ออปติไมเซชันเทคนิคในการออกแบบเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน

Optimization Technic for Designing of a Split Type Air Conditioning Unit.

ดร. วิทยา ยงเจริญ
รองศาสตราจารย์

มนัส แป้งใส
นิสิตปริญญาโท

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ 10330

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้เทคนิคออปติไมเซชันเพื่อออกแบบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ผู้ใช้สามารถเลือกฟังก์ชันเป้าหมายได้ 3 แบบ มีตัวแปรตัดสินใจได้ 14 ตัวแปรที่เปลี่ยนได้ในช่วงที่กำหนด เมื่อทราบข้อมูลของคอมเพรสเซอร์โปรแกรมจะคำนวณหาขนาดของคอยล์อีวาพอเรเตอร์ และ คอยล์คอนเดนเซอร์

The computer program was developed using the optimization technic for designing the split type air conditioning unit. The user can select 3 objective functions. There are 14 decision variables that can be varied within the constraint range. For a given compressor data, the coil dimensions for evaporator and condenser are obtained from the program.

1. บทนำ

แนวโน้มของเครื่องปรับอากาศนับวันจะกลายเป็นสิ่งที่จำเป็นแก่การดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่าจะอยู่ในเขตร้อนหรือเขตหนาวของทุกมุมโลก ในเขตหนาวก็จะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างความอบอุ่นให้เกิดขึ้นภายในบ้าน ส่วนในเขตร้อนนั้นเครื่องปรับอากาศก็จะถูกสร้างมาเพื่อให้ความเย็น ซึ่งอาจจะให้คำจำกัดความง่ายๆของ **การปรับอากาศ** คือ ขบวนการที่จะทำให้สามารถควบคุมบริเวณที่ต้องการของอากาศให้มี อุณหภูมิ, ความชื้น และความสะอาดได้ตามต้องการ

สำหรับปริมาณความต้องการของเครื่องปรับอากาศสำหรับประเทศไทยในขณะนี้นั้นมีศักยภาพในการเติบโตเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากวิธีการดำเนินชีวิตของคนเราเปลี่ยนไปที่พักอาศัยที่เป็นอาคารสูงมีปริมาณมากขึ้น และ สภาพอากาศที่ร้อนขึ้น ก็เป็นปัจจัยที่ทำให้คนเรามีความรู้สึกว่าเครื่องปรับอากาศมีความจำเป็นต่อชีวิตประจำวันมากขึ้น จากสถิติของการใช้กำลังงานโดยรวมของประเทศในปี พ.ศ. 2540 โดยการสำรวจของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตพบว่า ภาคที่อยู่อาศัยใช้ถึง 25 % (40 % เป็นของภาคอุตสาหกรรม และ 35 % เป็นของภาคธุรกิจ) และครึ่งหนึ่งของกำลังงานที่ใช้ในภาคที่อยู่อาศัยนั้นหมดไปกับเครื่องปรับอากาศ (Air Conditioners)

เนื่องจากความต้องการปริมาณของเครื่องปรับอากาศที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ นี้เอง ทำให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องปรับอากาศขึ้นใช้เองภายในประเทศ และบางส่วนส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ซึ่งทำให้มีการพัฒนาศึกษาค้นคว้าทดลองและปรับปรุงเครื่องปรับอากาศชนิดต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้นนั่นคือ ใช้กำลังงานน้อยลง หรือได้ความเย็นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสามารถจะกระทำได้ด้วยการเลือกกำหนดอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำยาเพื่อให้ได้ผลของความเย็นที่เหมาะสมกับกำลังงานที่ใช้ หรือเลือกใช้ขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ ให้เหมาะสม เช่น ขนาดของคอยล์, ขนาดของแผ่นครีบระบายความร้อน เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายของต้นทุนในการผลิตให้ต่ำที่สุด

จะเห็นได้ว่างานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องปรับอากาศดังกล่าวมีความสลับซับซ้อนและมีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นระเบียบวิธีเชิงตัวเลข(Numerical method) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งในบทความนี้นั้นได้นำเอาเทคนิควิธีการออปติไมเซชันมาพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งนับว่ามีความสะดวก และมีความแม่นยำเพียงพอที่จะจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

