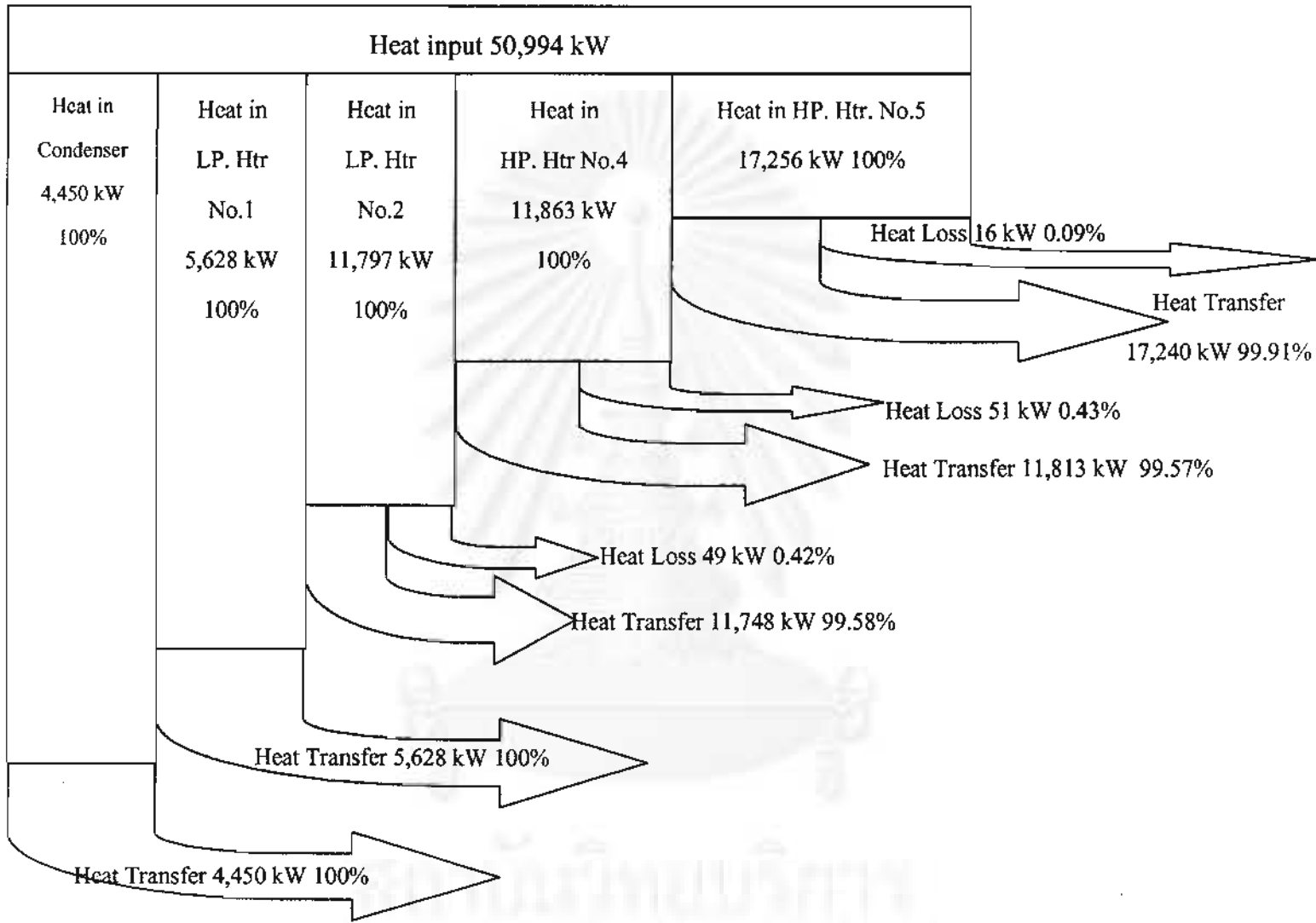
รูปที่ 4.2 ลูกศรพลังงานของเครื่องข่ายวันที่ 5 ธันวาคม 2542 ก่อนทำการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



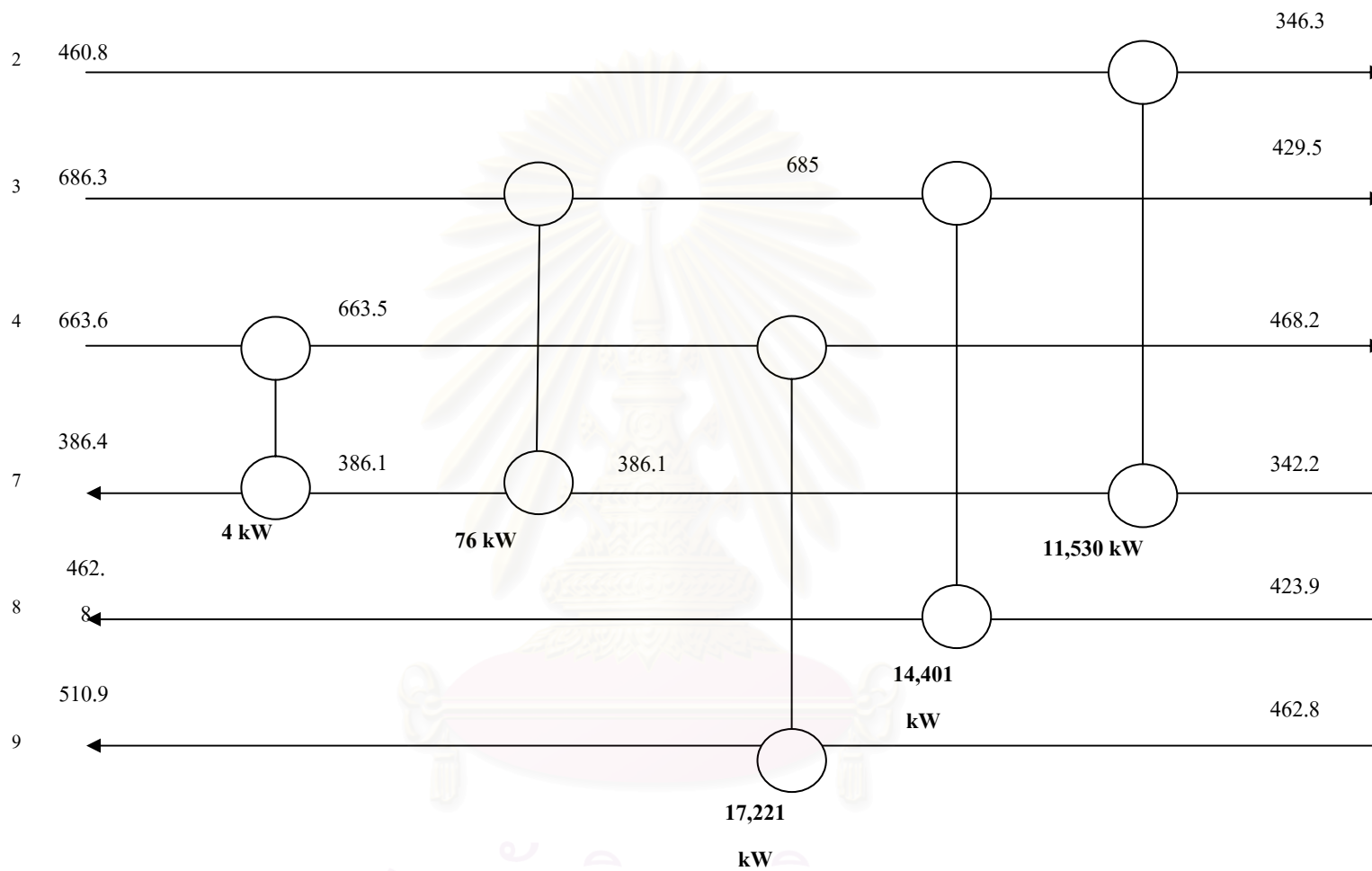
รูปที่ 4.3 ลูกศรพลังงานของเครือข่ายวันที่ 30 พฤศจิกายน 2543 ก่อนทำการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



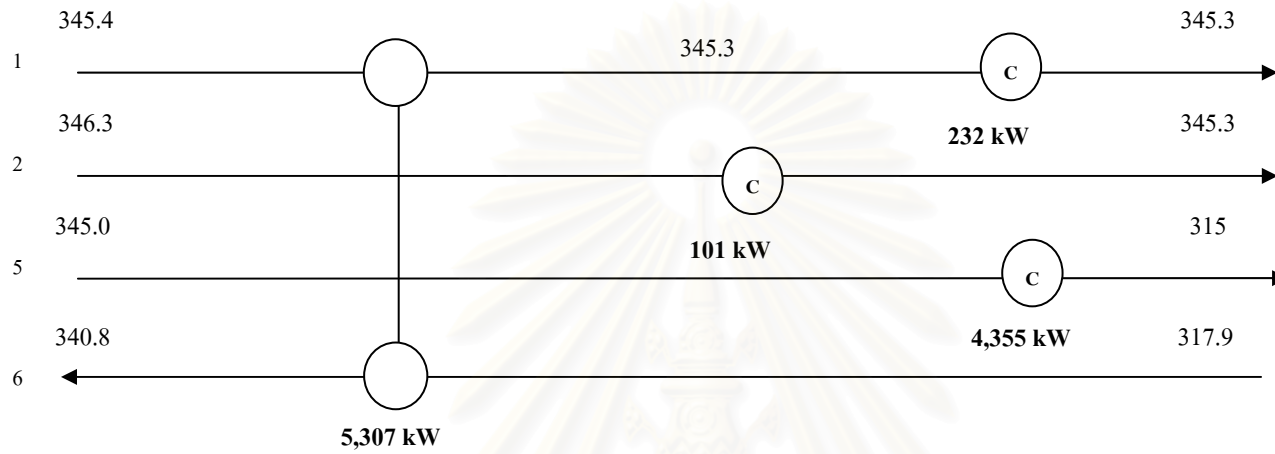
รูปที่ 4.4 ลูกศรพลังงานของเครือข่ายวันที่ 5 ธันวาคม 2542 หลังทำการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



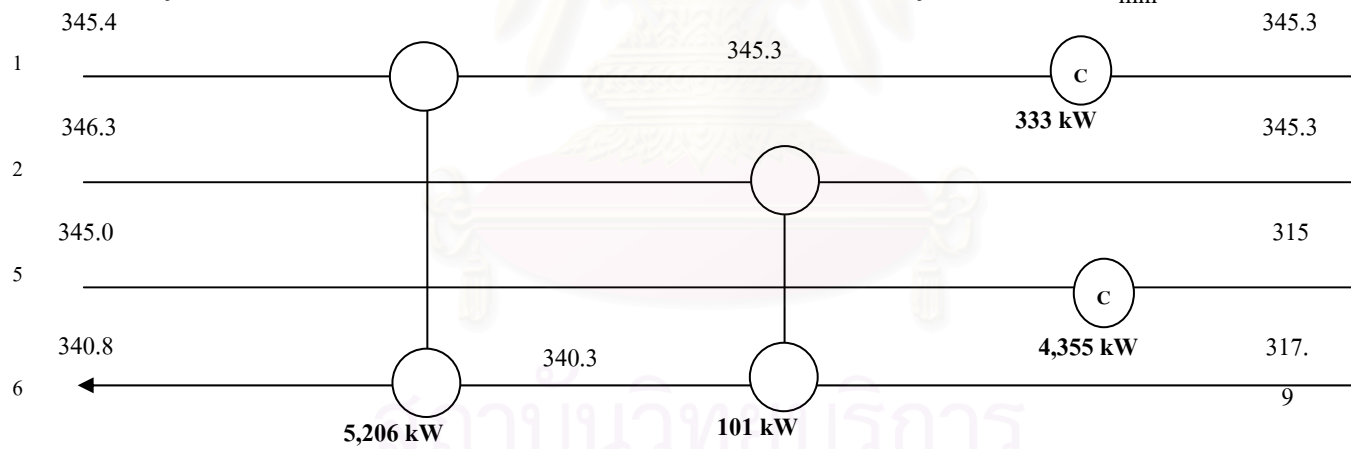
รูปที่ 4.5 ลูกศรพลังงานของเรือข่ายวันที่ 30 พฤศจิกายน 2543 หลังทำการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



