สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โครงการวิจัย

เรื่อง

เครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้

โครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ประจำปี (2549)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โดย

ดร. อภินันท์ นัมคณิสรณ์
รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TH
7687
.D257A

เลขหมู่ 84552
เพชระโยน
วัน,เดือน,ปี 13 ต.ค. 2551

b. 11444642
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หน้าสรุปโครงงาน (Executive Summary)

เครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับอากาศ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ภายในและนอกอาคาร รวมทั้งศึกษาปัจจัยและตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่สร้างขึ้น ในการทำงานของเครื่องปรับอากาศจะใช้หลักการถ่ายเทพลังงานความร้อนเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ และพลังงานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะของสาร สำหรับสารที่นำมาใช้ในการปรับอากาศคือ น้ำและน้ำแข็ง เนื่องจากเป็นทรัพยากรที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพงและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ หลักการที่สำคัญคือใช้น้ำแข็งเป็นตัวดึงพลังงานจากน้ำเพื่อนำไปใช้ในการหลอมเหลวน้ำแข็ง ทำให้น้ำเย็นตัวลง และใช้กระแสน้ำเย็นนี้ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับกระแสอากาศ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนขึ้น อากาศที่ผ่านออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจึงมีอุณหภูมิลดลงเพื่อใช้ในการปรับอากาศ

คำสำคัญ: เครื่องปรับอากาศ (Air-conditioner), การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer), เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

2.ความสำคัญและที่มา

มนุษย์มีการใช้ระบบการทำความเย็นในการปรับอากาศเพื่อความสบายมาตั้งแต่ทศวรรษที่ 1890 [1] จนถึงปัจจุบันการปรับอากาศเข้ามามีบทบาทและความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มากยิ่งขึ้น ในอุตสาหกรรมและธุรกิจด้านต่างๆ ก็มีการนำระบบปรับอากาศมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย จึงทำให้อุตสาหกรรมการปรับอากาศได้รับความสนใจ และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ระบบปรับอากาศที่ใช้อยู่ทั่วไปนั้น มักจะมุ่งเน้นไปในด้านการนำไปใช้งานภายในอาคารเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งหากมีการคิดค้นและพัฒนา เพื่อประดิษฐ์เครื่องปรับอากาศที่สามารถนำไปใช้บริเวณนอกอาคารได้ ก็จะทำให้เราได้รับประโยชน์ และความสะดวกสบายจากระบบการปรับอากาศมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้งานวิศวกรรมปรับอากาศถือเป็นงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงถือเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องตระหนักถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของโลกควบคู่ไปกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาด้านการปรับอากาศด้วย ปัจจุบันได้มีความพยายามลดการใช้สารทำความเย็นแบบเก่าที่มีส่วนในการทำลายชั้นโอโซน รวมทั้งออกแบบเครื่องปรับอากาศที่สามารถทำงานได้ โดยส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด [2]

งานวิจัยนี้ศึกษาและออกแบบเพื่อสร้างเครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้ที่สามารถนำไปใช้ในการปรับอากาศภายในและนอกอาคารได้ สารที่เลือกใช้ในการปรับอากาศเป็นน้ำและน้ำแข็งซึ่งเป็นทรัพยากรที่หาได้ง่าย มีราคาไม่แพง และไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม หลักการทำงานของเครื่องคือ ใช้น้ำแข็งเป็นตัวดึงพลังงานจากน้ำไปใช้ในการหลอมเหลวน้ำแข็ง ทำให้น้ำเย็นตัวลง และใช้กระแสน้ำเย็นนี้ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับกระแสอากาศ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนขึ้น อากาศที่ผ่านออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจึงมีอุณหภูมิลดลงเพื่อใช้ในการปรับอากาศ

3.วัตถุประสงค์

1.เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้สำหรับการนำไปใช้งานภายในและนอกอาคาร

2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Overall heat transfer coefficient, U) รวมทั้งปัจจัยและตัวแปรอื่นๆ ในระบบที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

4.ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะเกี่ยวกับการสร้างเครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้ โดยดำเนินการออกแบบอุปกรณ์ที่จะใช้ จากนั้นจึงประกอบและติดตั้งเป็นเครื่องปรับอากาศ ในขั้นต้นนั้นจะทำการออกแบบให้เครื่องปรับอากาศมีพื้นที่ทำความเย็นสำหรับ 1 คน คิดเป็นพื้นที่ 0.25 ตารางเมตร ความเร็วลมที่ต้องการ 15 เมตร/ นาที อุณหภูมิของอากาศเย็นเป็น 25 องศาเซลเซียส และน้ำที่ใช้ในการทำความเย็นมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 4 – 15 องศาเซลเซียส ระบบปรับอากาศนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและส่วนที่เป็นถังบรรจุน้ำแข็ง

ภายหลังการสร้างและติดตั้งเครื่องปรับอากาศ จะศึกษาและวิเคราะห์ผลการทำงานของเครื่อง รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(Overall heat transfer coefficient, U) และตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์

5.ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. เลือกวิธีปรับอากาศที่เหมาะสม และออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องปรับอากาศ

4. ทดสอบการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่สภาวะต่างๆ

5. วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของระบบ และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เพื่อหาสภาวะในการทำงานที่เหมาะสม