ออปติไมเซชันนับว่าเป็นวิธีการที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะช่วยในการปรับปรุงขบวนการออกแบบเครื่องปรับอากาศให้มีสมรรถนะสูงสุดแต่ก่อนนั้นวิศวกรต้องประสบความยุ่งยากในการนำเอาเทคนิคการออปติไมเซชันมาใช้ประโยชน์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาออปติไมเซชัน แต่ในปัจจุบันขีดความสามารถของคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีราคาถูกลง ทำให้การนำเอาวิธีการออปติไมเซชันมาประดิษฐ์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบมีความสะดวกและเหมาะสมยิ่งขึ้นกว่าแต่ก่อน

2. ออปติไมเซชัน (Optimization)

ออปติไมเซชันเป็นกระบวนการคิด และตัดสินใจทางวิทยาศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา กระบวนการออปติไมเซชันเกิดเนื่องจากแรงจูงใจหลายๆ ด้าน เช่น เพื่อลดค่าใช้จ่ายให้มีค่าต่ำสุดทั้งค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้กำลังงาน และ ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ หรือเพื่อใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด โดยส่วนใหญ่แล้วปัญหาของการออปติไมเซชันนั้น สามารถจำแนกออกได้ตามลักษณะของฟังก์ชันเป้าหมายเป็น 2 ประเภท คือ ปัญหาแบบเชิงเส้น (Linear programming)

กับปัญหาแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non linear)

ปัญหาแบบนอนเนียร์นั้นยังไม่มีกรรมวิธีใดที่ดีที่สุดที่จะใช้หาผลลัพธ์ของทุกๆ ปัญหาได้ เหตุผลเนื่องมาจากความแตกต่างของรูปแบบปัญหาซึ่งมีอยู่มากมายหลายลักษณะ สำหรับกรณีของปัญหาที่เสนอในบทความดังกล่าวนี้นั้นมีลักษณะของฟังก์ชันเป้าหมายที่มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยเลือกนำเอาวิธีการสืบค้นแบบสุ่มตัวเลขมาพิจารณาแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวเหมาะสำหรับปัญหาที่ฟังก์ชันเป้าหมายมีความยุ่งยากต่อการหาอนุพันธ์ปัญหาที่ฟังก์ชันเป้าหมายมีความสัมพันธ์แบบไม่ต่อเนื่อง(discontinuos functions) และปัญหาที่มีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นแบบ Nonconvex เป็นต้น

อัลกอริธึมของวิธีการดังกล่าวนี้จะเริ่มด้วยการกำหนดชุดตัวแปรตัสินใจขึ้นมาจำนวน N+2 ชุดที่สร้างขึ้นจากค่าของตัวเลขสุ่มซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 จากนั้นคำนวณค่าของฟังก์ชันเป้าหมายทั้งหมดและนำมาเปรียบเทียบหาผลต่างของฟังก์ชันเป้าหมายที่ให้ค่าสูงสุดกับต่ำสุดแล้วตรวจสอบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ถ้าผลต่างมีค่าอยู่นอกเกณฑ์ที่กำหนดก็ทำการปรับค่าของตัวแปรตัดสินใจที่ให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายต่ำสุดจนได้ผลต่างที่อยู่ภายในเกณฑ์ที่กำหนดการทำงานจึงสิ้นสุด ดูรายละเอียดประกอบได้ตามรูปที่ 2

ข้อดีวิธีการดังกล่าวนี้คือ สามารถนำมาประดิษฐ์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ไม่ยุ่งยาก ถึงแม้ว่าต้องการคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับคำนวณค่อนข้างมาก แต่เนื่องจากวิทยาการของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนี้รุดหน้าไปมากจึงสามารถที่จะรองรับปัญหาดังกล่าวนี้ได้เป็นอย่างดี

รูปแบบโดยทั่วไปของปัญหาการออปติไมเซชันที่เสนอมานี้สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

Maximize $F(X_i)$

โดยมีเงื่อนไข $G_i \leq X_i \leq H_i \quad ; \quad i = 1, 2, \ldots, N$

เมื่อ $F(X_i)$ คือ ฟังก์ชันเป้าหมาย

X_i คือ ตัวแปรตัดสินใจ

G_i คือ ข้อจำกัดต่ำสุดของตัวแปรตัดสินใจ

H_i คือ ข้อจำกัดสูงสุดของตัวแปรตัดสินใจ

N คือ จำนวนของตัวแปรตัดสินใจ

องค์ประกอบสำคัญๆ ของปัญหาการออปติไมเซชันดังกล่าวนี้นั้นประกอบไปด้วยขั้นตอน และข้อจำกัดต่างๆ ดังนี้