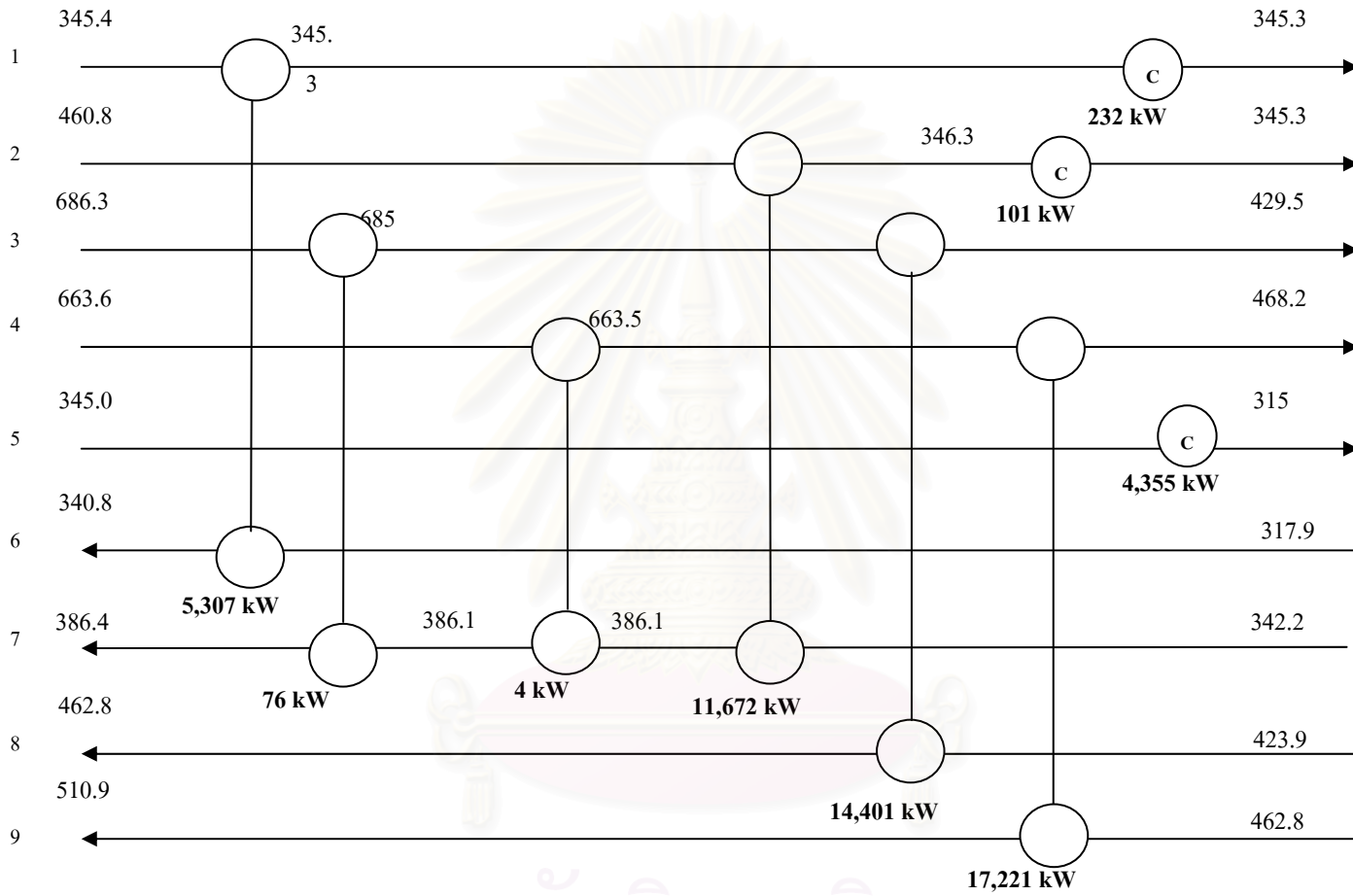
รูปที่ 4.6 เครื่องข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณเหนือจุดพินช์ ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$



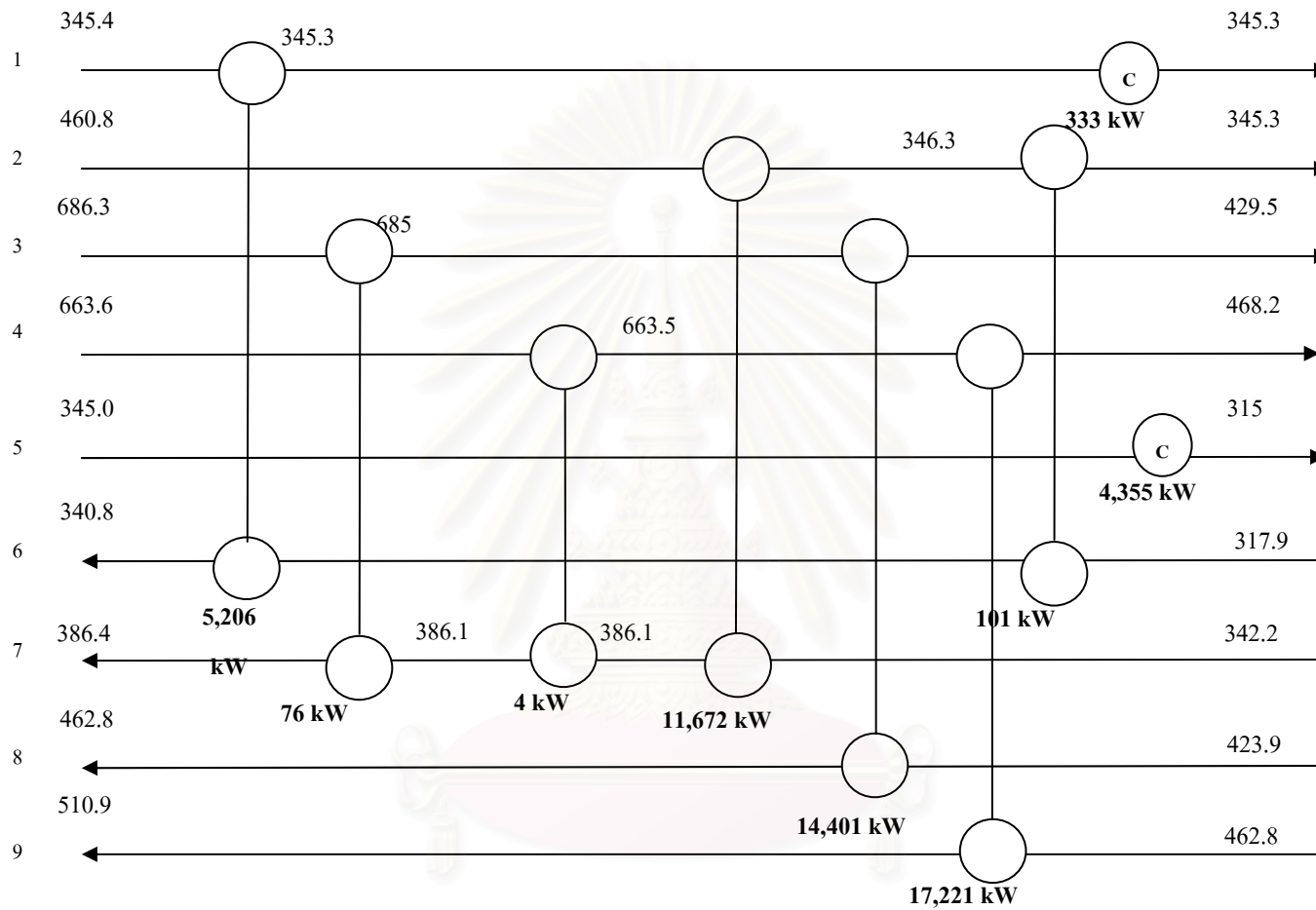
รูปที่ 4.7 (ก) เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$



รูปที่ 4.7 (ข) เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 2 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$

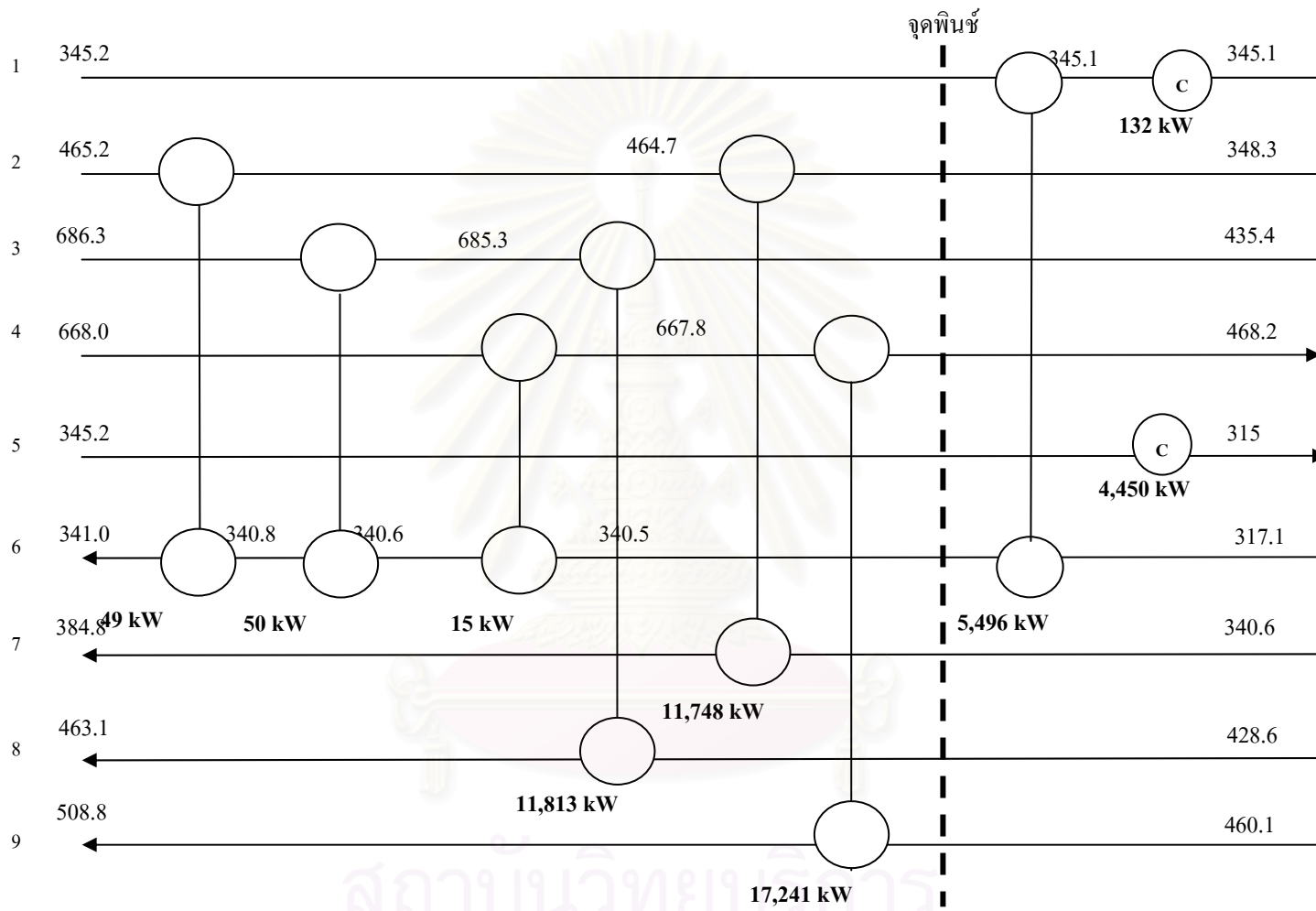


รูปที่ 4.8 เครื่องข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวมจากเครือข่ายบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครือข่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 K$