6. สรุปผลการทำงาน ประโยชน์ที่ได้รับ รวมทั้งเสนอแนวทางในการแก้ไขปรับปรุง เพื่อให้งานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

6.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้ขั้นตอนในการสร้างเครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้

2. มีความเข้าใจในเรื่องหลักการปรับอากาศและปัจจัยต่างๆ ที่เป็นตัวแปรสำคัญในการทำงานของระบบ

3. ข้อมูลและความรู้ที่ได้จะเป็นประโยชน์กับผู้ที่สนใจศึกษาและค้นคว้าต่อในด้านนี้

4.หากได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับร้านอาหาร สวนสาธารณะ หรือสถานที่ชุมชนต่างๆ ซึ่งจะเป็นการขยายขอบเขตความสามารถในการนำเครื่องปรับอากาศไปใช้งานให้กว้างขึ้น

7. ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

7.1 ทฤษฎี

7.1.1 สภาวะของอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกของร่างกาย องค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการที่มีผลต่อความรู้สึกร้อนไม่สบายตัวของมนุษย์ ได้แก่

1) อุณหภูมิ

อากาศเย็นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกายได้เร็วขึ้น และในขณะที่อากาศร้อนอุณหภูมิใกล้ผิวหนังจะสูงกว่าอากาศเย็น อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับจำนวนความชื้น สัมพัทธ์ที่มีอยู่ในอากาศ และความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้ร่างกายมนุษย์รู้สึกสบายอยู่ในช่วง 23 ถึง 27 องศาเซลเซียส [1]

2) ความชื้น

ความชื้น คือปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปไอในอากาศ อากาศร้อนอุ้มไอน้ำ (หรือมีความชื้น) มากกว่าอากาศเย็น ปริมาณความชื้นมีผลกระทบต่อการระเหยของเหงื่อในร่างกาย และความชื้นสัมพัทธ์ คือสัดส่วนของความชื้นในอากาศกับความชื้นจริงของอากาศในภาวะอิ่มตัว ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 30 ถึง 70 [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การเคลื่อนที่ของอากาศ

การเคลื่อนที่ของอากาศมีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกาย เนื่องจากจะทำให้เกิดการถ่ายเทของอากาศรอบๆ ตัวเรา และจะพาความร้อนออกไปด้วยจึงทำให้รู้สึกสบาย แต่ถ้าอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงเกินไป ก็จะทำให้รู้สึกถูกรบกวน เกิดความรำคาญ หรืออาจเกิดความรู้สึกหนาวได้ ยกตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสและความเร็วอากาศ 48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เราจะรู้สึกเย็นเท่าๆ กับที่อุณหภูมิอากาศ -7 องศาเซลเซียสและความเร็วอากาศ 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [1] ดังนั้นอากาศที่ทำให้รู้สึกสบายจึงควรมีความเร็วมากพอที่จะพาความร้อนออกจากร่างกายแต่ก็ไม่ควรสูงเกินไปจนทำให้รู้สึกได้

ความเร็วของอากาศที่เหมาะสมในฤดูหนาวควรจะต่ำกว่า 9 เมตร/นาที และในฤดูร้อนควรมีความเร็วประมาณ 15 เมตร/นาที [1]

7.1.2 ระบบปรับอากาศ

ขอบข่ายหน้าที่ของระบบปรับอากาศที่สมบูรณ์แบบประกอบด้วย

1. การปรับอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ
2. การควบคุมความชื้น
3. การถ่ายเทอากาศและการระบายลม
4. การกำจัดฝุ่นละออง กลิ่นและเชื้อโรค

หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

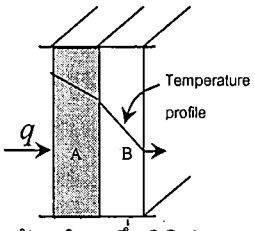
การที่อากาศมีอุณหภูมิลดลงได้อาศัยหลักการในการเปลี่ยนสถานะของสาร เช่น น้ำเมื่อกลายเป็นไอจะดึงเอาพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมไปใช้ ทำให้บริเวณรอบๆ มีอุณหภูมิลดลง จากหลักการข้อนี้ จึงมีผู้นำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องปรับอากาศแบบน้ำระเหย ดังนั้นจะได้พิจารณาถึงหลักการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

7.1.3 การถ่ายเทความร้อน

เมื่อมีบริเวณ 2 บริเวณที่มีอุณหภูมิต่างกัน จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณหนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังอีกบริเวณหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งพลังงานความร้อนนั้นสามารถเกิดการถ่ายเทได้โดย 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน

การนำความร้อน คือ การที่ความร้อนเคลื่อนที่จากที่อุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือตัวกลางที่ติดกัน ดังรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



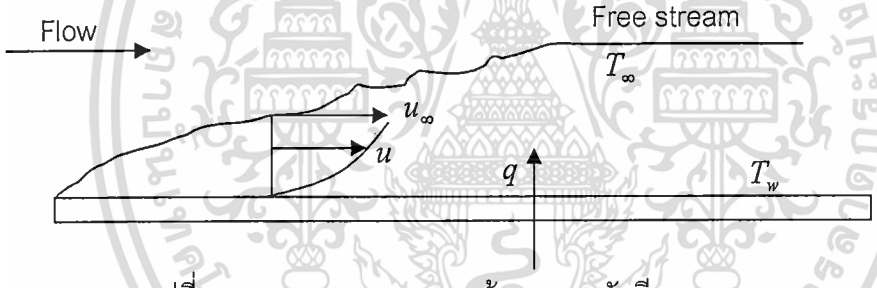
รูปที่ 1 การนำความร้อนในหนึ่งมิติผ่านผนังตัวกลางที่เป็นวัสดุต่างชนิด

ตัวกลางแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการนำความร้อนไม่เท่ากัน เรียกความสามารถในการนำความร้อนว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity coefficient) ใช้ตัวย่อ k (W/m.K) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารแต่ละชนิด

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางตัวกลางหนึ่ง จะหาได้จาก

$$q = -kA\frac{\Delta T}{\Delta X} \qquad \text{.....(1)}$$

การพาความร้อน คือ การเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยมีของไหลเป็นตัวพาพลังงานความร้อนมายังผิวของแข็งหรือออกจากผิวของแข็ง



รูปที่ 2 กระบวนการพาความร้อนจากผนังเรียบ

พิจารณารูปที่ 2 เมื่อผนังมีอุณหภูมิ T_w และมีของไหลเคลื่อนที่ผ่าน อุณหภูมิเป็น T_α การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นระหว่างของไหลและผนังตัวกลาง อุณหภูมิผนังและของไหลจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและลักษณะการไหลของของไหล สำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อน ในตัวอย่างนี้ อธิบายได้ด้วยกฎการทำความเย็นของ Newton ตามสมการที่ 2

$$q = hA(T_w - T_\infty) \qquad \text{.....(2)}$$

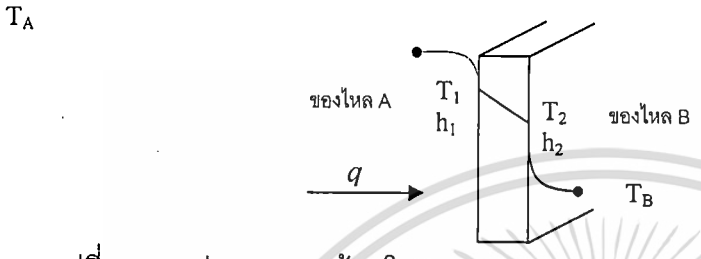
ค่า h เป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection heat-transfer coefficient) มีหน่วย $W/m^2.K$ ซึ่งค่า h จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการไหลของของไหล รูปทรงของวัตถุ คุณสมบัติของของไหล อุณหภูมิและตำแหน่งต่างๆบนพื้นผิววัตถุ กลไกของการถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการศึกษาเรื่องการพาความร้อน จึงมักจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยตลอดพื้นผิวเพื่อความสะดวก

การแผ่รังสีความร้อน จะแตกต่างจากกระบวนการนำและพาความร้อนเนื่องจากไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน การแผ่รังสีความร้อนจะเกิดขึ้นได้โดยอาศัยกลไกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

7.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม (Overall Heat-Transfer Coefficient)



รูปที่ 3 การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของระบบ (Overall heat transfer) ผ่านผนังเรียบ

พิจารณารูปที่ 3 ของไหล A เคลื่อนที่ผ่านผนังเรียบที่อีกด้านหนึ่ง มีของไหล B ไหลผ่าน การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเขียนเป็นความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3

$$q = h_1 A(T_A - T_1) = \frac{kA}{\Delta x}(T_1 - T_2) = h_2 A(T_2 - T_B) \qquad \text{.....(3)}$$

ซึ่งจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2 A}} \qquad \text{.....(4)}$$

เขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่าย เป็น

$$q = UA\Delta T_{overall} \qquad \text{.....(5)}$$

เมื่อ $$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k_A} + \frac{1}{h_2}} \qquad \text{.....(6)}$$

และ $$\Delta T_{overall} = T_A - T_B \qquad \text{.....(7)}$$

เรียก U ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม (Overall heat-transfer coefficient)

7.1.5 การหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเปรียบเสมือนค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของวัตถุและของไหลเทียบกับหน่วยพื้นที่และเวลา ดังนั้นจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่บอกความสามารถในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและพื้นผิววัตถุในแต่ละระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแต่ละระบบสามารถหาได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ศึกษาโดยทำการทดลองและนำเสนอไว้ในรูปของสูตรอย่างง่าย หรือแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและคุณลักษณะต่างๆ ของระบบ โดยมักจะกำหนดอยู่ในรูปของตัวแปรไร้หน่วยต่างๆ เช่นสมการที่ 8 เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่คิดอยู่ในรูปของตัวเลข Nusselt (Nu) กับตัวแปรอื่นๆ ของระบบการไหลบนแผ่นระนาบ

$$Nu_L = \frac{\bar{h}L}{k} = 0.664\,\mathrm{Re}^{1/2}\,\mathrm{Pr}^{1/3} \qquad \text{.....(8)}$$

เมื่อ $\mathrm{Re} = \dfrac{\rho u_\alpha L}{\mu}$

และ $\mathrm{Pr} = \dfrac{C_p \mu}{k}$

Nu_L คือ ค่าตัวเลข Nusselt ณ ตำแหน่งความยาวทั้งหมดของระนาบ

u_α คือ ความเร็วในการไหลแบบอิสระของของเหลว (Free-stream velocity), (m/s)