2.1 ฟังก์ชันเป้าหมาย(Objective function)

หมายถึงสมการหรือกลุ่มของสมการ(Equation or model) ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้คำนวณตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งขึ้น ซึ่งมีทั้งการคำนวณแบบเพื่อหาค่าต่ำสุด และแบบเพื่อหาค่าสูงสุด ตัวอย่าง เช่น กรณีของปัญหาดังกล่าวนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันเป้าหมายต่างๆ ซึ่งสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยประกอบไปด้วย

- Maximum EER(Energy Efficiency Ratio) per production cost
- Maximum EER
- Maximum cooling capacity

2.2 ตัวแปรตัดสินใจ(Decision variable) และ **ข้อจำกัด**(Constraints)

ตัวแปรตัดสินใจ หมายถึงตัวแปรที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าแล้วจะมีผลทำให้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายเปลี่ยนไป ในการทำออปติไมเซชันจะเปลี่ยนค่าตัวแปรตัดสินใจเพื่อหาค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดของฟังก์ชันเป้าหมาย ตัวอย่าง เช่น อุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำยา, ขนาดของท่อน้ำยา และจำนวนแผ่นครีบ เป็นต้น

ค่าของตัวแปรตัดสินใจที่เปลี่ยนแปลงดังกล่าวนั้นจะถูกควบคุมให้อยู่ภายในช่วงหรือขอบเขตของข้อจำกัด(Constraints) ที่เหมาะสมซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของสมการข้อจำกัด(Equality constraints) หรือสมการข้อจำกัด(Inequality constraints) แล้วแต่คุณสมบัติของสารทำความเย็น หรือทรัพยากรที่มีอยู่ สำหรับปัญหาที่มีอยู่ขณะนี้นั้นจะประกอบไปด้วยตัวแปรตัดสินใจทั้งสิ้นจำนวน 14 ตัวแปร อยู่ภายใต้สมการข้อจำกัดที่เป็นค่าคงที่ซึ่งได้มาจากข้อมูลของผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศหลายๆ แห่ง ที่มีค่าครอบคลุมถึงเครื่องปรับอากาศที่มีภาระทำความเย็นตั้งแต่ 3,500 วัตต์ ถึง 8,790 วัตต์ โดยประกอบไปด้วยค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

3. การทดสอบโปรแกรม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาได้ตรวจสอบการคำนวณในส่วนของสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศกับผลการทดลองในห้องทดสอบสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแล้วพบว่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่จำลองจากโปรแกรมจะให้ผลของความเย็น,ความร้อนระบายที่คอนเดนเซอร์ และ EER มีค่าสูงกว่า 10.7 %, 9.3 % และ 2.7 % ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในการจำลองสมรรถนะดังกล่าวไม่ได้รวมผลของอุณหภูมิเย็นเยือกและอุณหภูมิไอร้อนยวดยิ่งของน้ำยา

3.1 ผลของออปติไมเซชันที่ฟังก์ชันเป้าหมายต่าง ๆ กัน

เมื่อมีการกำหนดค่าของตัวแปรตัดสินใจ ข้อจำกัด และฟังก์ชันเป้าหมาย ดังที่ได้อธิบายมาข้างต้นกระบวนการออปติไมเซชันจะใช้ข้อมูลดังกล่าวทั้งหมด ในการแก้ปัญหาเป็นไปตามรูปแบบของฟังก์ชันเป้าหมายต่างๆ ตามที่กำหนด ซึ่งผลที่ได้จากการทำออปติไมเซชันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมากับฟังก์ชันเป้าหมายทั้ง 3 กรณี ซึ่งมีข้อจำกัดของตัวแปร และใช้คอมเพรสเซอร์รุ่นเดียวกัน แสดงดังตารางที่ 2 มีดังนี้

1) เมื่อเครื่องปรับอากาศให้ผลความเย็นสูงสุดทำให้ต้องใช้ขนาดของคอยล์เย็น และคอยล์ร้อนที่ใหญ่ขึ้นและต้องใช้กำลังงานเพิ่มขึ้นด้วย