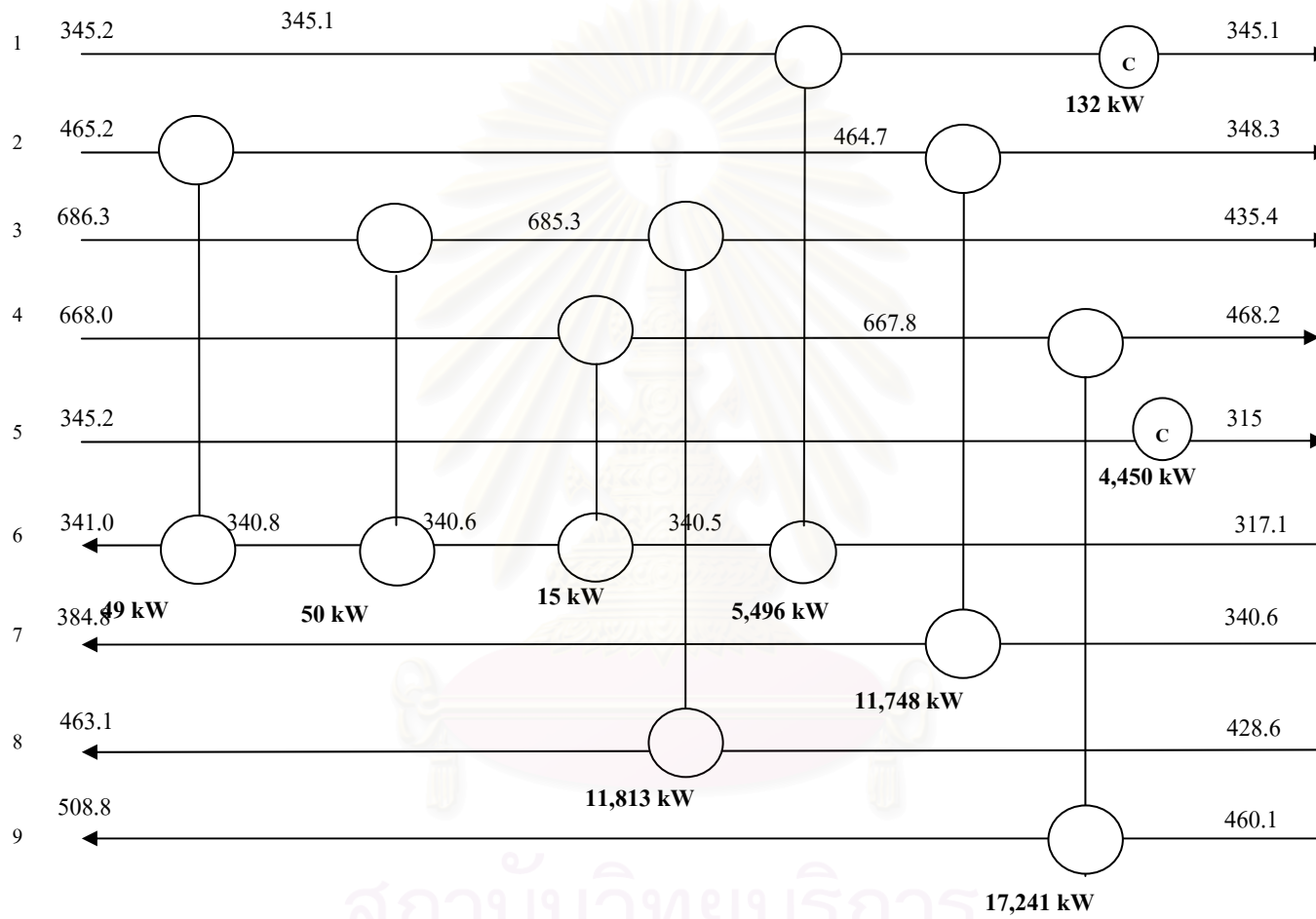


รูปที่ 4.9 เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวมของเครื่องถ่ายบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 2 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 K$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

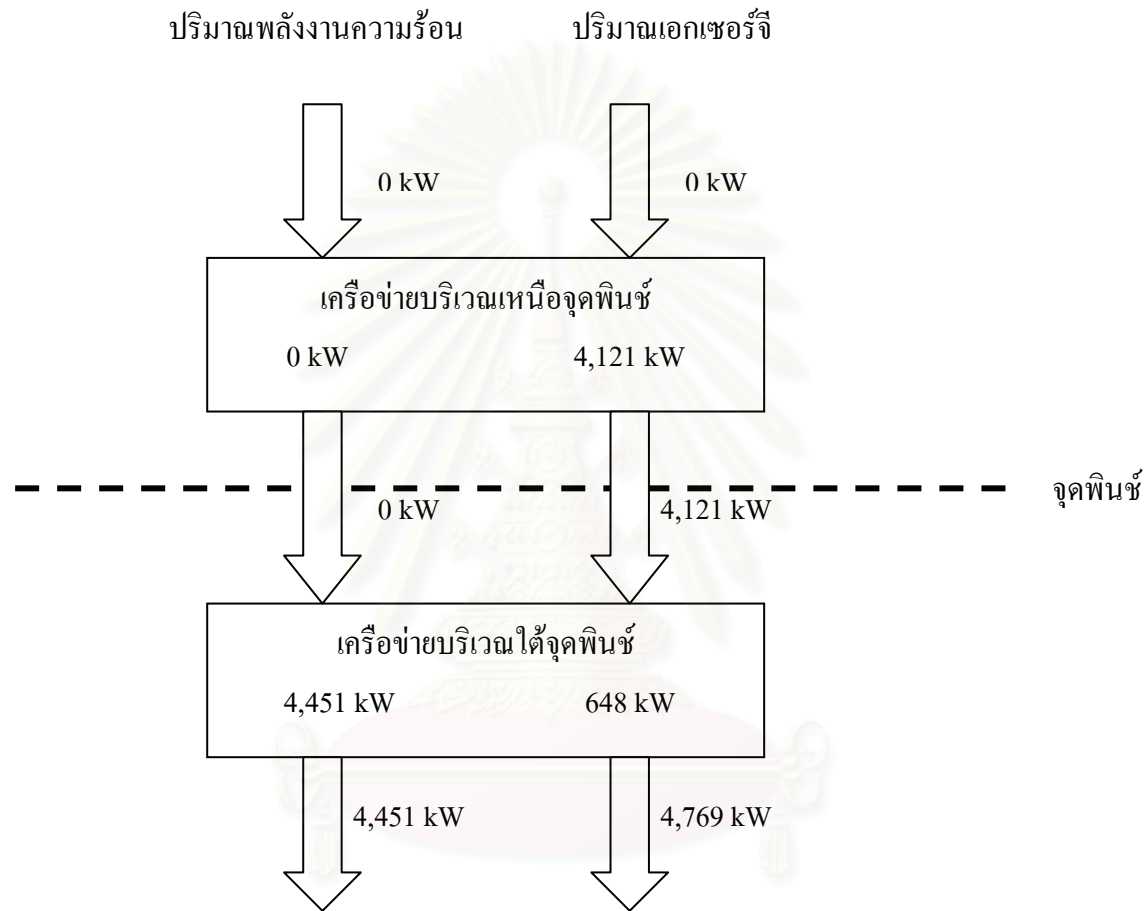


รูปที่ 4.10 เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$



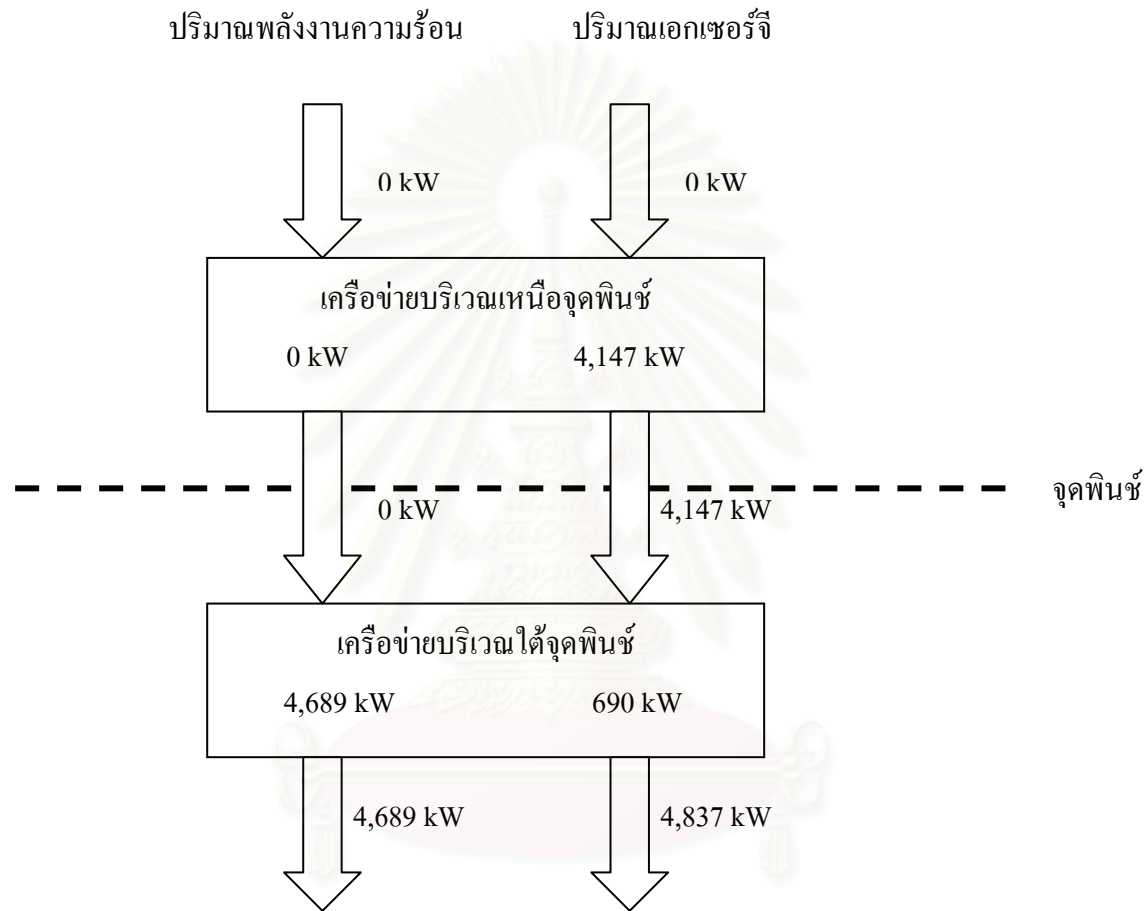
รูปที่ 4.11 เครื่องถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวมของเครื่องถ่ายบริเวณเหนือจุดพินช์รูปแบบที่ 1 กับเครื่องถ่ายบริเวณใต้จุดพินช์รูปแบบที่ 1 ที่ $\Delta T_{\min} = 4.7 \text{ K}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