$\bar{h}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยเฉลี่ย, ($W/m^2 \cdot K$)

L คือ ระยะความยาวของระนาบ, (m)

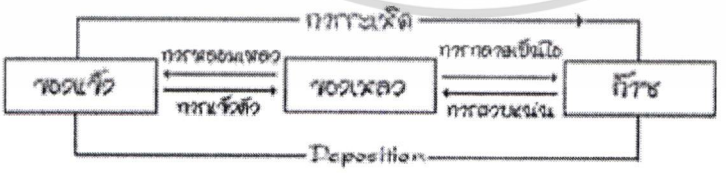
k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของแผ่นระนาบ, วัตต์/เมตร·องศาเคลวิน (W/m·K)

นอกจากตัวอย่างสมการสำหรับการไหลบนแผ่นระนาบแล้ว ยังมีสมการและแผนภาพแสดงความสัมพันธ์สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการไหลในระบบอื่นๆ ซึ่งมีผู้นำเสนอไว้แล้วอีกจำนวนมาก [3]

7.1.6 พลังงานความร้อนกับการเปลี่ยนสถานะของสาร

การเปลี่ยนสถานะเป็น 1 ใน 3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสาร ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนสถานะ การละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การเปลี่ยนสถานะสารมี 3 ลักษณะ คือ ของแข็ง, ของเหลว และก๊าซ ดังรูป



รูปที่ 4 การเปลี่ยนสถานะของสาร

เมื่อสารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว หรือของเหลวเป็นก๊าซ หรือของแข็งเป็นก๊าซ จะต้องดูดความร้อนจากสิ่งแวดล้อม และ ถ้าเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว ของเหลวเป็นของแข็ง หรือก๊าซเป็นของแข็งจะต้องคายความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ขณะที่สารเปลี่ยนสถานะอุณหภูมิของสารจะไม่เปลี่ยนแปลง เพราะความร้อนถูกนำไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะ ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

84552

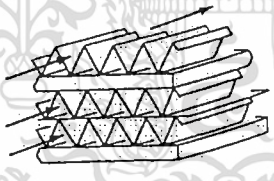
ความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะเรียกว่า "ความร้อนแฝง" ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถานะและชนิดของสาร เช่น น้ำมีความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (Latent heat of fusion), h_{if} เท่ากับ 333.7 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization), h_{fg} เท่ากับ 2501 กิโลจูลต่อกิโลกรัม [1]

7.1.7 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในเป็นตัวกลาง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลทั้งสองไม่จำเป็นต้องผสมกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่มีการนำมาใช้ในระบบต่างๆอย่างกว้างขวาง ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะต้องอาศัยความรู้ในด้านการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อน การส่งผ่านของความร้อนและความรู้ทางกลศาสตร์ของไหล เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็คือ ประสิทธิภาพในการทำงาน และค่าใช้จ่าย

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด (Compact Heat Exchanger)

เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนต่อปริมาตรสูงกว่า 700 m^2/m^3 [4] มักใช้กับของไหลที่เป็นก๊าซ ซึ่งสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าต่ำ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดนี้ยังแบ่งได้เป็นหลากหลายประเภท รูปที่ 5 แสดงลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดแบบที่มีครีบเป็นระนาบเรียบ (Plain Plate – fin Surface)



รูปที่ 5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดที่มีพื้นผิวของครีบเป็นระนาบเรียบ (Plain Plate-fin surface)

ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้สามารถหาได้จากการทดลอง Kays และ London [5] ทำการศึกษาและนำเสนอผลที่ได้เป็นแผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเทียบกับเลขเรย์โนลด์สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดประเภทต่างๆ รวมทั้งได้เสนอสมการสำหรับคำนวณค่าความดันลดของของไหลขณะไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไว้อีกด้วย

7.1.8 การคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะเกี่ยวข้องกับการคำนวณพื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อนปริมาณที่ต้องการ ขนาดพื้นที่ที่ต้องใช้ จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราการไหล อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ของไหลไหลเข้าและออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ลักษณะการไหลของของไหล และอัตราการถ่ายเทความร้อน นอกจากนี้ ผู้ออกแบบยังต้องกำหนดขนาดของส่วนต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น ขนาดของท่อ ความยาวของท่อที่ใช้ ระยะระหว่างท่อ และลักษณะการวางท่อ เป็นต้น และต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องอีกด้วย เราสามารถทำให้ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเล็กลง โดยการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการเพิ่มความเร็วของของไหลทางด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน การกระทำดังกล่าวจะทำให้ราคาของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำลง แต่การที่เราจะเพิ่มความเร็วของของไหลนั้นจะทำให้เกิดความดันลดในระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เราต้องเสียค่าใช้จ่ายในเรื่องพลังงานเพิ่มขึ้น

หลักการที่นำมาใช้ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็คือ ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าต่ำที่สุด ค่าใช้จ่ายรวมนี้หมายถึงค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน รวมกับค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าพลังงานในการขับเคลื่อนของไหล

ในการคำนวณพื้นที่ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$q = UA\,(\Delta T)_m \qquad \text{.....(9)}$$