2) เมื่อต้องการอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน(EER) ของเครื่องปรับอากาศมีค่าสูงที่สุดจะได้ขนาดของคอยล์ร้อน และคอยล์เย็นมีขนาดปานกลาง อนึ่งอุณหภูมิระเหยจะลดลงทำให้ EER ของคอมเพรสเซอร์ลดลง แต่เนื่องจากกำลังงานที่พัดลมลดลงด้วยจึงเป็นเหตุให้ EER (overall) เพิ่มขึ้น

3) เมื่อต้องการเครื่องปรับอากาศที่ให้ผลความเย็นเหมาะสมกับต้นทุนในการผลิตแล้ว จะได้ขนาดของคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นลดลงซึ่งทำให้ผลของความเย็นและกำลังงานลดลง

3.2 การใช้งานโปรแกรม

โปรแกรมดังกล่าวที่พัฒนาขึ้นมานี้เขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 เวอร์ชัน 5.0 และได้แปลงโปรแกรมอยู่ในสกุล .EXE ซึ่งสามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการ MSDOS เวอร์ชัน 1.0 เป็นต้นไป

การใช้งานจะประกอบไปด้วยการที่ผู้ใช้ต้องเตรียมไฟล์ข้อมูลป้อนเข้าซึ่งบรรจุอยู่ในไฟล์ชื่อ DATA.DAT ก่อนแล้วจึงรันโปรแกรมชื่อ OPTIMUM.EXE โดยโปรแกรมจะถามให้ป้อนชื่อไฟล์ข้อมูลป้อนเข้าที่ผู้

ใช้ได้เตรียมไว้หลังจากนั้นจะต้องคอยใส่ชื่อไฟล์ที่จะใช้บรรจุผลลัพธ์สมมุติชื่อ RESULT.OUT แล้วโปรแกรมจะดำเนินการคำนวณผลจนสิ้นสุดการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 1

```
C:>OPTIMUM <ENTER>
Please enter the input file name : C:DATA.DAT
Select output destination :
1. Screen
2. Text file
Enter 1 or 2 : 2 <ENTER>
Please enter output file name : C:RESULT.OUT <ENTER>
*** SOLVING A SET OF SIMULTANEOUS EQUATIONS
    FOR COEFFICIENT OF CAPACITY FUNCTION ***
*** SOLVING A SET OF SIMULTANEOUS EQUATIONS
    FOR COEFFICIENT OF POWER FUNCTION ***
*** SOLVING A SET OF SIMULTANEOUS EQUATIONS
    FOR COEFFICIENT OF REFRIGERANT MASS FLOW
    RATE FUNCTION ***
*** GENERATING RANDOM NUMBERS ***
*** SOLVING OBJECTIVE FUNCTION ***
PROGRAM TERMINATED
```

รูปที่ 1 ลำดับขั้นตอนการโต้ตอบกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เมื่อผู้ใช้ต้องการแก้ไขข้อมูลต่างๆ ที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรม ก็สามารถกระทำได้โดยการสำเนาจากไฟล์ข้อมูลป้อนเข้าที่มีอยู่ เช่น DATA.DAT ไปเป็นชื่อใหม่ตามต้องการแล้วแก้ไขข้อมูลดังกล่าวด้วยโปรแกรมบรรณาธิการ (editor) ของ MSDOS เป็นต้น

ข้อมูลป้อนเข้าสู่โปรแกรม

ข้อมูลที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องการเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาผลของฟังก์ชันเป้าหมายตามต้องการนั้นซึ่งแสดงตัวอย่างไว้ดัง **ตารางที่ 3** นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของคอมเพรสเซอร์ของผู้ผลิตที่คู่กับอุณหภูมิควบแน่น และอุณหภูมิระเหยซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังนี้

1.1) ความสามารถของการทำความเย็น(Cooling capacity)

1.2) อัตราการไหลของน้ำยา(Mass flow rate of refrigerant)

1.3) กำลังงานที่ใช้ในการอัด(Power of compressor)

ส่วนที่ 2 ประกอบด้วยตัวแปรตัดสินใจต่างๆ ที่ผู้ใช้สามารถเลือกกำหนดเป็นค่าผันแปรหรือค่าคงที่ได้ โดยประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ

2.1) ตัวแปรตัดสินใจด้านอีวาพอเรเตอร์ จำนวน 7 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 1

2.2) ตัวแปรตัดสินใจด้านคอนเดนเซอร์ จำนวน 7 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 1

ส่วนที่ 3 รายละเอียดข้อมูลของฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งอยู่ในรูปของสมการความสัมพันธ์ที่ผู้ใช้สามารถจะกำหนดเองหรือเลือกใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในโปรแกรม โดยการระบุสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของฟังก์ชัน ซึ่งประกอบด้วย 4 ฟังก์ชันดังนี้

3.1) ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตของอีวาพอเรเตอร์ ที่ขึ้นอยู่กับพื้นที่ถ่ายเทความร้อนรวมของอีวาพอเรเตอร์

3.2) ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตของคอนเดนเซอร์ ที่ขึ้นอยู่กับพื้นที่ถ่ายเทความร้อนรวมของคอนเดนเซอร์

3.3) ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตของคอมเพรสเซอร์ ที่ขึ้นอยู่กับผลของการทำความเย็น

3.4) ฟังก์ชันสมรรถนะพัดลมของอีวาพอเรเตอร์ และคอนเดนเซอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ

3.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวได้แสดงไว้เป็นตัวอย่างใน **ตารางที่ 4** ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

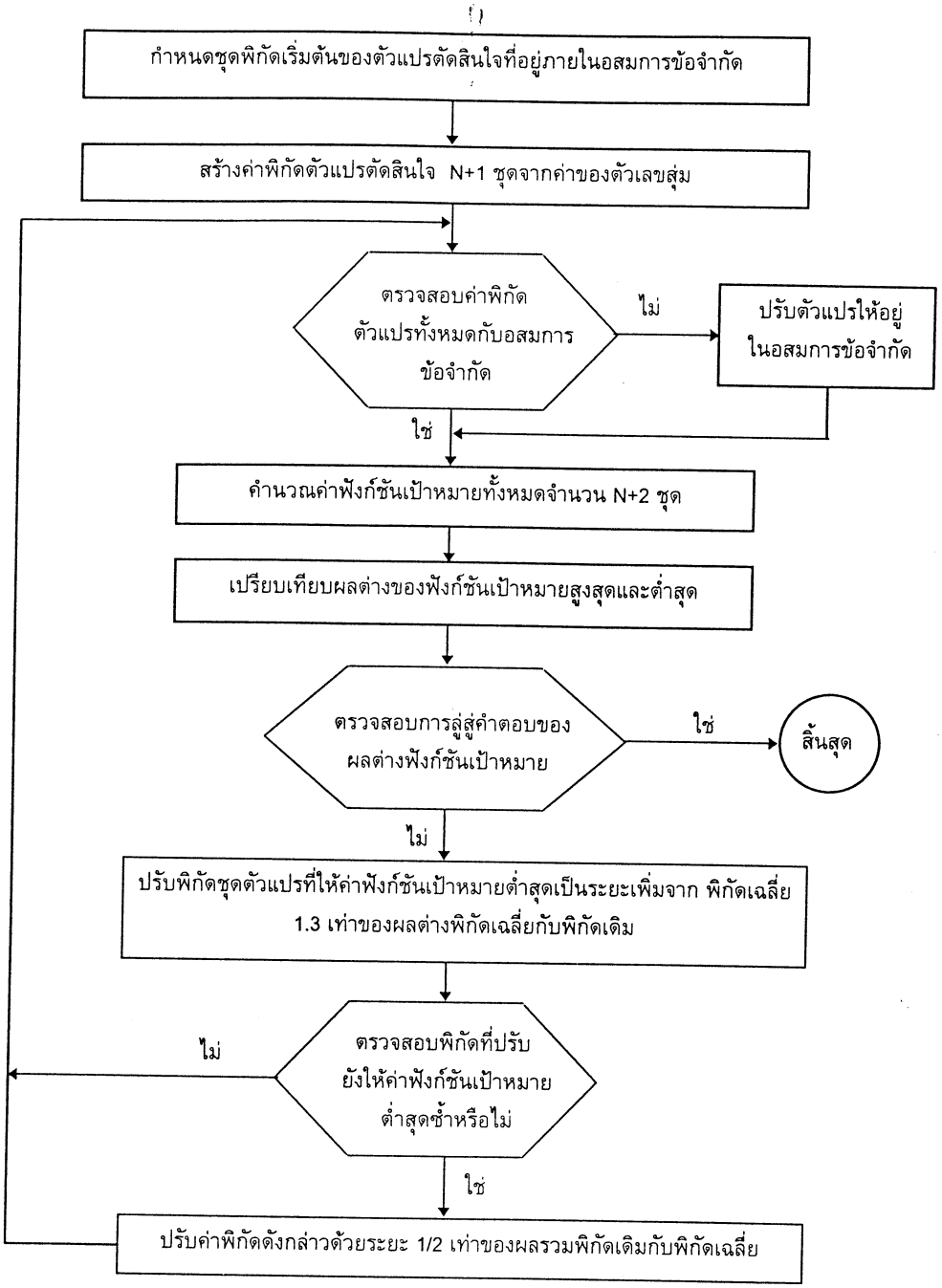
1) ข้อมูลแสดงคุณสมบัติของคอมเพรสเซอร์ที่ผู้ใช้ได้ป้อนเข้ามา