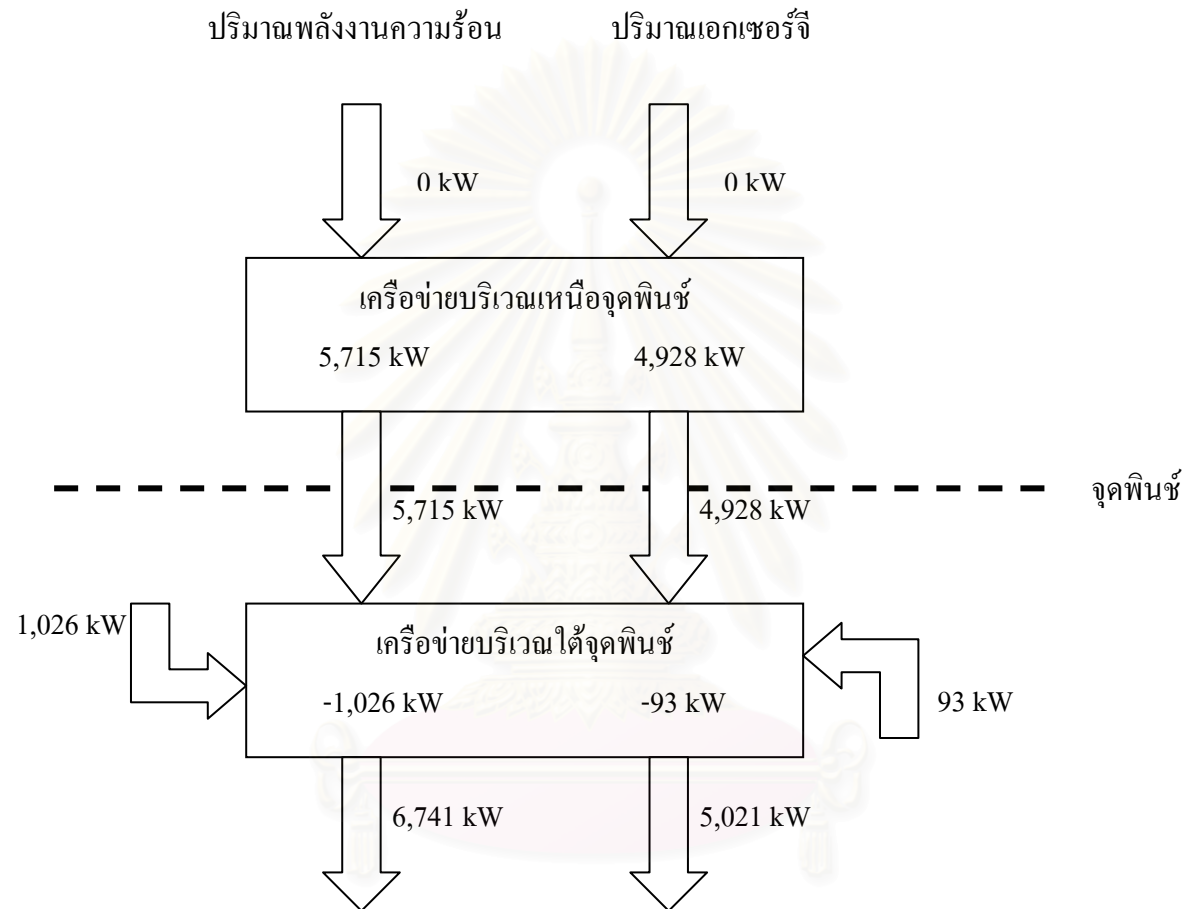
รูปที่ 4.12 การไหลผ่านของปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีจากบริเวณเหนือจุดพิงช์ไปยังบริเวณใต้จุดพิงช์ของเครื่องถ่ายที่ $\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 การไหลผ่านของปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีจากบริเวณเหนือจุดพินช์ไปยังบริเวณใต้จุดพินช์ของเครื่องถ่ายที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 การไหลผ่านของปริมาณพลังงานความร้อนและปริมาณเอกเซอร์จีจากบริเวณเหนือจุดพินช์ไปยังบริเวณใต้จุดพินช์
เมื่อสภาวะการทำงานจริง ($\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$) ไม่ตรงกับสภาวะที่ใช้ในการออกแบบ ($\Delta T_{\min} = 2.8 \text{ K}$)

DataDesign

Economic Data

Marshall_Swift Cost Index	1,075	Mass of Steam for Old Process (kg/h)	150
Over all Coefficient (kW/sq.m K)	0.11	Input Steam Temperature (K)	500
Per cent Installation (25-55%)	40	Output Steam Temperature (K)	500
Per cent Piping (10-30%)	50	Steam Enthalpy (kJ/kg)	2,304
Per cent Instrumentation (6-30%)	20	Mass of Cooling Water for Old Process (kg/h)	391,472
Interest Rate (%)	16	Input cooling water temperature (K)	298
Payback Period (year)	10	Output cooling water temperature (K)	313
Steam Cost (\$US/kg)	\$0.01180	Cooling Water Heat Capacity (kJ/kg K)	4,200
Cooling Cost (\$US/kg)	\$0.00033		

รูปที่ 4.15 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลงทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FinalCalMatch subform								
Hot			Cold			TotalHeat (kW)	Area (m ²)	Accept
Line No.	Temp in (K)	Temp out (K)	Line No.	Temp in (K)	Temp out (K)			
1	345.2932	345.289	Cooler	298	313	232.20	52.05	<input type="checkbox"/>
1	345.389	345.2932	6	317.889	340.778	5,307.16	3,657.17	<input checked="" type="checkbox"/>
2	346.322	345.33	Cooler	298	313	101.16	22.34	<input type="checkbox"/>
2	460.78	346.322	7	342.222	386.0895	11,672.43	4,229.47	<input checked="" type="checkbox"/>
3	684.9796	429.5	8	423.94	462.833	14,401.36	2,160.98	<input checked="" type="checkbox"/>
3	686.33	684.9796	7	386.1046	386.39	75.94	2.24	<input type="checkbox"/>
4	663.5345	468.17	9	462.833	510.89	17,220.75	3,454.92	<input checked="" type="checkbox"/>
4	663.58	663.5345	7	386.0895	386.1046	4.02	0.13	<input type="checkbox"/>
5	345	315	Cooler	298	313	4,355.40	1,618.57	<input checked="" type="checkbox"/>
							0.00	<input type="checkbox"/>

รูปที่ 4.16 การเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถใช้ของเดิมที่มีอยู่ในรูปที่ 4.8 ได้

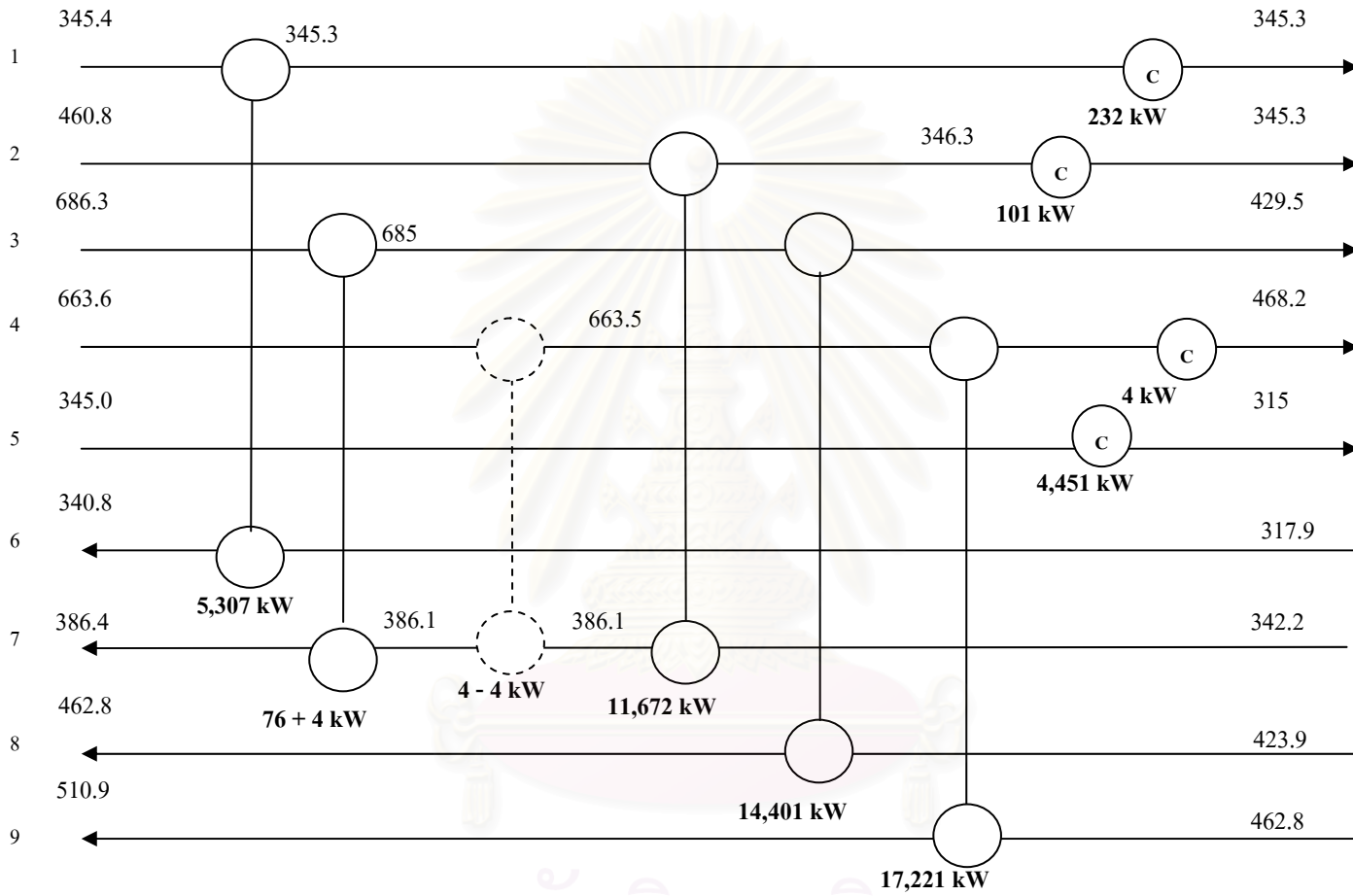
FinalCalMatch subform

Hot			Cold			TotalHeat (JcW)	Area (m2)	Accept
Line No.	Temp in (K)	Temp out (K)	Line No.	Temp in (K)	Temp out (K)			
2	460.78	346.322	7	342.222	386.0895	11,672.43	4,229.47	<input checked="" type="checkbox"/>
3	684.9796	429.5	8	423.94	462.833	14,401.36	2,160.98	<input checked="" type="checkbox"/>
3	686.33	684.9796	7	386.1046	386.39	75.94	2.24	<input type="checkbox"/>
4	663.5345	468.17	9	462.833	510.89	17,220.75	3,454.92	<input checked="" type="checkbox"/>
4	663.58	663.5345	7	386.0895	386.1046	4.02	0.13	<input type="checkbox"/>
1	345.295	345.289	Cooler	298	313	333.37	74.72	<input type="checkbox"/>
1	345.389	345.295	6	317.889	340.3417	5,206.00	3,471.79	<input checked="" type="checkbox"/>
2	346.322	345.33	6	340.3417	340.778	101.16	169.46	<input type="checkbox"/>
5	345	315	Cooler	298	313	4,355.40	1,618.57	<input checked="" type="checkbox"/>
								<input type="checkbox"/>