ค่า $(\Delta T)_m$ เป็นค่าผลต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ย (Log mean temperature difference) หาได้จากสมการที่ 10

$$(\Delta T)_m = \frac{(\Delta T)_{\max} - (\Delta T)_{\min}}{\ln\left[\dfrac{(\Delta T)_{\max}}{(\Delta T)_{\min}}\right]} \qquad \text{.....(10)}$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) จะมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน(h) และค่าการนำความร้อน (k) แต่อาจละทิ้งพจน์ของการนำความร้อนได้ เนื่องจากพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนทำจากโลหะที่บางมาก และมีค่าการนำความร้อนสูงมาก สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ต่างๆ ที่มีผู้เสนอไว้ดังที่กล่าวมาแล้ว

ในกรณีที่ไม่ทราบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน สามารถที่จะคำนวณได้จากอัตราการไหลและอุณหภูมิของของไหลดังนี้คือ

$$q = \dot{m}_c\, c_c (\Delta T)_c = \dot{m}_h\, c_h (\Delta T)_h \qquad \text{.....(11)}$$

7.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

N. Yamtraipat, J. Khedari และ J. Hirunrabh [6] ศึกษาเรื่องความรู้สึกสบายในอาคารที่มีการปรับอากาศในประเทศไทย โดยทดสอบจากผู้เข้าร่วมที่อาศัยอยู่ในภูมิภาคต่างๆ กัน สภาวะอากาศที่ศึกษา คือ ค่าร้อยละความชื้นในอากาศ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศในห้องปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

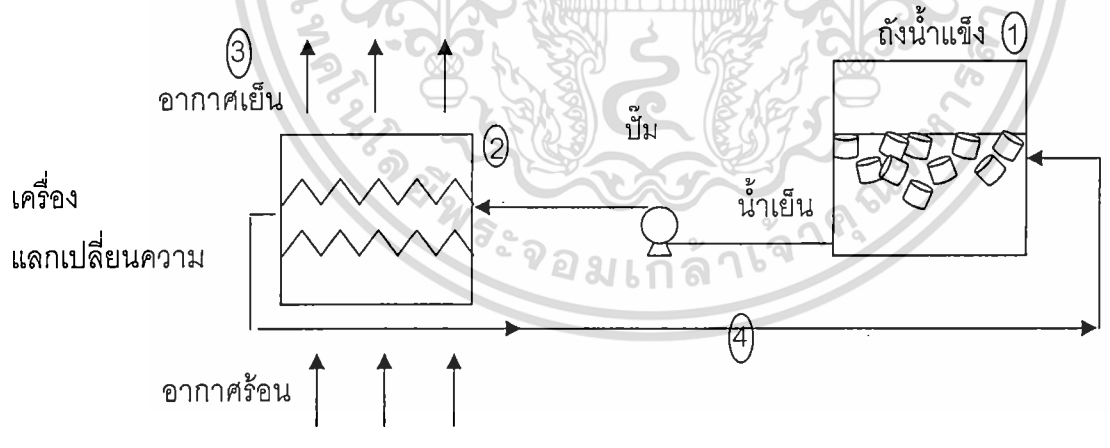
อากาศ และอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า ปัจจัยทั้งสามนี้เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความรู้สึกสบายในภาวะของอากาศต่างๆ กัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ภูมิอากาศที่เคยชิน หรือแม้แต่ระดับการศึกษาก็มีผลด้วย จากผลการศึกษาที่ได้พบว่า ค่าร้อยละความชื้นที่คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 ค่าความเร็วของอากาศประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่รู้สึกว่ากำลังพอเหมาะเป็น 26-27.4 องศาเซลเซียส

C.-O. Olsson และ B. Sunden [7] ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการทำงานในเชิงพลังงานและเชิงกลของหม้อน้ำรถยนต์(radiator)ประเภทต่างๆ และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความดันลดที่เกิดขึ้น รวมทั้งศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนเมื่อของไหลมีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 500-6000 จากผลการศึกษาที่ได้ มีการนำเสนอเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กำลังของปั๊มที่ต้องใช้ ความดันลดที่เกิดในระบบ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในรูปของแผนภาพ และสูตรความสัมพันธ์อย่างง่าย ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อน้ำรถยนต์จะทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกันค่าความดันลดที่เกิดขึ้นในระบบจะเพิ่มขึ้นด้วย

8.การทดลอง

8.1 อุปกรณ์ที่ใช้

เครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้ มีวงจรการทำงานดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 วงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้

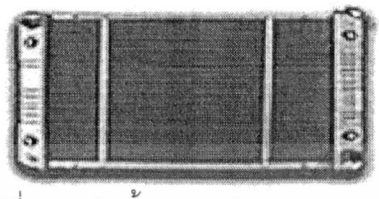
อุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่

1. ถังน้ำแข็ง เป็นภาชนะที่บรรจุน้ำแข็งเพื่อใช้ทำให้น้ำเย็น มีท่อที่เป็นทางออกของน้ำเย็นส่งผ่านปั๊มไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และรับเอาน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนกลับมาเพื่อลดอุณหภูมิให้เย็นลง ขนาดของถังน้ำแข็งที่ใช้ควรมีขนาดเหมาะสม ไม่ใหญ่หรือเล็กจนเกินไป เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปั๊ม (Pump) ทำหน้าที่ดูดและอัดกระแสน้ำเย็นจากถังน้ำแข็ง เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การเลือกขนาดของปั๊มจะต้องพิจารณาถึงความดันลดในระบบเป็นสำคัญ