2) ผลลัพธ์การประมาณค่าของฟังก์ชัน และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของฟังก์ชันทั้ง 3 ซึ่งได้แก่ ฟังก์ชันของภาระการทำความเย็น ฟังก์ชันของกำลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ และฟังก์ชันอัตราการไหลของน้ำยา

3) ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจที่ออปติไมเซชัน ทั้งด้านอีวาพอเรเตอร์ และคอนเดนเซอร์

4. เอกสารอ้างอิง

1. G.Rafael and P.Eitan. Design optimization of air conditioning systems. ASHRAE Symposium No.2511 (June 1977): 304-314.
2. Tong, L.S. Boiling heat transfer and two-phase flow. Krieger Publishing Co., 1975.
3. Rosenbrock, H.H. An automated method for finding the greatest or least value of a function. Computer Journal 3 (1960): 175-184.
4. Box M.J. A new method of constrained optimization and comparison with other methods. Computer Journal 8 (1965): 42-52.
5. Ralph L.Webb. Air-side heat transfer correlation for flatplate and wavy plate fin and tube geometries. ASHRAE Transaction 2 (1990): 445-449.
6. O'Neill, P.J. and Crawford, R.R. Modeling and optimization of a fined tube evaporator. ASHRAE Transaction 89 (1989): 1256-1262.
7. D.R. Haper III and W.P.Brown. Mathematical equations for heat conduction in the fin of air cooled engines. NACA Tech.Rep. 158 (1922): 677.
8. James L.Threlkeld. Thermal environmental engineering. 2nd ed. Prentice-Hall, 1970.
9. David V. chadderton. Air conditioning : A practical introduction. Chapman & Hall, 1989.
10. K.A. Gardner. Efficiency of extended surfaces. ASME Transaction 67 (1945): 625.
11. Kay, W.M. and London, A.L. Compact heat exchanger. New York: McGraw-Hill, 1984.
12. Turaga, T., S.Lin and P.P.Fazio. Correlations for heat transfer and pressure drop factors for direct expansion air cooling and dehumidifying coils. ASHRAE Transaction. 1 (1996): 616-629.



รูปที่ 2 ขั้นตอนการออปติไมเซชัน

ตารางที่ 1 ค่าขอบเขตของตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปรตัดสินใจ	ค่าขอบเขตของตัวแปรตัดสินใจด้าน	
	อีวาพอเรเตอร์	คอนเดนเซอร์
1. อุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำยา (^{o}C)	1 - 8	48 - 60
2. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางนอกของท่อน้ำยา(mm)	9.5 - 11	9.5 - 11
3. ระยะห่างแนวนอนของท่อ(mm)	23 - 25	23 - 25
4. ระยะห่างแนวดิ่งของท่อ(mm)	23 - 28	23 - 28
5. จำนวนแถวตั้งของท่อ	2 - 3	1 - 2
6. จำนวนท่อต่อแถวตั้ง	10 - 14	20 - 28
7. จำนวนแผ่นครีบต่อความยาว 1 นิ้ว	14 - 15	14 -15