Save Calculate Investment Exit

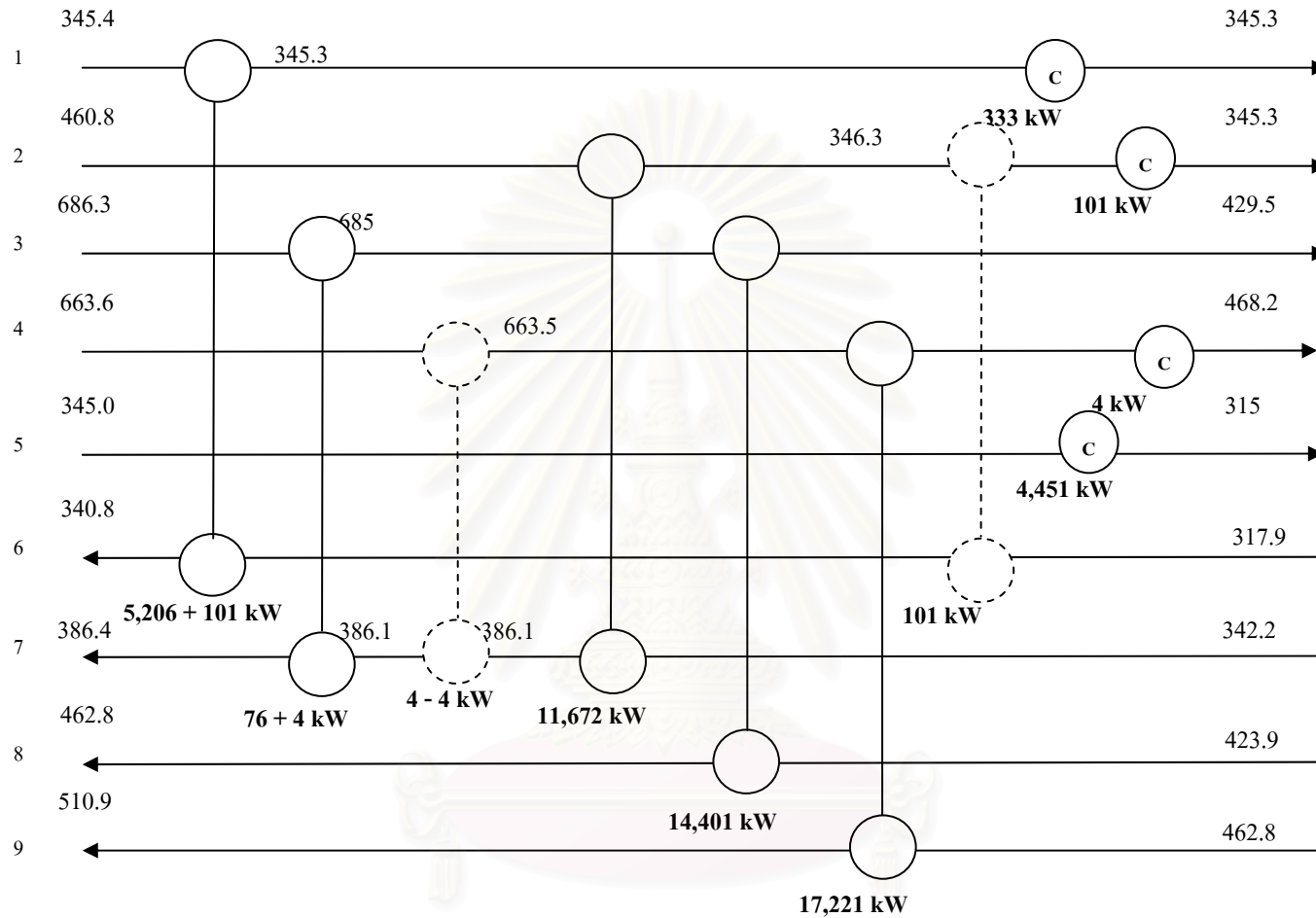
รูปที่ 4.17 การเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถใช้ของเดิมที่มีอยู่ในรูปที่ 4.9 ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



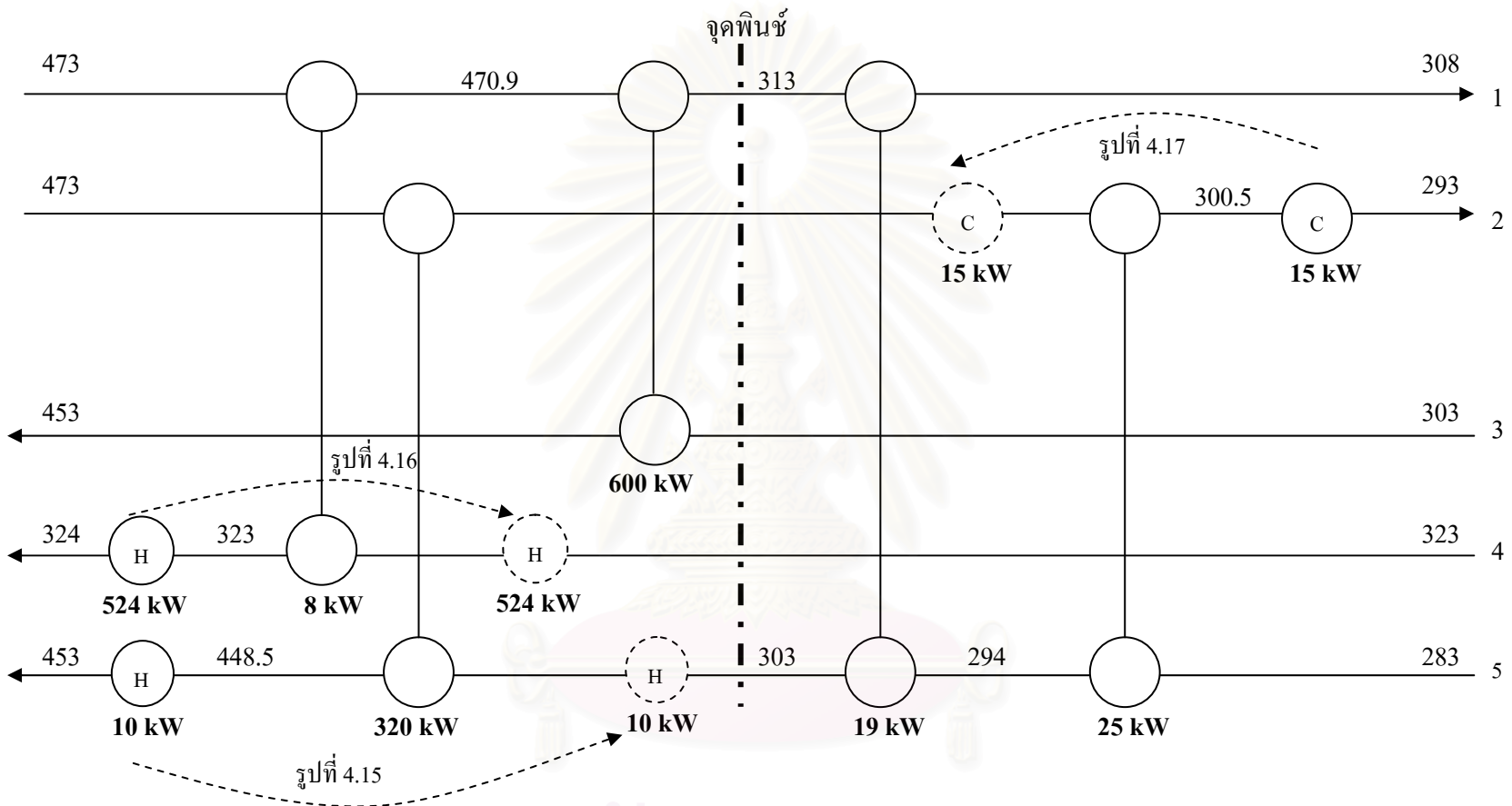
รูปที่ 4.18 การลดจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครือข่ายที่ $\Delta T_{\min} = 4.1\text{K}$ ของรูปที่ 4.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

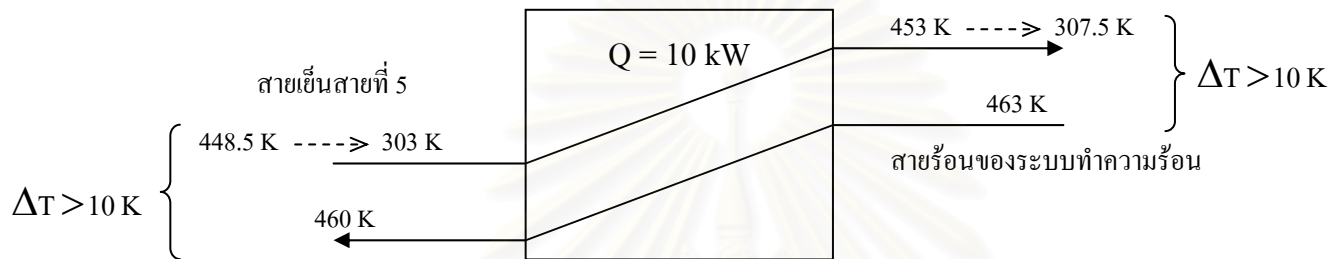


รูปที่ 4.19 การลดจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครือข่ายที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$ ของรูปที่ 4.5

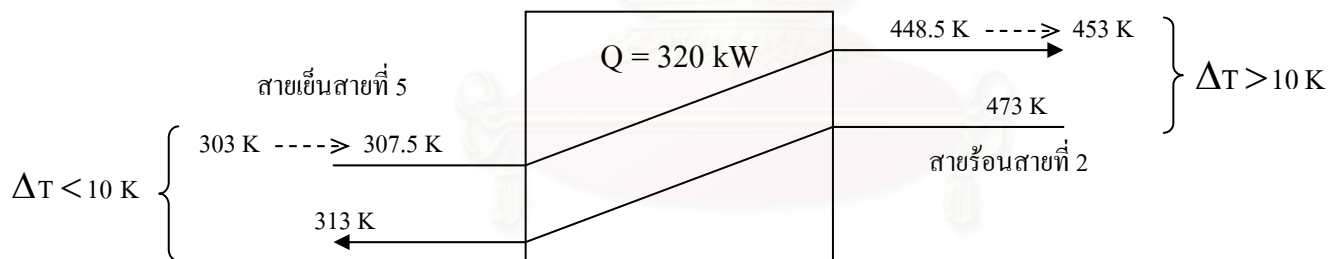
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



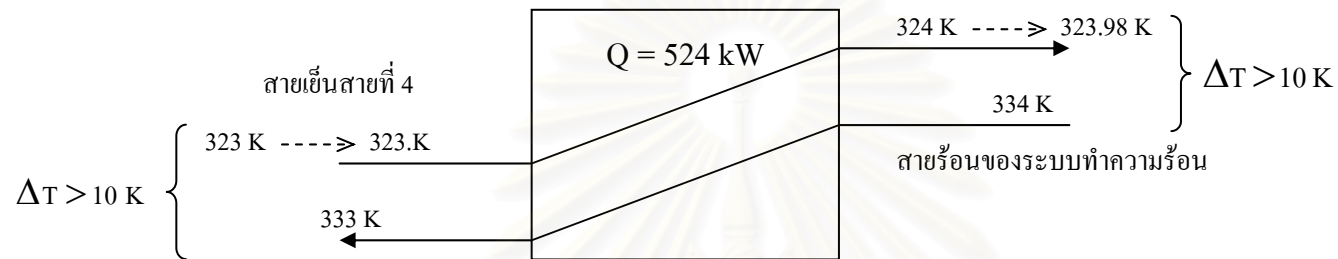
รูปที่ 4.20 เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกรณีศึกษาที่ 1 ก่อนทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงาน



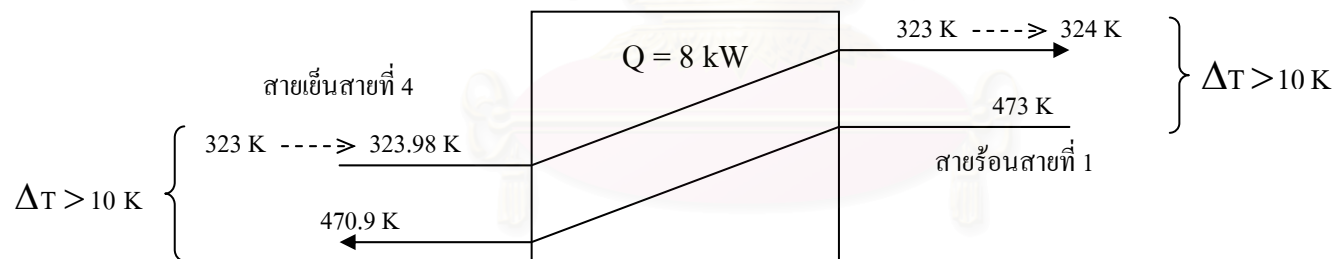
รูปที่ 4.21 (ก) สายเย็นสายที่ 5 กับระบบทำความร้อน ของกรณีศึกษาที่ 1