3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นและอากาศ สำหรับโครงงานนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้เป็นหม้อน้ำรถยนต์ (Radiator) ซึ่งเป็น Compact heat exchanger ประเภทหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 หม้อน้ำรถยนต์ (Radiator) [8]

4. ท่อ ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของน้ำที่ใช้เป็นตัวกลางในการทำความเย็น ขนาดของท่อที่ใช้ควรมีขนาดและความยาวพอเหมาะ เพราะจะมีผลต่อความดันลดในระบบและความเร็วของน้ำ

8.2 หลักการพื้นฐาน

จากรูปที่ 6 กระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้ เป็นดังนี้

กระบวนการ 1 น้ำในถังน้ำแข็งจะถูกทำให้มีอุณหภูมิลดลง เนื่องจากน้ำแข็งจะดึงเอาพลังงานไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะ จากนั้นน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกดูดผ่านปั๊มส่งไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

กระบวนการ 2 น้ำเย็นที่ส่งมาจากถังน้ำแข็ง จะไหลผ่านเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ขณะที่อากาศจะไหลผ่านในทิศตั้งฉากกับการไหลของน้ำ

กระบวนการ 3 ขณะที่อากาศและน้ำไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลทั้งสองกระแสจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่กระแสของไหลคือ น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ

อากาศที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำลง เป็นอากาศในสภาวะที่ต้องการปรับอากาศ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ผ่านออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือ อัตราการไหลของน้ำและอากาศที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิของน้ำที่จุดทางเข้าและทางออก พื้นที่ผิว ประเภทและลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้

กระบวนการ 4 น้ำที่ผ่านออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และถูกส่งกลับไปยังถังน้ำแข็ง เพื่อทำให้อุณหภูมิลดลงจนกลายเป็นน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ หมุนเวียนกลับไปใช้แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 ขั้นตอนการคำนวณและออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ

ในขั้นแรกจะต้องกำหนดและเลือกประเภทหรือชนิดของอุปกรณ์ที่จะใช้ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสม จากนั้นจึงกำหนดสภาวะการทำงานที่จะใช้ แล้วจึงคำนวณเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของอุปกรณ์

ชนิด ขนาดของอุปกรณ์และสภาวะที่กำหนดเพื่อใช้คำนวณเพื่อออกแบบอุปกรณ์

- เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ชนิด	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด (Compact heat exchanger) ที่ใช้เป็นหม้อน้ำรถยนต์
ลักษณะของครีบระบายความร้อน	
- ด้านอากาศ	ครีบเป็นแบบระนาบเรียบ (Plain plate-fin surface) ลักษณะเหมือนรูปที่ 5
- ด้านน้ำ	ท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.0015x0.01 m^2 ความยาวท่อ 0.38 m จำนวนท่อ 45 ท่อ
ขนาด (กว้างxยาวxลึก)	0.38x0.38x0.01 m^3