ตารางที่ 2 ผลของการออปติไมเซชันที่ฟังก์ชันเป้าหมายต่างๆ จากโปรแกรม

Case	Objective function	Performance				Designed condition	
		EER		Capacity	Total power	t_e	t_c
		Comp.	Overall	(watt)	(watt)	(^oC)	(^oC)
1	Max. Capacity	3.64	2.84	3873	1363	8.0	48.0
2	Max. EER	3.48	3.03	3694	1218	6.7	48.0
3	Max. EER/Cost	2.98	2.72	3264	1198	3.9	49.6

หมายเหตุ : t_e , t_c คือ อุณหภูมิระเหย และอุณหภูมิควบแน่นของน้ำยาตามลำดับ

ตารางที่ 3 ตัวอย่างของข้อมูลป้อนเข้า

Number of data point of compressor = 9

Data Pt.	Capacity	Power	Refrig. flow	te	tc
1	3835.4	900	76.66	5	40
2	4590.8	910	93.33	10	40
3	5520.7	920	111.66	15	40
4	3382.2	1100	73.33	5	50
5	4067.9	1110	89.17	10	50
6	4887.3	1140	105.00	15	50
7	2905.6	1280	70.00	5	60
8	3592.5	1300	92.50	10	60
9	4279.4	1350	101.67	15	60

COIL CONFIGURATION (RECOMMEND RANGE) **RANGE**

Evaporating Temperature(1.00-8.00) ^oC = 1.00 8.00

Condensing Temperature(48.00-60.00) ^oC = 48.00 60.00

Outside diameter tube of evap.(9.50-11.00) mm. = 9.50 11.00

Longitudinal pitch of evap.(23.00-25.00) mm. = 23.00 25.00

Transverse pitch of evap.(23.00-28.00) mm. = 23.00 28.00

Rows deep of evaporator(2.00-3.00) = 2.00 3.00

Coils per row of evaporator(10.00-14.00) = 10.00 14.00

Fins per inch of evaporator(14.0-15.00) = 14.00 15.00

Outside diameter tube of cond.(9.50-11.00) mm. = 9.50 11.00

Longitudinal pitch of cond.(23.00-25.00) mm. = 23.00 25.00

Transverse pitch of cond.(23.00-28.00) mm. = 23.00 28.00

Rows deep of condenser(1.00-2.00) = 1.00 2.00

Coils per row of condenser(20.0-28.00) = 20.00 28.00

Fins per inch of condenser(14.0-15.00) = 14.00 15.00

coeff. of evaporator cost(ce)	ce1	ce2	ce3	
	1	1	1	
coeff. of condenser cost(cc)	cc1	cc2	cc3	
	1	1	1	
coeff. of compressor cost(cm)	cm1	cm2	cm3	
	1	1	1	
coeff. of evap. fan power(pe)	pe1	pe2	pe3	pe4
	1	1	1	1
coeff. of cond. fan power(pc)	pc1	pc2	pc3	pc4
	1	1	1	1

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Parameter for only capacity cap

1

Description of function & variable

evap. cost function(Bath) = ce1 + ce2*(ATe**ce3)

cond. cost function(Bath) = cc1 + cc2*(ATc**cc3)

evap. fan power func.(w) = pe1 + pe2*QAe + pe3*QAe**2 + pe4*QAe**3

cond. fan power func.(w) = pc1 + pc2*QAc + pc3*QAc**2 + pc4*QAc**3

evap. = evaporator

cond. = condenser

ATe = total air-side area of evap. (Sq.m)

ATc = total air-side area of cond. (Sq.m)

Qae = air flow rate of evap. (cu.m/sec)

Qac = air flow rate of cond. (cu.m/sec)

: Performance data of compressor should be cover all its range atleast 9 data points but not more than 100 data points.

