การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ระหว่างสารทำความเย็น R-22 กับ COLD-22

STUDY AND COMPARE THE EFFICIENCY OF HEAT PUMP DRYING BETWEEN R-22 AND COLD-22 REFRIGERANT

นพรัตน์ อมัติรัตน์

NOPPARAT AMATTIRAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

ระหว่างสารทำความเย็น R-22 กับ COLD-22

นพรัตน์ อมัติรัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

STUDY AND COMPARE THE EFFICIENCY OF HEAT PUMP DRYING BETWEEN R-22 AND COLD-22 REFRIGERANT

NOPPARAT   AMATTIRAT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI
2011

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และจากการทำงานจริงในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายนพรัตน์ อมัติรัตน์

COPYRIGHT © 2011 ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2554
FACULTY OF ENGINEERING คณะวิศวกรรมศาสตร์
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนระหว่างสารทำความเย็น R-22 กับ COLD-22
STUDY AND COMPARE THE EFFICIENCY OF HEAT PUMP DRYING BETWEEN R-22 AND COLD-22 REFRIGERANT

ชื่อนักศึกษา นายนพรัตน์ อมัติรัตน์

รหัสประจำตัว 115170430104-3

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร ทองวิค

วัน เดือน ปี ที่สอบ 6 มีนาคม 2554

สถานที่สอบ ห้องประชุมมีฤทธิ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ
(ดร.วิรชัย โรยนรินทร์)

....กรรมการ
(ดร.เทอดเกียรติ ลิมป์ทีปราการ)

....กรรมการ
(ดร.บัณฑิต กฤตาคม)

....กรรมการ
(ดร.สถาพร ทองวิค)

....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนระหว่างสารทำความเย็น R-22 กับ COLD-22
นักศึกษา นายนพรัตน์ อมัติรัตน์
รหัสประจำตัว 115170430140-3
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร ทองวิค

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนขนาด 12,000 Btu/hr ห้องอบแห้งขนาด 2 X 2 X 2 m^3 โดยแบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกศึกษาหาวิธีการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน เปรียบเทียบระหว่างการใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูกและ 2 ลูก ทำงานสลับกันทีละลูก ขั้นตอนที่สองศึกษาหาสารทำความเย็นที่เหมาะสมกับการใช้งาน ด้วยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22

จากการศึกษาพบว่า ระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ลูกสามารถลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อนดีกว่าระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก คิดเป็น 21.68 % ผลจากความร้อนในคอมเพรสเซอร์ลดลง ทำให้ความดันสารทำความเย็นในระบบด้านต่ำและด้านสูงลดลง คิดเป็น 13.84 % และ 2.5 % ตามลำดับ แต่การใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ลูก ทำงานสลับกันทีลูก ส่งผลใช้ความถี่การสตาร์ทตัวของคอมเพรสเซอร์สูงขึ้น ทำให้ใช้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าการใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก คิดเป็น 4.70 %

จากนั้นทำการศึกษาตามขั้นตอนที่สองพบว่า ระบบที่ใช้สารทำความเย็น COLD-22 มีประสิทธิภาพด้านความสิ้นเปลืองพลังงานดีกว่าระบบที่ใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 30.83 % และสารทำความเย็น COLD-22 ยังสามารถลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ดีกว่า R-22 คิดเป็น 27.84 % ผลจากความร้อนในคอมเพรสเซอร์ลดลง ทำให้กำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ ความดันสารทำความเย็นด้านต่ำและด้านสูงลดลง คิดเป็น 32.16 %, 45.09 % และ 47.92 % ตามลำดับ แต่การใช้สารทำความเย็น COLD-22 ส่งผลให้อุณหภูมิในตู้อบแห้งต่ำกว่าการใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 20.51 % ดังนั้นสารทำความเย็น ในระบบปั๊มความร้อนสามารถเปลี่ยนจาก R-22 เป็น COLD-22 ได้แต่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับอุณหภูมิที่ต้องการในกระบวนการอบแห้ง

คำสำคัญ: การอบแห้ง, ปั๊มความร้อน, สารทำความเย็น, ประหยัดพลังงาน

Thesis Title :	STUDY AND COMPARE THE EFFICIENCY OF HEAT PUMP DRYING BETWEEN R-22 AND COLD-22 REFRIGERANT
Student Name :	Mr. Nopparat Amattirat
Student ID :	115170430140-3
Degree Award :	Master of Engineering
Study Program :	Mechanical Engineering
Academic Year :	2010
Thesis Advisor :	Dr. Sathaporn Thongwitk

ABSTRACT

The research education fumigator dry model heat pump size 12,000 Btu/hr a room bakes dry the size 2 x 2 x 2 m^3 by divide operating is 2 step first step studies to seek the way decreases the heat in the compressor of pump heat system compare with between using compressor 1 goals and 2 goals work alternate each a child second step studies to seek a substance does the refrigerant that is appropriate the usability with efficiency comparison of dry fumigator model heat pump between Refrigerant R-22 and Refrigerant COLD -22

The education meets that the system that use compressor 2 goals reduce heat pump compressor is better than using a compressor 1 goals thinking is 21.86% from the heat in the compressor is down that side low coldness and tall side are down follow with thin is 13.84% and 2.5% respectively but the use the compressor 2 goals Work alternately at a ball. A result, the frequency of compressor starting up make use force against tall electricity more than using compressor 1 goals thin is 4.70 %

From the education meets that the system that use Refrigerant COLD -22 effective wastage energy side better the system that uses Refrigerant R-22 think be 30.83% and Refrigerant COLD - 22 still can decrease the heat in the compressor of pump heat system better Refrigerant R-22 is 27.84% from the heat in the compressor is down make power input to the vapor compressor Refrigerant pressure on low and high side down the think 32.16%, 45.09% and 47.92% respectively but using substance does the coldness and a substance do respectively COLD-22 Resulting in an oven drying temperature lower than the refrigerant R-22 thin is 20.51% therefore a refrigerant COLD-22 can apply with dry fumigator model heat pump has but must consider give appropriate baking dry temperature

Keywords: Drying, Heat pump, Refrigerant, Save energy

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร.สถาพร ทองวิค ซึ่งได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และหาแนวทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานวิจัย โดยตลอดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ช่วยเหลือในด้านข้อมูลและสถานที่ ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัย และให้กำลังใจเสมอมา ทำให้สามารถฝ่าฟันอุปสรรคนานาประการจนสำเร็จ ประโยชน์อันใดจากงานวิจัยขอมอบเป็นกตัญญุตาบูชาแด่บิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

นพรัตน์ อมัติรัตน์
6 มีนาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 กรอบแนวคิด	2
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	4
1.4 สมมติฐาน	4
1.5 ขอบเขต	4
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
1.7 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง	6
2.2 ทฤษฎีการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	7
2.3 การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	8
2.4 การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	11
2.5 สารทำความเย็น	12
2.6 การแบ่งประเภทสารทำความเย็น	18
2.7 แบ่งสารทำความเย็นตามลำดับความปลอดภัย	19
2.8 สารทำความเย็นและความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม	21
2.9 คุณภาพข้าวเปลือก	25
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	31
3.1 เครื่องมือวัดและข้อมูลที่ต้องการ	31
3.2 การทดลองและเก็บข้อมูล	34
3.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 บทนำ	39
4.2 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์	39
4.3 ผลการเปรียบเทียบกำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ	40
4.4 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง	42
4.5 ผลการเปรียบเทียบความชื้น	43
4.6 ผลการเปรียบเทียบอัตราการอบแห้ง	44
4.7 ผลการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	45
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผลงานวิจัย	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	
ก อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	51
ข ตารางบันทึกผลการทดลอง	58
ค วงจรไฟฟ้าและวงจรการไหลเวียนของอากาศที่ใช้ในเครื่องอบแห้ง	68
ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	71
ประวัติผู้เขียน	87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 อุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของฉนวนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์	3
2.1 ตัวอย่างการเลือกใช้สารหล่อลื่นให้เหมาะสมกับสารทำความเย็น	17
2.2 การจัดกลุ่มของสารทำความเย็นตามระดับการทำลายโอโซน	19
2.3 การจัดกลุ่มของสารทำความเย็นตามระดับความปลอดภัย	20
2.4 อายุของสารทำความเย็นในบรรยากาศ	25
4.1 สรุปผลการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	46

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 องค์ประกอบของปัญหาที่เป็นแนวกรอบแนวคิดในงานวิจัย	3
2.1 ความสัมพันธ์อัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้ง	6
2.2 ส่วนประกอบของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	7
2.3 การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอบนแผนภูมิความดันและเอนทัลปี	9
2.4 การเปลี่ยนแปลงชื่อสารทำความเย็นของบริษัท DuPont จาก FREON เป็น Suva	14
2.5 โครงสร้างของสารทำความเย็นกลุ่มมีเทนและอีเทน	15
2.6 การเกิดโอโซนในชั้นบรรยากาศ โดยการกระตุ้นของรังสี UV	22
2.7 การแยกตัวของคลอรีนจาก CFC-12 ในชั้นบรรยากาศ โดยการกระตุ้นของรังสี UV	22
2.8 การหมุนเวียนของคลอรีนในการทำลายโอโซนในบรรยากาศ	23
2.9 การทำงานของชั้นโอโซนและผลของการเกิดหลุมโอโซนในบรรยากาศ	24
3.1 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	31
3.2 การติดตั้งเกจวัดความดันสารทำความเย็น	32
3.3 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิอากาศภายในตู้อบแห้ง	33
3.4 แผนขั้นตอนการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1	34
3.5 แผนขั้นตอนการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2	35
3.6 ภาพจำลองการพล็อตค่าลงในแผนภูมิมอลเลียร์	35
4.1 ค่าอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก	40
4.2 ค่าอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22	40
4.3 ค่ากำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก	41
4.4 ค่ากำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22	41
4.5 ค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก	42
4.6 ค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22	42
4.7 ค่าความชื้นระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก	43
4.8 ค่าความชื้นระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22	43
4.9 ค่าอัตราการอบแห้งระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก	44
4.10 ค่าอัตราการอบแห้งระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22	44
4.11 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก	45
4.12 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22	45

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CFC	Chlorofluorocarbon
COP	Coefficient of performance
EER	Energy efficiency ratio of drying system
GWP	Global Warming Potential
h_1	เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าเครื่องอัดไอ
h_2	เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากเครื่องอัดไอ
h_3	เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากอุปกรณ์ควบแน่น
h_4	เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าอุปกรณ์ระเหย
HCFC	Hydrochlorofluorocarbon
HFC	Hydrofluorocarbon
m_r	อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำงาน
MER	Moisture extraction rate
ODP	Ozone Depletion Potential
PAG	Poly alkylene glycol
POE	Polyol ester
q_{23}	ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากอุปกรณ์ควบแน่น
q_{41}	ความร้อนที่ดูดกลืนเอาไว้ในอุปกรณ์ระเหย
SEC	Specific energy consumption
SMER	Specific moisture extraction rate
W_{12}	งานที่ให้แก่เครื่องอัดไอ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีประชากร ประกอบอาชีพทางด้านเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ ในแต่ละปีมีผลผลิตที่ได้จากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นผลผลิตที่สามารถทำรายได้ให้กับเกษตรกร และเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศ แต่เนื่องจากผลผลิตที่ได้นั้นภายหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว ถ้าจำหน่ายหรือบริโภคไม่หมดก็จะเกิดการเน่าเสียเพราะมีความชื้นสูง ทำให้เกิดเชื้อรา จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการเก็บรักษาด้วยวิธีที่เหมาะสม เพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากผลผลิตให้คุ้มค่าที่สุด ทั้งทางด้านการบริโภคและการส่งออกสินค้าเกษตรกรรม การทำแห้งก็เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการสูญเสียคุณภาพของผลผลิตได้ การทำแห้งผลผลิตทางการเกษตรนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอบ การตาก โดยใช้แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานและยังมีปัญหาด้านคุณภาพของผลผลิตเนื่องจากมีฝุ่นละออง เชื้อโรค สิ่งสกปรกและแมลง การทำให้แห้งโดยการใช้เครื่องอบแห้งจึงเป็นอีกวิธี ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลง [1]

ปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งมาใช้กัน เช่น เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน เครื่องอบแห้งแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เชื้อเพลิงที่ใช้มีทั้งก๊าซ น้ำมัน ไฟฟ้า หรือเศษวัสดุทางการเกษตร เป็นต้น เนื่องจากการอบแห้งเป็นกรรมวิธีการลดความชื้นของวัสดุที่ใช้พลังงานสูง ดังนั้นการใช้เครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพ จะช่วยลดต้นทุนด้านการใช้พลังงานลงได้ เครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนจัดว่าเป็นเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพ ในการใช้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งโดยทั่วไป เนื่องจากสามารถนำความร้อนทิ้งจากระบบการอบแห้ง กลับมาใช้งานได้ทั้งหมดและยังส่งผลให้อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมไม่สูงขึ้นอีกด้วย [2] ซึ่งที่ผ่านมานั้นมีหน่วยงานต่างๆให้ความสนใจ และทำการศึกษาค้นคว้า วิจัย และพัฒนาการอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง แบบปั๊มความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่มีผู้ศึกษา และทำการวิจัยกันอย่างแพร่หลาย เช่น การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลอง เพื่อหาจุดทำงานที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนร่วมกับท่อแลกเปลี่ยน ความร้อน พบว่า อุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมมีค่าอยู่ที่ประมาณ 60°C ความเร็วลมของอากาศอบแห้งประมาณ 1.20 m/s ที่อุณหภูมิและความเร็วลมดังกล่าว เครื่องจะสามารถอบแห้งได้ภายในเวลาประมาณ 16 ชั่วโมง [3] การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของปั๊มความร้อนในกรณีที่ใช้สารทำความเย็นต่างชนิดกันและศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่เหมาะสม

ที่สุด สารทำความเย็นที่ใช้ศึกษา ได้แก่ R-22 R-134a R-407C และ R-410A ผลการศึกษาสรรถนะโดยรวมของของปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R- 407C ใกล้เคียงกับกรณีที่ใช้สารทำความเย็น R-22 ที่สุด และยังพบว่า ภายใต้อุณหภูมิเครื่องควบแน่นคงที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทางออกเครื่องระเหยมีผลทำให้ สัดส่วนความดันของเครื่องอัดแก๊สและปริมาตรเคลื่อนที่เครื่องอัดแก๊สลดลง ในขณะที่ผลทำความเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อนเพิ่มขึ้น [4] การศึกษาเพื่อออกแบบ สร้างและทำการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนแบบระบบปิด ใช้เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างดัดแปลงเป็นระบบปั๊มความร้อนที่มีขนาดการทำความเย็น 1 ตัน (12,000 BTU/hr) ใช้น้ำยาสารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน ทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมการไหลของสารทำความเย็น จากเดิมที่เป็นใช้ท่อรูเข็มเปลี่ยนมาเป็นลิ้นลดความดัน ขนาด 1 ตันความเย็น ซึ่งใช้สำหรับทำความเย็นเพื่อให้อุณหภูมิที่ผิวเครื่องระเหยลดต่ำลงและทำการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องระเหย โดยการติดครีบระบายความร้อนเสริม จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งและวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง [5] จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิลมร้อน ความชื้น ความเร็วลม การออกแบบเครื่องอบแห้ง สารทำความเย็น การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็น ล้วนส่งผลต่อการอบแห้งทั้งสิ้น

ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ด้วยสารทำความเย็นต่างชนิดกัน เพื่อหาสารทำความเย็นที่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ศึกษาวิธีการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน เพื่อประหยัดการใช้พลังงานและรักษาสภาพแวดล้อม โดยใช้ข้าวเปลือกเป็นตัวอย่างในการทดลอง

1.2 กรอบแนวคิด

เมื่อต้องการอุณหภูมิในตู้อบแห้งสูง (60 °C -70 °C) ทำให้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ต้องทำงานตลอดเวลา ไม่มีการตัดอุณหภูมิการทำงานของเครื่องอบแห้งจนกว่าจะทำอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ ส่งผลให้ระบบปั๊มความร้อนทำงานหนัก เพื่อให้มีอุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงส่งผลให้คอมเพรสเซอร์มีความร้อนสะสมสูง คอมเพรสเซอร์ส่วนใหญ่ จะเสียอันเนื่องมาจากเกิดลัดวงจรของขดลวด สาเหตุใหญ่ที่อยู่เบื้องหลัง คือฉนวนเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ดังตารางที่ 1.1 แสดงอุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของฉนวนมอเตอร์ในคอมเพรสเซอร์

ตารางที่ 1.1 อุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของฉนวนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์

Class	อุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของฉนวน (°C)	อุณหภูมิห้องสูงสุด (°C)	อุณหภูมิเพิ่มสูงสุดที่ยอมรับได้ (°C)	ค่าเผื่อทางอุณหภูมิ (°C)
A	105	40	60	5
B	130	40	80	10
C	120	40	75	5
D	155	40	105	10
E	180	40	125	15

องค์ประกอบของปัญหาที่เป็นแนวกรอบแนวคิดในงานวิจัย ดังรูปที่ 1.1

ปัญหา เมื่อต้องการอุณหภูมิในตู้อบแห้งสูง ทำให้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนทำงานตลอดเวลา ส่งผลให้ระบบปั๊มความร้อนทำงานหนัก เพื่อให้มีอุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงส่งผลให้คอมเพรสเซอร์มีความร้อนสะสมสูง

↓

สาเหตุ - ความดันสารทำความเย็นด้านต่ำสูง - กำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอสูง

- ความดันสารทำความเย็นด้านสูงสูง - อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์สูง

↓

เป้าหมาย - ลดอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ - ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

- ป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหาย - ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

↓

วิธีการ หาวิธีการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน โดยวิธีการสลับการทำงานของคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก ทำงานสลับกัน และปรับเปลี่ยนสารทำความเย็นจาก R-22 เป็น COLD-22

รูปที่ 1.1 องค์ประกอบของปัญหาที่เป็นแนวกรอบแนวคิดในงานวิจัย

1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาวิธีการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

1.4 สมมุติฐาน

1.3.1 อุณหภูมิอากาศภายนอกเครื่องอบแห้ง มีอุณหภูมิคงที่ตลอดการทดลอง

1.3.2 ความเร็วมอเตอร์หมุนถาดใส่ข้าวเปลือก หมุนที่ความเร็วเท่ากันทุกการทดลอง

1.3.3 ความเร็วลมภายในเครื่องอบแห้งคงที่ตลอดการทดลอง

1.5 ขอบเขต

1.4.1 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูกและคอมเพรสเซอร์ 2 ลูก ทำงานสลับกันทีละลูก

1.4.2 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ COLD-22

1.4.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 40-60 $^{\circ}$C

1.4.4 ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งคงที่ 1.5 m/s

1.4.5 ความชื้นเริ่มต้นที่ 18 % db

1.4.6 คอมเพรสเซอร์ขนาด 3.51 kW

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

1.5.2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและกรณีศึกษา

1.5.3 ทำการทดลองเก็บข้อมูล และทำการปรับปรุงแก้ไข

1.5.4 นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

1.5.5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1.7 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทำให้ทราบถึงหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน และอุปกรณ์ในระบบการอบแห้ง

1.6.2 ทำให้ทราบผลของการลดความร้อนของระบบปั๊มความร้อน

1.6.3 ทำให้ทราบถึงสารทำความเย็นที่เหมาะสมกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และทำให้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง

1.6.4 สามารถนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาระบบการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในอนาคตได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

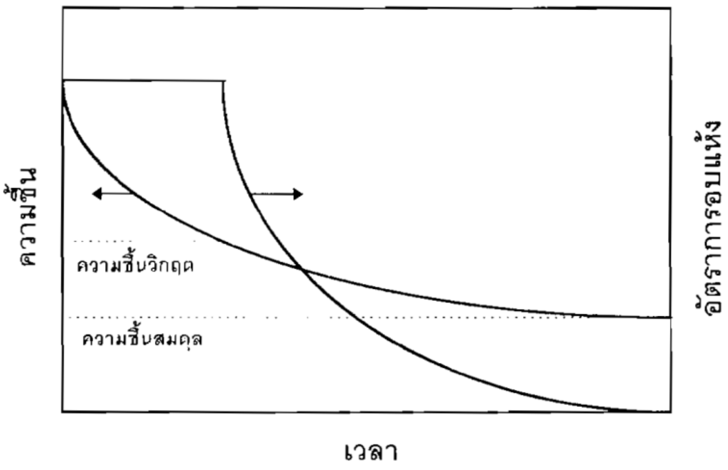
2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุส่วนมากแล้วได้รับความร้อนมาจากความร้อนสัมผัสของอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจะมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสี แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะเป็นการถ่ายเทความร้อน ด้วยการพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งในการอบแห้งโดยทั่วไปมักใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทอากาศร้อนไปยังวัสดุซึ่งความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยของน้ำ โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิววัสดุโดย Capillary Flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว Surface Force ส่วนไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น Vapor Diffusion และความดันไอ Partial Vapor of Pressure ที่ความแตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับความร้อน ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก การลดลงของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ส่งผลให้การอบแห้งคงที่ด้วย และเมื่อปริมาณน้ำที่ผิวของวัสดุลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวย่อมเปลี่ยนไป กล่าวคืออุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของไอน้ำในวัสดุลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต และอัตราการอบแห้งจะลดลงตลอดระยะเวลาการอบแห้ง จนกระทั่งความดันไอของของเหลวในวัสดุมีค่าไม่แตกต่างกับความดันไอของอากาศแวดล้อมในการอบแห้ง ความชื้นที่จุดสุดท้ายเรียกว่า ความชื้นสมดุล เป็นจุดที่ไม่มีการถ่ายเทความชื้นอีกต่อไป [6]

2.1.1 อัตราการอบแห้งแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

1. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น น้ำจะเกาะอยู่ที่ผิววัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อผ่านความเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุ จะทำให้ฟิล์มอากาศนิ่งมีความหนาลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผลให้มีการถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น

2. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การถ่ายเทความร้อนและมวลจะไม่เกิดอยู่ที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในผิวและภายในเนื้อวัสดุด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิมีมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์อัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้ง

2.1.2 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในเนื้อวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ ดังสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.2

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \left(\frac{w - d}{w}\right) x100 \tag{2.1}$$

เมื่อ

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, เศษส่วน

w คือ มวลของวัสดุ, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในวงการค้า โดยทั่ว ๆ ไปจะอ้างถึงในรูปของเปอร์เซ็นต์, 100 % M_w

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \left(\frac{w - d}{d}\right) x100 \tag{2.2}$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

w คือ มวลของวัสดุ, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

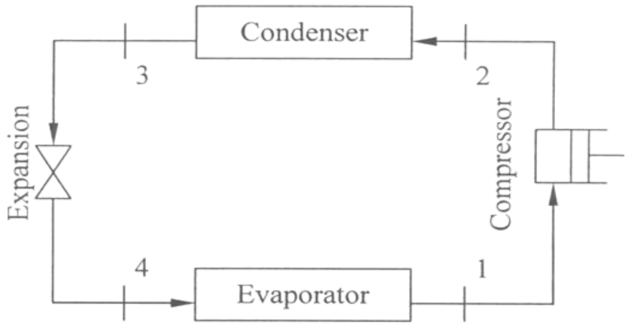
ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ที่ว่าเกือบคงที่นี้ เพราะผลิตผลทางการเกษตรเป็นสิ่งที่มีชีวิต มีการหายใจ ดังนั้นจึงมีการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มวลแห้งลดลง ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเพียงเล็กน้อย

2.2 ทฤษฎีเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

ระบบปั๊มความร้อนมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับหลักการทำงานของระบบทำความเย็นทั่วไป โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของระบบคือ เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น วาล์วลดความดันและเครื่องทำระเหย ซึ่งเป็นส่วนประกอบเดียวกันแต่มีวัตถุประสงค์การใช้งานต่างกันคือ ระบบทำความเย็นเป็นระบบที่ต้องการลดอุณหภูมิภายในห้องลง แล้วดึงความร้อนผ่านเครื่องระเหยไปถ่ายเทด้านนอกห้อง โดยผ่านทางเครื่องควบแน่น ขณะที่ระบบปั๊มความร้อนมีจุดประสงค์ที่ต้องการนำความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเครื่องควบแน่นมาใช้ประโยชน์ ดังนั้น ระบบนี้จึงสามารถให้ความร้อนในการอบแห้งได้ โดยใช้ความร้อนที่ระบายออกจากเครื่องควบแน่น

2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน

การอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนเป็นการรวมระบบอบแห้งและระบบปั๊มความร้อนเข้าด้วยกัน ซึ่งการทำงานของระบบหนึ่งส่งผลต่ออีกระบบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นจะต้องวิเคราะห์การทำงานของทั้งสองระบบไปพร้อมๆ กัน ระบบปั๊มความร้อนประกอบด้วย เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น วาล์วลดความดันและเครื่องทำระเหย ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะเชื่อมต่อกัน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

กระบวนการ 1-2 คือกระบวนการอัดไอที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอ จะทำให้อุณหภูมิ เอนทัลปี และความดันสารทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในทางทฤษฎีกระบวนการอัดไอจะเป็นกระบวนการเอนโทรปีคงที่ แต่ในทางปฏิบัติกระบวนการอัดไอเป็นกระบวนการโพลีโทรปิก และเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้ สาเหตุหลักมาจากเกิดการสูญเสียเนื่องมาจากการเสียดทานของอุปกรณ์ในเครื่องอัดไอซึ่งในความเป็นจริงสภาวะของสารทำความเย็นที่เข้าสู่เครื่องอัดไอจะอยู่ในสถานะไอร้อนยวดยิ่งมากกว่าสถานะไออิ่มตัว

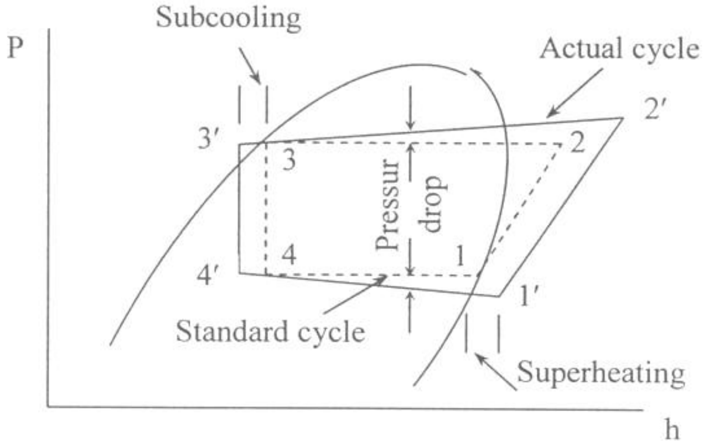
กระบวนการ 2-3 คือกระบวนการควบแน่นซึ่งสารทำความเย็นจะคายความร้อนให้กับอากาศอบแห้งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศก่อนการอบแห้ง ในทางปฏิบัติความดันและอุณหภูมิของ สารทำความเย็นจะไม่คงที่ตลอดทั้งเครื่องควบแน่น แต่จะลดลงไปตามระยะทางของท่อสารทำความเย็น และสารทำความเย็นที่ไหลภายในท่อจะมีลักษณะเป็นสองสถานะ สารทำความเย็นก่อนเข้าสู่วาล์วลดความดัน อาจอยู่ในสภาวะที่สารทำความเย็นลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิของๆ เหลวอิ่มตัวที่เรียกว่า Sub Cooling หรืออาจอยู่ในสภาวะของเหลวอิ่มตัวก็ได้