- ถังน้ำแข็ง

รูปทรงลูกบาศก์

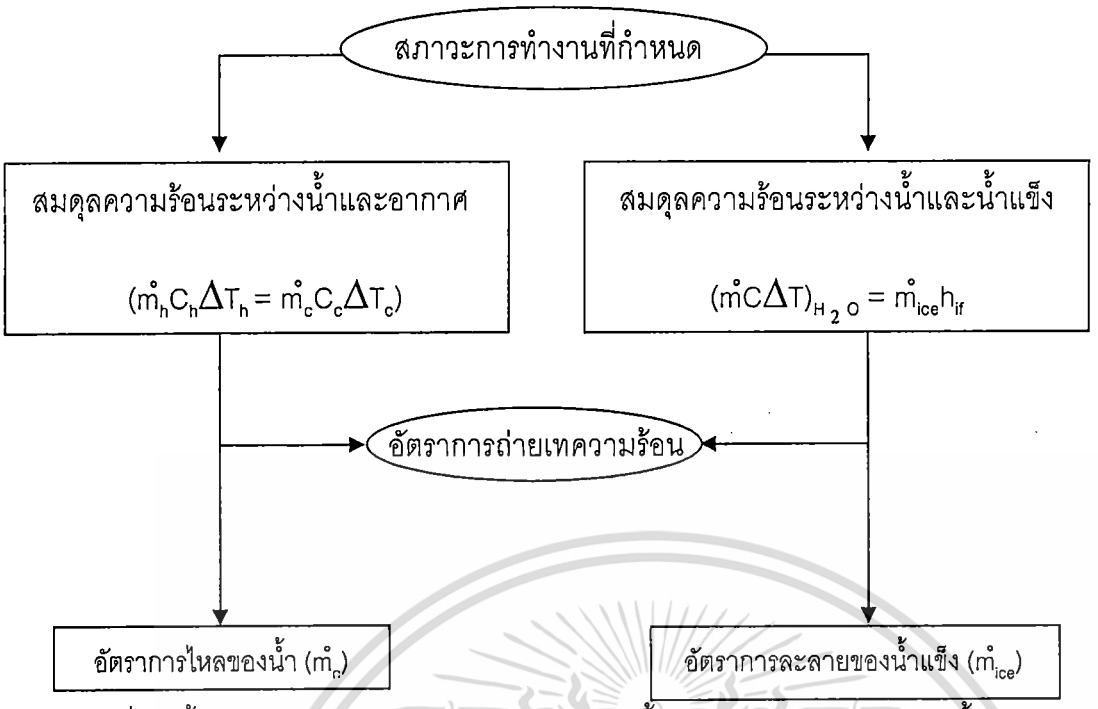
ขนาด (กว้างxยาวxสูง) 0.3x0.3x0.3 m^3

- สภาวะที่กำหนดในการปฏิบัติงาน

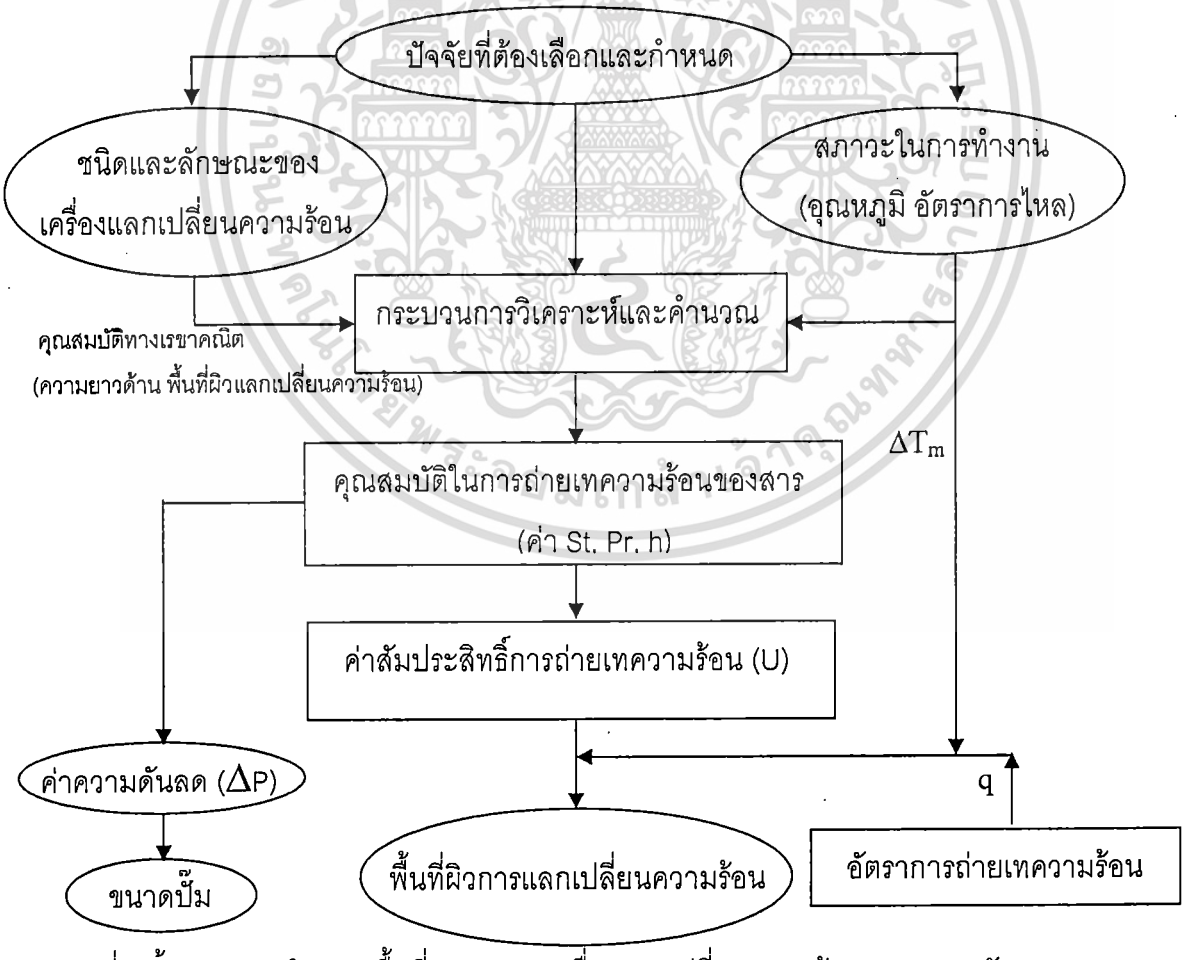
อากาศ		น้ำ	
อัตราการไหล	0.0625 m^3	อุณหภูมิกระแสเย็น	4 °c
อุณหภูมิกระแสเย็น	25 °c	อุณหภูมิกระแสร้อน	10 °c
อุณหภูมิกระแสร้อน	35 °c		

สิ่งที่ต้องการทราบ คือ อัตราการละลายของน้ำแข็ง พื้นที่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องการ ความดันลดที่เกิดขณะผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และพื้นที่ผิวของน้ำแข็งที่ต้องมีในระบบ ขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูปที่ 8, 9 และ 10 โดยใช้หลักในการคำนวณตามที่กล่าวมาแล้วในส่วนทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