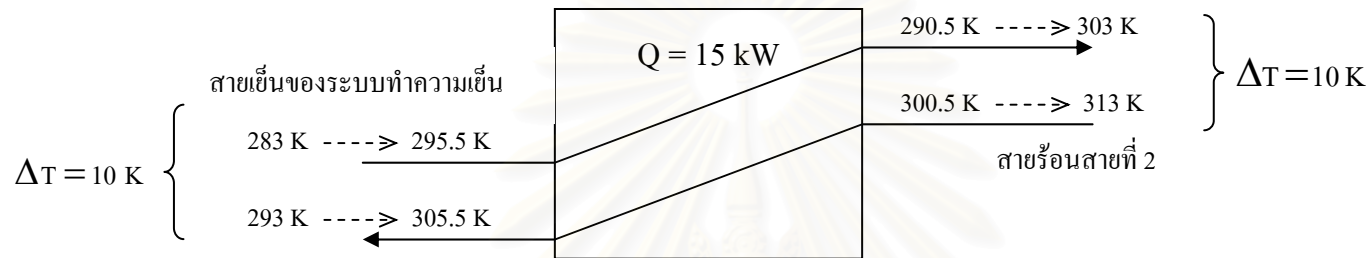
รูปที่ 4.21 (ข) สายเย็นสายที่ 5 กับสายร้อนสายที่ 2 ของกรณีศึกษาที่ 1



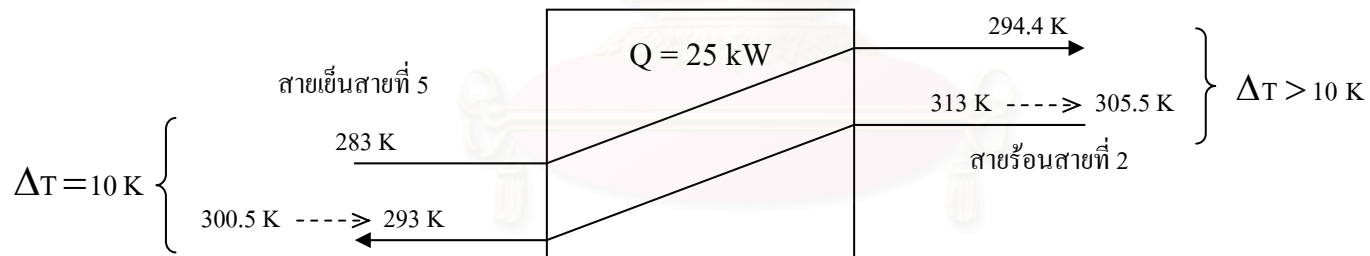
รูปที่ 4.22 (ก) สายเย็นสายที่ 4 กับระบบทำความร้อน ของกรณีศึกษาที่ 1



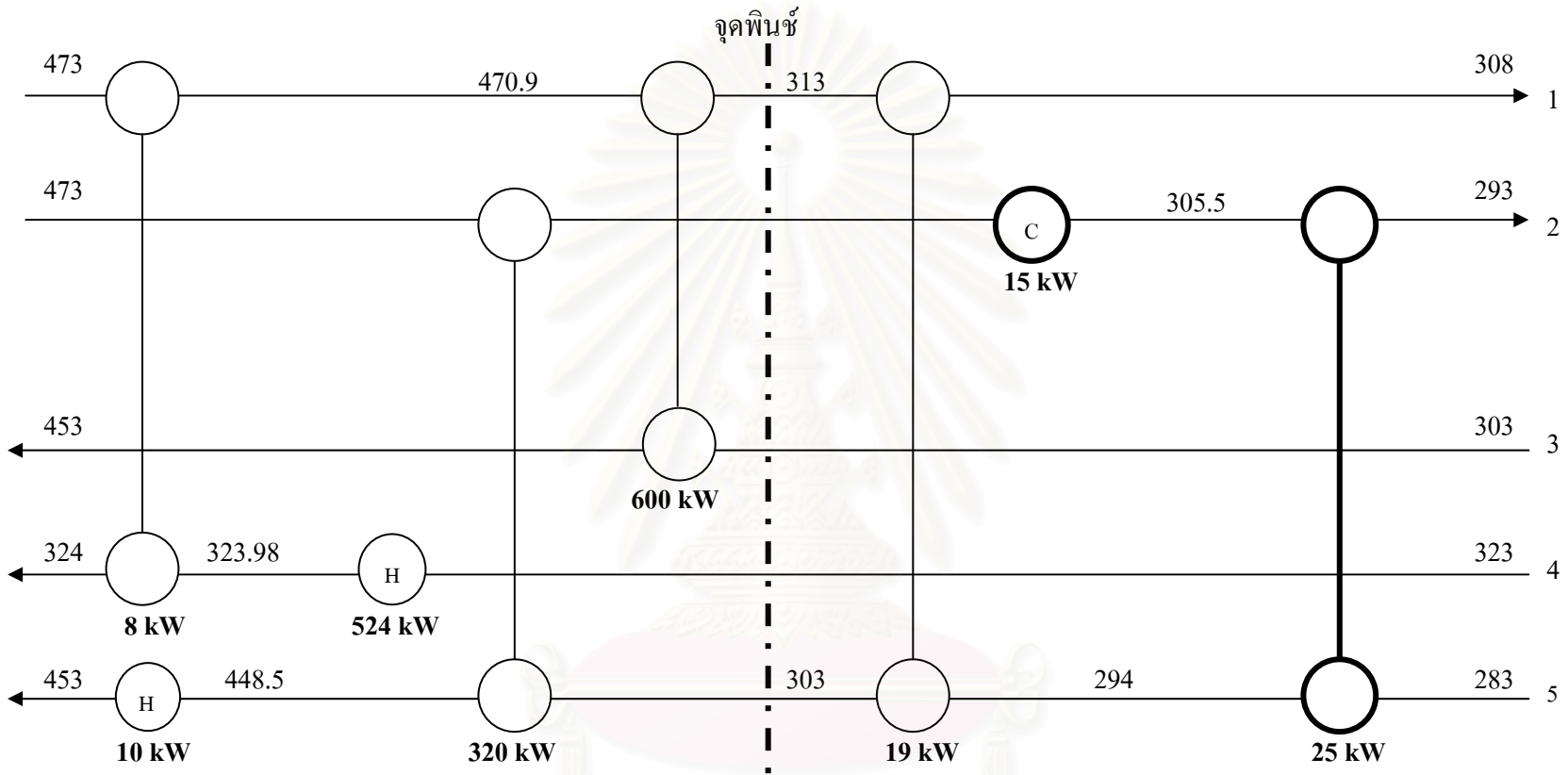
รูปที่ 4.22 (ข) สายเย็นสายที่ 4 กับสายร้อนสายที่ 1 ของกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.23 (ก) สายร้อนสายที่ 2 กับระบบทำความเย็น ของกรณีศึกษาที่ 1

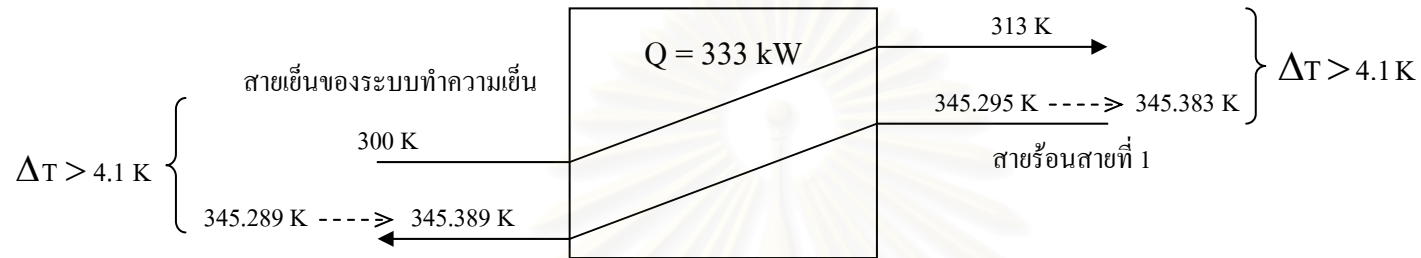


รูปที่ 4.23 (ข) สายร้อนสายที่ 2 กับสายนํ้าเย็นสายที่ 5 ของกรณีศึกษาที่ 1

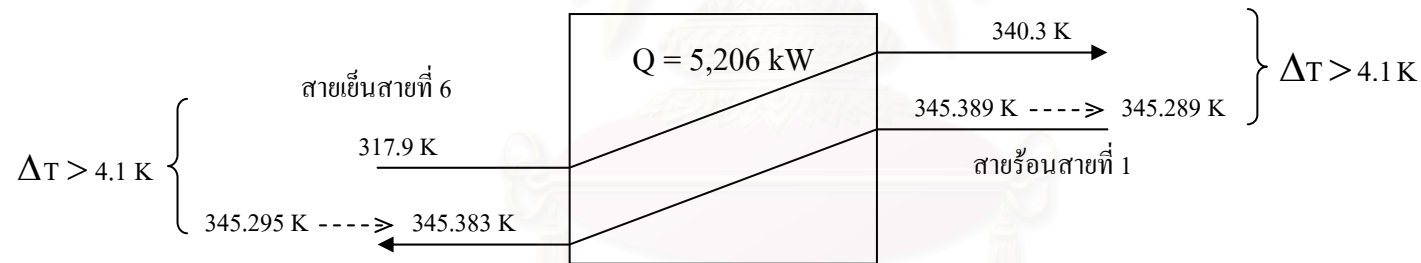


รูปที่ 4.24 เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกรณีศึกษาที่ 1 หลังทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของระบบทำความเย็น

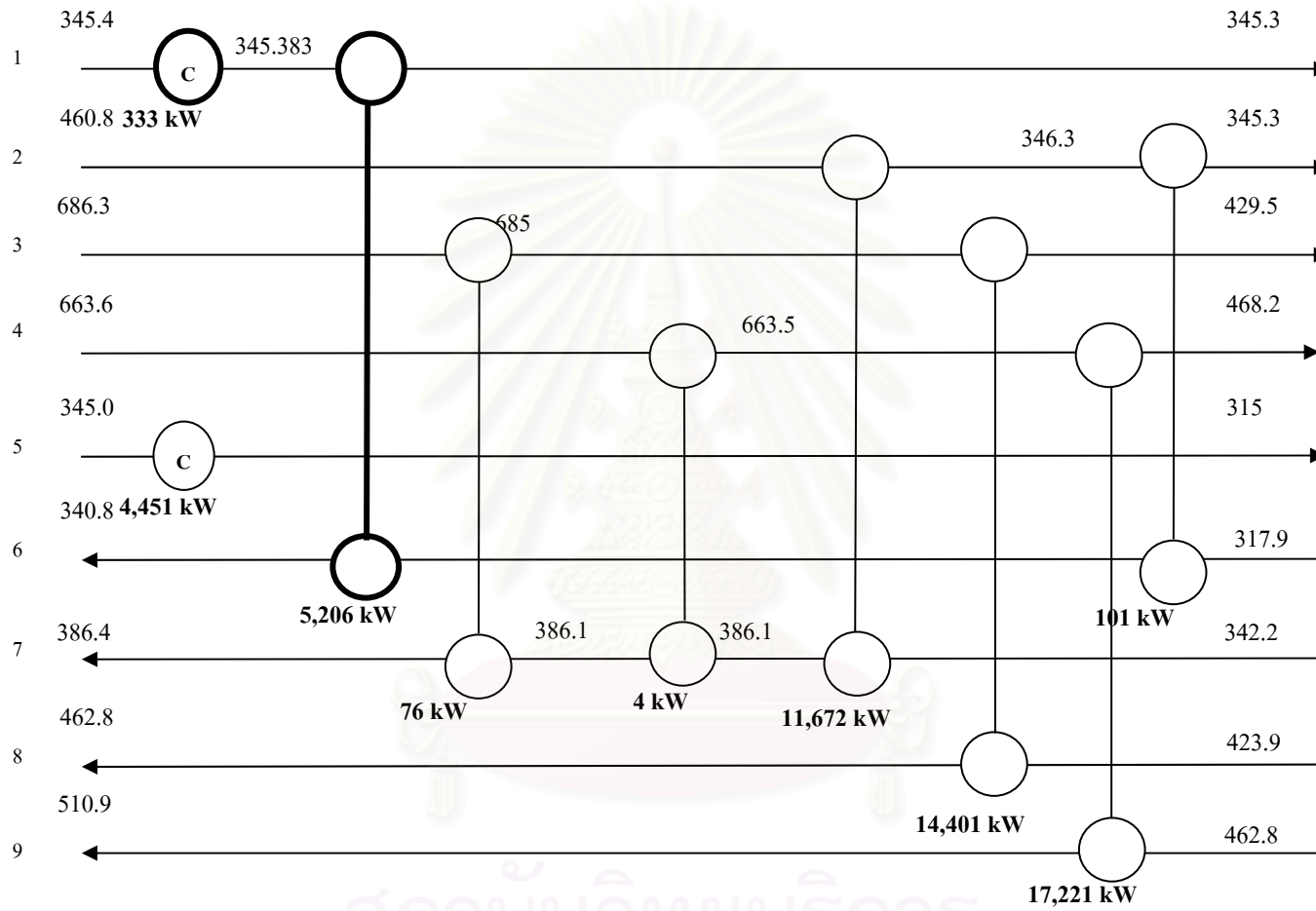
สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.25 (ก) สายร้อนสายที่ 1 กับระบบทำความเย็น ของกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.25 (ข) สายร้อนสายที่ 1 กับสายเย็นสายที่ 6 ของกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.26 เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $\Delta T_{\min} = 4.1 \text{ K}$
 หลังทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการดำเนินงานของระบบทำความเย็น ของกรณีศึกษาที่ 2