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

Number of compressor data point = 9

Data Pt.	Capacity (w)	Power (w)	Refrigerant flow rate (kg/h)	Evaporating temp. (^{o}C)	Condensing temp. (^{o}C)
1	3835.40	900	76.66	5	40
2	4590.80	910	93.33	10	40
3	5520.70	920	111.67	15	40
4	3382.20	1100	73.33	5	50
5	4067.90	1110	89.17	10	50
6	4887.30	1140	105.00	15	50
7	2905.60	1280	70.00	5	60
8	3592.50	1300	92.50	10	60
9	4279.40	1350	101.67	15	60

Capacity(w) = A(1) + A(2)*te + A(3)*te^2 + A(4)*tc + A(5)*tc^2 + A(6)*te*tc
+ A(7)*te*tc^2 + A(8)*tc*te^2 + A(9)*te^2*tc^2

Coefficient of capacity function

A(1) = .307970E+04

A(2) = .526030E+03

A(3) = -.118260E+02

A(4) = .418100E+02

A(5) = -.936000E+00

A(6) = -.190925E+02

A(7) = .210250E+00

A(8) = .754500E+00

A(9) = -.929000E-02

Coefficient of determination (R^2) = 1.000000

Power(w) = B(1) + B(2)*te + B(3)*te^2 + B(4)*tc + B(5)*tc^2 + B(6)*te*tc
+ B(7)*te*tc^2 + B(8)*tc*te^2 + B(9)*te^2*tc^2

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Coefficient of capacity function

B(1) = -.390000E+03

B(2) = .760000E+02

B(3) = -.360000E+01

B(4) = .400000E+02

B(5) = -.200000E+00

B(6) = -.285000E+01

B(7) = .250000E-01

B(8) = .130000E+00

B(9) = -.100000E-02

Coefficient of determination (R^2) = 1.000000

Refrig. flow(kg/h) = C(1) + C(2)*te + C(3)*te^2 + C(4)*tc + C(5)*tc^2 + C(6)*te*tc
+ C(7)*te*tc^2 + C(8)*tc*te^2 + C(9)*te^2*tc^2

Coefficient of refrigerant flow rate function

C(1) = -.113307E+03

C(2) = .514926E+02

C(3) = -.216632E+01

C(4) = .820710E+01

C(5) = -.958200E-01

C(6) = -.221633E+01

C(7) = .249965E-01

C(8) = .101651E+00

C(9) = -.116650E-02

Coefficient of determination (R^2) = 1.000000

te = Evaporating temperature (^{o}C)

tc = Condensing temperature (^{o}C)

Final value of the objective function = .000496

Objective function difference = .300E-10

Tolerance = .100E-06

FAN COIL UNIT			CONSTRAINTS
Cooling capacity (W)	=	3264.04	
Evaporating temperature (C)	=	3.87	1.00 - 8.00
Air entering dry bulb (C)	=	27.00	
Air entering wet bulb (C)	=	19.00	
Air face velocity (m/sec)	=	1.09	
Overall heat transfer ($W/m^2.K$)	=	.02495	
Outside diameter of tube(mm)	=	11.00	9.50 - 11.00
Longitudinal pitch of tube(mm)	=	23.00	23.00 - 25.00
Transverse pitch of tube (mm)	=	23.00	23.00 - 28.00
Rows deep	=	3.00	2.00 - 3.00
Coils/row	=	10.00	10.00 - 12.00
Fins/inch	=	14.00	14.00 - 15.00
Fin thickness (mm)	=	.20	
Coil face area - Height (mm)	=	230.00	
- Width (mm)	=	522.25	
Total air-side area (Sq.m.)	=	7.98	

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Fan power (W)	= 62.87	
Air pressure drop(in. WG)	= .1972	
CONDENSING UNIT		**CONSTRAINTS**
Heat rejection (W)	= 4357.07	
Condensing temperature (C)	= 49.61	48.00 - 60.00
Ambient entering dry bulb (C)	= 35.00	
Air face velocity (m/sec)	= 1.06	
Overall heat transfer ($W/m^2.K$)	= 95.84	
Outside diameter of tube (mm)	= 11.00	9.50 - 11.00
Longitudinal pitch of tube(mm)	= 23.00	23.00 - 25.00
Transverse pitch of tube(mm)	= 23.00	23.00 - 28.00
Rows deep	= 2.00	1.00 - 2.00
Coils/row	= 28.00	20.00 - 28.00
Fins/inch	= 14.00	14.00 - 15.00
Fin thickness (mm)	= .20	
Coil face area - Height (mm)	= 644.00	
- Width (mm)	= 287.00	
Total air-side area (Sq.m.)	= 8.18	
Fan power (W)	= 42.46	
Compressor power (W)	= 1093.03	
Air pressure drop(in. WG)	= 0.0872	
Refrigerant	= R-22	
EER	= 2.72	
Total unit cost (Bath)	= 5486.51	