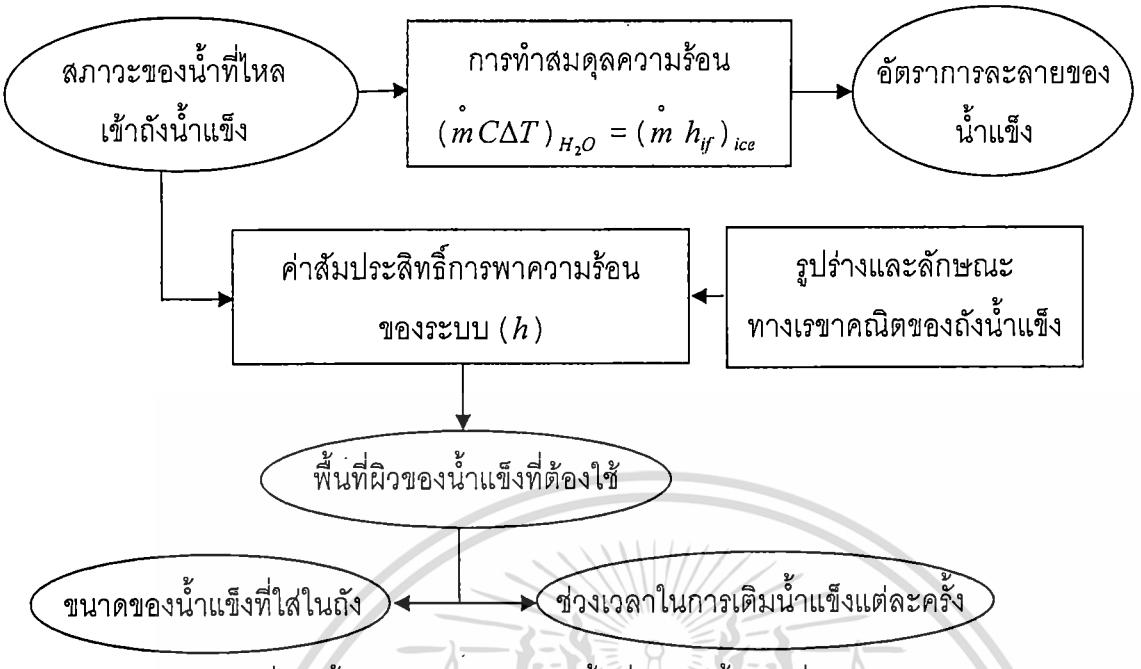


รูปที่ 8 ขั้นตอนการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำและอัตราการละลายของน้ำแข็ง



รูปที่ 9 ขั้นตอนการคำนวณพื้นที่ ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและความดันลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 ขั้นตอนในการคำนวณพื้นที่ผิวของน้ำแข็งที่ต้องใช้

ผลการคำนวณ

<u>เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน</u>

- อัตราการไหลของน้ำ ($\dot{m}_{H_2O}$) = 0.0293 kg/s
- ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ (h_{H_2O}) = 387 $W/m^2 \cdot K$
- ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ (h_{air}) = 40 $W/m^2 \cdot K$
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 36 $W/m^2 \cdot K$
- พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (A) = 0.55-4.9 m^2
- ค่าความดันลด (ΔP) = 110 Pa

<u>ถังน้ำแข็ง</u>

- อัตราการละลาย($\dot{m}_{ice}$) = 8 kg/h
- พื้นที่ผิวของน้ำแข็ง (A_{ice})** = 0.55-4.9 m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. สรุปผลการทดลอง

เครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ได้ที่สร้างขึ้นมานี้สามารถปรับอุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่เปิดกว้างโดยมีอุณหภูมิขาออกจากเครื่องปรับอากาศประมาณ 25 องศาเซลเซียส เมื่อเติมน้ำแข็งปริมาณ 20 กิโลกรัมจะสามารถทำความเย็นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้นาน 1 ชั่วโมง และมีพื้นที่ของการให้ความเย็นในรัศมี 2 เมตร การปรับปรุงประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนควรที่จะได้รับการศึกษาต่อไป

10. เอกสารอ้างอิง

[1] CenGel, Y.A., *Heat Transfer: A Practical Approach*, International Edition. New York: McGraw-Hill, 1998.

[2] จักรพันธ์ *ภวังคะรัตน์*, "*วิสัยทัศน์ งานวิศวกรรมปรับอากาศในอนาคต*" หนังสือวิชา การของสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, เล่มที่ 1 ปีที่ 1 พฤศจิกายน 2541.

[3] J.P. Holman. *Heat Transfer*, 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

[4] นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย, "*การถ่ายเทความร้อน: Heat Transfer*" พิมพ์ครั้งที่ 2, ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์, 2526.

[5] Kays. W. M., London, A.L., *Compact Heat Exchangers*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1984.

[6] Yamtraipat, N., Khedari J., Hirunrabh, J. *Thermal Comfort Standards for Air Conditioned Buildings in Hot and Humid Thailand Considering Addition Factors of Acclimatization and Education Level*, Solar Energy, Vol.25 (2004), p.714.

[7] Olsson, C.O., Sunden, B. *Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Ten Radiator Tubes*, Int. J. Heat and Mass Transfer. Vol.39, No.15, p. 3211-3220, 1996

[8] www.radiator.com: Accessed November, 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้