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access Version 97 ช่วยให้การออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามหลักการเทคโนโลยีพินช์สามารถกระทำได้รวดเร็วขึ้น และโปรแกรมดังกล่าวยังพัฒนาครอบคลุมไปถึงการคำนวณค่าใช้จ่ายในการลงทุนและระยะเวลาในการคืนทุนเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประกอบการตัดสินใจในการเลือกเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่จะนำมาใช้โดยมีปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียและค่าใช้จ่ายในการลงทุนน้อยที่สุดได้
2. เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันเป็นไปตามหลักการของเทคโนโลยีพินช์โดยมีค่าผลต่างอุณหภูมิที่น้อยที่สุดเท่ากับ 2.8 K
3. การทำงานของระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือไม่สอดคล้องกับที่ได้ออกแบบไว้ นั่นคือมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ได้ออกแบบไว้หรือเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีปริมาณพลังงานสูญเสียออกจากเครือข่ายมากกว่าที่จำเป็นซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก
 - 3.1 ฉนวนที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเสื่อมสภาพลงทำให้มีปริมาณพลังงานสูญเสียเกิดขึ้นในเครือข่าย โดยเครื่องที่มีปริมาณพลังงานสูญเสียมากที่สุดคือเครื่องควบแน่นและเครื่อง L.P. Htr. No.1
 - 3.2 ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำลง โดยเฉพาะเครื่องควบแน่นและเครื่อง L.P. Htr. No.1 จากตะกอนที่เพิ่มขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้การถ่ายเทความร้อนของเครื่องมีค่าลดต่ำลง ซึ่งสามารถทำการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้โดยการล้างเครื่องเพื่อ

ลดปริมาณตะกอนที่มีอยู่ภายในให้น้อยลง ทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทพลังงานความร้อนได้ดีขึ้นและมีปริมาณพลังงานความร้อนที่สูญเสียลดต่ำลง

- 3.3 สถานะการดำเนินงานของเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไม่ได้เป็นไปตามค่าผลต่างอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่ได้ออกแบบไว้ ทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ได้ออกแบบไว้
4. เมื่อทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยนำข้อมูลที่สถานะการดำเนินงานมาออกแบบเครือข่ายโดยใช้เทคโนโลยีพินช์ พบว่าเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สถานะการดำเนินงานควรมีค่าผลต่างอุณหภูมิที่น้อยที่สุดเพิ่มขึ้นจาก 2.8 เป็น 4.1 K ผลจากการออกแบบจะได้เครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเล็กเพิ่มขึ้นจากเดิมจำนวน 3 เครื่อง ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้จริงด้วยเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นจึงควรลดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาดเล็กออกจากเครือข่ายโดยยอมให้มีปริมาณพลังงานความร้อนเพียงบางส่วนไหลผ่านจุดพินช์
5. หลักการเทคโนโลยีพินช์ไม่ได้ให้ความสำคัญกับปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากแหล่งพลังงาน (ทั้งแหล่งให้พลังงานและแหล่งรับพลังงานความร้อน) ถ้าทำการปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของแหล่งพลังงาน โดยให้แหล่งให้พลังงานความร้อนมีอุณหภูมิต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และให้แหล่งรับความร้อนมีอุณหภูมิสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จะทำให้ปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากแหล่งพลังงานมีค่าลดต่ำลง ส่งผลให้ปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายโดยรวมมีค่าลดน้อยลงตามไปด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้เทคโนโลยี
พินซ์พบว่า

1. ในการออกแบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้เทคโนโลยีพินซ์ควรพิจารณาค่าผลต่างอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่จะนำมาใช้ในการออกแบบเครือข่ายอย่างถี่ถ้วน เพราะถ้าใช้ค่าผลต่างอุณหภูมิสูงมากเกินไปจะทำให้เครือข่ายมีปริมาณการสูญเสียพลังงานเพิ่มมากขึ้นและยังทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพลดลง
2. ในการปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานของแหล่งพลังงานสามารถช่วยลดปริมาณเอกเซอร์จีที่สูญเสียจากเครือข่ายได้ โดยการปรับเปลี่ยนดังกล่าวต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนเกี่ยวกับยูนิตี้ของแหล่งพลังงานด้วย

รายการอ้างอิง

1. รายงานสภาวะการดำเนินงานของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากไอน้ำของโรงไฟฟ้า. โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ. (เอกสารไม่ตีพิมพ์).
2. ประเสริฐ ภาวนันต์ (ม.ป.ป.) การวิเคราะห์พินช์เพื่อหารูปแบบของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน. (เอกสารไม่ตีพิมพ์).
3. ชูชาติ. (2524). กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือของโรงไฟฟ้า. ศูนย์ฝึกอบรมทางวิชาการ. (เอกสารไม่ตีพิมพ์).
4. ปชา ยุทธยานนท์ (ม.ป.ป.). ศูนย์ฝึกอบรมทางวิชาการ, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. หลักวิชาการทางพลังงาน ภาคความรู้เบื้องต้นของโรงไฟฟ้า. (ม.ป.ท.).
5. ชัยยศ วรวิทย์อุดมสุข. (2533). การประหยัดพลังงานของบริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด. เทคโนโลยีการประหยัดพลังงาน. 89 (กุมภาพันธ์).
6. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. (1989). อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งแรก. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ส. เอเชียเพรส จำกัด.
7. เกริกชัย สุกาญจน์จิติ. (2538). อุณหพลศาสตร์สำหรับอุตสาหกรรมซีพีไอ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
8. B. Linnhoff. (1982). User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy. 1st edition. (n.p.): Warwick Printing Company.
9. B. Linnhoff. (1989). Pinch Technology for the Synthesis of Optimal Heat and Power Systems. Journal of Energy Resources Technology. 111 (September): 138-147.
10. B. Linnhoff. (1983). Heat and Power Networks in Process Design. AIChE Journal. 29(5): 742-748
11. B. Linnhoff and Don R. Vredeveld. (1984). Pinch Technology Has Come of Age. Chemical Engineering Progress. (July): 33-40.
12. B. Linnhoff and E. Hindmarsh. (1983). The Pinch Design Method for Heat Exchanger Networks. Chemical Engineering Science. 38(5): 745-763.
13. B. Linnhoff, G.T. Polley and V. Sahdev. (1988): General Process Improvements Through Pinch Technology. Chemical Engineering Progress. (June): 51-58.
14. B. Linnhoff and J.R. Flower. (1978). Synthesis of Heat Exchanger Networks. AIChE Journal. 24(4): 633-654

15. B. Linnhoff and S. Ahmad. (1990). Cost Optimum Heat Exchanger Networks-1. Minimum Energy and Capital Using Simple Models for Capital Cost. Computers Chemical Engineering. 14(7): 729-750.
 16. B. Linnhoff and T.N. Tjoe. (1986). Using Pinch Technology for Process Retrofit. Chemical Engineering. (April): 47-60.
 17. B. Linnhoff and V. R. Dhole. (1992). Shaftwork Targets for Low-Temperature Process Design. Chemical Engineering Science. 47(8): 2081-2091.
 18. B. Linnhoff and W.D. Witherell. (1986). Pinch Technology Guide Retrofit. Oil and Gas Journal. April (7): 54-65.
 19. Fixed Capital Cost – A Preliminary Estimate. Available from:
<http://speedrcr.cheme.cornell.edu/Design/Syllabus/Costing/Costingdata.html>
 20. James M. Douglas. (1988). Conceptual Design of Chemical Processes. Singapore: McGraw-Hill International Editions.
 21. J.L. Su and R.L. Motard (1984). Evolutionary Synthesis of Heat Exchanger Networks. Computer Chemical Engineering. 8(2): 67-80.
 22. John E. Ahern. (1980). The Exergy Method of Energy Systems Analysis. New York: A Wiley-Interscience Publication.
 23. M. Ishida and D. Zheng. (1987). Energy Integration and System Synthesis. Tech. Promotion Assoc. Seminar, Bangkok, Thailand.
 24. Max S. Peters and Klaus D. Timmerhaus. (1991). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Fourth Edition. New York: McGraw-Hill Chemical Engineering Series.
 25. Peter Radgen and Klaus Lucas. (1996). Energy System Analysis of a Fertilizer Complex Pinch Analysis vs. Exergy Analysis. Chem. Eng. Technology. 19: 192-195.
 26. R. Banerjee, K. G. Narayankhedkar and S. P. Sukhatme. (1990). Exergy Analysis of Pressure Swing Adsorption Processes for Air Separation. Chemical Engineering Science. 45 (2): 437-475.
 27. R. Banerjee, K. G. Narayankhedkar and S. P. Sukhatme. (1992). Exergy Analysis of Kinetic Pressure Swing Adsorption Processes: Comparison of Different Cycle Configurations. Chemical Engineering Science. 47 (5): 1307-1311.
 28. R.H. Perry. (1984). Chemical Engineer's Handbook. 6th Edition. New York: McGraw-Hill.
- Ruchira Taprap and Masaru Ishida. (1996). Graphic Exergy Analysis of Processes in Distillation Column by Energy-Utilization Diagrams. AIChE Journal. 42 (6): 1633-1641.