กระบวนการ 3-4 คือกระบวนการที่สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวจะถูกลดความดันลงโดยผ่านวาล์วลดความดัน ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิลดต่ำลง และอยู่ในสภาวะของผสมระหว่างของเหลวและไอน้ำ ซึ่งพร้อมที่จะรับความร้อนจากระบบ กระบวนการ 3-4 เป็นกระบวนการเอนทัลปีคงที่

กระบวนการ 4-1 คือกระบวนการที่สารทำความเย็นรับความร้อน และสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากสารผสมเป็นไออิ่มตัว หรือในทางปฏิบัติมักจะเป็นไอร้อนยวดยิ่ง ก่อนเข้าสู่เครื่องอัดไอ เช่นเดียวกับกระบวนการ 2-3 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะลดลงไปตามระยะทางและสารทำความเย็นอยู่ในสภาวะสองสถานะ

2.3 การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

วัฏจักรที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของระบบปั๊มความร้อนคือ วัฏจักรย้อนกลับของคาร์โนต์ (Reversed Carnot Cycle) เนื่องจากเป็นวัฏจักรที่ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด ประกอบด้วยกระบวน การอะเดียแบติก 2 กระบวนการ และกระบวนการอุณหภูมิคงที่ 2 กระบวนการ จากรูปที่ 2.3 สามารถวิเคราะห์กระบวนการต่าง ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอบนแผนภูมิความดันและเอนทัลปี

2.3.1 เครื่องอัดไอ (Compressor)

เป็นกระบวนการ อะเดียแบติกที่ย้อนกลับได้ เมื่อคิดที่ไอของสารทำงาน 1 กิโลกรัม งานที่ต้องใช้ในการอัดไอสารทำงาน 1 กิโลกรัม หาได้จากสมการที่ 2.3

$$W_{12} = m_r(h_2 - h_1) \tag{2.3}$$

โดย

W_{12} คือ งานที่ให้แก่เครื่องอัด, kJ/kg

m_r คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำงาน, kg/s

h_1 คือ เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าเครื่องอัดไอ, kJ/kg

h_2 คือ เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากเครื่องอัดไอ, kJ/kg

2.3.2 อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser)

เป็นกระบวนการอุณหภูมิคงที่ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากอุปกรณ์ควบแน่น หาได้จาก สมการที่ 2.4

$$q_{23} = m_r (h_2 - h_3) \tag{2.4}$$

โดย

q_{23} คือ ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากอุปกรณ์ควบแน่น ,kJ/kg

h_2 คือ เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากเครื่องอัดไอ, kJ/kg

h_3 คือ เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากอุปกรณ์ควบแน่น, kJ/kg

2.3.3 วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

เป็นกระบวนการเอนทัลปีคงที่และลดความดันอย่างเดียว ไม่มีงานหรือการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น ดังนี้

$$h_3 = h_4$$

โดย

h_3 คือ เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากอุปกรณ์ควบแน่น, kJ/kg

h_4 คือ เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าอุปกรณ์ระเหย, kJ/kg

2.3.4 อุปกรณ์ระเหย (Evaporator)

เป็นกระบวนการอุณหภูมิคงที่ ความร้อนที่สารทำงาน 1 kg สามารถดูดกลืนเอาไว้ได้หาได้จากสมการที่ 2.5

$$q_{41} = m_r(h_1 - h_4) \tag{2.5}$$

โดย

q_{41} คือ ความร้อนที่ดูดกลืนเอาไว้ในอุปกรณ์ระเหย, kJ/kg

h_1 คือ เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าเครื่องอัดไอ, kJ/kg

h_4 คือ เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าอุปกรณ์ระเหย, kJ/kg

ในการวิเคราะห์นี้ไม่ได้คิดการสูญเสียความดันและเอนทัลปีที่เกิดจากการไหลในท่อ ดังนั้นสมรรถนะของปั๊มความร้อน (Coefficient of Performance, COP) หาได้จากสมการที่ 2.6 หรือสมการที่ 2.7

$$COP = q_{12}/W_{12} \tag{2.6}$$

หรือ

$$= (h_2 - h_1)/(h_1 - h_4) \tag{2.7}$$

ในบางครั้ง COP ของปั๊มความร้อน นิยมเรียกว่า อัตราส่วนของสมรรถนะ (Performance Ratio) และให้นิยามว่า อัตราส่วนของความร้อนที่ระบบถ่ายเทให้กับสิ่งแวดล้อมต่องานที่ใช้ในการอัด [7]

2.4 การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถบอกได้ทั้งในด้านความสามารถในการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

2.4.1 ความสามารถในการอบแห้ง (Capacity of Drying)

ความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถแสดงได้ด้วยอัตราการอบแห้งวัสดุ และอัตราการควบแน่นจากเครื่องทำระเหย (Moisture Extraction rate, MER) หาได้จากสมการที่ 2.8 และสมการที่ 2.9 ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วอัตราการอบแห้งและ MER จะเท่ากันในเครื่องอบแห้งระบบปิด (ถ้าไม่เท่ากันแสดงว่ามีการรั่วซึมของลมออกจากเครื่องอบแห้ง) ดังนั้นในทางปฏิบัติหากไม่สะดวกในการหาอัตราการอบแห้งได้โดยตรงก็สามารถใช้ค่า MER แทนได้ แต่ในเครื่องอบแห้งระบบเปิดหรือระบบปิดบางส่วน ค่า MER ไม่อาจใช้เป็นตัวแทนที่ดีได้สำหรับอัตราการอบแห้ง เพราะปริมาณความชื้นในอากาศไม่ใช่ความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียวเหมือนเครื่องอบแห้งระบบปิด ค่าอัตราการอบแห้งและ MER กำหนด ดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}, \text{ kg water evap./hr} \quad (2.8)$$

และ

$$\text{MER} = \frac{\text{ปริมาณน้ำควบแน่นจากเครื่องระเหย}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}, \text{ kg water cond./hr} \quad (2.9)$$

2.4.2 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy Effectiveness)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.10 และสมการที่ 2.11

$$\text{SEC} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}, \text{ MJ/kg water evap.} \quad (2.10)$$

และ

$$\text{SMER} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}, \text{ kg water evap./kWh} \quad (2.11)$$

2.4.3 สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อนในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 สมรรถนะของปั๊มความร้อนแสดงได้ด้วยค่า Coefficient of Performance (COP) ค่า Energy Efficiency Ratio of Drying System (EER) และค่า Useful heat ดังแสดงในสมการที่ 2.12, 2.13 และ 2.14

$$\text{COP} = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัด}} \quad (2.12)$$

$$\text{EER} = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับระบบเครื่องอบทั้งหมด}} \quad (2.13)$$

$$\text{Useful heat} = \frac{\text{อัตราความร้อนที่ระบายความร้อนของเครื่องควบแน่นตัวใน}}{\text{อัตราความร้อนที่ระบายออกจากเครื่องควบแน่นทั้งหมด}} \quad (2.14)$$

กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัดไอ คือ กำลังงานที่เครื่องอัดไอได้รับ เมื่อหักค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์และแรงเสียดทานที่เครื่องอัดไอ มีค่าประมาณ 80% ของกำลังงานทั้งหมดที่ให้กับเครื่องอัดไอ [6]

2.5 สารทำความเย็น

2.5.1 พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับสารทำความเย็น

การทำความเย็น (Refrigerant) เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ทำหน้าที่รับความร้อนจากเนื้อที่ว่างหรือเทหวัตถุต่าง ๆ ในขณะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ เพื่อทำให้เกิดความเย็นที่เครื่องระเหย โดยนำความร้อนที่ได้รับที่เครื่องระเหยและคอมเพรสเซอร์ ไประบายออกที่คอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่นเป็นของเหลว และนำกลับมารับความร้อนเพื่อสร้างความเย็นใหม่ โดยมีพื้นฐานที่จำเป็นต้องศึกษาดังนี้

คุณสมบัติของสารทำความเย็น (Properties of Refrigerants) สารทำความเย็นที่ดีควรมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Properties) ได้แก่

(1) ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง เพื่อช่วยลดอัตราการไหลของน้ำยาในระบบ ทำให้ขนาดของอุปกรณ์เล็ก น้ำหนักเบา ใช้พลังงานขับน้อยลง

(2) ความหนาแน่นสูง ทำให้ลดขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ในระบบได้

(3) ขุดแข็งตัวต่ำ เพื่อไม่ให้น้ำยาแข็งตัวขณะทำงาน

(4) รวมตัวกับน้ำ มันหล่อลื่นได้ เพื่อให้สามารถพาน้ำ มันหล่อลื่นกลับมาหล่อลื่นที่คอมเพรสเซอร์

(5) มีความต้านทานไฟฟ้าสูง เพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรผ่านน้ำยาขณะทำงาน โดยเฉพาะเมื่อใช้กับคอมเพรสเซอร์ชนิดหุ้มปิด

(6) ค่าความดันเพื่อการควบแน่นต่ำทำให้ขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ลดลง โอกาสที่น้ำยารั่วออกจากระบบน้อยลง และลดอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันสูงในระบบ

2. คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties) ได้แก่

(1) มีโครงสร้างทางเคมีมั่นคง คือสามารถทำงานได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติในระบบโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ

(2) ไม่ติดไฟหรือไม่มีการระเบิดทั้งในสภาวะที่เป็นของเหลว เป็นไอ หรือเมื่อผสมกับน้ำมันหล่อลื่น

(3) ไม่ทำปฏิกิริยาหรือเกิดการกัดกร่อนในอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในระบบ เช่น ยาง พลาสติกเหล็ก ทองเหลือง ทองแดง อะลูมิเนียม เป็นต้น

(4) ไม่เป็นพิษ หรือไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ หรือสิ่งแวดล้อมใด ๆ เช่น มีค่า ODP และ GWP ต่ำ

(5) เมื่อเกิดการรั่ว ไม่ทำให้รส กลิ่น สีของอาหารและน้ำดื่มเปลี่ยนแปลงหรือเป็นอันตรายคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ควรพิจารณา คือ ราคาถูก ค่าการบำรุงรักษาต่ำ ง่ายต่อการควบคุมด้านความปลอดภัย และไม่มีผลกระทบต่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

2.5.2 การเรียกชื่อสารทำความเย็น (Refrigerant Nomenclature)

1. ฟรีออน (Freon) เป็นชื่อที่ใช้เรียกสารทำความเย็นที่ใช้อยู่ทั่วไป โดยบริษัทดูปองท์ (E.I. DuPontde Nemours & Co. Inc.) ซึ่งเป็นบริษัทที่มีชื่อเสียงด้านเคมีภัณฑ์ของสหรัฐอเมริกา เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายสารทำความเย็นแพร่หลายเป็นบริษัทแรก โดยใช้ชื่อทางทะเบียนการค้าว่า FREON เช่น สารทำความเย็น Dichlorodifluoromethane (CCl_2F_2) จะใช้ชื่อว่า FREON-12 เป็นต้น และชื่อ FREON นี้ได้ถูกนำไปใช้เรียกสารทำความเย็นของบริษัทอื่น ๆ ที่ถูกผลิตขึ้นในภายหลังด้วย ถึงแม้ว่าบริษัทต่าง ๆ จะผลิตสารทำความเย็นและมีชื่อทางทะเบียนการค้าเป็นของตัวเองก็ตาม

2. ชื่อสารทำความเย็นที่ถูกต้อง จะต้องเรียก Refrigerant หรือใช้แทนด้วย R เช่น Refrigerant-12 หรือ R-12 โดยจะเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทใดก็ตาม หรืออาจเรียกชื่อตามกลุ่มของสารทำความเย็น เช่น CFC-12 หรือ HCFC-22 เป็นต้น

ข้อสังเกต เนื่องจากสารทำความเย็นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เป็นสารที่ทำลายโอโซนและสร้างภาวะเรือนกระจกในบรรยากาศ ทำให้ชื่อเสียงและภาพพจน์ของสารทำความเย็นเสียหาย ถูกต่อต้านในการนำมาใช้งาน ชื่อของ FREON ซึ่งเคยเป็นตัวแทนของสารทำความเย็นจึงได้รับผลกระทบกระเทือนสูงสุด ปัจจุบันบริษัท DuPont ซึ่งเป็นผู้นำในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านสารทำ

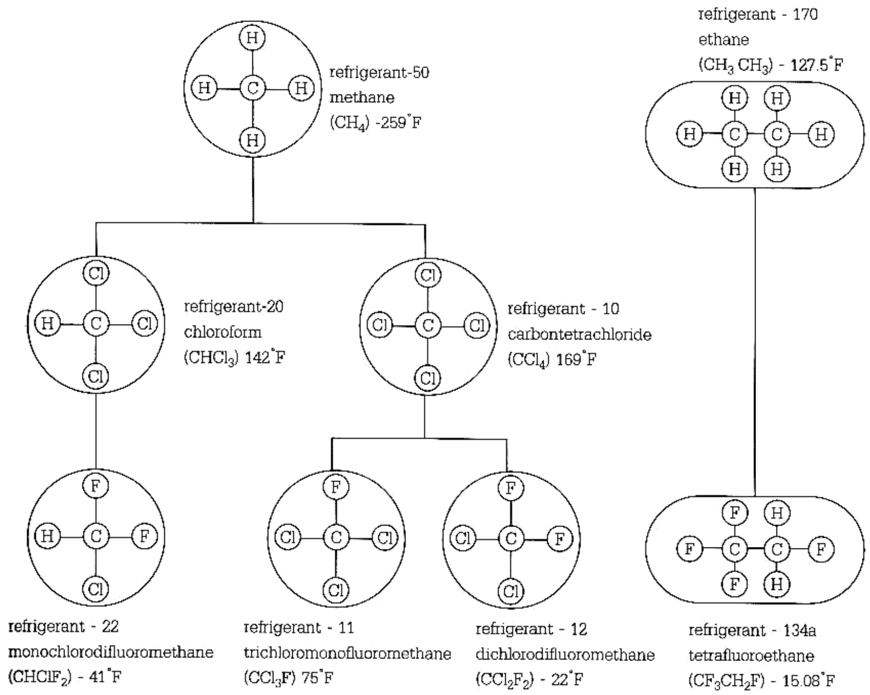
ความเย็นชนิดใหม่ ๆ ออกมาทดแทนสารเดิมที่ทำลายสิ่งแวดล้อมดังกล่าว จึงทำการเปลี่ยนแปลงชื่อทางการค้าของสารทำความเย็นจาก FREON เป็น Suva แทน ดังนั้นต่อไปชื่อของ FREON จะลดความนิยมและความสำคัญลง แต่จะมีสารทำความเย็น Suva เข้ามามีบทบาทในงานด้านสารทำความเย็นแทน ดังตัวอย่าง รูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนชื่อสารทำความเย็นของบริษัท DuPont จาก FREON เป็น Suva

3. ส่วนประกอบทางเคมีของสารทำความเย็น (Chemical Composition) แสดงค่าโดยตัวเลขที่ใช้เขียนบอกชนิดของสารทำความเย็น เช่น R-12, R-22, R-134a โดยตัวเลขดังกล่าวจะแสดงส่วนประกอบทางเคมีที่อยู่ในสารทำความเย็นนั้น

2.5.3 การพัฒนาและการเลือกใช้สารทำความเย็น

การพัฒนาสารทำความเย็นฟลูออโรคาร์บอน (Development of Fluorocarbons) สารทำความเย็นกลุ่มแรกที่นำมาใช้ในระบบทำความเย็นคือ แอมโมเนีย NH3 (R-717) และคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 (R-744) ซึ่งเป็นสารทำความเย็นกลุ่มอนินทรียสาร ต่อมาความต้องการในการใช้ระบบทำความเย็นมีการขยายตัวมากขึ้น จึงต้องการสารทำความเย็นที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น เช่น มีความปลอดภัยสูงขึ้น มีความสามารถในการทำความเย็นดีขึ้น จึงได้มีการพัฒนาสารทำความเย็นกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน เช่น ที่นิยมใช้กันแพร่หลายทั่วไปคือ R-11, R-12, R-22, R-134a เป็นต้น โดยสารทำความเย็นดังกล่าวได้จากการสังเคราะห์โมเลกุลของมีเทน (Methane – CH_4) และอีเทน (Ethane – C_2H_6) ดังตัวอย่าง รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารทำความเย็นกลุ่มมีเทนและอีเทน

ข้อสังเกต การได้มาของสารทำความเย็น R-22 และ R-12 ซึ่งเป็นสารทำความเย็นกลุ่มมีเทนนั้นเริ่มพิจารณาจากโมเลกุลของมีเทนซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน (C) 1 อะตอม และไฮโดรเจน (H) 4 อะตอม

1. R-22 (Monochlorodifluoromethane – $CHClF_2$) ได้จากการเปลี่ยนไฮโดรเจนจำนวน 3 อะตอมด้วยคลอรีน (Cl) จะได้เป็น R-20 (Chloroform – $CHCl_3$) เมื่ออะตอมของคลอรีนถูกเปลี่ยนเป็นอะตอมของฟลูออรีน (F) จำนวน 2 อะตอม จะได้สารทำความเย็น R-22 ซึ่งเป็นสาร HCFC นิยมใช้ในเครื่องปรับอากาศทั่วไป

2. R-12 (Dichlorodifluoromethane – CCl_2F_2) ได้จากการเปลี่ยน R-10 โดยแทนที่คลอรีนด้วยฟลูออรีนจำนวน 2 อะตอม ผลที่ได้จะเป็น R-12 ซึ่งเป็นสาร CFC ที่นิยมใช้ในตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศรถยนต์ทั่วไป

3. R-134a (Tetrafluoroethane – CF_3CH_2F) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มอีเทน ซึ่งโมเลกุลของอีเทนจะประกอบด้วยคาร์บอน 2 อะตอม และไฮโดรเจน 6 อะตอม เมื่อเปลี่ยนไฮโดรเจนด้วยฟลูโอรีนจำนวน 4 อะตอมจะได้เป็น R-134a ซึ่งเป็นสาร HFC เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนามาใช้แทนสาร CFC

4. Cold-22 (Propane - $CH_3CH_2CH_3$) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ซึ่งโมเลกุลของโพรเพนจะประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนามาใช้แทนสาร R-22 ซึ่งอยู่ในกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน

5. Cold-134a (Propane - $CH_3CH_2CH_3$ + butane - CH $(CH_3)_3$) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอนซึ่งโมเลกุลของโพรเพนจะประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม กับโมเลกุลของบิวเทนจะประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม และไฮโดรเจน 10 อะตอม เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนามาใช้แทนสาร R-134a

2.5.4 การเลือกใช้สารทำความเย็น

1. R-12 (CCl_2F_2) เป็นสารทำความเย็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด ผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายโดยบริษัทดูปองก์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2473 (ค.ศ. 1930) เนื่องจากเป็นสารที่มีความปลอดภัย ไม่ติดไฟ มีระดับความปลอดภัย A1 แต่ห้ามสารทำความเย็น R-12 สัมผัสกับเปลวไฟ เพราะจะกลายเป็นสารพิษได้ มีจุดเดือด -21.6 °F (-29.8°C) ที่ความดันบรรยากาศ ใช้งานได้ทั้งระบบที่มีอุณหภูมิสูง ปานกลาง และต่ำ R-12 รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นได้ดีในทุกสภาวะ ทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องน้ำมันหล่อลื่นค้างในระบบสารทำความเย็นสามารถพาน้ำมันหล่อลื่นกลับคอมเพรสเซอร์ได้ดี โดยเฉพาะจะไม่มีฟิล์มน้ำมันจับเคลือบที่ผิวท่อ ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดี R-12 มีอัตราการทำความเย็นต่ำจึงมีขนาดของอุปกรณ์ใหญ่กว่า แต่มีข้อดีคือทำงานได้ที่ความดันต่ำ นิยมใช้ทั่วไป เช่น ตู้เย็น ตู้แช่ เครื่องปรับอากาศรถยนต์ เป็นต้น

2. R-22 ($CHClF_2$) เป็นสารกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A1 มีจุดเดือด -41.4 °F (-40.8 °C) ที่ความดันบรรยากาศ เมื่อเทียบกับ R-12 แล้ว R-22 จะทำงานที่ความดันสูงกว่า แต่ใช้คอมเพรสเซอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าเพราะมีปริมาตรจำเพาะน้อยกว่า R-22 สามารถรวมกับน้ำมันหล่อลื่นได้แต่จะแยกตัวออกที่อุณหภูมิต่ำเมื่ออยู่ในเครื่องระเหย ใช้กับเครื่องทำความเย็นเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กและขนาดใหญ่ทั่วไป

3. R-134a (CF_3CH_2F) เป็นสารกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A1 มีจุดเดือด -15.0°F (-26.2 °C) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-12 ซึ่งได้ถูกยกเลิกการผลิตตามข้อบังคับของพิธีสารมอนทรีออล R-134a มีคุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำได้ดี (Watersolubility) จึงมีโอกาสที่จะเกิดน้ำแยกตัวออกจากสารทำความเย็นไปเป็นน้ำแข็งอุดตันลิ้นลดความดันได้และเนื่องจากไม่สามารถรวมตัวกับสารหล่อลื่นชนิด Mineral Oils ได้ จึงต้องใช้สารหล่อลื่นชนิดพิเศษคือ Polyol Ester (POE) และเนื่องจาก POE เป็นสารหล่อลื่นที่มีความสามารถในการดูดความชื้นสูง จึงต้องระวังอย่าให้มีโอกาสสัมผัสกับอากาศ ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศรถยนต์และตู้เย็นที่ผลิตใหม่ถูกบังคับให้เปลี่ยนมาใช้ R-134a แทน R-12 ทั้งหมด

4. Cold-22 ($CH_3CH_2CH_3$) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A3 มีจุดเดือด -43.6 °F (-42 °C) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-22 ไม่มีอันตรายต่อชั้นบรรยากาศโอโซน มีค่า GWP (Global Warming Potential) <3 มีอายุขัย ณ ชั้นบรรยากาศ <1 ปี มีค่าความเป็นพิษอยู่ในระดับต่ำ เมื่อเทียบกับ R-22 แล้ว จะทำงานที่ความดันต่ำกว่า ใช้ระบบเดียวกันกับ R-22 ได้ ไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ (Water Insoluable) มีอุณหภูมิติดไฟอัตโนมัติที่ความดัน 0 psi ที่ 450 °C ใช้ทดแทนในระบบ R-22

5. Cold-134 ($CH_3CH_2CH_3$+$CH(CH_3)_3$) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A3 มีจุดเดือด -22.9 °F (-30.5 °C) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-134a ไม่มีอันตรายต่อชั้นบรรยากาศโอโซน มีค่า GWP (Global Warming Potential (GWP) <3 มีอายุขัย ณ ชั้นบรรยากาศ <1 ปี มีค่าความเป็นพิษอยู่ในระดับต่ำ เมื่อเทียบกับ R-134a แล้ว จะทำงานที่ความดันต่ำกว่า ใช้ระบบเดียวกันกับ R-134a ได้ ไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ (Water Insoluable) มีอุณหภูมิติดไฟอัตโนมัติที่ความดัน 0 psi ที่ 460 °C ใช้ทดแทนในระบบ R-134a

2.5.5 สารหล่อลื่น (Lubricants)

สารหล่อลื่นที่ใช้ในระบบทำความเย็นเพื่อการหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์มีคุณสมบัติพื้นฐานที่ต้องการคือ ไม่มีส่วนผสมของไข (Wax Free) เพื่อป้องกันการแข็งตัวอุดตันในระบบเมื่อสัมผัสกับช่วงอุณหภูมิต่ำ ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า และสามารถรวมตัวกับสารทำความเย็นได้ดีในทุกสภาวะ เพื่อป้องกันการแยกตัวออกจากสารทำความเย็นและตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ต่าง ๆ แบ่งออกตามพื้นฐานที่ได้มาเป็น 2 กลุ่มคือ

1. กลุ่มที่ได้จากกรรมวิธีแยกกลั่นจากน้ำมันดิบ (Napthneric or Paraffinic Based) คือ Mineral Oil (MO) ซึ่งใช้กับสารทำความเย็นที่ใช้ในปัจจุบันทั่วไป แต่ไม่สามารถใช้ได้กับสารทำความเย็นกลุ่ม HFC เช่น R -134a เนื่องจาก MO ไม่สามารถรวมตัวกับสาร HFC ได้

2. กลุ่มที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี (Synthetic Based) ได้แก่ สารหล่อลื่นชนิด Alkyl Benzene (AB), Polyol Ester (POE), Poly Alkylene Glycol (PAG) ซึ่ง AB หรือ POE นั้นอาจจะใช้งานโดยอิสระ เช่น POE ซึ่งนำไปใช้หล่อลื่นระบบสารทำความเย็น HFC เช่น R-134a, R-507, R-404A, R-407A หรืออาจนำไปผสมกับ MO เพื่อใช้กับสาร HCFC เช่น R-401A, R401B, R-402A เป็นต้น การใช้สารหล่อลื่นชนิด POE มีข้อควรระวังเนื่องจาก POE มีความสามารถในการดูดความชื้น (Hygroscopic) สูงมาก จึงต้องระวังไม่ให้มีโอกาสสัมผัสกับอากาศหรือความชื้นได้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการเลือกใช้สารหล่อลื่นให้เหมาะสมกับสารทำความเย็น

Refrigerant	Lubricant Type			
	Mineral oil (MO)	Alkylbenzene (AB)	MO/AB blend (MO/AB)	Polyol ester (POE)
CFC-12	P	A	A	A
CFC-502	A	P	P	A
HCFC--408A	A	P	P	A
HCFC-409A	A	P	P	A
HCFC-22	P	A	A	A
HFC-134a	NC	NC	NC	P
HFC-404A	NC	NC	NC	P
HFC-407C	NC	NC	NC	P
HFC-410A	NC	NC	NC	P

ความหมาย A = ยอมให้ใช้ได้

P = เหมาะสมที่สุดควรเลือกใช้

NC = ไม่สามารถใช้ได้เพราะสารทำความเย็นและสารหล่อลื่นไม่สามารถเข้ากันได้

สารทำความเย็น Cold -22 เป็นสารทำความเย็นที่ผลิตขึ้นโดยการส่วนผสมหลักจากแก๊สธรรมชาติซึ่งไม่มีปัญหาในการทำลายชั้นบรรยากาศ (ODP) และไม่ทำให้ปัญหาพื้นโลกร้อนขึ้น (GWP) ได้มีการพัฒนาสารทำความเย็น Cold -22 ให้เหมาะสมกับสภาพอากาศในเขตร้อน เป็นเวลากว่า 12 ปี เพื่อให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมโดยทั่วไป และสามารถช่วยในการประหยัดพลังงานระหว่างคอมเพรสเซอร์ ทำงานเย็นเร็วกว่าสารทำความเย็น ประเภท CFCs HCFCs or HFCs Based Refrigerant Gases ด้วยเหตุผลของค่าจุดเดือดของสารทำความเย็นทดแทน Cold -22 มีความดันต่ำกว่าสารทำความเย็นที่กล่าวมาข้างต้น สามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการหมุนเครื่องคอมเพรสเซอร์ได้ไม่น้อยกว่า 10% (10%-30% Range) ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงหรือดัดแปลงระบบเครื่องทำความเย็นรวมทั้งสารหล่อลื่นที่สามารถใช้ได้ทั้ง น้ำมัน MO หรือ POE คุณสมบัติของสารทำความเย็น Cold -22 ไม่ทำการกัดกร่อนระบบ การดูดความร้อนได้ดี โดยใช้พลังงาน ในการหมุนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์น้อยกว่าจึงทำให้การสึกหรอของระบบน้อยลง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา ไม่มีความจำเป็นจะเปลี่ยนน้ำมันคอมเพรสเซอร์ เป็นชนิดสังเคราะห์ (POE) เพราะ สารทำความเย็นCold-22 เป็นสารทำความเย็นตระกูลเดียวกับน้ำมันคอมเพรสเซอร์ของ R -12 R -22 (MO) เป็นสารทำความเย็นประเภท สารทดแทนระยะยาว (ODP 0.0 และ GWP < 3)

2.6 การแบ่งประเภทของสารทำความเย็น

2.6.1 แบ่งตามระดับการทำลายโอโซนในบรรยากาศ

สารทำความเย็นแบ่งตามระดับการทำลายโอโซนในบรรยากาศได้ 3 กลุ่ม

1. สาร CFC (Chlorofluorocarbon) คือสารทำความเย็นที่มีคลอรีน ซึ่งมีค่าระดับการทำลายโอโซน (Ozone –O_3) ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratospheric) เช่น R-11, R-12 ซึ่งมีค่าระดับการทำลายโอโซน (ODP= 1)

2. สาร HCFC (Hydrochlorofluorocarbon) คือสารทำความเย็นที่มีคลอรีนเป็นส่วนประกอบเช่นเดียวกับกลุ่ม CFC แต่มีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบเพิ่มเติม ทำให้ HCFC สลายตัวได้รวดเร็วกว่าสาร CFC ยังคงมีส่วนในการทำลายโอโซนในบรรยากาศบ้าง เช่น R-22 (ค่า ODP = 0.055)

3. สาร HFC (Hydrofluorocarbon) คือสารทำความเย็นที่ไม่มีส่วนประกอบของคลอรีน จึงไม่ทำลายโอโซน ในบรรยากาศเลย เช่น R-134a (ค่า ODP = 0) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจัดกลุ่มของสารทำความเย็นตามระดับการทำลายโอโซน

Refrigerants		
CFC's	**HCFC's**	**HFC's**
R-11	R-22	R-134a
R-12	R-123	R-143a
R-13	R-124	R-404A
R-500	R-401A	R-407A
R-502	R-401B	R-407C
R-503	R-402A	R-410A
R-113	R-402B	R-125
R-114	R-403B	R-507
R-115	R-406A	R-32
	R-408A	R-23
	R-409A	
	R-69L	

2.7 แบ่งสารทำความเย็นตามระดับความปลอดภัย

2.7.1 ความเป็นพิษ (Toxicity)

จัดระดับความเป็นพิษของสารทำความเย็นเป็น 2 ระดับคือClass A = ระดับความเป็นพิษต่ำ (Low Toxicity)

2.7.2 ความสามารถในการติดไฟ (Flammability)

จัดระดับความสามารถในการติดไฟของสารทำความเย็น ออกเป็น 3 กลุ่ม เมื่อนำไปใช้งานคือ

Group 1 = ไม่ติดไฟ (No Flammability)

Group 2 = ติดไฟได้ (Low Flammability)

Group 3 = ติดไฟได้ง่าย (High Flammability)

เมื่อนำค่าความเป็นพิษ และความสามารถในการติดไฟมาจัดรวมเป็นระดับความปลอดภัยของสารทำความเย็น จะจัดเป็นระดับ A1, A2, A3, B1, B2 และ B3 ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การจัดกลุ่มของสารทำความเย็นตามระดับความปลอดภัย

Refrigerant Number	Chemical Formula	Safety Group	
		Old	New
10	CCl_4	2	B1
11	CCl_3F	1	A1
12	CCl_2F_2	1	A1
13	$CClF_3$	1	A1
13B1	$CBrF_3$	1	A1
14	CF_4	1	A1
21	$CHCl_2F$	2	B1
22	$CHClF_2$	1	A1
30	CH_2Cl_2	2	B2
40	CH_3Cl	2	B2
50	CH_4	3a	A3
113	CCl_2FCClF_2	1	A1
114	$CClF_2CClF_2$	1	A1
115	$CClF_2CF_3$	1	A1
123	$CHCl_2CF_3$		B1
134a	CH_2FCF_3		A1
142b	CH_3CClF_2	3b	A2
152a	CH_3CHF_2	3b	A2
170	CH_3CH_3	3a	A3
290	$CH_3CH_2CH_3$	3a	A3
C318	C_4F_8	1	A1
400	R-12/114	1	A1/A1
500	R-12/152a	1	A1
501	R-22/12	1	A1
502	R-22/115	1	A1
600	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	3a	A3
600a	$CH(CH_3)_3$	3a	A3
611	$HCOOCH_3$	2	B2
702	H_2		A3
704	He		A1
717	NH_3	2	B2
718	H_2O		A1
720	Ne		A1
728	N_2		A1
740	Ar		A1
744	CO_2	1	A1
764	SO_2	2	B1
1140	$CH_2 = CHCl$		B3
1150	$CH_2 = CH_2$	3a	A3
1270	$CH_3CH{=}CH_2$	3a	A3

2.8 สารทำความเย็นและความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม

2.8.1 ชั้นบรรยากาศของโลก

ประกอบด้วยแก๊สไนโตรเจน 78% แก๊สออกซิเจน 20% ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน เป็นต้น โดยปริมาณของแก๊สจะแตกต่างกันตามระดับความสูงของชั้นบรรยากาศ ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 4 ชั้นคือ

1. ชั้นโทรโปสเฟียร์ (Troposphere) คือชั้นที่อยู่ตั้งแต่ผิวโลกขึ้นไปจนถึงความสูงประมาณ 12 กิโลเมตร

2. ชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) คือชั้นบรรยากาศที่มีความสูงระหว่าง12 -50 กิโลเมตร

3. ชั้นเมโซสเฟียร์ (Mesosphere) คือบรรยากาศชั้นที่มีความสูงระหว่าง 50 - 85 กิโลเมตร

4. ชั้นเทอร์โมสเฟียร์ (Thermosphere) คือบรรยากาศชั้นที่มีความสูงตั้งแต่ 85 กิโลเมตรขึ้นไป

2.8.2 โอโซน (Ozone)

เป็นแก๊สที่ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม (O_3) กระจายอยู่ทั่วไปในบรรยากาศ ที่ระดับผิวโลกจะมีโอโซนผสมอยู่น้อยมากคือไม่ถึงหนึ่งในล้านส่วน แต่จะมีโอโซนหนาแน่นที่สุดในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ที่ระดับความสูง 25 - 35 กิโลเมตร จะมีโอโซนมากถึงสิบส่วนในล้านส่วน โอโซนเป็นแก๊ส มีสีน้ำเงิน มีกลิ่นฉุน นอกจากพบในชั้นบรรยากาศยังพบในบริเวณเครื่องฉายรังสีเอกซ์ (X-rays) เครื่องผลิตรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet Generator) ประกายไฟ (Electric Arcs) หน้าที่ของโอโซนในชั้นบรรยากาศ ที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกคือ

1. เป็นตัวดูดซึมรังสีเหนือม่วงไว้ประมาณ 95% ที่เหลือจะส่งผ่านมาถึงผิวโลก นั่นคือโอโซนจะทำหน้าที่กรองรังสีจำนวนมากไว้ไม่ให้ส่งมาถึงพื้นโลก จนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนผิวโลก

2. เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโลก โดยการแผ่ความร้อนจากที่ดูดซึมไว้ลงมาในชั้นบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิของโลกอยู่ในภาวะปกติ คือไม่ร้อนหรือเย็นจนเกินไป

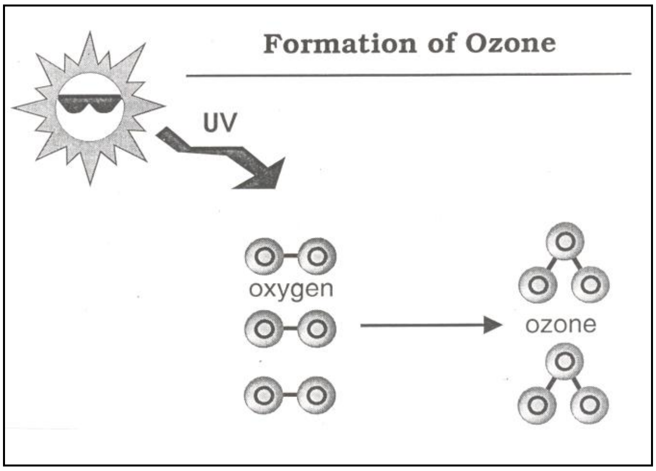
2.8.3 การเกิดโอโซน (Ozone Formation)

โอโซน(O_3) เกิดจากออกซิเจน 1 โมเลกุลรวมตัวกับอะตอมของออกซิเจนอิสระ ดังรูปที่ 2.6

$$O_2 + O \rightarrow O_3$$

โดยอะตอมของออกซิเจนเกิดจากโมเลกุลของออกซิเจนแตกตัว โดยรังสีเหนือม่วง (UV) เป็นตัวเร่ง

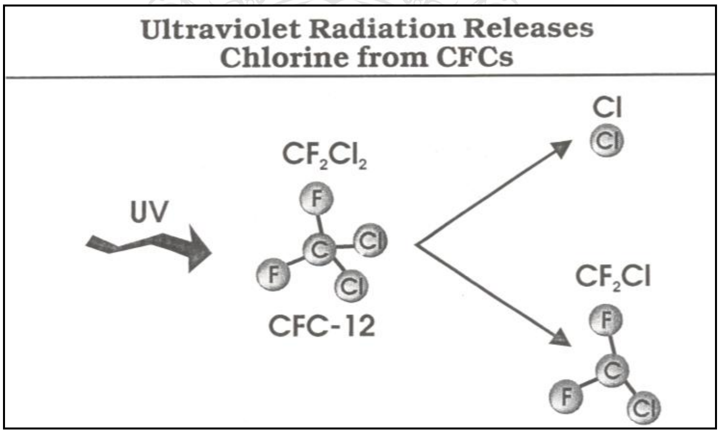
$$O_2 \rightarrow O + O$$



รูปที่ 2.6 การเกิดโอโซนในชั้นบรรยากาศ โดยการกระตุ้นของรังสี UV

2.8.4 การทำลายโอโซน (Ozone Depletion)

สารทำความเย็นกลุ่ม CFC ซึ่งมีคลอรีน (Cl) เป็นส่วนประกอบ เมื่อสารทำความเย็นถูกปล่อยสู่บรรยากาศ จะถูกกระแสลมพาขึ้นสู่บรรยากาศชั้นสตาร์โตสเฟียร์ รังสี UV จะทำให้คลอรีนแตกตัวออก เช่น CFC-12 (CF_2Cl_2) เมื่อลอยขึ้นสู่บรรยากาศจะถูกรังสี UV แยกคลอรีนออกเป็นอะตอมอิสระ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การแยกตัวของคลอรีนจาก CFC-12 ในชั้นบรรยากาศ โดยการกระตุ้นของรังสี UV

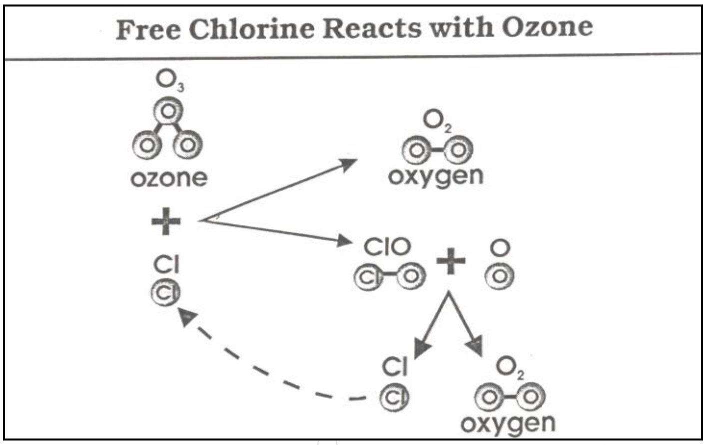
คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับโอโซน ได้ออกซิเจน และคลอรีนโมน็อกไซด์ (ClO)

$$Cl + O_3 \rightarrow O_2 + ClO$$

คลอรีนโมน็อกไซด์จะรวมตัวกับอะตอมของออกซิเจนอิสระ ได้อะตอมของคลอรีนและออกซิเจน

$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2$$

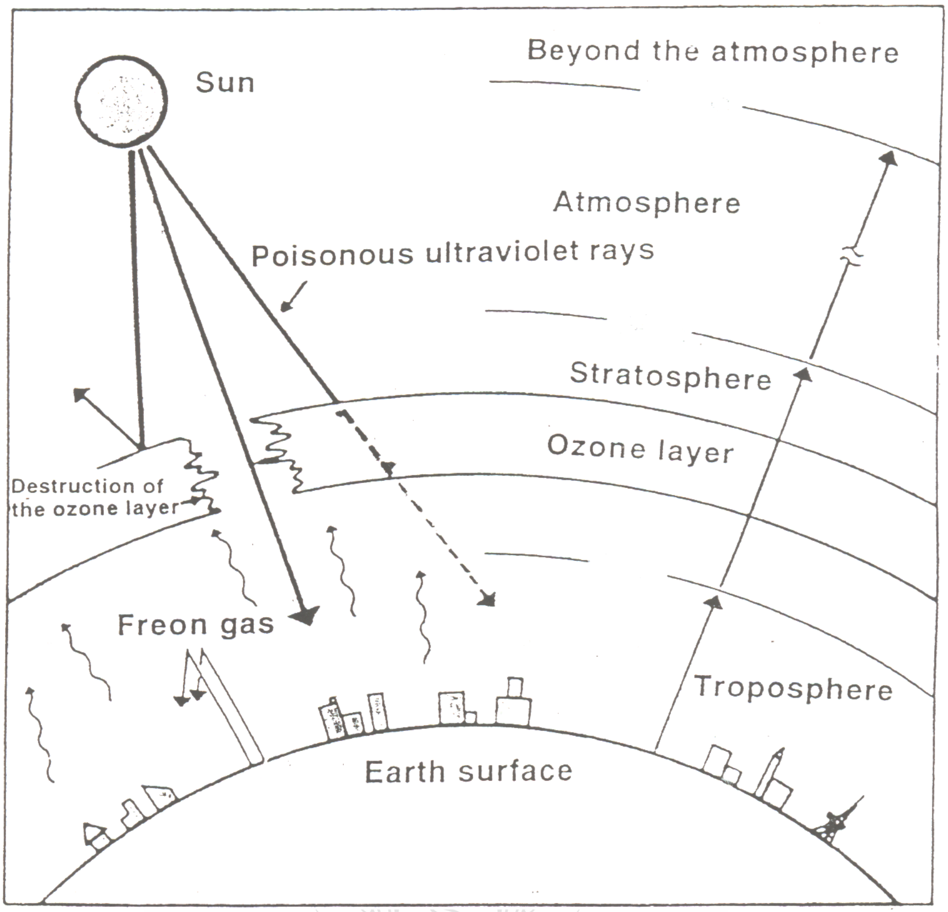
อะตอมของคลอรีนที่ได้มา จะหมุนเวียนกลับมาเป็นตัวเร่ง (Catalyst) ในการทำลายโอโซนต่อไป โดยเฉพาะสาร CFC ซึ่งมีอายุอยู่ในบรรยากาศได้มากกว่า 100 ปี จึงสามารถทำให้คลอรีนเพียง 1 โมเลกุลสามารถหมุนเวียนมาทำลายโอโซนได้นับแสนโมเลกุล ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การหมุนเวียนของคลอรีนในการทำลายโอโซนในบรรยากาศ

2.8.5 การเกิดหลุมโอโซน (Ozone Hole) เนื่องจากในบรรยากาศชั้นสตาร์โตสเฟียร์ประกอบด้วยชั้นของโอโซน (Ozone Layer) ซึ่งทำหน้าที่กรองรังสี UV จากดวงอาทิตย์ไม่ให้ผ่านลงมาถึงโลกมากเกินไป แต่เนื่องจากปริมาณการปล่อยสารทำความเย็นสู่บรรยากาศมีจำนวนมาก โอโซนจึงถูกทำลายโดยปฏิกิริยาลูกโซ่ของคลอรีน ทำให้เกิดหลุมโอโซนขึ้น ทำให้รังสี UV ผ่านลงมายังโลกมากขึ้น ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งทำให้เกิดผลคือ

1. ทำให้ผิวหนังไหม้ เหี่ยวย่นก่อนวัย หรือเกิดมะเร็งผิวหนังง่ายขึ้น
2. ทำให้ภูมิคุ้มกันโรคต่าง ๆ ลดลง
3. เกิดต้อกระจกที่ดวงตามากขึ้น
4. ผลผลิตของพืชพันธ์ธัญญาหารลดลง
5. ปริมาณสัตว์ทะเลลดลง เนื่องจากปริมาณอาหารหรือแพลงตอน (Plankton) ลดลง



รูปที่ 2.9 การทำงานของชั้นโอโซน และผลของการเกิดหลุมโอโซนในบรรยากาศ

2.8.6 การคงสภาพของสารทำความเย็นในบรรยากาศ (Atmospheric Lifetime)

สารทำความเย็นที่ปล่อยออกจากระบบ สามารถที่จะคงอยู่ในบรรยากาศได้เป็นระยะเวลานานแตกต่างกันตามชนิดของสารทำความเย็น เช่นสารกลุ่ม CFC เป็นสารที่สามารถอยู่ในบรรยากาศได้นาน จึงมีโอกาสที่จะหมุนเวียนทำลายโอโซน หรือสะสมทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกเกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อมของโลกอย่างมาก จึงเป็นสารทำความเย็นกลุ่มแรกที่จะถูกยกเลิกการใช้งาน เช่นตัวอย่าง CFC-11 สามารถอยู่ในบรรยากาศได้นาน 60 ปี หรือ CFC-12 จะอยู่ในบรรยากาศได้นานถึง 120 ปี เป็นต้น ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 อายุของสารทำความเย็นในบรรยากาศ

Refrigerant			Atmospheric Lifetime (Yrs.)
Type	R No.	Chemical Name	
	717	Ammonia	<2 weeks
	744	Carbon Dioxide	120
	-	Methane	10
	-	Nitrous Oxide	150
CFC	11	Trichlorofluoromethane	60
	12	Dichlorodifluoromethane	120
	113	1, 1, 2-Trichlorotrifluoroethane	100
	114	1,2-Dichlorotetrafluoroethane	240
	115	Chloropentafluoroethane	540
HCFC	22	Chlorodifluoromethane	18
	123	1,1-Dichloro-2, 2, 2- trifluorethane	2
	124	2-Chloro-1, 1, 1, 2-tetrafluorethane	8
	141b	1,1-Dichloro-1-fluoroethane	8
	142b	1-Chloro-1, 1-difluoroethane	22
HFC	125	Pentafluoroethane	30
	134a	1, 1, 1, 2-Tetrafluoroethane	18
	143a	1, 1, 1-Trifluoroethane	47
	152a	1, 1-Difluoroethane	2

2.9 คุณภาพข้าวเปลือก

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวเปลือกโดยตรง ได้แก่ความชื้น สิ่งเจือปน เมล็ดร้าว เมล็ดอ่อน เมล็ดเปลี่ยนสี เมล็ดเสีย ข้าวแดง และความบริสุทธิ์ของพันธุ์ข้าว นอกจากนี้ คุณภาพข้าวเปลือกยังได้รับผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อมต่างๆเช่น สภาพภูมิอากาศในฤดูกาลผลิต วิธีการผลิต ดิน วิธีการเก็บเกี่ยว และการปฏิบัติการหลังเก็บเกี่ยว

2.9.1 การเก็บเกี่ยวข้าวที่ระยะสุกแก่เหมาะสม

จะทำให้ข้าวที่มีคุณภาพสีดีและเมล็ดสมบูรณ์ การเก็บเกี่ยวข้าวเร็วเกินไปเมล็ดยังเติบโตได้ไม่เต็มที่ ผลผลิตต่ำ คุณภาพการสีไม่ดีและมีความชื้นสูง แต่ถ้าเก็บเกี่ยวช้าเกินไปเมล็ดร่วงหล่นมาก ถูกโรคแมลงศัตรูและนกหนูเข้าทำลาย นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการแตกร้าว ทำให้คุณภาพสีต่ำลง และต้นข้าวล้ม เก็บเกี่ยวลำบาก ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม คือ ประมาณ 28 วันหลังข้าวออกดอกจะทำให้ข้าวเปลือกมีคุณภาพการสีที่ดีที่สุดซึ่งช่วงนี้ข้าวจะมีความชื้นอยู่ระหว่าง 20-26% M_w รวงข้าวจะโน้มลง เมล็ดที่โคนรวงและใบธงยังคงมีสีเขียวอยู่บ้าง หรือเรียกกันทั่วไปว่าระยะพลับพลึง ระยะการเก็บเกี่ยวข้าวมีผลต่อความชื้นเมล็ด ผลผลิตและคุณภาพ

2.9.2 ความชื้นข้าวเปลือก

เมล็ดข้าวเมื่อแก่จนถึงระยะเก็บเกี่ยว ภายในเมล็ดยังคงมีความชื้นสูงกว่า20%โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคกลางของประเทศที่นิยมใช้เครื่องเกี่ยวนั้น มักเก็บเกี่ยวข้าวที่ระยะพลับพลึง ข้าวเปลือกมีความชื้นสูง ซึ่งอาจสูงถึง 28% สภาพของน้ำในเมล็ดข้าวหรืออาหารอาจอยู่ได้ 2 สภาพคือ

1. Bound Water เป็นน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ และเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปโตปาสซึมและสารประกอบอื่นๆ มีสถานะเป็นของเหลว และอยู่ในเมล็ดข้าวด้วยแรงยึดเหนี่ยวทางเคมี ทำให้ระเหยออกจากเมล็ดได้อยาก

2. Free Water เป็นน้ำที่อยู่อย่างอิสระหว่างเซลล์ มีสถานะเป็นก๊าซ ถูกยึดเหนี่ยวไว้ด้วยแรง น้ำส่วนนี้คือความชื้นของข้าว ที่สามารถขับออกมาได้

2.9.3 การตรวจสอบคุณภาพข้าวเปลือก

โดยทำการพิจารณาตรวจสอบ ความชื้น สิ่งเจือปน ข้าวเสื่อมคุณภาพและข้าวเป็น โรคโดยมีวิธีการ ดังนี้

1. การตรวจสอบความชื้น ความชื้นมีผลต่อน้ำหนักของข้าวเปลือก และคุณภาพการสีข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงเมื่อนำไปสีจะแตกหักได้ง่าย ซึ่งโดยทั่วไปความชื้นข้าวเปลือกที่เหมาะสมจะมีค่าระหว่าง 14 – 15 % M_W ถ้าข้าวเปลือกมีความชื้นเกินปริมาณดังกล่าว ก็จะถูกตัดราคาหรือตัดน้ำหนักข้าว เพราะผู้ซื้อจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ซื้อ ให้อยู่ในระดับความเหมาะสมกับการสีหรือการเก็บรักษา การวัดความชื้นโดยทั่วไปโรงสีจะมีเครื่องวัดความชื้น เพื่อตรวจสอบความชื้นข้าวเปลือกแต่ถ้าไม่มี ผู้ซื้อก็จะใช้วิธีการประมาณความชื้นโดยการบีบหรืออัดเมล็ดข้าวหรือดูจากการบดข้าวมาชั่ง

2. การตรวจสอบสิ่งเจือปน สิ่งเจือปนที่ติดมากับข้าวเปลือกอาจจะทำอันตรายต่อเครื่องจักรได้ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่มาก โรงสีจะไม่รับซื้อ แต่ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่บ้างแต่ไม่มาก โรงสีจะใช้วิธีหักน้ำหนักของสิ่งเจือปนจากน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ชั่งได้ การตัดน้ำหนักสิ่งเจือปนอาจทำได้โดยการประมาณด้วยตาหรืออาจนำตัวอย่างมาเทลงบนพื้นที่สะอาดผสมคลุกเคล้าแล้วตักข้าวเปลือกน้ำหนัก แล้วใส่กระด้งฝัดหรือตะแกรงร่อน เพื่อแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากข้าวเปลือกให้หมด จากนั้นนำข้าวเปลือกที่ได้ไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง และนำตัวเลขมาคำนวณหาน้ำหนักของสิ่งเจือปน

3. การตรวจสอบข้าวเสื่อมคุณภาพ ข้าวที่เสื่อมคุณภาพมักเกิดจากการเก็บไว้นานเกินไปหรือเก็บไว้อย่างไม่เหมาะสม เมื่อนำไปสีจะได้ข้าวหักสูงและเมล็ดข้าวจะมีสีเหลือง ซึ่งการค้าข้าวเรียกว่า ข้าวฟันหนู ข้าวเปลือกที่เสื่อมคุณภาพจะถูกตัดราคา การตรวจสอบทำได้โดยการดูด้วยตาหรือบดข้าว แล้วประเมินปริมาณข้าวเสื่อมราคา

4. การตรวจสอบข้าวเป็นโรค เมล็ดข้าวเปลือกที่ไม่สมบูรณ์หรือมีอาการผิดปกติเนื่องจากถูกทำลายโดยแมลง และเชื้อรา ทำให้เมล็ดลีบ หรือมีสีคล้ำ เมื่อนำไปสีจะได้ข้าวสารที่มีเมล็ด

ผอมบาง ขัดไม่มัน มีน้ำหนักเบาและแตกหักง่ายพ่อค้าจะตัดราคาข้าวเปลือก หากตรวจพบเมล็ดที่เป็นโรคหรือได้รับความเสียหายอาจไม่รับซื้อเลย การตรวจสอบทำได้โดยการดูด้วยตาหรือการบดข้าว

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธานินทร์ การภักดี [7] ทำการวิจัยทดสอบเครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์โดยใช้ระบบปั๊มความร้อนร่วมกับตู้อบแห้งแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า โดยทำการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกแบบระบบเปิด ใช้สารทำความเย็น R -22 จากความชื้นเริ่มต้น13.5-22.2 % M_W ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 12 % M_W อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 43^{O}C อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 8.7 m^3/min- m^3 และปรับเปลี่ยนอัตราส่วนอากาศที่ไม่ผ่านอุปกรณ์ระเหย 3 ค่า คือ 0 %, 30 % และ 50 % เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลที่มีผลต่อ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน(COP_{hp}) อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ(SMER) และอัตราการควบแน่นของน้ำที่อุปกรณ์ระเหย (MER) จากการทดลองพบว่า Bypass Air Ratio ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบระบบเปิดคือ 0% ซึ่งทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานมีค่าต่ำสุด COP_{hp} และ SMER มีค่าสูงสุด ส่วน MER มีค่าลดลงเมื่อปรับ Bypass Air Ratio เป็น 0 % และมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปรับ Bypass Air Ratio เป็น 30 % และ 50 % ตามลำดับ

วัชรพล หอมนาน และ ทวีศักดิ์ แฉล้มวารี [8] ทำการศึกษาการออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือก แบบใช้พัดลมจากลมธรรมชาติ ที่สร้างมีประสิทธิภาพสูง ลักษณะแข็งแรงคงทนสามารถแยกชิ้นส่วนในการถอดประกอบได้ เพื่อสะดวกในการเก็บรักษาภายหลังการใช้งาน อีกทั้งยังเป็นการประหยัดเนื้อที่ในการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่ได้รับการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกนี้จะมีค่าความชื้นลดลงจากเดิมข้าวเปลือกมีค่าความชื้น 17.64% M_W ภายหลังจากการผ่านการอบแห้งแล้ว ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะลดลงเหลือ 12.61% M_W โดยใช้จำนวนข้าวเปลือกที่อบแต่ละครั้ง 450 กิโลกรัมภายในระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 2 วัน (16 ชั่วโมง) แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติโดยที่ปริมาณข้าวเปลือกเท่ากันจะใช้เวลาประมาณ 4 - 5 วัน สำหรับตัวต้นกำลังที่นำมาใช้ขับพัดลม ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 2.95 แรงม้าหรือประมาณ 2.2 กิโลวัตต์ ในการทดสอบใช้ข้าวเหนียวพันธุ์กำผาย 15โดยทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ของมอเตอร์ 2900 รอบต่อนาที จากการทดสอบและวิเคราะห์ผล การหาค่าความชื้นของข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่าง ๆของกระบะข้าวเปลือกที่เวลาต่าง ๆ กันขณะทำการอบแห้ง วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ที่ลดลงและวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ แล้ว จะพบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งจะเริ่มแห้งจากระดับล่างขึ้นสู่ระดับบนของกระบะข้าวเปลือก และเมื่อใดก็ตามที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าสูงแล้วค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกจะลดลงได้ยาก เมล็ดข้าวเปลือกจะมีความชื้นตามต้องการได้ ต้องผ่านการอบแห้งแล้วเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65.0-66.0%

กริช เจียมจิโรจน์และคณะ [9] ทำการศึกษาหาแนวทางในการแปรรูปข้าวโดยใช้กระบวนการอบแห้งข้าวกล้อง ซึ่งทำการทดลองอบแห้งข้าวกล้องเปรียบเทียบกับการอบแห้งข้าวเปลือก สภาวะของอุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง 45°C, 55°C และ 65 °C อัตราการไหลอากาศจำเพาะของอากาศ 12 m^3/min-m^3 ในการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ 22% M_w เทียบกับการลดความชื้นข้าวกล้องที่ได้จากการเตรียมข้าวเปลือกที่สภาวะเดียวกัน ให้เหลือ 14% M_w จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาการอบแห้งลดความชื้นของข้าวกล้องมีค่าน้อยกว่าระยะเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกตามปกติประมาณ 50-55% จากผลการทดสอบคุณภาพข้าวสารที่ได้จากการอบแห้งข้าวกล้องในรูปของปริมาณต้นข้าวและความขาวพบว่า ปริมาณต้นข้าวที่ได้มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น ความขาวของข้าวสารที่ได้จากกระบวนการอบแห้งข้าวกล้องมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

มนตรี เดชมา [10] ศึกษาการใช้เทอร์โมไซฟอนในระบบอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษา ออกแบบ สร้าง และวิเคราะห์ผลของการใช้เทอร์โมไซฟอน เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อนในระบบอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน เทอร์โมไซฟอนที่ใช้เป็นแบบวงรอบประกอบด้วยคอยล์ส่วนระเหยและคอยล์ส่วนควบแน่น ที่มีลักษณะเหมือนกับส่วนทำระเหยของเครื่องปรับอากาศทั่วไป คือ เป็นแบบท่อกลมและครีบชนิดคลื่นต่อเนื่อง สารทำงานที่ใช้คือ R-123 ทำการทดสอบโดยมีเงื่อนไขการทดสอบ 3 เงื่อนไข คือ อัตราส่วนอากาศที่ไม่ผ่านส่วนทำระเหยหรือ BAR (Bypass Air Ratio) 0% , 20% และ 40% กับเงื่อนไขการทดสอบอีก 2 เงื่อนไข คือ ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบในการทดสอบทุก ๆ เงื่อนไขจะควบคุมให้มีอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ 55°C ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 11-13% M_w ใช้เวลาในการอบ 7 ชั่วโมงจนเหลือความชื้นสุดท้ายคือ 5-7% M_w และอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศอบแห้งคือประมาณ 0.4 kg/s แล้วทำการวัดคุณสมบัติของอากาศแต่ละจุดและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบ ทำการวิเคราะห์ในเชิงเปรียบเทียบถึงค่าสมรรถนะต่าง ๆ ของระบบ ค่าคุณลักษณะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอน การประหยัดพลังงานจากการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ แล้วทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ จากผลการทดสอบ เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 3.08 kW/h ต่อ 1 วัน และ 3.50 kW/h ต่อ 1 วัน สำหรับกรณี BAR 0% , 20% และ 40%ตามลำดับ หรือคิดเป็น 7.2 และ 8.5 ตามลำดับเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน ส่วนกรณี BRA 0% นั้นค่าพลังงานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น 3.6 ค่าประสิทธิผลเพิ่มขึ้นจาก 0.217 เป็น 0.288 เมื่อค่าหน่วยการถ่ายเทความร้อน (NTU) เพิ่มขึ้นจาก 0.044 เป็น 0.050 ตามลำดับ และมีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 22.90 และ 26.45 สำหรับกรณี BAR 20% และ 40% ตามลำดับ ดังนั้นเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบจึงมีความเหมาะสมสำหรับระบบอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนนี้ที่เงื่อนไข BAR 20% และ 40%

จุฑามาส ภควัตบริรักษ์ [11] ทำการศึกษาสมรรถนะของปั๊มความร้อนที่ทำงานร่วมกับสารดูดความชื้นชนิดแข็งที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง โดยสารดูดความชื้นที่ใช้คือซิลิก้าเจล จัดเรียงตัวเป็นแผ่นสลับ (Baffle) วางขวางทางไหลของอากาศที่เข้าสู่กระบวนการอบแห้ง เพื่อลดความชื้นของอากาศ ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ขนาดและจำนวนแผ่นสารดูดความชื้นที่ใช้ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าสู่กระบวนการ ใช้สารทำงานคือ R-134 a ทำการความควบคุมความเร็วรอบ การหมุนของคอมเพรสเซอร์อยู่ในช่วง 100-200 rpm. สภาวะอากาศที่เข้าสู่กระบวนการถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 20-40°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50-80% ความเร็วลม 1-2 m/s ทำการศึกษาระบบที่มีโครงสร้าง 2 ลักษณะ คือ แบบ A และ แบบ B ในระบบแบบ A นั้น ไอน้ำไอน้ำจะถูกแยกออกจากอากาศโดยการกลั่นตัวที่อีวาปอเรเตอร์ จากนั้นจะได้อากาศเย็นไปรับอากาศร้อนที่คอนเดนเซอร์ จะได้อากาศที่เข้าห้องอบแห้งที่มีความชื้นต่ำ ในระบบแบบ B อากาศจากภายนอกจะได้รับความร้อนจากคอนเดนเซอร์และ ฮีทเตอร์เท่านั้นก่อนที่จะเข้าสู่ห้องอบแห้ง และอีวาปอเรเตอร์จะดึงความร้อนและลดความชื้นสัมพัทธ์จากอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้งพบว่า ผลจากแบบจำลองมีค่าได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองอยู่ในช่วงไม่เกิน 10% จึงใช้แบบจำลองดังกล่าวในการทำนายการประหยัดพลังงานจากการวิจัยพบว่ามีการใส่สารดูดความชื้นทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนในโครงสร้างแบบ B ที่ใช้ในการวิจัย ส่งผลให้สามารถใช้พบลังงานโดยรวมได้ต่ำลง โดยการสับเปลี่ยนสารดูดความชื้นทุกๆ 30 นาที

บัญชา ยาทิพย์และคณะ [12] ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำปั๊มความร้อนมาใช้ในการอบแห้ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใกล้สมดุล ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสม ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อัตราการไหลจำเพาะ อุณหภูมิของอากาศอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกและความสูงของชั้นข้าวเปลือก โดยศึกษาอยู่ในช่วงอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 10 – 20 $m^3/min – m^3$ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 36 - 50ºC อากาศแวดล้อม 30 ºC ความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงค่าที่ 70 % และ 80% ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 18 -24% M_w และความสูงของชั้นข้าวเปลือกเปลี่ยนแปลงค่าที่ 0.5 m และ 1 m ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลจำเพาะของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่อัตราการไหลจำเพาะของอากาศต่ำ อุณหภูมิสูงจะสิ้นเปลืองพลังงานต่ำและที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก สูงจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานสูง จุดที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ ที่อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 12 $m^3/min – m^3$ อุณหภูมิ 49 ºC ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 0.5 m อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมเท่ากับ 30 ºC และ 70% ตามลำดับ ใช้งาน 2,160 ชั่วโมงต่อปี ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยลดความชื้นจาก 24% M_w เหลือ 14% M_w เท่ากับ 61.50 บาท/ตัน

Sartori, D.J.M [13] ศึกษาการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองกับตู้อบแห้งแบบไหลขวาง เพื่อหาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้

อบแห้ง ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น ความเร็วของอากาศและความเร็วของเมล็ด โดยประเมินคุณภาพของเมล็ดทั้งก่อนและหลังการอบแห้ง ได้แก่ ความงอก ความแข็งแรงและการแตกร้าว จากการศึกษาพบว่าคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ลดลงมากเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ ความชื้นเมล็ดเริ่มต้นสูง จุดที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 23% ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 18% M_W ความเร็วอากาศ 2 m/s

สมชาย ฉินสกลธนกร [14] ศึกษาความสิ้นเปลืองพลังงานและคุณภาพของเมล็ดข้าวเปลือกจากการอบแห้งในถังเก็บ โดยแบ่งการทดลองเป็น 5 แบบ คือ

1. การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องด้วยอากาศแวดล้อมและใช้อัตราการไหลต่ำ

2. การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำ

3. การเป่าอากาศโดยควบคุมการทำงานของพัดลมและอัตราการไหลของอากาศต่ำ

4. การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่อง ด้วยอากาศแวดล้อมและอัตราการไหลของอากาศสูง

5. การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องด้วยอากาศร้อนและใช้อัตราการไหลของอากาศสูง

ทำการทดลองที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 0.4 m และ 1.6 m อัตราการไหลจำเพาะของอากาศประมาณ 15 และ 2 $m^3/min\text{-}m^3$ สำหรับอัตราการไหลจำเพาะของอากาศสูงและต่ำตามลำดับ จากการทดลองสรุปได้ว่า คุณภาพของข้าวเปลือกภายหลังจากการอบแห้ง ทั้งเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นและเปอร์เซ็นต์ความงอกอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและการอบแห้งที่ใช้อัตราการไหลจำเพาะของอากาศต่ำ มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งที่ใช้อัตราการไหลจำเพาะของอากาศสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเพื่อเปรียบเทียบผลจากการอบแห้ง มีตัวแปรที่ต้องการศึกษาคือ สารทำความเย็น อุณหภูมิการอบแห้ง คอมเพรสเซอร์ โดยปรับค่าตัวแปรต่างๆที่เงื่อนไขต่างๆกัน เพื่อหาวิธีการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน การใช้พลังงานไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง เพื่อหาสารทำความเย็นที่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน และรักษาสภาพแวดล้อม ดังรูปที่ 3.1 แสดงเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้ในการทดลอง

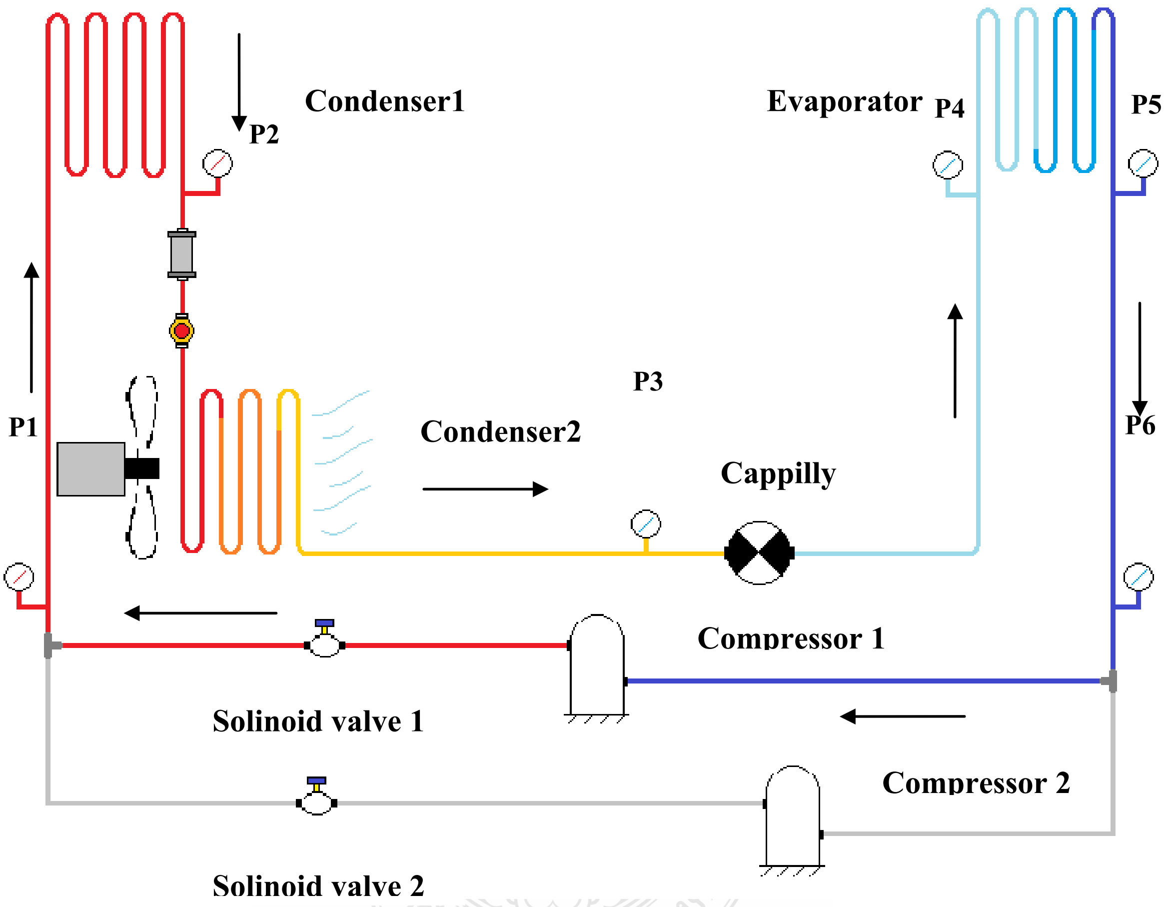
รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

3.1 เครื่องมือวัดและข้อมูลที่ต้องการ

การวิเคราะห์การทำงานของระบบปั๊มความร้อนตามทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์ ทำการบันทึกข้อมูลที่สำคัญของวงจรอากาศและวงจรสารทำความเย็น

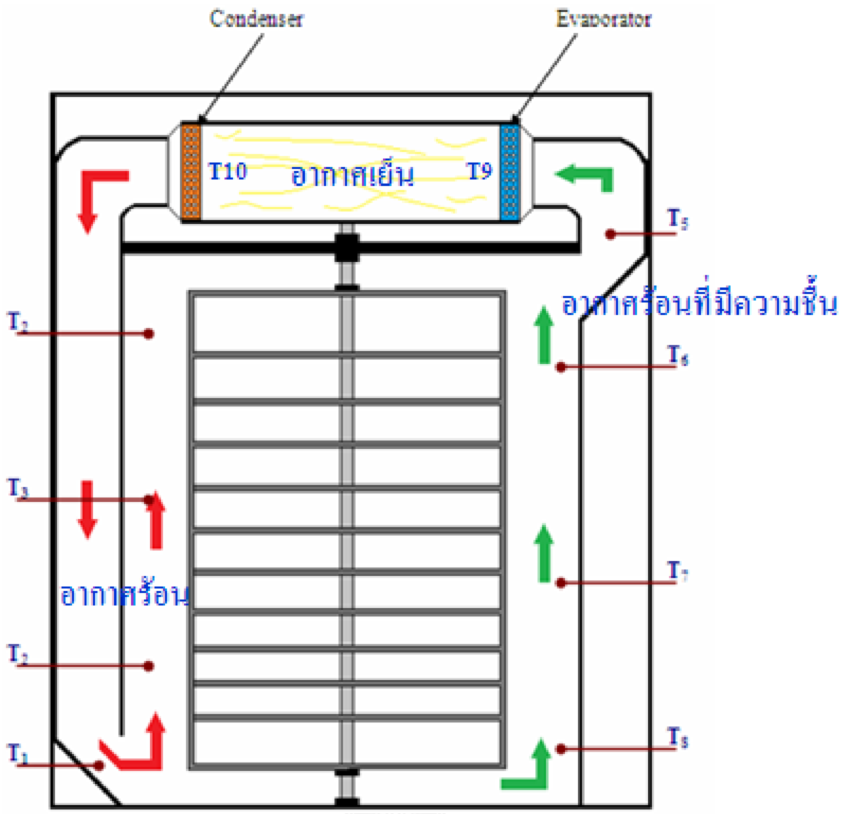
ข้อมูลที่ต้องการสำหรับวงจรสารทำความเย็นคือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น ความดันของสารทำความเย็นที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.2

- ทางเข้า, ทางออก คอมเพรสเซอร์ ที่ตำแหน่ง P6 และ P1
- ทางเข้า, ทางออก เครื่องควบแน่นตัวใน ที่ตำแหน่ง P2 และ P3
- ทางเข้า, ทางออก เครื่องควบแน่นตัวนอก ที่ตำแหน่ง P1 และ P2
- ทางเข้า, ทางออก วาล์วลดความดันที่ตำแหน่ง P3 และ P4
- ทางเข้า, ทางออก เครื่องระเหย ที่ตำแหน่ง P4 และ P5



รูปที่ 3.2 การติดตั้งเกจวัดความดันสารทำความเย็น

ข้อมูลที่ต้องการสำหรับวงจรอากาศคือ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศหมุนเวียนในระบบทั้งหมด อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ไหลข้ามเครื่องระเหย และอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของห้องอบแห้ง ดังรูปที่ 3.3 แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 3.3 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิอากาศภายในตู้อบแห้ง

นอกจากนี้เพื่อการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ความสามารถในการอบแห้ง ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง จึงต้องมีการทดลองและเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอและพัดลม น้ำหนักก่อนและหลังอบแห้งของผลิตภัณฑ์ (เพื่อใช้หาน้ำหนักน้ำที่ระเหย)

3.1.1 การวัดอุณหภูมิและความดัน

การวัดอุณหภูมิ จะบันทึกค่าที่ตำแหน่งเข้าและออกจากแต่ละอุปกรณ์ โดยใช้อุณหภูมิกระเปาะแห้งใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ต่อเข้ากับ Data Logger ซึ่งมีความละเอียด ± 0.1 °C ใช้วิธีเจาะท่อสารทำความเย็นและสอดสายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K เข้าไปในท่อทองแดงปลายปิดขนาดเล็กฝังอยู่ในท่อสารทำความเย็น การวัดความดัน ของสารทำความเย็นจะใช้บรูดองเกจในการวัดความดันที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกของแต่ละอุปกรณ์

3.1.2 การวัดความเร็วลมของอากาศ

ใช้เครื่องวัดความเร็วลม มีความละเอียด ± 0.1 m/s

3.1.3 การวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ปริมาณไฟฟ้ารวมซึ่งจ่ายให้กับเครื่องอัดไอและพัดลม จะถูกบันทึกด้วยกิโลวัตต์ฮาวล์มิเตอร์ การวัดกำลังงานไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าใช้ Clip-on-meter

3.1.4 น้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้งของผลิตภัณฑ์

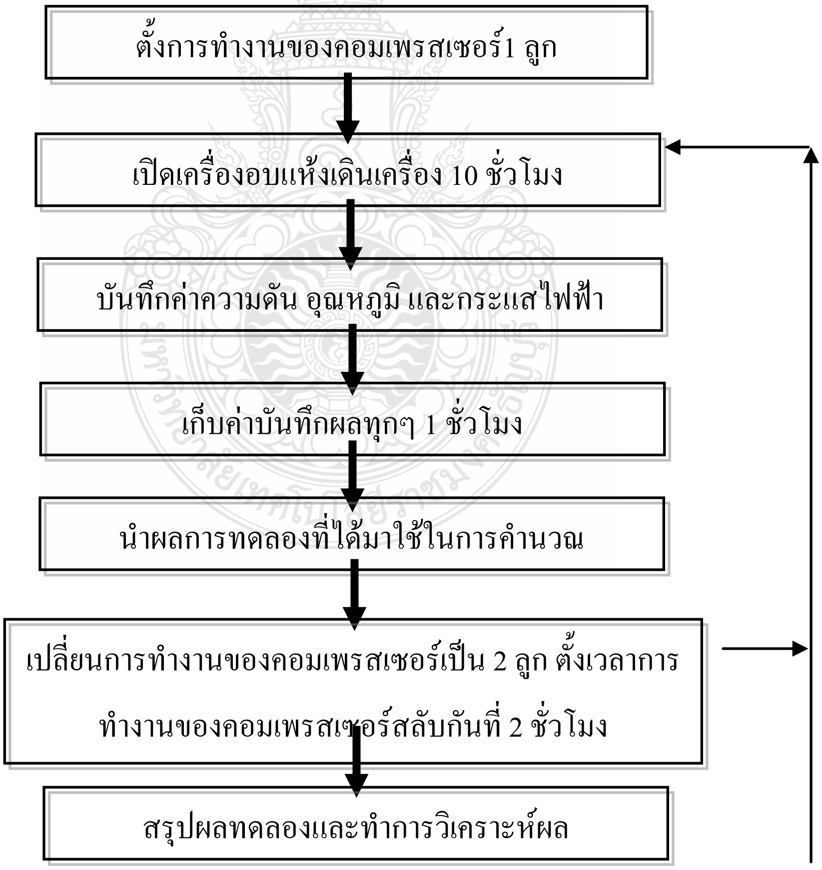
ใช้วิธีชั่งน้ำหนักโดยใช้ตาชั่งแบบดิจิตอล ทำการชั่งน้ำหนักข้าวกล้องเพื่อหาน้ำหนักก่อน หลังการอบแห้งและความชื้นในระหว่างการอบแห้งจะใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด ± 0.01 กรัม

3.1.5 การหาความชื้นของผลิตภัณฑ์

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแดงได้เป็น 2 แบบ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้ง

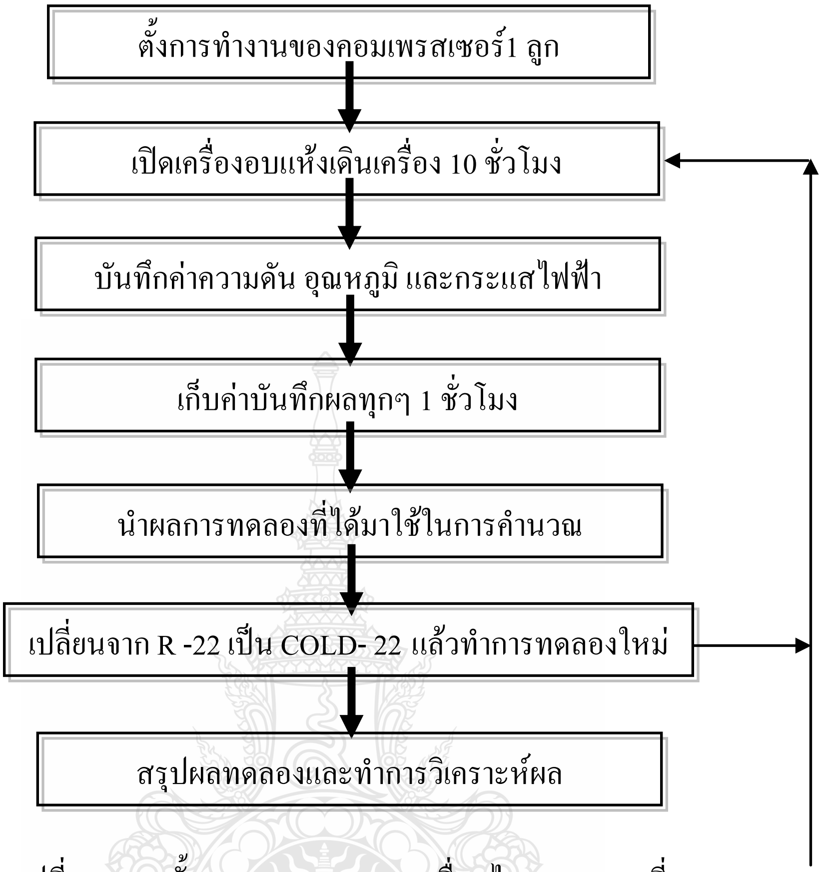
3.2 การทดลองและการเก็บข้อมูล

เงื่อนไขการทดลองที่ 1 การศึกษาหาวิธีการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน ในกรณีปั๊มความร้อนที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และกรณีปั๊มความร้อนที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ลูก ทำงานสลับกัน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนขั้นตอนการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1

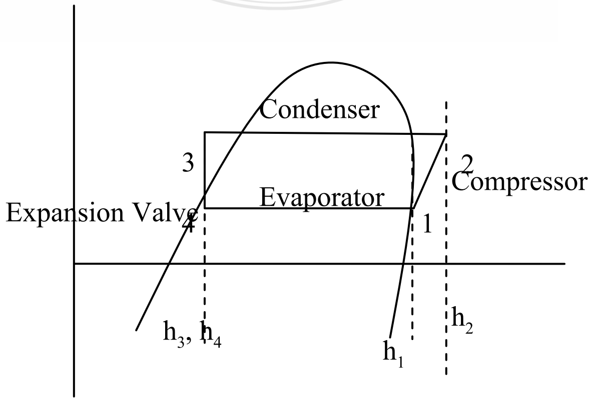
เงื่อนไขการทดลองที่ 2 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปั๊มความร้อน ในกรณีที่ใช้สารทำความเย็นต่างชนิดกัน สารทำความเย็นที่ใช้ R- 22 และ COLD- 22 ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนขั้นตอนการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2

3.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

จากตารางที่ ข.1 ชั่วโมงที่ 1 นำค่าผลการทดลองที่ได้มาเขียนลงในมอลเลียร์ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ภาพจำลองการพล็อตค่าลงในแผนภูมิมอลเลียร์

$h_1 = 114$ kJ/kg

$h_2 = 131$ kJ/kg

$h_3, h_4 = 42$ kJ/kg

จากสมการที่ 2.12 สัมประสิทธิสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับเครื่องอบแห้ง

$$COP = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัด}}$$

จากสมการที่ 2.4 ความร้อนที่ได้จากเครื่องควบแน่น

$$q_{23} = (h_2 - h_3)$$

$$= (131 - 42) \quad \text{kJ/kg}$$

$$= 89 \quad \text{kJ/kg}$$

จากสมการที่ 2.3 พลังงานของความร้อนที่ให้ที่คอมเพรสเซอร์

$$W_{12} = (h_2 - h_1)$$

$$= (131 - 114) \quad \text{kJ/kg}$$

$$= 17 \quad \text{kJ/kg}$$

ดังนั้นได้ค่าสัมประสิทธิสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับเครื่องอบแห้ง

$$COP = \frac{89}{17} \frac{\text{kJ/kg}}{\text{kJ/kg}}$$

$$COP = 5.23$$

ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

สำหรับการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการอบแห้งของ เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองในตารางที่ ข.3 ชั่วโมงที่ 1 ความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 18 % db ซึ่งได้แสดงตัวอย่างการคำนวณตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ความสามารถในการอบแห้ง (Capacity of drying)

น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบแห้ง	0.50	kg
น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบแห้ง	0.49	kg
น้ำหนักน้ำที่ระเหยออกไป	0.01	kg
น้ำหนักน้ำควบแน่นจากเครื่องทำระเหย	0.72	kg
เวลาในการอบแห้ง	10	hr

จากสมการที่ 2.8 อัตราการอบแห้ง (Drying Rater)

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}, \quad \text{kg water evap./hr}$$

$$= \frac{0.2 \text{ X } 200}{10}$$

$$= 0.2 \text{ kg water evap. /hr}$$

จากสมการที่ 2.9 อัตราการควบแน่นจากเครื่องทำระเหย (Moisture extraction rate, MER)

$$\text{MER} = \frac{\text{ปริมาณน้ำควบแน่นจากเครื่องระเหย}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}, \quad \text{kg water evap./hr}$$

$$= \frac{0.72}{10}$$

$$= 0.07 \text{ kg water evap. /hr}$$

จากสมการที่ 2.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis % db)

$$\text{ความชื้นมาตรฐานแห้ง} = \frac{\text{มวลของวัสดุ - มวลของวัสดุแห้ง}}{\text{มวลของวัสดุแห้ง}} \text{ X } 100$$

$$= \frac{0.50 - 0.49}{0.49} \text{ X } 100$$

$$= 2.04\ \% \text{ ของความชื้นข้าวเปลือก } 18\ \%\text{ db}$$

$$\text{ดังนั้นจะเหลือความชื้นอยู่ในข้าว} = \frac{2.04 \text{ X} 18}{100}$$

$$= 0.37$$

ดังนั้นจากความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 18 % db

ความชื้นข้าวเปลือกที่เหลือ = 18 – 0.37

= 17.63 % db

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy effectiveness)

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 10 ชั่วโมง 12 kW hr

จากสมการที่ 2.10 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC)

$$\text{SEC} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}\text{, MJ/kg water evap.}$$

$$= \frac{12 \text{ X } 1000}{2.04} \frac{\text{(J/s)hr}}{\text{kg water evap.}} \text{ X } \frac{3600}{10^{6}} \frac{\text{s/hr}}{\text{J/MJ}}$$

$$= 21.17 \text{ MJ/kg water evap.}$$

จากสมการที่ 2.11 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER)

$$\text{SMER} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}\text{, kg water evap./kW hr}$$

$$= \frac{2.04}{12}$$

$$= 0.17 \text{ kg water evap. /kW hr}$$

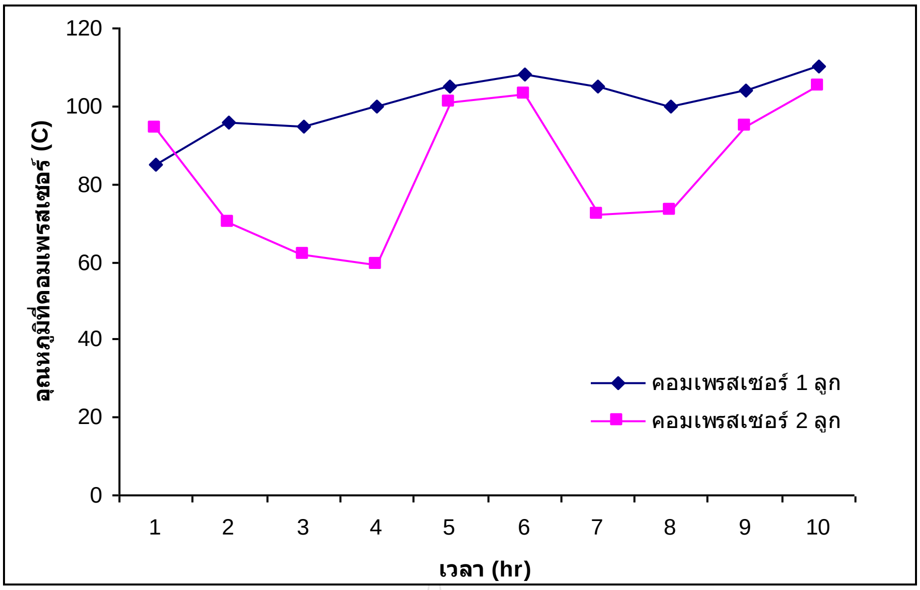
บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

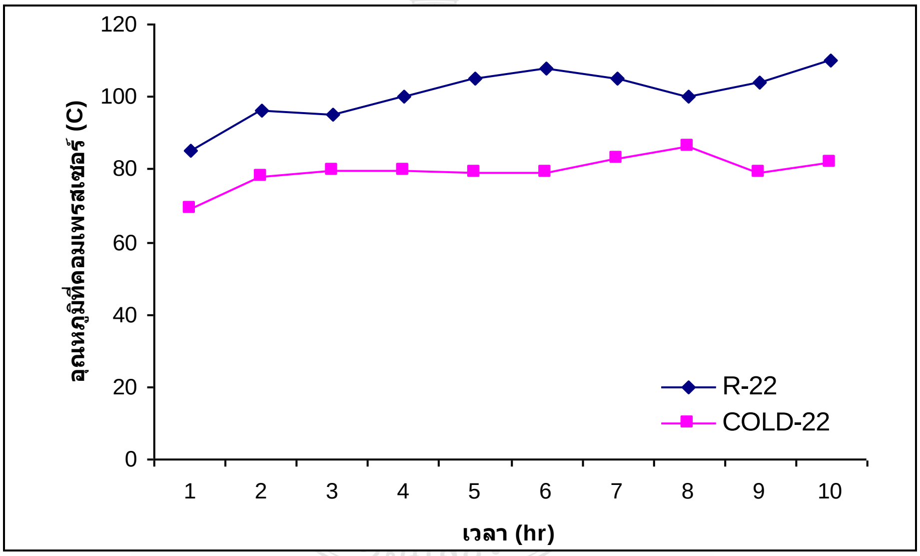
บทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เพื่อศึกษาหาวิธีการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน เปรียบเทียบระหว่างการใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูกและ 2 ลูกทำงานสลับกันทีละลูก และหาสารทำความเย็นที่เหมาะสมกับการใช้งานด้วยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22 ทำการอบแห้งเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

4.2 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์

ผลการศึกษาวัดอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์พบว่า คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก มีอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์สูงกว่าคอมเพรสเซอร์ 2 ลูก คิดเป็น 21.68 % เนื่องจากคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก มีการทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา จึงมีความร้อนสะสมที่คอมเพรสเซอร์สูง ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิในคอมเพรสเซอร์สูง แต่คอมเพรสเซอร์ 2 ลูกทำงานสลับกันทีละลูก ลูกละ 2 ชั่วโมง ทำให้มีช่วงเวลาหยุดให้คอมเพรสเซอร์ได้ระบายความร้อน มีผลให้อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ลดลง ดังรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นช่วงชั่วโมงที่ 2 ถึง 4 เป็นช่วงที่มีการหยุดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และให้อีก 1 ลูกทำงาน ส่งผลให้อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ลดลง ช่วงชั่วโมงที่ 4 ถึง 6 มีการสตาร์ทการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ทำให้คอมเพรสเซอร์เริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้นอีกครั้ง และเมื่อทำงานครบ 2 ชั่วโมง จะหยุดการทำงานและให้คอมเพรสเซอร์อีก 1 ลูกทำงาน มีผลให้อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ลดลง เมื่อทดลองใช้สารทำความเย็น COLD-22 พบว่ามีอุณหภูมิสะสมที่คอมเพรสเซอร์ต่ำกว่า R-22 คิดเป็น 27.84 % เพราะความดันสารทำความเย็นด้านต่ำและด้านสูงต่ำกว่า ทำให้ที่ความร้อนสะสมในคอมเพรสเซอร์นั้นมีอุณหภูมิต่ำลงด้วย ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก

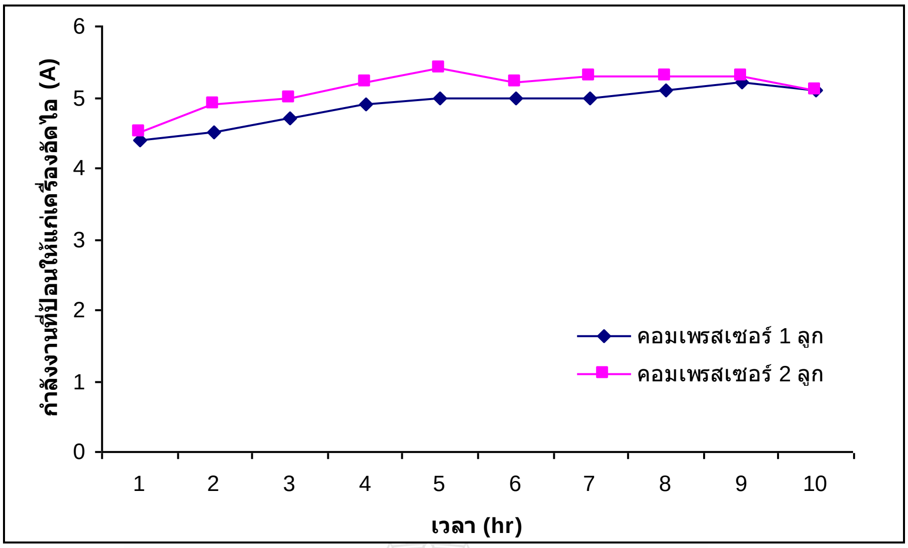


รูปที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22

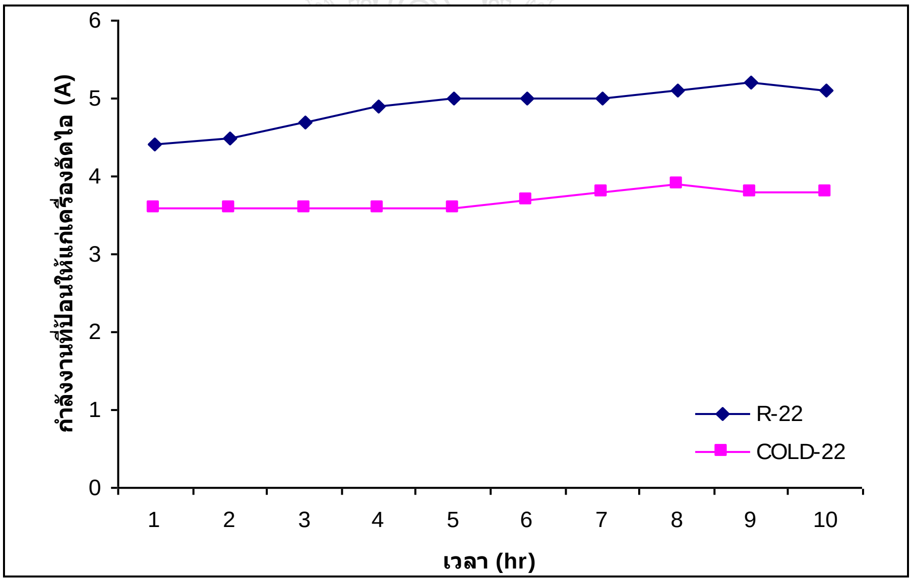
4.3 ผลการเปรียบเทียบกำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ

ผลจากการศึกษากำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอพบว่า คอมเพรสเซอร์ 1 ลูกมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอน้อยกว่าคอมเพรสเซอร์ 2 ลูก คิดเป็น 4.7 % ดังรูปที่ 4.3 เนื่องจากคอมเพรสเซอร์ 2 ลูก มีช่วงเวลาการทำงานสลับกันทุก 2 ชั่วโมง ในช่วงเวลาดังกล่าวมีการหยุดคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และให้อีก 1 ลูกทำงาน จึงมีผลให้ช่วงที่มีการสตาร์ทตัวนั้น กินกระแสไฟฟ้าสูง ทำให้กำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอสูงขึ้นด้วย เมื่อทดลองใช้สารทำความเย็น

COLD-22 พบว่ามีการใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า R-22 คิดเป็น 32.16 % เนื่องจากความดันสารทำความเย็นด้านต่ำและด้านสูงมีความดันต่ำ ซึ่งส่งผลให้คอมเพรสเซอร์อัดสารทำความเย็นทำงานน้อยและใช้กระแสไฟฟ้าน้อยตามด้วย ดังรูปที่ 4.4

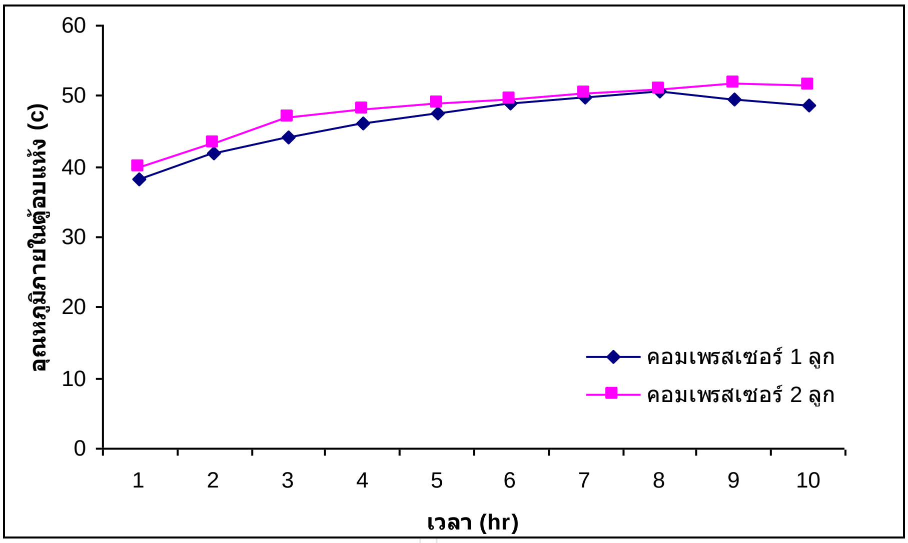


รูปที่ 4.3 ค่ากำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก

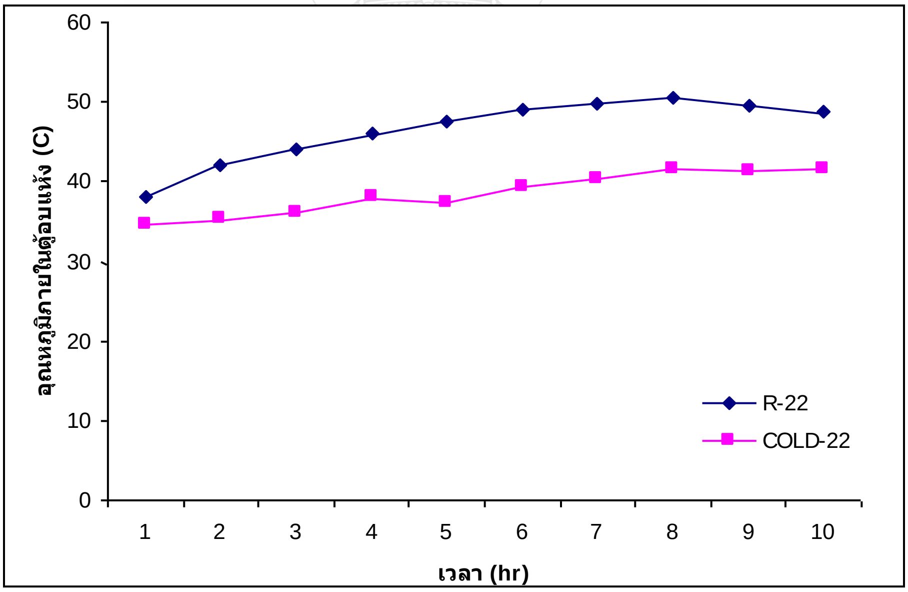


รูปที่ 4.4 ค่ากำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22

4.4 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง



รูปที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก

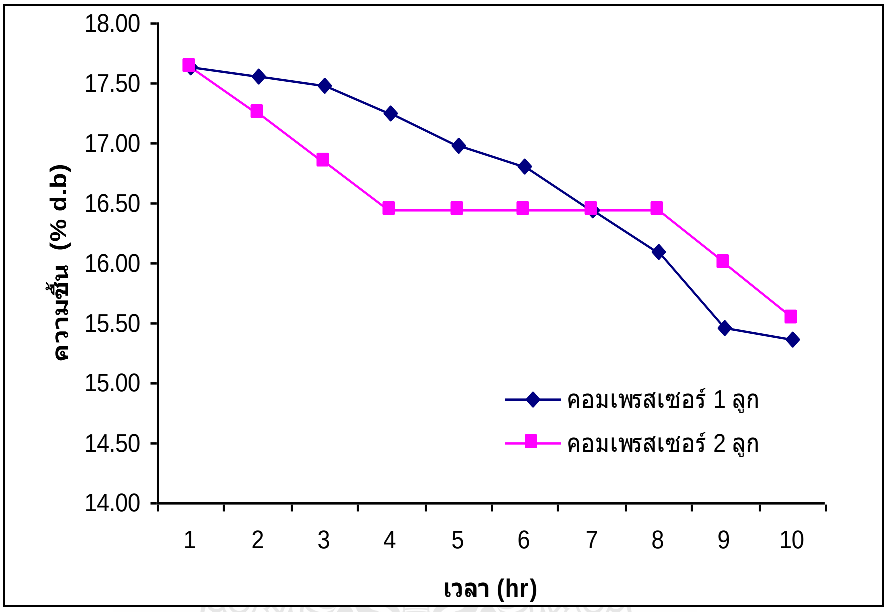


รูปที่ 4.6 ค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22

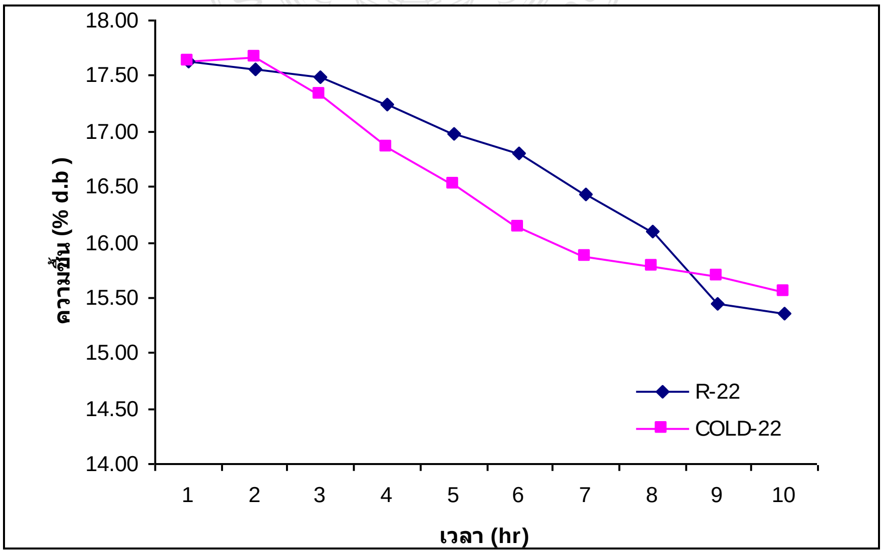
ในช่วงเริ่มแรกการทำงานของเครื่องอบแห้งพบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิต่ำ เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้น จนชั่วโมงที่ 4 ถึง 8 อุณหภูมิเริ่มคงที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งของ คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก มีอุณหภูมิต่ำกว่า 2 ลูก คิดเป็น 2.12 % ดังรูปที่ 4.5 และเมื่อทดลองใช้สารทำความเย็น COLD-22 พบว่ามีอุณหภูมิต่ำกว่า R-22 คิดเป็น 20.51 % ดังรูปที่ 4.6

4.5 ผลการเปรียบเทียบความชื้น

ผลจากการศึกษาพบว่า ความชื้นที่ลดลงของวัสดุที่ใช้ในการอบแห้งคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก มีค่าลดความชื้นน้อยกว่า 2 ลูก คิดเป็น 0.4 % จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าชั่วโมงที่ 4 ถึงชั่วโมงที่ 8 ไม่มีความชื้นลดลงเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ทำให้มีการดึงความชื้นออกจากข้าวเปลือกได้น้อย เมื่อทดลองใช้สารทำความเย็น COLD-22 มีค่าลดความชื้นมากกว่า R-22 คิดเป็น 1.06 % ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทำให้มีการดึงน้ำออกจากข้าวเปลือกเร็วขึ้น ส่งผลให้ความชื้นลดลงตามด้วย

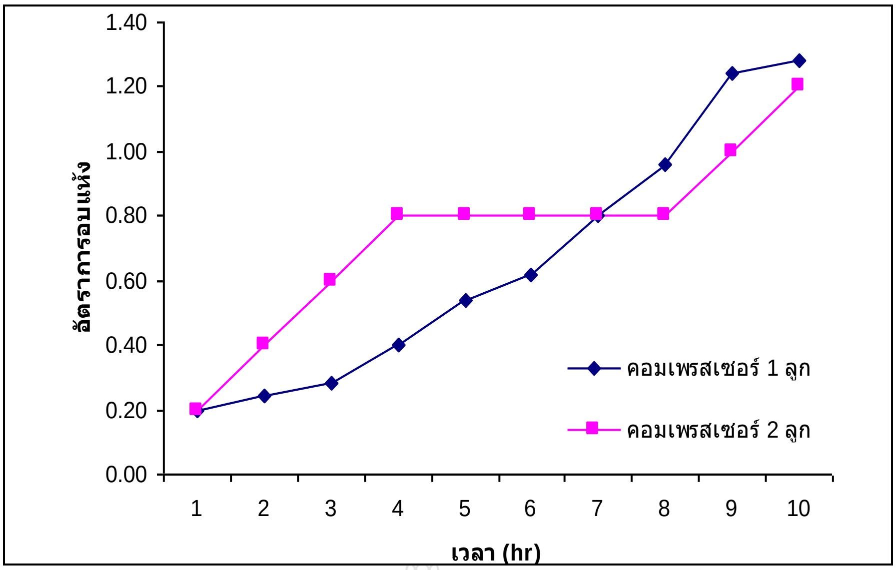


รูปที่ 4.7 ค่าความชื้นระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และคอมเพรสเซอร์ 2 ลูก

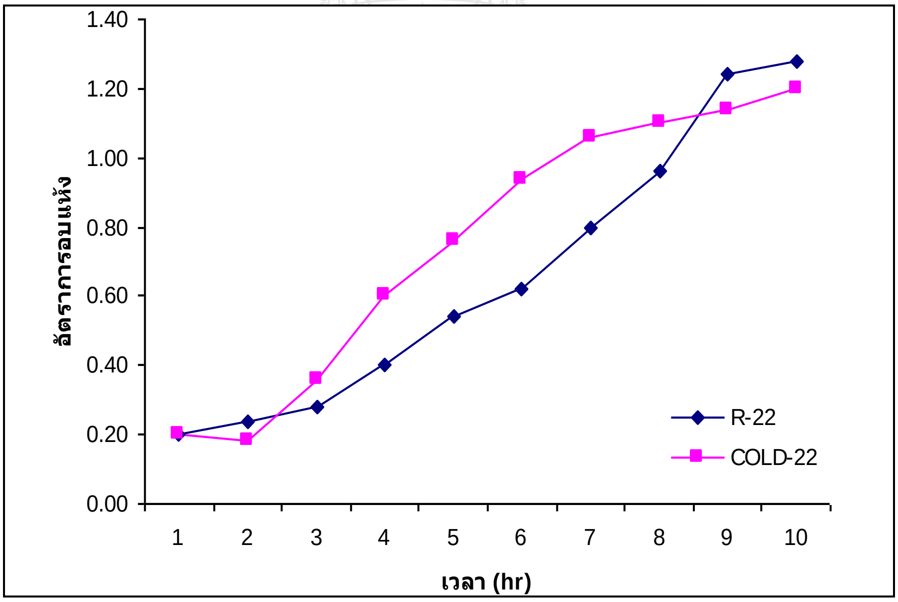


รูปที่ 4.8 ค่าความชื้นระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22

4.6 ผลการเปรียบเทียบอัตราการอบแห้ง



รูปที่ 4.9 ค่าอัตราการอบแห้งระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก

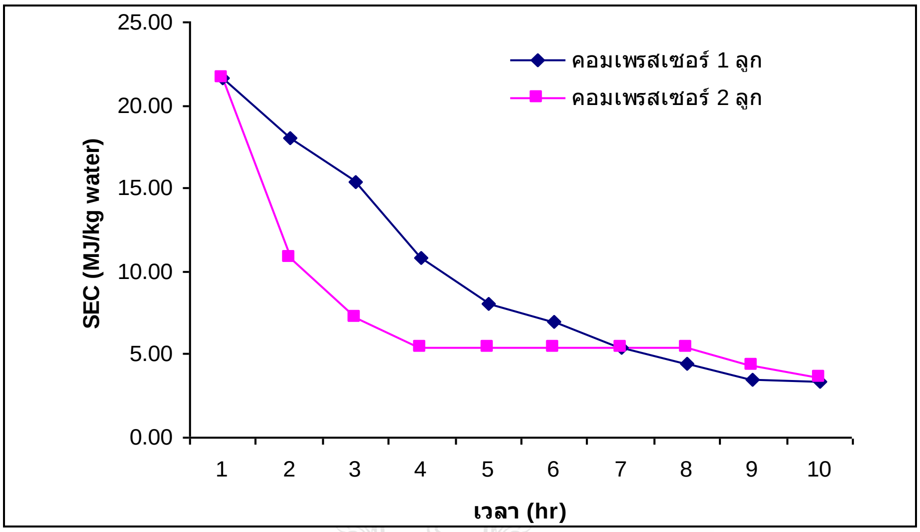


รูปที่ 4.10 ค่าอัตราการอบแห้งระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22

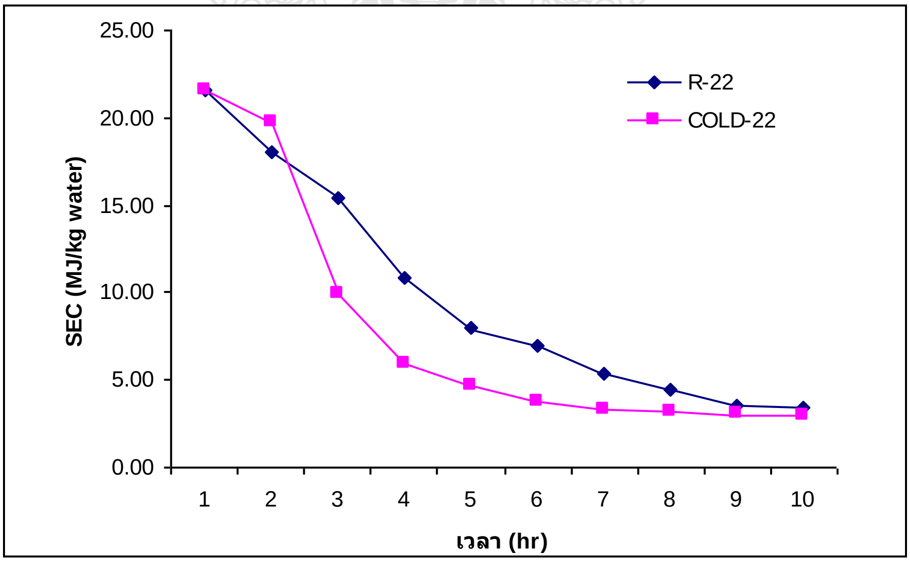
ผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งเฉลี่ยคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก มีค่าอัตราการอบแห้งน้อยกว่า 2 ลูก คิดเป็น 12.12 % ดังรูปที่ 4.9 เมื่อทดลองใช้สารทำความเย็น COLD-22 พบว่าอัตราการอบแห้งดีกว่า R-22 คิดเป็น 1.35 % ดังรูปที่ 4.10 เนื่องจากอุณหภูมิในอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นและเมื่ออัตราการอบแห้งสูงขึ้น ทำให้อัตราส่วนความชื้นของข้าวเปลือก

4.7 ผลการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

จากการศึกษาพบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่า 2 ลูก คิดเป็น 31.00 % ดังรูปที่ 4.11 เมื่อทดลองใช้สารทำความเย็น COLD-22 พบว่าความเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่า R-22 คิดเป็น 30.83 % ดังรูปที่ 4.12 เนื่องจากปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุที่อบแห้ง



รูปที่ 4.11 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และ 2 ลูก



รูปที่ 4.12 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22

จากผลการทดลองการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เพื่อหาวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ตลอดจนหาวิธีการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน และเลือกสารทำความเย็นที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาใช้ในเครื่องอบแห้ง ผลการทดลองสรุป ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

ค่าเฉลี่ย	คอมเพรสเซอร์ (สารทำความเย็น R-22)		สารทำความเย็น (คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก)	
	1 ลูก	2 ลูก	R-22	COLD-22
ความชื้นเริ่มต้น (% db.)	18	18	18	18
ความชื้นสุดท้าย (% db.)	16.82	16.76	16.82	16.64
อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง (ºC)	47	48	47	39
กำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ (A)	4.89	5.12	4.89	3.70
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg Water)	9.76	7.45	9.76	7.46
อัตราการอบแห้ง (kg water/hr)	0.66	0.74	0.66	0.75
สมรรถนะระบบปั๊มความร้อน	4.27	4.07	4.27	4.86
อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ (ºC)	101	83	101	79
ความดันสารทำความเย็นด้านต่ำ (Psig)	74	65	74	51
ความดันสารทำความเย็นด้านสูง (Psig)	321	313	321	217

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาหาวิธีการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน โดยใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูกและคอมเพรสเซอร์ 2 ลูกทำงานสลับกันทีละลูก ขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และสารทำความเย็น COLD-22 เพื่อหาสารทำความเย็นที่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน และรักษาสภาพแวดล้อม สามารถสรุปงานวิจัย ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 จากการศึกษาเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน พบว่า ระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ลูก สามารถลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อนดีกว่าระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก คิดเป็น 21.68 % ดังนั้นเมื่อความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อนลดลง มีอุณหภูมิไม่สูงเกินค่าจากตารางที่ 1.1 ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อนมีอายุการใช้งานดีขึ้น ผลที่ได้จากการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน ทำให้ความดันสารทำความเย็นด้านต่ำและด้านสูงลดลงตามด้วย คิดเป็น 13.84 % และ 2.5 % ตามลำดับ แต่กำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอคอมเพรสเซอร์ 2 ลูกใช้กำลังงานมากกว่าคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก คิดเป็น 4.70 % เนื่องจากคอมเพรสเซอร์ 2 ลูกมีช่วงเวลาการทำงานสลับกันทุก 2 ชั่วโมงในช่วงเวลาดังกล่าวทำให้มีการหยุดคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก เพื่อให้ความร้อนในคอมเพรสเซอร์ลดลง ทำให้คอมเพรสเซอร์อีก 1 ลูก สตาร์ทตัว จึงมีผลให้ช่วงที่มีการสตาร์ทตัว มีการใช้กระแสไฟฟ้าสูง

5.1.2 จากการศึกษาเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน พบว่า ระบบที่ใช้สารทำความเย็น COLD-22 มีประสิทธิภาพด้านความสิ้นเปลืองพลังงานดีกว่าระบบที่ใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 30.83 % และสารทำความเย็น COLD-22 ยังสามารถลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อนดีกว่าระบบที่ใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 27.84 % ผลที่ได้จากการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน ส่งผลให้ความดันสารทำความเย็นด้านต่ำและด้านสูงลดลง คิดเป็น 45.09 % และ 47.92 % ตามลำดับ และกำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอสารทำความเย็น R-22 ใช้กำลังงานมากกว่า COLD-22 คิดเป็น 32.16 % ดังนั้นสารทำความเย็น COLD-22 สามารถนำมาใช้ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนได้ แต่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ในการอบแห้งและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เนื่องจากสารทำความเย็น COLD-22 นั้นมีอุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย

เท่ากับ 39 °C ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว จึงเหมาะสมที่จะใช้สารทำความเย็น COLD-22 จะทำให้ประหยัดการใช้พลังงานและรักษาสภาพแวดล้อมมากกว่าสารทำความเย็น R-22 แต่ถ้าต้องการอบแห้งอุณหภูมิสูงกว่าก็ควรเลือกใช้สารทำความเย็น R-22

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการทดลองทั้งสองวิธีนั้น ยังมีอยู่หลายตัวแปรที่ยังไม่สามารถควบคุมได้ อีกทั้งผลการทดลองที่ได้นอกเหนือจากวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ข้างต้นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจหรือผู้ที่จะนำไปทำการศึกษาเพิ่มเติม

5.2.1 คอมเพรสเซอร์มีอายุการใช้งานที่สั้นลง เนื่องคอมเพรสเซอร์ทำงานที่สภาวะความดันและความร้อนสูง จึงควรหาวิธีระบายความร้อน เพื่อยืดอายุการใช้งาน

5.2.2 หากต้องการอุณหภูมิที่สูงขึ้นควรใช้ขดลวดความร้อนทำงานควบคู่

5.2.3 ควรจะเพิ่มความหนาฉนวนกันความร้อน เนื่องจากยังมีความร้อนที่สูญเสียเกิดขึ้น

5.2.4 ควรใช้ระบบควบคุมแบบ PLC เนื่องจากระบบควบคุมที่ใช้อยู่มีรีเลย์จำนวนมาก จึงมีต้นทุนสูง และในการบำรุงรักษาระบบ PLC ง่ายกว่าระบบควบคุมที่ใช้รีเลย์

เอกสารอ้างอิง

[1] Prasertsan, S. and P. Saen-saby “Heat Pump Drying of Agricultural Materials,” **Drying Technology**, 1998, pp. 235-250.

[2] อานนท์ สาดช้างและคณะ, **การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554.

[3] นิรุบล กาญจนางกูรพันธ์และคณะ, **การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งใช้ฮีตปั๊มร่วมกันท่อแลกเปลี่ยนความร้อน**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[4] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, **การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนและการออกแบบที่ เหมาะสมที่สุด**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

[5] ทนุ โตทรายมูล, **การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนสำหรับใช้ในการอบแห้งมะม่วงแผ่นโดยวิธีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีแวปปอเรเตอร์**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549.

[6] สุนียพร พรหมดวง, **การอบแห้งตะไคร้ด้วยปั๊มความร้อน**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

[7] ธานินทร์ การภักดี, **การอบแห้งเมล็ดพันธุ์ด้วยปั๊มความร้อน**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.

[8] วัชรพล หอมนาน และคณะ, **เครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือก**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2529.

[9] กริช เจียมจิโรจน์, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ สมบูรณ์ เวชกามา, “การอบแห้งข้าวกล้อง,” **การประชุมวิชาการประจำปี 2544 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย**, 25-26 มกราคม, จ. ขอนแก่น, ปี 2544.หน้า 212-218

[10] มนตรี เดชมา, **การประหยัดพลังงานในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนโดยใช้เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2544.

[11] จุฑามาส ภควัตบริรักษ์, **การวิเคราะห์สมรรถนะปั๊มความร้อนทำงานร่วมกับสารดูดความชื้นชนิดแข็งในกระบวนการอบแห้ง**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546.

[12] บัญชา ยาทิพย์และคณะ, **การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำปั๊มความร้อนมาใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537.

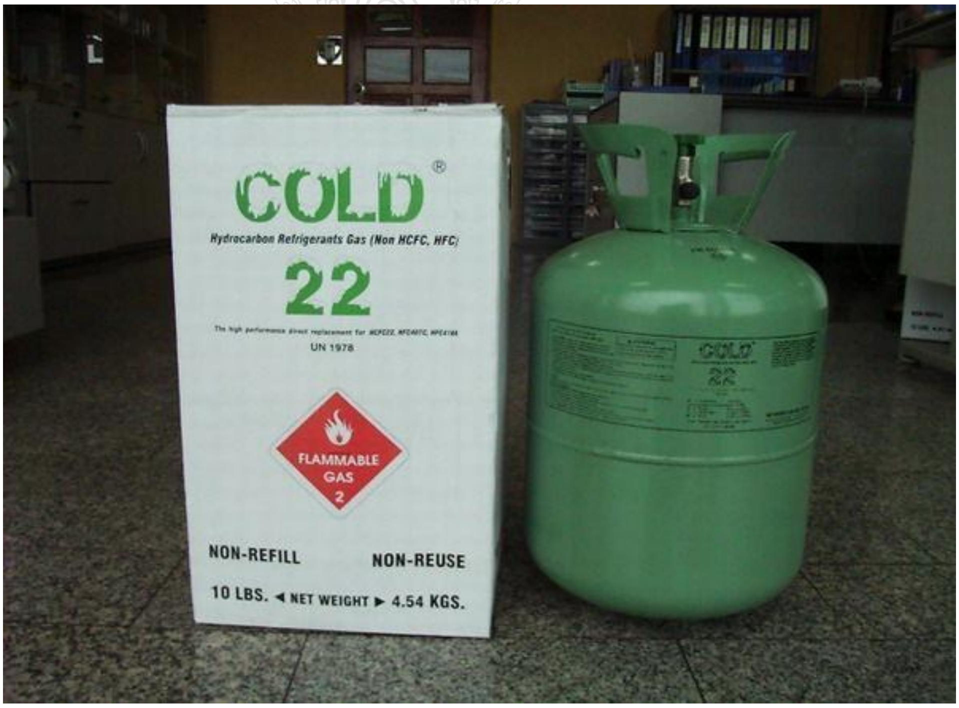
[13] Sartori, D.J.M, “Drying of seed in coss flow moving bed,” **Drying Technology**, 1992, pp. 1524-1533.

[14] สมชาย ฉินสกลธนกร และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, “การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกแบบในถังเก็บและแบบเป็นงวด: ความสิ้นเปลืองพลังงาน,” **วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์**, ปีที่ 24, ปีที่พิมพ์ 2533. หน้า 92-101.

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

รูปที่ ก.1 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน



รูปที่ ก.2 สารทำความเย็น COLD-22

รูปที่ ก.3 สารความเย็น R-22

รูปที่ ก.4 การจัดวางถาดข้าวเปลือกที่ใช้ในการอบแห้ง

รูปที่ ก.5 เกจวัดความดัน

รูปที่ ก.6 เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ (Thermo meter)

รูปที่ ก.7 เครื่องมือวัดความเร็วลม (Flow Meter)

รูปที่ ก.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก

รูปที่ ก.9 สายวัดอุณหภูมิ (Thermo couple)

รูปที่ ก.10 เครื่องมือวัดกระแส (Clip amp)

รูปที่ ก.11 ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ ก.12 การวัดอุณหภูมิของสารทำความเย็น

ภาคผนวก ข

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-22 (1 ลูก)

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-22 (1 ลูก)

ชั่วโมงที่ (hr)	เวลา (1hr)	ความดันด้านต่ำ (Psig)		ความดันด้านสูง (Psig)		อุณหภูมิสารทำความเย็น (°C)					กระแสไฟฟ้า (kW-hr)		กระแสคอมเพรสเซอร์ (A)		อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ (°C)	
		P1	P4	P2	P3	T1	T2	T3	T4	T5	380	220	Comp1	Comp2	Comp1	Comp2
0	10.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	11.50	65	63	275	260	24	96	90	49	45	1	-	4.4	-	85	-
2	12.50	70	70	290	280	24	107	94	52	50	1.2	-	4.5	-	96	-
3	13.50	75	73	305	290	25	108	97	64	56	1.3	-	4.7	-	95	-
4	14.50	80	75	325	300	26	111	95	62	54	1.4	-	4.9	-	100	-
5	15.50	80	79	335	320	27	114	96	61	59	1.5	-	5.0	-	105	-
6	16.50	80	79	335	320	26	115	98	65	59	1.5	-	5.0	-	108	-
7	17.50	80	79	335	320	29	116	101	63	59	1.5	-	5.0	-	112	-
8	18.50	80	80	335	325	29	114	96	67	55	1.6	-	5.1	-	113	-
9	19.50	70	70	350	335	27	120	100	69	58	1.7	-	5.2	-	115	-
10	20.50	65	60	325	310	28	123	107	71	56	1.8	-	5.4	-	116	-
ค่าเฉลี่ย		74	72	321	306								4.92		105	

ตารางที่ ข.2   ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 (1 ลูก)

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 (1 ลูก)

ชั่วโมงที่ (hr)	เวลา (hr)	Supply (°C)	Return (°C)	ผนังด้านขวา (°C)			ผนังด้านซ้าย (°C)			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8	
0	10.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	11.50	46	38	36	36	33	37	39	40	38
2	12.50	50	41	40	40	38	41	43	43	42
3	13.50	52	43	42	42	39	44	45	46	44
4	14.50	54	45	44	44	41	45	47	48	46
5	15.50	56	48	46	46	41	44	49	50	48
6	16.50	57	49	48	47	42	49	50	50	49
7	17.50	57	50	48	48	43	50	51	51	50
8	18.50	58	50	49	49	44	51	52	52	51
9	19.50	57	49	48	48	43	50	51	51	50
10	20.50	55	48	48	48	42	49	50	50	50
ค่าเฉลี่ย										

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลน้ำที่ควบแน่นผ่านเครื่องระเหยและน้ำที่ระเหยของข้าวเปลือก สารทำความเย็น R-22 (1 ลูก)

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลน้ำที่ควบแน่นผ่านเครื่องระเหยและน้ำที่ระเหยของข้าวเปลือก สารทำความเย็น R-22 (1 ลูก)

ชั่วโมงที่ (hr)	เวลา (hr)	น้ำหนักน้ำที่ควบแน่นจากเครื่องระเหย (kg)	น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนการทดสอบ (kg)	น้ำหนักข้าวเปลือกหลังการทดสอบ (kg)	น้ำหนักน้ำข้าวเปลือกที่ระเหย (kg)	อุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์ (°C)	
						ทางเข้า	ทางออก
0	10.30	-	-	-	-	-	-
1	11.30	0.65	0.500	0.492	0.008	29	49
2	12.30	0.96	0.500	0.490	0.010	34	52
3	13.30	1.01	0.500	0.488	0.012	35	54
4	14.30	1.16	0.500	0.482	0.018	38	56
5	15.30	1.16	0.500	0.475	0.025	38	58
6	16.30	0.85	0.500	0.471	0.029	38	58
7	17.30	0.82	0.500	0.462	0.038	38	57
8	18.30	0.95	0.500	0.454	0.046	39	60
9	19.30	0.83	0.500	0.440	0.060	38	59
10	20.30	0.69	0.500	0.438	0.062	37	56
ค่าเฉลี่ย							

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-22 (2 ลูก)

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-22 (2 ลูก)

ชั่วโมงที่ (hr)	เวลา (1hr)	ความดันด้านต่ำ (Psig)		ความดันด้านสูง (Psig)		อุณหภูมิสารทำความเย็น (°C)					กระแสไฟฟ้า (kW-hr)		กระแสคอมเพรสเซอร์ (A)		อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ (°C)	
		P1	P4	P2	P3	T1	T2	T3	T4	T5	380	220	Comp1	Comp2	Comp1	Comp2
0	9.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	10.50	60	60	275	250	24	99	83	58	58	1.0	-	4.5	-	94	63
2	11.50	60	60	300	285	26	92	84	57	55	1.0	-	4.9	-	70	82
3	12.50	65	63	320	300	32	108	102	62	62	1.0	-	-	5.0	62	97
4	13.50	50	49	275	265	32	116	103	59	58	1.0	-	-	4.4	59	92
5	14.50	75	45	326	320	29	113	95	68	68	2.0	-	5.4	-	101	73
6	15.50	72	70	325	305	30	113	98	68	68	1.0	-	5.2	-	103	72
7	16.50	70	69	320	325	27	119	98	68	67	1.0	-	-	5.3	72	88
8	17.50	70	69	330	325	28	118	99	68	68	1.0	-	-	5.3	73	98
9	18.50	70	69	340	325	25	124	102	69	69	2.0	-	5.3	-	95	68
10	19.50	65	64	325	310	28	121	102	69	69	1.0	-	5.1	-	105	65
ค่าเฉลี่ย		65	61	313	301								5.12		83	

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 (2 ลูก)

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 (2 ลูก)

ชั่วโมงที่ (hr)	เวลา (1hr)	Supply (°C)	Return (°C)	ผนังด้านขวา (°C)			ผนังด้านซ้าย (°C)			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8	
0	9.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	10.50	47	39	38	38	37	39	40	41	40
2	11.50	50	43	41	41	40	43	44	45	43
3	12.50	54	46	45	45	44	47	47	48	47
4	13.50	50	45	44	44	43	45	45	46	48
5	14.50	56	48	47	47	46	48	49	50	49
6	15.50	56	49	48	48	47	49	50	50	50
7	16.50	56	50	49	49	48	50	51	51	51
8	17.50	57	50	49	49	49	51	51	52	51
9	18.50	58	51	50	50	49	52	52	53	52
10	19.50	56	51	50	50	49	51	52	52	51
ค่าเฉลี่ย										

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลน้ำที่ควบแน่นผ่านเครื่องระเหยและน้ำที่ระเหยของข้าวเปลือก สารทำความเย็น R-22 (2 ลูก)

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลน้ำที่ควบแน่นผ่านเครื่องระเหยและน้ำที่ระเหยของข้าวเปลือก สารทำความเย็น R-22 (2 ลูก)

ชั่วโมงที่ (hr)	เวลา (1hr)	น้ำหนักน้ำที่ควบแน่นจากเครื่องระเหย (kg)	น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนการทดสอบ (kg)	น้ำหนักข้าวเปลือกหลังการทดสอบ (kg)	น้ำหนักน้ำข้าวเปลือกที่ระเหย (kg)	อุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์ (°C)	
						ทางเข้า	ทางออก
0	9.50	-	-	-	-	-	-
1	10.50	0.72	0.500	0.49	0.01	30	48
2	11.50	1.04	0.500	0.48	0.02	34	52
3	12.50	1.14	0.500	0.47	0.03	38	56
4	13.50	0.78	0.500	0.46	0.04	36	55
5	14.50	0.82	0.500	0.46	0.04	38	57
6	15.50	0.80	0.500	0.46	0.04	37	57
7	16.50	0.86	0.500	0.46	0.04	38	58
8	17.50	0.68	0.500	0.46	0.04	39	58
9	18.50	0.65	0.500	0.45	0.05	39	58
10	19.50	0.50	0.500	0.44	0.06	37	57
ค่าเฉลี่ย							

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็นCOLD-22

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็นCOLD-22

ชั่วโมงที่ (hr)	เวลา (1hr)	ความดันด้านต่ำ (Psig)		ความดันด้านสูง (Psig)		อุณหภูมิสารทำความเย็น (°C)					กระแสไฟฟ้า (kW-hr)		กระแสคอมเพรสเซอร์ (A)		อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ (°C)	
		P1	P4	P2	P3	T1	T2	T3	T4	T5	380	220	Comp1	Comp2	Comp1	Comp2
0	6.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	7.27	54	54	205	195	16	72	70	42	41	1	-	3.6	-	69	-
2	8.27	50	50	205	195	21	81	70	42	41	1	-	3.6	-	78	-
3	9.27	50	49	210	195	21	79	71	41	41	1	-	3.6	-	80	-
4	10.27	49	49	210	195	19	78	75	41	41	1	-	3.6	-	80	-
5	11.27	50	50	210	195	19	77	78	43	40	1	-	3.6	-	79	-
6	12.27	50	50	225	210	21	79	78	45	41	1	-	3.7	-	79	-
7	13.27	51	51	226	215	21	85	80	46	45	1	-	3.8	-	83	-
8	14.27	53	53	230	220	22	86	82	47	45	1	-	3.9	-	86	-
9	15.27	52	52	227	217	24	81	78	46	45	1	-	3.8	-	79	-
10	16.27	52	52	229	220	23	84	81	45	45	1	-	3.8	-	82	-
ค่าเฉลี่ย		51	51	217	205								3.7		79	

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น COLD-22

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสารทำความเย็น COLD-22

ชั่วโมงที่ (hr)	เวลา (1hr)	Supply (°C)	Return (°C)	ผนังด้านขวา (°C)			ผนังด้านซ้าย (°C)			อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8	
0	6.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	7.27	40	34	33	33	33	34	35	35	36
2	8.27	40	35	34	34	33	35	35	36	39
3	9.27	40	36	35	35	34	36	36	37	42
4	10.27	42	37	37	36	36	38	39	39	44
5	11.27	41	37	36	36	35	37	38	38	45
6	12.27	43	39	38	38	37	39	40	40	46
7	13.27	44	40	39	39	38	40	41	41	46
8	14.27	46	41	40	40	40	41	42	42	47
9	15.27	45	41	40	40	40	41	42	42	46
10	16.27	46	41	40	40	40	41	42	42	45
ค่าเฉลี่ย										

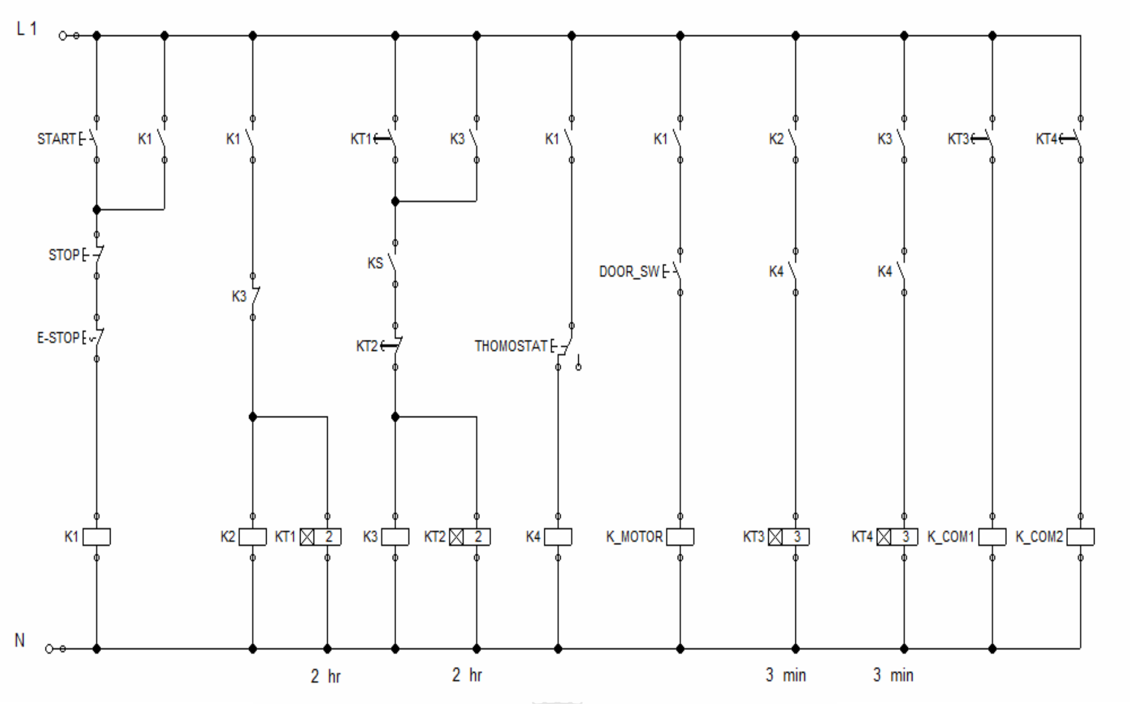
ตารางที่ ข.9   ข้อมูลน้ำที่ควบแน่นผ่านเครื่องระเหยและน้ำที่ระเหยของข้าวเปลือก สารทำความเย็น COLD-22

ตารางที่ ข.9   ข้อมูลน้ำที่ควบแน่นผ่านเครื่องระเหยและน้ำที่ระเหยของข้าวเปลือกสารทำความเย็น COLD-22

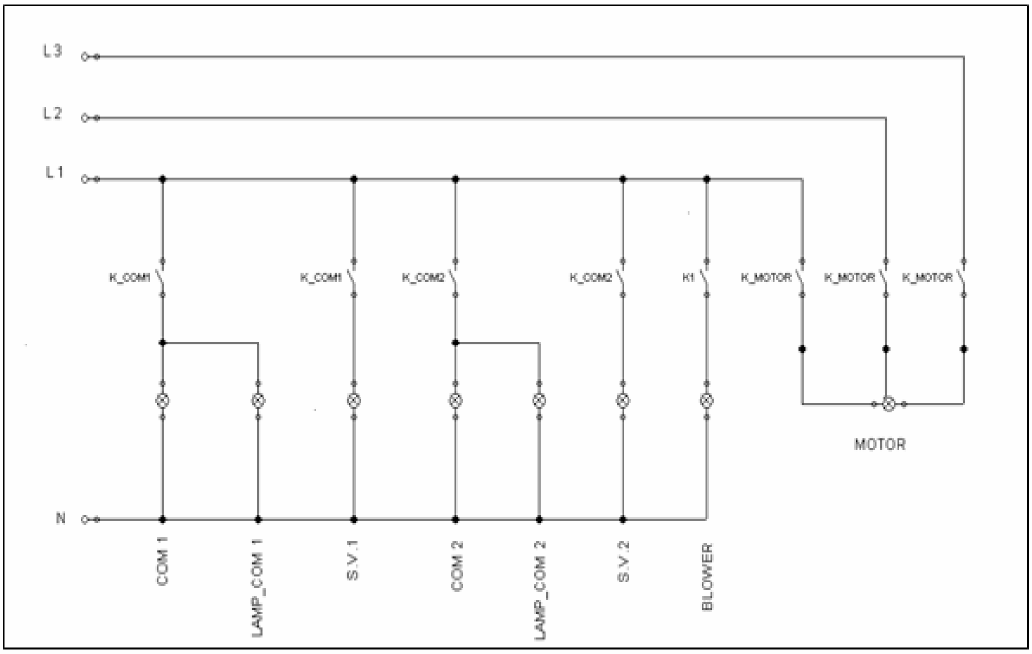
ชั่วโมงที่ (hr)	เวลา (1hr)	น้ำหนักน้ำที่ควบแน่นจากเครื่องระเหย (kg)	น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนการทดสอบ (kg)	น้ำหนักข้าวเปลือกหลังการทดสอบ (kg)	น้ำหนักน้ำข้าวเปลือกที่ระเหย (kg)	อุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์ (°C)	
						ทางเข้า	ทางออก
0	6.27	-	-	-	-	-	-
1	7.27	0.00	0.500	0.485	0.015	26	43
2	8.27	0.41	0.500	0.48	0.010	28	43
3	9.27	0.38	0.500	0.48	0.010	29	42
4	10.27	0.285	0.500	0.48	0.010	29	43
5	11.27	0.18	0.500	0.48	0.010	31	44
6	12.27	0.345	0.500	0.48	0.010	33	46
7	13.27	0.28	0.500	0.475	0.025	34	47
8	14.27	0.365	0.500	0.47	0.003	35	48
9	15.27	0.44	0.500	0.47	0.003	36	48
10	16.27	0.59	0.500	0.47	0.003	36	48
ค่าเฉลี่ย							

ภาคผนวก ค

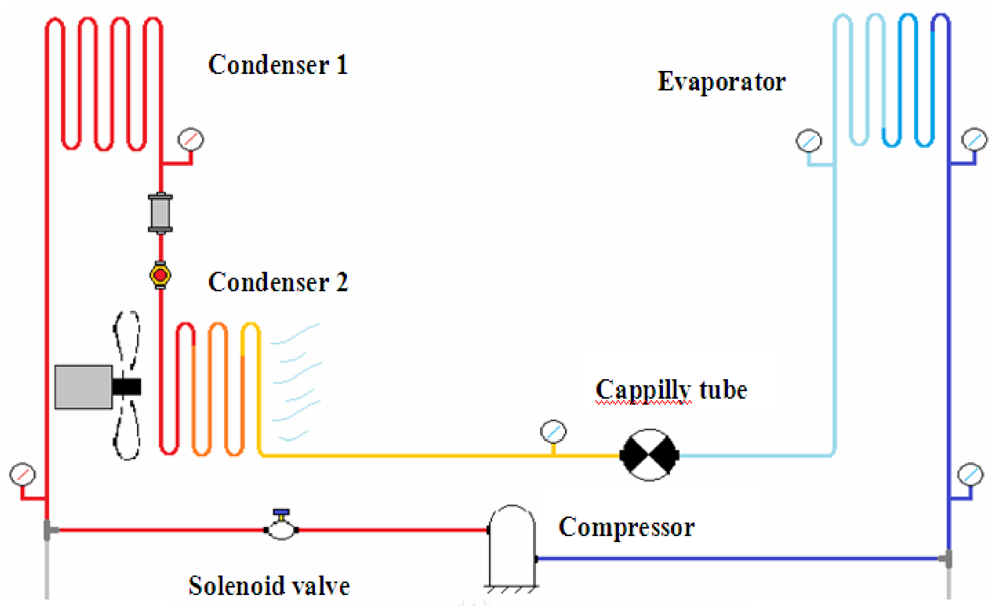
วงจรไฟฟ้าและวงจรสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน



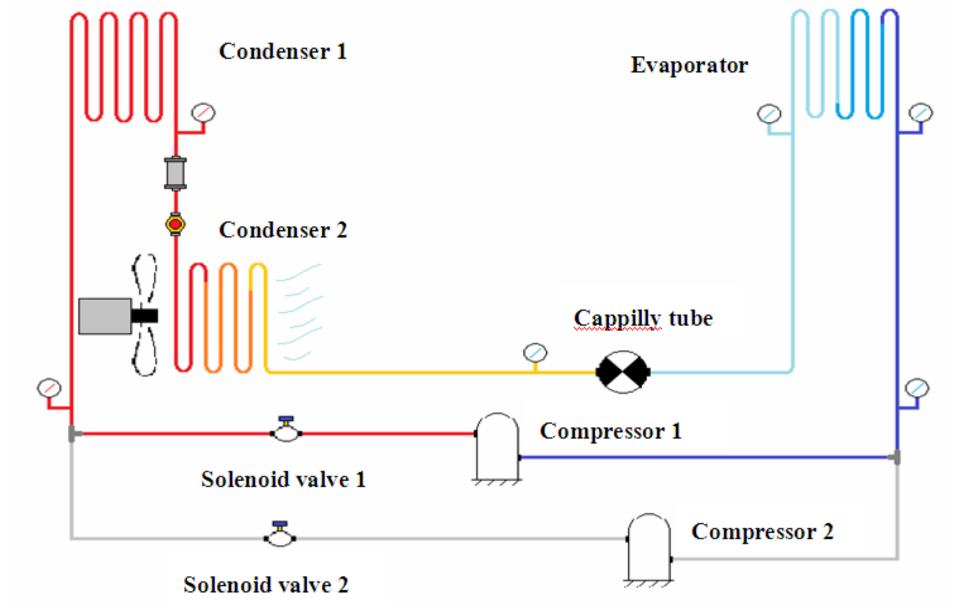
รูปที่ ค.1 วงจรควบคุมไฟฟ้าเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน



รูปที่ ค.2 วงจรไฟฟ้ากำลังเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน



รูปที่ ค.3 วงจรสารทำความเย็นเครื่องอบแห้งแบบปั๊มที่ใช้ความร้อนคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก



รูปที่ ค.4 วงจรสารทำความเย็นเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ลูก

ภาคผนวก ง

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

DAIKIN
สวทช NSTDA
การถ่ายเท
พลังงานความร้อนและมวล
ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ
(ครั้งที่ 10)
และการร่วมฉลองการก้าวย่างสู่ปีที่ 72
ของศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์
The 10th Conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes in Commemoration to the Pace of the 72nd Year of Professor Dr. Prida Wibulswas
วันที่ 10-11 มีนาคม 2554
ณ โรงแรม เชียงใหม่แกรนด์วิว จังหวัดเชียงใหม่
ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คณะกรรมการและคณะอนุกรรมการ
จัดการประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล
ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 10)
วันที่ 10-11 มีนาคม 2554 ณ โรงแรม เชียงใหม่แกรนด์วิว จังหวัดเชียงใหม่

คณะกรรมการจัดการประชุม

1.	ศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	ประธานคณะกรรมการ
2.	รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิชัย ปรีชาวุฒิพงษ์	กรรมการ
3.	รองศาสตราจารย์ ดร.นคร ทิพยาวงศ์	กรรมการ
4.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยศธนา คุณาทร	กรรมการ
5.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล	กรรมการ

คณะอนุกรรมการฝ่ายพิจารณาบทความ

1.	ศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	ประธานคณะกรรมการ
2.	รองศาสตราจารย์ ดร.นคร ทิพยาวงศ์	กรรมการ
3.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวะ อัจฉริยวิริยะ	กรรมการ
4.	ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. อารีย์ อัจฉริยวิริยะ	กรรมการ
5.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยศธนา คุณาทร	กรรมการ
6.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล	กรรมการ

คณะอนุกรรมการฝ่ายติดต่อประสานงาน/ต้อนรับ

1.	อ.ดร.ณัฐนี วรยศ	ประธานคณะอนุกรรมการ
2.	นายวันรบ กิตินาน	อนุกรรมการ
3.	นางสาววาสนา คำโอภาส	อนุกรรมการ

คณะอนุกรรมการฝ่ายลงทะเบียน/การเงิน

1.	อ.ดร.ณัฐนี วรยศ	ประธานคณะอนุกรรมการ
2.	นายวันรบ กิตินาน	อนุกรรมการ
3.	นางสาววาสนา คำโอภาส	อนุกรรมการ

คณะอนุกรรมการฝ่ายเอกสาร

1.	ศ.ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	ประธานคณะอนุกรรมการ
2.	อ.ดร.ณัฐนี วรยศ	อนุกรรมการ
3.	นายวันรบ กิตินาน	อนุกรรมการ

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

54. การประยุกต์ใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากของเหลือทิ้งโรงงานต้นแบบการผลิต
เอทานอลด้วยรังสีอาทิตย์ที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ 306
หฤษฎ์ คล่องดี, ยุวพิน ด่านดุสิตาพันธ์, จิรวรรณ เตียรถ์สุวรรณ, อภิชิต เทิดโยธิน,
วารุณี เตีย และ นันทน์ ถาวรังกูร

55. การแจกแจงไวล์บุลล์ของลมสถิติที่ระดับความสูง 60-80 m บริเวณ อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช 312
สมพล ชีวมงคลกานต์ และ จอมภพ แววศักดิ์

56. การศึกษาและเปรียบเทียบสารทำความเย็น R-22 กับ COLD-22 ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน 318
นพรัตน์ อมัติรัตน์, สถาพร ทองวิค และ วินัย จันทร์เพ็ง

57. ผลของการลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศชุดคอยล์ร้อนอยู่สูงกว่าชุดคอยล์เย็น 323
อภิเดช บุญเจือ และ สถาพร ทองวิค

58. การศึกษาประสิทธิภาพเตาถ่านในเขตเทศบาลนครนครปฐม 329
ธิบดินทร์ แสงสว่าง, ศุภชัย วาสนานนท์ และ กษมา ศิริสมบูรณ์

59. ผลของการจัดวางอิเล็กโตรดหลายแท่งต่อการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้า 332
ไชยณรงค์ จักรธรานนท์, ธัชพงศ์ กรีวัชรินทร์, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, ชยุตพล ชัยรุ่งเรือง, ศุภโชค แซ่พัว
และ ชิตณรงค์ แดงประเสริฐ

60. NUMERICAL ANALYSIS OF NATURAL CONVECTION IN POROUS MEDIUM SUBJECTED TO
ELECTROMAGNETIC ENERGY USING THE LOCAL THERMAL NON-EQUILIBRIUM (LTNE) MODELS ... 337
Phadungsak Rattanadecho and Waraporn Klinbun

61. การศึกษาแนวทางความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ
กรณีศึกษา:เทศบาลเมืองปราจีนบุรี 350
เมธิวัจน์ พัฒนาปรีชาพงษ์, เดชพิชิต คะทุ่ม, สุรชาติ ประเสริฐศิลป์ และ ธณัฏฐ์ยศ สมใจ

62. การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิด air – to – air
ในการลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในเตาหลอมอลูมิเนียม 357
เอกชัย ยุ้งทอง, เสาวนีย์ เพิ่มสมบัติ, สิทธินันท์ บุญสงค์ และ ธณัฏฐ์ยศ สมใจ

การศึกษาและเปรียบเทียบสารทำความเย็น R-22 กับ COLD-22 ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

COMPARATIVE STUDY OF REFRIGERANT R-22 WITH COLD-22 IN THE DRYER HEAT PUMP

นพรัตน์ อมัติรัตน์
สถาพร ทองวิค*
วินัย จันทร์เพ็ง
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทร 0-2549-3430 โทรสาร 0-2549-3432
*E-mail: rmutt_thermallab@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่ใช้สารทำความเย็น R-22 และCOLD-22 เพื่อเปรียบเทียบหาสารทำความเย็นที่เหมาะสมในการอบแห้ง สมรรถนะระบบปั๊มความร้อน อัตราการใช้กระแสไฟฟ้าระบบปั๊มความร้อน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดลองระหว่างสารทำความเย็น R-22 และCOLD-22 พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีความสามารถในการอบแห้ง อัตราการลดความชื้น และอุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงกว่าสารทำความเย็น COLD-22 ที่ 0.45% และ 9% แต่เมื่อพิจารณาด้านอื่นพบว่าสารทำความเย็น COLD-22 มีกำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ความดันด้านสูงและความด้านดันต่ำ ดีกว่าสารทำความเย็น R-22 ที่ 20%, 21.56%, 27.2%, 31.88%, 28% ตามลำดับ ดังนั้นใช้สารทำความเย็น COLD-22 ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน จะทำให้ประหยัดการใช้พลังงานมากกว่าสารทำความเย็น R-22 แต่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับวัสดุและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และเนื่องจากสารทำความเย็น COLD-22 นั้นเป็นสารในกลุ่ม HFC จึงไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม แต่ก็มีข้อควรระวังในการใช้งานหากมีการรั่วไหลสารทำความเย็นดังกล่าวสามารถติดไฟ

Abstract

The purpose of this research project to study the dryer heat pump. The refrigerant R-22 and to compare COLD-22 refrigerant for optimum drying. Heat pump performance. Rate of electrical heat pump. Environmental impact. Comparison between the experimental results of refrigerant R-22 and found that COLD-22 refrigerant R-22 is capable of drying. Rate of drying. And dried in an oven temperature higher than the refrigerant COLD-22 at 0.45% and 9%, but on the other side showed that COLD-22 refrigerant is power input to the vapor compressor. Temperature compressor The specific energy consumption. Pressure on the high side and low pressure. Than refrigerant R-22 to 20%, 21.56%, 27.2%, 31.88%, 28%, respectively, so use COLD-22 refrigerant in the dryer heat pump. Can save energy than refrigerant R-22 but look to suit the material and the temperature in the drying process. Because COLD-22 refrigerant is a substance in the HFC does not damage the environment. But there are precautions to use if there is a refrigerant leak check can be flammable.

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) หรือ ภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Climate Change) คือ การที่อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นจากผลของภาวะเรือนกระจก หรือที่เรารู้จักกันดีในชื่อว่า Greenhouse Effect โดยภาวะโลกร้อน ซึ่งมีต้นเหตุจากการที่มนุษย์ได้เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ การขนส่ง การผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหินและการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนั้นมนุษย์เรายังได้เพิ่มก๊าซกลุ่มไนตรัสออกไซด์ และคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) เข้าไปอีกด้วยพร้อมๆ กับการที่เราตัดและทำลายป่าไม้จำนวนมหาศาล เพื่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกให้แก่มนุษย์ ทำให้กลไกในการดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากระบบบรรยากาศถูกลดทอนประสิทธิภาพลง และในที่สุดสิ่งต่างๆ ที่เราได้กระทำต่อโลกได้หวนกลับมาสู่เราในลักษณะของ ภาวะโลกร้อน สารทำความเย็นก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โลกร้อนขึ้นเช่น สารทำความเย็นในกลุ่ม CFC และ HCFC เป็นสารทำความเย็นที่ใช้สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดไอหรือระบบปั๊มความร้อน โดยที่สารทำความเย็นดังกล่าวเป็นสาเหตุหนึ่งของการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศและทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น อย่างไรก็ตามทางเลือกใหม่สำหรับสารทำความเย็นที่นำมาใช้งานในระบบทำความเย็นแบบอัดไอหรือปั๊มความร้อนคือสารทำความเย็นประเภท HCF[1] สำหรับสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบปั๊มความร้อนมักจะเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มไฮโดรคลอโรฟลูออคาร์บอน HCFC และไฮโดรฟลูออคาร์บอน HCF ซึ่งเข้ามาแทนสารทำความเย็นจำพวกคลอโรฟลูออคาร์บอน CFC ที่ได้ถูกจำกัดการผลิตและการใช้งานในพิธีสารมอลทรีออล ดังนั้นในปัจจุบันจะพบว่ามีการใช้สารทำความเย็น R-22และR-134a กันอย่างแพร่หลายอย่างไรก็ตาม สารทำความเย็นเหล่านี้ก็ยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ และมีกำหนดที่จะต้องเลิกผลิตและใช้ในปี พ.ศ. 2563 [2] ซึ่งที่ผ่านมานั้นมีหน่วยงานต่างๆให้ความสนใจ ทำการศึกษาค้นคว้ากันอย่างแพร่หลาย เพื่อหาสารทำความเย็นที่เหมาะสมกับการใช้งานในระบบปั๊มความร้อนเช่น การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของปั๊มความร้อนในกรณีที่ใช้สารทำความเย็นต่างชนิดกันและศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่เหมาะสมที่สุด สารทำความเย็นที่ใช้ศึกษา ได้แก่ R-22 R-134a R-407C และ R-410A ผลการศึกษาสรรถนะโดยรวมของปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R- 407C ใกล้เคียงกับกรณีที่ใช้สารทำความเย็น R-22 ที่สุด [3]

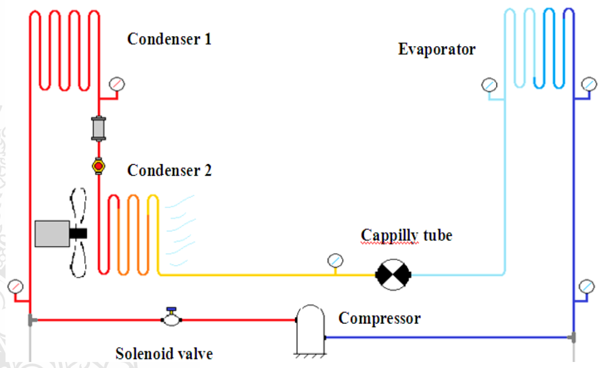
งานวิจัยนี้ศึกษาการประหยัดพลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน และหาสารทำความเย็นที่เหมาะสมกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยทดลองเปรียบเทียบสารทำความเย็น R-22 กับ COLD-22

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

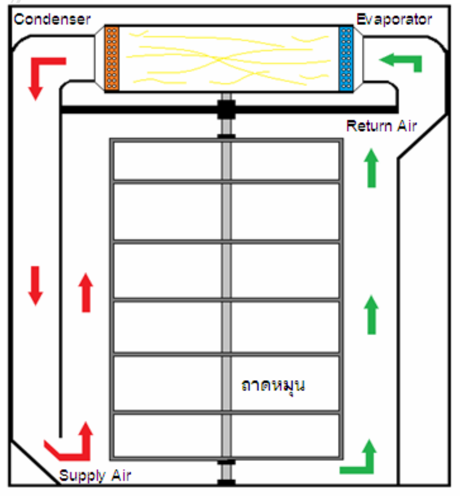
เพื่อเปรียบเทียบหาสารทำความเย็นที่เหมาะสมในการอบแห้ง สมรรถนะระบบปั๊มความร้อน อัตราการใช้กระแสไฟฟ้าระบบปั๊มความร้อน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัสดุและวิธีการ

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนขนาด 2 x 2 x 2 m^3 โดยถาดอบแห้งที่ใช้วางข้าวเปลือกมีขนาด 1.25 x 56 m^2และสามารถบรรจุข้าวเปลือกได้ถาดละ 5 kg มีจำนวนถาดทั้งหมด 20 ถาด ชั้นวางถาดข้าวเปลือกหมุนด้วยความเร็วคงที่ ระบบปั๊มความร้อนขนาด 12,000 Btu/hr ทำการเก็บข้อมูลการทดลองดังนี้ อุณหภูมิลมร้อนภายในตู้อบแห้ง ความดันและอุณหภูมิสารทำความเย็น กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบปั๊มความร้อน โดยทำการเก็บผลทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



รูปที่ 1 วงจรสารทำความเย็นเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน



รูปที่ 2 วงจรลมร้อนที่ใช้สำหรับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถบอกได้ทั้งในด้านความสามารถในการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

1. ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy effectiveness)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (specific moisture extraction rate, SMER) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}, \qquad (1)$$

MJ/kg water evap.

$$SMER = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}, \qquad (2)$$

kg water evap./kWh

2. สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

สมรรถนะของปั๊มความร้อนแสดงได้ด้วยค่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน Coefficient of performance (COP) และค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อน Energy efficiency ratio of drying system (EER) ดังต่อไปนี้

$$COP = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานทีให้กับเครื่องอัด}} \qquad (3)$$

$$EER = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานทีให้กับระบบเครื่องอบแห้ง}} \qquad (4)$$

กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัดไอ คือ กำลังงานที่เครื่องอัดไอได้รับ เมื่อหักค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์และแรงเสียดทานที่เครื่องอัดไอ มีค่าประมาณ 80% ของกำลังงานทั้งหมดที่ให้กับเครื่องอัดไอ [4]

การเลือกใช้สารทำความเย็น

สารทำความเย็น R-22 ($CHClF_2$) เป็นสารกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A1 มีจุดเดือด -41.4 °F (-40.8 °C) ที่ความดันบรรยากาศ เมื่อเทียบกับ R-12 แล้ว R-22 จะทำงานที่ความดันสูงกว่าแต่ใช้คอมเพรสเซอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าเพราะมีปริมาตรจำเพาะน้อยกว่า R-22 สามารถรวมกับน้ำมันหล่อลื่นได้แต่จะแยกตัวออกที่อุณหภูมิต่ำเมื่ออยู่ในเครื่องระเหย ใช้กับเครื่องทำความเย็น เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กและขนาดใหญ่ทั่วไป

สารทำความเย็น Cold-22 ($CH_3CH_2CH_3$) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A3 มีจุดเดือด -43.6 °F (-42 °C) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-22 ไม่มีอันตรายต่อชั้นบรรยากาศโอโซน มีค่า GWP (Global Warming Potential (GWP) <3 มีอายุขัย ณ ชั้นบรรยากาศ <1 ปี มีค่าความเป็นพิษอยู่ในระดับต่ำ เมื่อเทียบกับ R-22 แล้ว จะทำงานที่ความดันต่ำกว่า ใช้ระบบเดียวกันกับ R-22 ได้ ไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ (water insoluable) มีอุณหภูมิติดไฟอัตโนมัติที่ความดัน 0 psi ที่ 450 °C ใช้ทดแทนในระบบ R-22

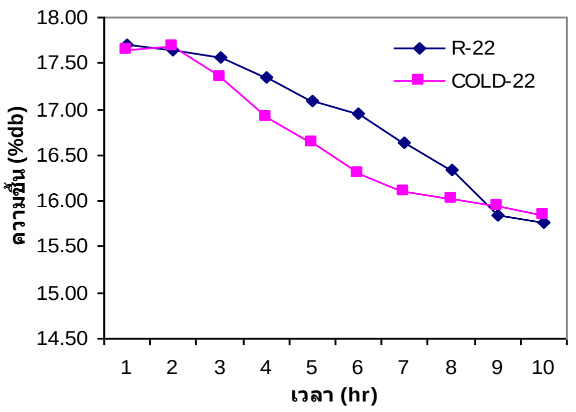
ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติสารทำความเย็น

ตารางเทียบคุณสมบัติสารทำความเย็น

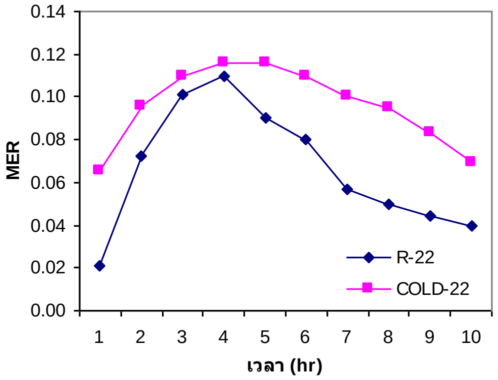
ชื่อสาร	CFC -12	HCFC -22	HFC -134a	COLD -22
ODP	1.0	0.05	0.0	0.0
GWP	2.8	0.34	0.3	< 3
OIL	MO	MO	POE	MO/POE
จุดเดือด	-21.6 °F	-41.4 °F	-15.0°F	-43.6 °F
ความปลอดภัย	A1	A1	A1	A3

3. ผลการทดสอบ

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสารทำความเย็น R-22 และ COLD-22 ได้ผลการทดลองดังนี้

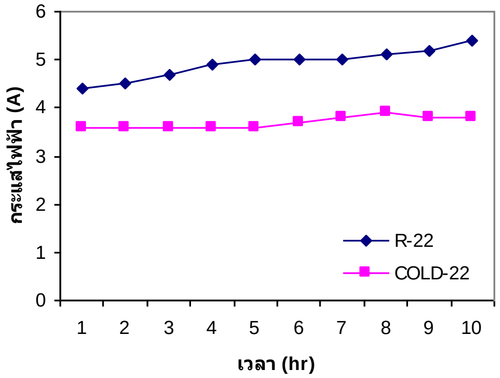


รูปที่ 3 การเปรียบเทียบความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

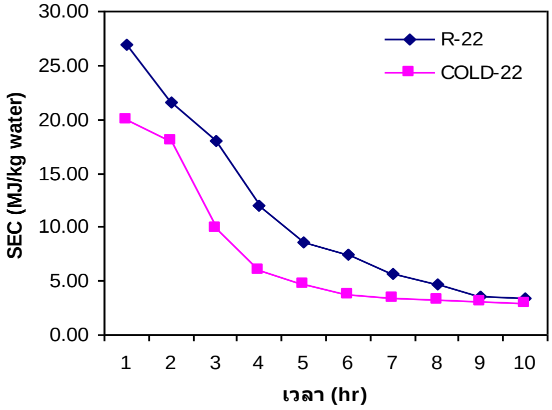


รูปที่ 4 เปรียบเทียบอัตราการควบแน่นกับเวลาในการอบแห้ง

ความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ผลแสดงดังภาพที่ 3 พบว่าการลดลงของความชื้นเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง สารทำความเย็น R-22 สามารถลดความชื้นลงได้ดีกว่าสารทำความเย็น COLD-22 ดังนั้นเมื่อความชื้นที่ลดลงทำให้อัตราการควบแน่นของน้ำผ่านเครื่องระเหยต่ำลงด้วย ผลแสดงดังภาพที่ 4

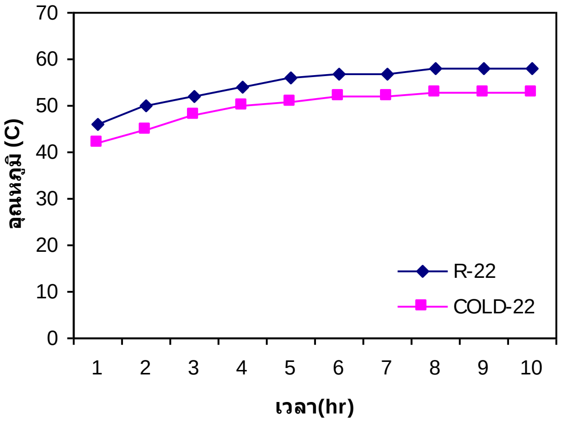


รูปที่ 5 เปรียบเทียบกำลังงานเครื่องอัดกับเวลาในการอบแห้ง



รูปที่ 6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับเวลาในการอบแห้ง

การใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน การแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอนั้น สารทำความเย็น R-22 จะใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่าสารทำความเย็น COLD-22 ผลแสดงดังภาพที่ 5 และเมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่ามีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะใกล้เคียงกัน ผลแสดงดังภาพที่ 6 และอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 สามารถทำอุณหภูมิมากกว่าสารทำความเย็น COLD-22 ผลแสดงดังภาพที่ 7



รูปที่ 7 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

ตารางที่ 2 ผลแสดงการเปรียบเทียบการทดลองการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R-22 และสารทำความเย็น COLD-22

รายการ	สารทำความเย็น	
	R-22	COLD-22
ความชื้นเริ่มต้น (% db)	18	18
ความชื้นสุดท้าย (% db)	15.77	15.84
อุณหภูมิในตู้อบแห้ง (°C)	55	50
กำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอเฉลี่ย (A)	5	4
กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (kw-hr)	2	1
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP)	4	5
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ย(SEC)	11	8
อัตราการควบแน่นจากเครื่องระเหยเฉลี่ย(MER)	0.07	0.10
อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์เฉลี่ย (°C)	102	80
ความดันด้านสูงเฉลี่ย (Psig)	323	220
ความดันด้านต่ำเฉลี่ย (Psig)	75	54

4. สรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลองการอบแห้งด้วย เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเปรียบเทียบระหว่าง สารทำความเย็น R-22 และสารทำความเย็น COLD-22 พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีความสามารถในการอบแห้งและอุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงกว่าสารทำความเย็น COLD-22 แต่ถ้าพิจารณาจากตารางที่ 2 แล้วจะเห็นว่ากำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอกระแสไฟฟ้า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ความดันด้านสูงและความด้านดันต่ำ จะมีค่าต่ำกว่าสารทำความเย็นR-22 ดังนั้นสามารถใช้สารทำความเย็น COLD-22 ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนได้ แต่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง เนื่องจากสารทำความเย็น COLD-22 นั้นมีอุณหภูมิในการอบแห้งเหมาะสมที่ 40-50 °C ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว จึงเหมาะสมที่จะใช้สารทำความเย็น COLD-22 จะทำให้ประหยัดการใช้พลังงานมากกว่าสารทำความเย็น R-22

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ทวีวัฒน์ สุภารส และบุญส่ง เหมวัฒน์ 2546 **การศึกษาการประหยัดพลังงานในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้สารทำความเย็น R401a, R401B, R490Aและ R22**, การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 2 25-26 กันยายน 2546 ศูนย์ฝึกอบรมธนาคารไทยพาณิชย์ จังหวัดเชียงใหม่

[2] เมธาวุฒิ โชติสวัสดิ์ และไฟโรจน์ จันทร์แก้ว 2546 **สารทำความเย็นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน**, การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 2 25-26 กันยายน 2546 ศูนย์ฝึกอบรมธนาคารไทยพาณิชย์ จังหวัดเชียงใหม่

[3] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา 2545 **การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนและการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[4] สุนียพร พรหมดวง 2546 **การอบแห้งตะไคร้ด้วยปั๊มความ ร้อน**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพ 10520

วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2554

เรื่อง การอนุมัติให้เสนอผลงานในรูปแบบการบรรยายในงานประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ประจำปี 2554

เรียน คุณนพรัตน์ ธนิติรัตน์และ คุณสถาพร ทองวิค

คณะกรรมการฝ่ายบทความและบรรยายพิเศษ ของการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 ประจำปี 2554 หัวข้อเรื่อง : นวัตกรรม สะอาด และยั่งยืน ซึ่งจะจัดในวันที่ 31 มีนาคม และวันที่ 1 เมษายน 2554 ณ. โรงแรมชลจันทร์ พัทยารีสอร์ท จังหวัดชลบุรี มีความยินดีขอแจ้งให้ท่านทราบว่า

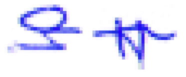
บทความเรื่อง : การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนด้วยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์
ผู้แต่ง : นพรัตน์ ธนิติรัตน์และ สถาพร ทองวิค

ได้รับการอนุมัติให้เสนอผลงานในรูปแบบการบรรยาย ของการประชุมครั้งนี้หากท่านต้องการติดต่อกับคณะกรรมการ โปรดอ้างถึงรหัสของบทความท่านทุกครั้ง

ในการนี้ผู้เข้าร่วมประชุมที่มาจากส่วนราชการที่ได้รับการอนุมัติจากผู้บังคับบัญชาแล้ว สามารถเข้าร่วมประชุมโดยไม่ถือเป็นวันลา และมีสิทธิ์เบิกค่าใช้จ่ายในการเดินทางได้ตามระเบียบของทางราชการจากต้นสังกัด

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์)
ประธานดำเนินการจัดประชุม

โทรศัพท์. ๐-๒๓๒๙๘๓๓๗-๘
โทรสาร. ๐-๒๓๒๙๘๓๓๖
ผู้ประสานงานคุณจิตราพร กังสวัสดิ์

การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนด้วยระบบควบคุมคอมเพรสเซอร์

Development heat pump dryer by compressor controlling

นพรัตน์ อมัติรัตน์[1] **และ สถาพร ทองวิค**[1*]
Nopparat amattirat[1] and Sathaporn thongwitk[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทดลองหาอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูกและคอมเพรสเซอร์ 2 ลูกทำงานสลับกันทีละลูก โดยใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน ข้าวเปลือกที่นำมาทดลองมีความชื้นเริ่มต้น 18% db เพื่อหาความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้ง สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนและอัตราการใช้กระแสไฟฟ้าของระบบปั๊มความร้อน จากการทดลองพบว่าการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนโดยใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และคอมเพรสเซอร์ 2 ลูก ให้ผลอัตราการลดความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 15.77 และ 14.40 % db ตามลำดับ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 9.76 และ 7.45 MJ/kg water evap ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 4.21 และ 3.79 ประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 11.13 และ 11.24 Btu/hr.w อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 47 และ 48 °C กำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดเฉลี่ยเท่ากับ 4.89 และ 5.11 A และอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์เฉลี่ยเท่ากับ 105 และ 80 °C

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้ง ระบบปั๊มความร้อน คอมเพรสเซอร์ ประหยัดพลังงาน

ABSTRACT

This research was drying machine for drying heat pump. The compressor 1 and compressor 2 balls one by working alternately. Using refrigerant R-22 as working fluid used experimental paddy initial moisture content 18% db for comparison to determine the drying of the dryer. Performance of heat pump and the rate of electrical heat pump system. The results showed that the drying heat pump using the compressor a child and compressor 2 goals of the rate of drying an average of 15.77 and 14.40 % db consumption rate, specific energy consumption averaged at 9.76 and 7.45. MJ / kg water evap the coefficient of performance of heat pump an average of 4.21 and 3.79 the performance of heat pump an average of 11.13 and 11.24 Btu / hr.w the average temperature inside the oven dried at 47 and 48 ° C power to the compressor feeding an average of 4.89 and 5.11 A and an average temperature of the compressor at 105 and 80 ° C.

Keywords: Dryer Heat pump Compressor Energy saving

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีประชากรประกอบอาชีพทางด้านเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ ในแต่ละปีมีผลผลิตที่ได้จากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นผลผลิตที่สามารถทำรายได้ให้กับเกษตรกร และเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศ แต่เนื่องจากผลผลิตที่ได้นั้นภายหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว ถ้าจำหน่ายหรือบริโภคไม่หมดก็จะเกิดการเน่าเสียเพราะมีความชื้นสูง ทำให้เกิดเชื้อรา จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการเก็บรักษาด้วยวิธีที่เหมาะสมเพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากผลผลิตให้คุ้มค่าที่สุด ทั้งทางด้านการบริโภคและการส่งออกสินค้าเกษตรกรรม

การทำแห้งก็เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการสูญเสียคุณภาพของผลผลิตได้ การทำแห้งผลผลิตทางการเกษตรนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอบ การตากโดยใช้แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานและยังมีปัญหาด้านคุณภาพของผลผลิตเนื่องจากมีฝุ่นละออง เชื้อโรค สิ่งสกปรกและแมลง การทำให้แห้งโดยการใช้เครื่องอบแห้งจึงเป็นอีกวิธี ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลง (Prasertsan, 1998)

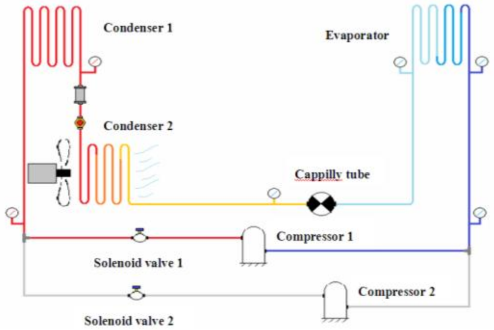
ปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งมาใช้กัน เช่น เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน เครื่องอบแห้งแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งแบบปั้มความร้อน เชื้อเพลิงที่ใช้มี

ทั้งก๊าซ น้ำมัน ไฟฟ้า หรือเศษวัสดุทางการเกษตร เป็นต้น เนื่องจากการอบแห้งเป็นกรรมวิธีการลดความชื้นของวัสดุที่ใช้พลังงานสูง ดังนั้นการใช้เครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดต้นทุนด้านการใช้พลังงานลงได้ เครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนจัดว่าเป็นเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งโดยทั่วไป เนื่องจากสามารถนำความร้อนทิ้งจากระบบการอบแห้งกลับมาใช้งานได้ทั้งหมดและยังส่งผลให้อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมไม่สูงขึ้นอีกด้วย(อานนท์, 2552) ซึ่งที่ผ่านมานั้นมีหน่วยงานต่างๆให้ความสนใจ และทำการศึกษาค้นคว้า วิจัย และพัฒนาการอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง แบบปั๊มความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่มีผู้ศึกษาและทำการวิจัยกันอย่างแพร่หลาย เช่น การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจากการทดลองเพื่อหาจุดทำงานที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่า อุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมมีค่าอยู่ที่ประมาณ 60°C ความเร็วลมของอากาศอบแห้งประมาณ 1.20 m/s ที่อุณหภูมิและความเร็วลมดังกล่าวเครื่องจะสามารถอบแห้งได้ภายในเวลาประมาณ 16 ชั่วโมง (นิรุบล, 2546) การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของปั๊มความร้อนในกรณีที่ใช้สารทำความเย็นต่างชนิดกันและศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบปั้มความร้อนที่เหมาะสมที่สุด สารทำความเย็นที่ใช้ศึกษา ได้แก่ R-22 R-134a R-407C และ R-410A ผลการศึกษาสรรถนะโดยรวมของของปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R- 407C ใกล้เคียงกับกรณีที่ใช้สารทำความเย็น R-22 ที่สุด และยังพบว่า ภายใต้อุณหภูมิเครื่องควบแน่นคงที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทางออกเครื่องระเหยมีผลทำให้สัดส่วนความดันของเครื่องอัดแก๊สและปริมาตรเคลื่อนที่เครื่องอัดแก๊สลดลง ในขณะที่ผลทำความเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อนเพิ่มขึ้น (อำไพศักดิ์, 2545) การศึกษาเพื่อออกแบบ สร้างและทำการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนแบบระบบปิด ใช้เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างดัดแปลงเป็นระบบปั๊มความร้อน ใช้น้ำยาสารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน ทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมการไหลของสารทำความเย็น จากเดิมที่เป็นใช้ท่อรูเข็มเปลี่ยนมาเป็นลิ้นลดความดัน ซึ่งใช้สำหรับทำความเย็นเพื่อให้อุณหภูมิที่ผิวเครื่องระเหยลดต่ำลงและทำการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องระเหย โดยการติดครีบระบายความร้อนเสริม จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งและวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง (ทนุ, 2548) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิลมร้อน ความชื้น ความเร็วลม การออกแบบเครื่องอบแห้ง สารทำความเย็น การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็น ล้วนส่งผลต่อการอบแห้งทั้งสิ้น

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือหาแนวทางการประหยัดพลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยวิธีการลดความร้อนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน เพื่อประหยัดการใช้พลังงาน โดยใช้ข้าวเปลือกเป็นตัวอย่างในการอบแห้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนขนาด 2 x 2 x 2 m^3 โดยถาดอบแห้งที่ใช้วางข้าวเปลือกมีขนาด 1.25 x 56 m^2 และสามารถบรรจุข้าวเปลือกได้ถาดละ 5 kg มีจำนวนถาดทั้งหมด 20 ถาด ชั้นวางถาดข้าวเปลือกหมุนด้วยความเร็วคงที่ ระบบปั๊มความร้อนขนาด 12,000 Btu/hr ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และคอมเพรสเซอร์ 2 ลูกทำงานสลับกันทีละลูก ทำการเก็บข้อมูลการทดลองดังนี้ อุณหภูมิลมร้อนภายในตู้อบแห้ง ความดันและอุณหภูมิสารทำความเย็น น้ำหนักน้ำที่ระเหย น้ำหนักข้าวเปลือก กระแสไฟฟ้า โดยทำการเก็บผลทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



ภาพที่ 1 วงจรสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

การหาความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุ สามารถแสดงได้ คือ

ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \left(\frac{w-d}{d}\right) X\ 100 \qquad (1)$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

w คือ มวลของวัสดุ, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในการวิเคราะห์ กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณ สะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือ เกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ที่ว่าเกือบคงที่นี้ เพราะ ผลิตผลทางการเกษตรเป็นสิ่งที่มีชีวิต มีการหายใจ ดังนั้น จึงมีการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มวลแห้งลดลง ส่วน ใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเพียงเล็กน้อย

การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถบอกได้ทั้งในด้านความสามารถในการอบแห้งและ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

1. ความสามารถในการอบแห้ง (Capacity of drying)

ความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบ ปั๊มความร้อนสามารถแสดงได้ด้วยอัตราการอบแห้งวัสดุ และอัตราการควบแน่นจากเครื่องทำระเหย (Moisture extraction rate, MER) ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วอัตราการ อบแห้งและ MER จะเท่ากันในเครื่องอบแห้งระบบปิด (ถ้าไม่ เท่ากันแสดงว่ามีการรั่วซึมของลมออกจากเครื่องอบแห้ง) ดังนั้นในทางปฏิบัติหากไม่สะดวกในการหาอัตราการอบแห้ง ได้โดยตรงก็สามารถใช้ค่า MER แทนได้ แต่ในเครื่องอบแห้ง ระบบเปิดหรือระบบปิดบางส่วน ค่า MER ไม่อาจใช้เป็นตัว แทนที่ดีได้สำหรับอัตราการอบแห้ง เพราะปริมาณความชื้น ในอากาศไม่ใช่ความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์เพียง อย่างเดียวเหมือนเครื่องอบแห้งระบบปิด ค่าอัตราการ อบแห้งและ MER กำหนด ดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}, \qquad (2)$$

kg water evap./hr

$$MER = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ควบแน่นจากเครื่องระเหย}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}, \qquad (3)$$

kg water cond./hr

2. ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่อง อบแห้ง (Energy effectiveness)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง แบบปั๊มความร้อน สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลือง พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (specific moisture extraction rate, SMER) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}, \qquad (4)$$

MJ/kg water evap.

$$SMER = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}, \qquad (5)$$

kg water evap./kWh

3. สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

สมรรถนะของปั๊มความร้อนแสดงได้ด้วยค่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน Coefficient of performance (COP) และค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊ม ความร้อน Energy efficiency ratio of drying system (EER) ดังต่อไปนี้

$$COP = \frac{\text{ความสามารถในการระบาย ความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัด}} \qquad (6)$$

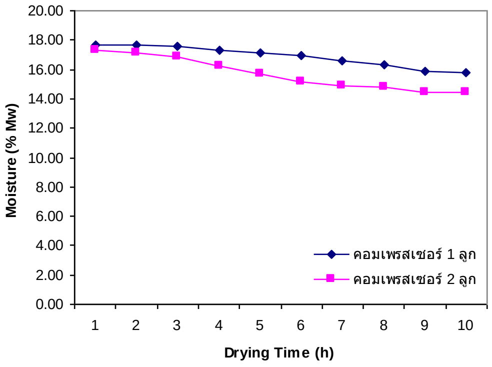
$$EER = \frac{\text{ความสามารถในการระบาย ความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับระบบเครื่องอบแห้ง}} \qquad (7)$$

กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัดไอ คือ กำลังงานที่เครื่อง อัดไอได้รับ เมื่อหักค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจาก ประสิทธิภาพของมอเตอร์และแรงเสียดทานที่เครื่องอัดไอ มี ค่าประมาณ 80% ของกำลังงานทั้งหมดที่ให้กับเครื่องอัดไอ (สุนียพร, 2546)

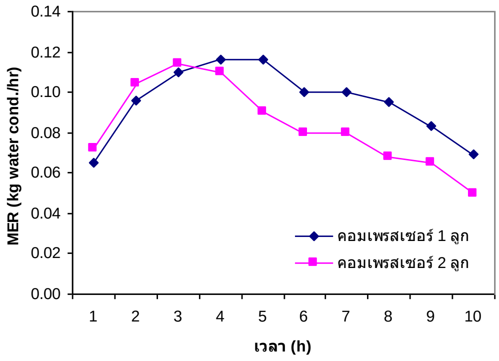
ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลจากการทดลองอบแห้ง ข้าวเปลือกความชื้นเริ่มต้น 18 % db ที่การทำงานของระบบปั๊มความร้อนที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และคอมเพรสเซอร์ 2 ลูกทำงานสลับกันทีละลูก ใช้เวลาในการอบแห้ง 10 ชั่วโมง ได้ผลดังนี้

ความสามารถในอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ผลแสดงดังภาพที่ 2 จะเห็นว่าการลดลงของความชื้นเมื่อเทียบกับเวลา พบว่าคอมเพรสเซอร์ 2 ลูก สามารถลดความชื้นได้ต่ำกว่าคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก ดังนั้นเมื่อความชื้นที่ลดลง จะส่งผลต่ออัตราการควบแน่นผ่านเครื่องระเหยนั้นต่ำลงด้วย ผลแสดงดังภาพที่ 3 พบว่าในช่วงแรกมีแนวโน้มสูงขึ้น เพราะข้าวเปลือกมีความชื้นสูงและอัตราการควบแน่นผ่านเครื่องระเหยสูง เมื่ออบแห้งที่เวลาการอบชั่วโมงที่ 5 จะเห็นว่าอัตราการควบแน่นผ่านเครื่องระเหยลดลงเนื่องจากข้าวเปลือกมีความชื้นลดลง

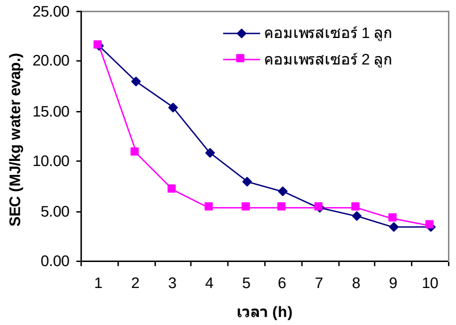


ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

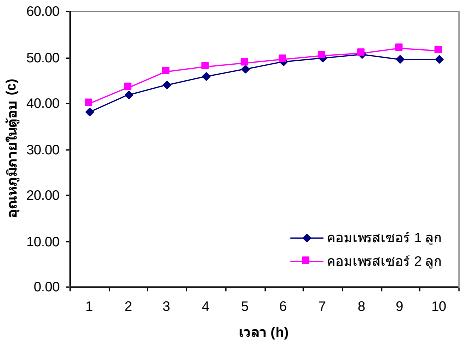


ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการควบแน่นจากเครื่องระเหยกับเวลาที่ให้ในการอบแห้ง

ผลจากการทดลอง การใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน พบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ในการทดลองใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ลูก ใช้พลังงานน้อยกว่าคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก ผลแสดงดังภาพที่ 4 และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง คอมเพรสเซอร์ 2 ลูก สามารถทำอุณหภูมิสูงกว่า คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก ผลแสดงดังภาพที่ 5

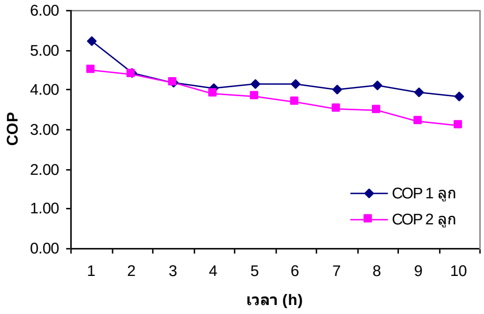


ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

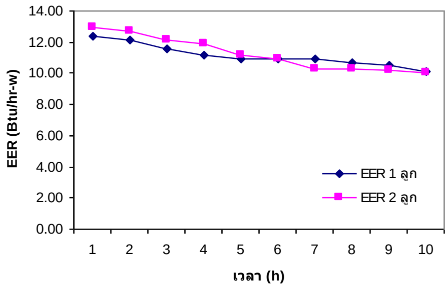


ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

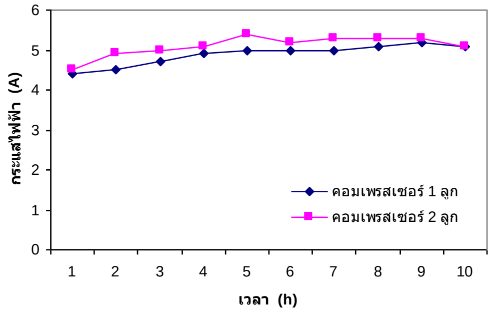
ผลจากการทดลองหาสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน COP ผลแสดงดังภาพที่ 6 พบว่าค่า COP มีค่าลดลงเนื่องจากอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงขึ้น ความดันในระบบก็จะสูงขึ้นตามด้วย ดังนั้นจะส่งผลโดยตรง กับพลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ ทำให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้นตาม ผลแสดงดังภาพที่ 8 และ ตามสมการที่ 6 จึงทำให้ค่า COP ลดลง และค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อน EER จึงลดลงตามเช่นกัน ผลแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

ตารางที่ 1 ผลแสดงการเปรียบเทียบการทดลองการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และคอมเพรสเซอร์ 2 ลูก

รายการ	คอมเพรสเซอร์	
	1 ลูก	2 ลูก
ความชื้นเริ่มต้น (% db)	18	18
ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย (% db)	15.77	14.40
อุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบแห้ง (°C)	47	48
กำลังงานเฉลี่ยที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ (A)	4.89	5.11
กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (kw-hr)	1.51	1.2
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP)	4.21	3.79
ค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนเฉลี่ย (EER)	11.13	11.24
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ย (SEC)	9.76	7.45
อัตราการควบแน่นจากเครื่องระเหยเฉลี่ย (SMER)	0.10	0.08
อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์เฉลี่ย (°C)	105	80

สรุป

จากผลการทดลองการอบแห้งด้วย เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเปรียบเทียบระหว่างคอมเพรสเซอร์ 1 ลูก และคอมเพรสเซอร์ 2 ลูก พบว่าคอมเพรสเซอร์ 2 ลูก มีความสามารถในการอบแห้งดีกว่า และใช้พลังงานน้อยกว่าคอมเพรสเซอร์ 1 ลูกผลแสดงดังตารางที่ 1 แต่กำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอมีค่าสูงกว่า เนื่องจากระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ลูกนั้นมีการทำงานสลับกันของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งในช่วงสตาร์ทการทำงานทุกๆ 2 ชั่วโมง จึงมีกระแสสูง ผลแสดงดังภาพที่ 8

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Prasertsan, S. and P. Saen-saby . 1998. Heat Pump Drying of Agricultural Materials Drying Technology: 235-250

อานนท์ สาดช้าง, ศิวะ อัจฉริยวิริยะและอารีย์ อัจฉริยวิริยะ 2552. การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

นิรุบล กาญจนางกูรพันธ์และคณะ, 2546 การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งใช้ฮีตปั๊มร่วมกันท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา 2545 การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนและการออกแบบที่ เหมาะสมที่สุด, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ทนุ โตทรายมูล 2548 การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนสำหรับใช้ในการอบแห้งมะม่วงแผ่นโดยวิธีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีแวปปอเรเตอร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สุนียพร พรหมดวง 2546 การอบแห้งตะไคร้ด้วยปั๊มความร้อน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายนพรัตน์ อมัติรัตน์
วัน เดือน ปีเกิด	18 มีนาคม 2523
ที่อยู่	208 ถนนมิตรภาพ ซอย 8/6 ตำบลในเมือง อำเภอในเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล นครราชสีมา เมื่อ พ.ศ.2546

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2546 - ปัจจุบัน	อาจารย์โปรแกรมวิชาช่างยนต์-เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

นพรัตน์ อมัติรัตน์ และสถาพร ทองวิค, “การศึกษาและเปรียบเทียบสารทำความเย็น R-22 กับCOLD-22 ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน”, **การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 10**, 10-11 มีนาคม 2554, หน้า 318-322

นพรัตน์ อมัติรัตน์ และสถาพร ทองวิค, “การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนด้วยระบบควบคุมคอมเพรสเซอร์”, **การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12**, 31 มีนาคม -1 เมษายน 2554