29. S. Ahmad, B. Linnhoff and R. Smith. (1990). Cost Optimum Heat Exchanger Networks-2. Targets And Design for Detailed Capital Cost Models. Computers Chemical Engineering. 14 (7): 751-767.
30. S. Boonliang. (1989). Computer – Aided Heat Exchanger Network Design. Master's Thesis, Department of Chemical Engineering, Graduate School, Chulalongkorn University.
31. Signe Kjelstrup Ratkje and Jakob De Swaan Arons. (1995). Denibigh Revisited :Reducing Lost Work In Chemical Processes. Chemical Engineering Science. 50 (10): 1551-1552.
32. Vikas R Dhole and Bodo Linnhoff. (1994). Overall Design of Low Temperature Processes. Computer Chemical Engineering. 18: S105-S111.
33. Xiao Feng, X.X. Zhu and J.P. Zheng. (1996). A Practical Exergy Method for System Analysis. IEEE. 2068-2071.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ก.1. การคำนวณหาขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การคำนวณหาขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = UA\Delta T_m \quad (ก.1)$$

เมื่อ	A	คือ	พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
	Q	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW)
	U	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร เคลวิน ($kW/K \cdot m^2$)
	ΔT_m	คือ	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึมระหว่างสายร้อนและสายเย็นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

ก.1.1 อัตราการถ่ายเทความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องที่มีการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากของไหลที่อุณหภูมิสูงไปยังของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ถ้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไม่มีการสูญเสียพลังงานความร้อน ไปให้กับสภาวะแวดล้อมภายนอกแล้วจะทำให้ปริมาณพลังงานความร้อนที่ของไหลที่มีอุณหภูมิสูงให้ออกมามีค่าเท่ากับปริมาณพลังงานความร้อนที่ของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าได้รับเข้าไป ดังนั้นสามารถคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = C_p \Delta T \quad (ก.2)$$

เมื่อ C_p คือ ค่าความจุความร้อนของของไหล มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ต่อเคลวิน (kW/ K)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของของไหลระหว่างตำแหน่งขาเข้าและขาออก มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

ก.1.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสามารถหาค่าเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนเบื้องต้นได้จากตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม [20:487]

สถานะของสายที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อน	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Btu/ h. ft ² . °F)
ไอน้ำที่ควบแน่นกับของเหลวเดือด	250
ไอน้ำที่ควบแน่นกับของเหลว	150
ไอน้ำที่ควบแน่นกับก๊าซ	20
ของเหลวกับของเหลว	50
ของเหลวกับก๊าซ	20
ก๊าซกับก๊าซ	10
บางส่วนของสารที่เกิดการควบแน่น	30

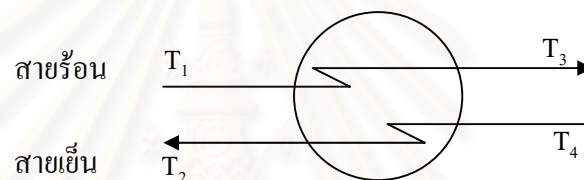
ก.1.3 ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึมระหว่างสายร้อนและสายเย็น

ในการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำเป็นต้องทราบค่าเฉลี่ยผลต่างระหว่างอุณหภูมิของสายร้อนและสายเย็นที่อยู่ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีสมมติฐานดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าคงที่ตลอดระยะทางการไหลของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
2. ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของไหลมีค่าคงที่ตลอดระยะทางการไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
3. ไม่มีการสูญเสียความร้อนออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การไหลของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีได้ 2 ลักษณะ

1. การไหลแบบสวนทาง (Countercurrent Flow)

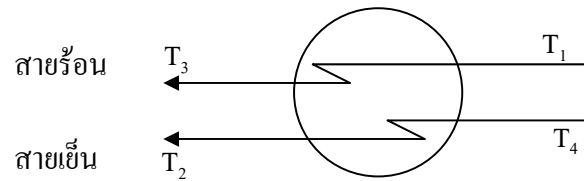


รูปที่ ก.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่การไหลเป็นแบบสวนทาง

จากรูปที่ ก.1 เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการไหลแบบสวนทางสามารถคำนวณหาค่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอการิทึมระหว่างสายร้อนและสายเย็นได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta T_m = \frac{(T_1 - T_2) - (T_3 - T_4)}{\ln\left(\frac{(T_1 - T_2)}{(T_3 - T_4)}\right)} \quad (\text{ก.3})$$

2. การไหลแบบขนาน (Parallel Flow)



รูปที่ ก.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่การไหลเป็นแบบขนาน

จากรูปที่ ก.2 เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการไหลแบบขนานสามารถคำนวณหาค่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึมระหว่างสายร้อนและสายเย็นได้จากสมการต่อไปนี้

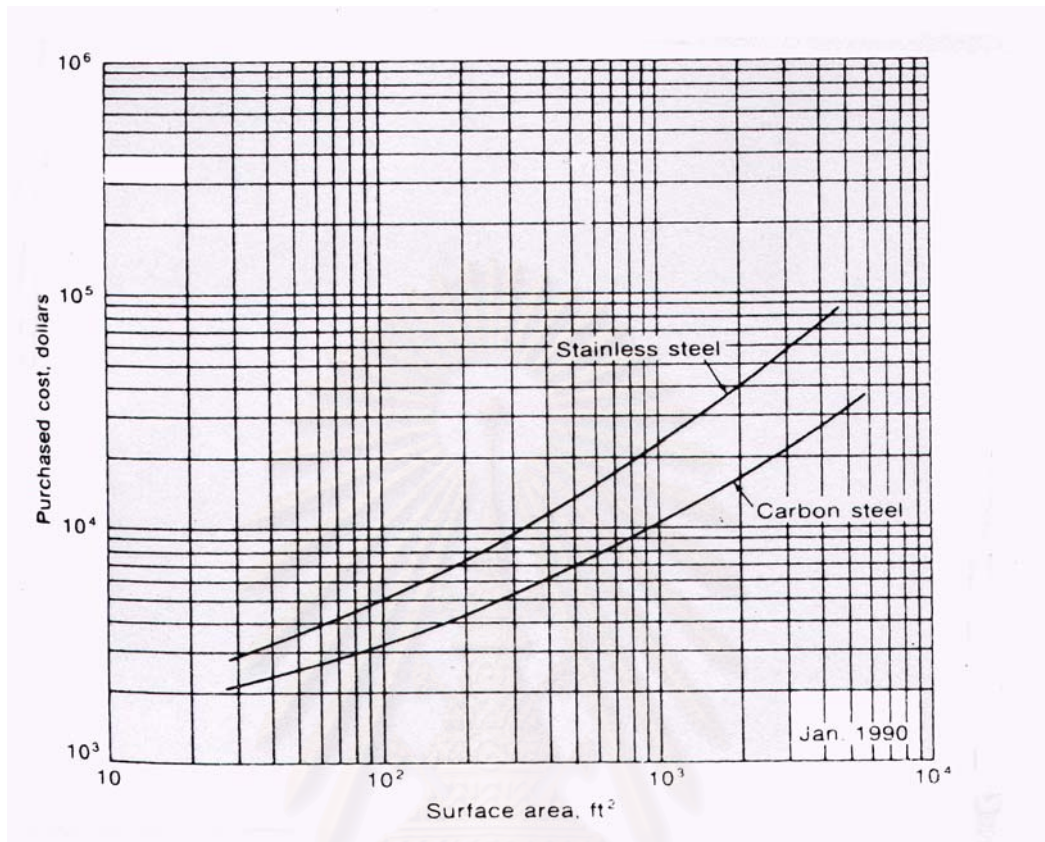
$$\Delta T_m = \frac{(T_3 - T_2) - (T_1 - T_4)}{\ln\left(\frac{(T_3 - T_2)}{(T_1 - T_4)}\right)} \quad (\text{ก.4})$$

เมื่อ	T_1	คือ	อุณหภูมิของสายร้อนทางด้านขาเข้า มีหน่วยเป็นเคลวิน(K)
	T_2	คือ	อุณหภูมิของสายเย็นทางด้านขาออก มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)
	T_3	คือ	อุณหภูมิของสายร้อนทางด้านขาออกมีหน่วยเป็นเคลวิน (K)
	T_4	คือ	อุณหภูมิของสายเย็นทางด้านขาเข้า มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

ก.2. การคำนวณค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการลงทุนในการซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ประเภทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
2. วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังรูปที่ ก.3
3. ขนาดของพื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังรูปที่ ก.4 และ ก.5

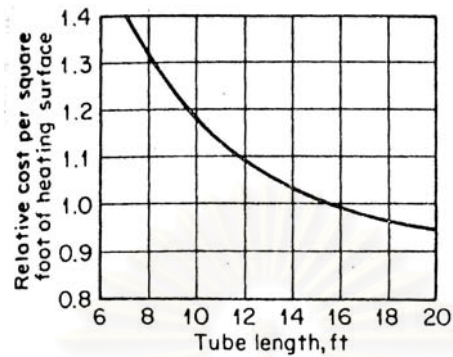


รูปที่ ก.3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ U-Tube [24:620]

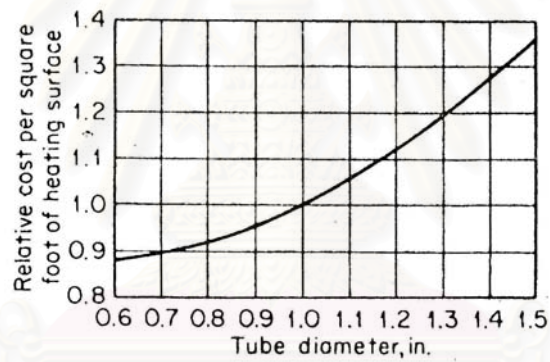
ซึ่งสามารถเขียนสมการในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ประเภท U-Tube ที่สร้างจากวัสดุจำพวก Carbon Steel ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P = \left\{ \left(3.53 \times 10^{-14} \times A^4 \right) - \left(1.82 \times 10^{-9} \times A^3 \right) + \left(2.35 \times 10^{-5} \times A^2 \right) + (0.79 \times A) + 2189.8 \right\} \quad (\text{ก.5})$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m²)
P คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีหน่วยเป็น
ดอลลาร์ (US\$)



รูปที่ ก.4 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
เมื่อความยาวของท่อมีการเปลี่ยนแปลงไป [24:620]



รูปที่ ก.5 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
เมื่อขนาดของท่อมีการเปลี่ยนแปลงไป [24:621]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

ข.1 Marshall and Swift Cost Indexes

ตารางที่ ข.1 Marshall and Swift Cost Indexes [19]

ปี	Marshall and Swift Cost Indexes
1975	444
1980	660
1985	790
1990	915
1991	931
1992	943
1993	964
1994	995
1995	1027
1996	1039
1997	1056
1998	1062
1999	1075

ข.2 ค่าใช้จ่ายของยูทิลิตี้

ตารางที่ ข.2 ค่าใช้จ่ายของยูทิลิตี้ [19]

ประเภท	ค่าใช้จ่าย
1. น้ำ อุณหภูมิ 288.56 K	\$0.5/1000 gal
2. น้ำหล่อเย็น อุณหภูมิ 296.89 – 308 K	\$0.055/1000 gal
3. น้ำในกระบวนการ อุณหภูมิ 299.67 K	\$1.25/1000 gal
4. น้ำในหม้อต้ม	\$1.5/10000 gal
5. ไอน้ำ ที่ความดัน 10 psig	\$3.5/1000 lb
6. ไอน้ำ ที่ความดัน 100 psig อุณหภูมิ 443 K	\$3.72/1000 lb
7. ไอน้ำ ที่ความดัน 165 psig อุณหภูมิ 462 K	\$4.46/1000 lb
6. ไอน้ำ ที่ความดัน 400 psig อุณหภูมิ 504 K	\$5.35/1000 lb

ข.3 การประเมินต้นทุนในการลงทุน

ต้นทุนในการลงทุนประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายใน 2 ส่วน คือ

1. ค่าใช้จ่ายทางตรง (Direct Cost) คิดเป็น 70-85% ของต้นทุนในการลงทุน [24:210]

1.1 ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์, เครื่องจักรและการติดตั้ง

คิดเป็น 50-60% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุน ประกอบด้วย

- 1.1.1 ค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจักร (Purchase Equipment) คิดเป็น 15-40% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุน
- 1.1.2 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องจักร (Installation) คิดเป็น 25-55% ของค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจักร
- 1.1.3 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตัวควบคุม (Instrumentation) คิดเป็น 6-30% ของค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจักร

1.1.4 ค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อเครื่องจักร (Piping) คิดเป็น 10-80% ของค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจักร

1.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

คิดเป็น 10-70% ของค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจักร

1.3 ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการปรับปรุงและการอำนวยความสะดวก

คิดเป็น 40-100% ของค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจักร

2. ค่าใช้จ่ายทางอ้อม (Indirect Cost) เป็นค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการและพนักงานที่ใช้ในการดำเนินงาน คิดเป็น 15-30% ของต้นทุนในการลงทุน [24:210]

ในงานวิจัยนี้เป็นการประเมินค่าการลงทุนในระดับเบื้องต้น ซึ่งจะพิจารณาต้นทุนในการลงทุนเฉพาะค่าใช้จ่ายทางตรงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ เครื่องจักรและการติดตั้งเท่านั้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว กมลทิพย์ อัสวเดชวุฒิ เกิดเมื่อวันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2519 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนสตรีวิทยา กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย