



การทำความเย็นโดยอาศัยกระบวนการนำและการพาความร้อน

The effects of forced-air cooling on the cooling rate of some agricultural products



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

047572

ปริญญาโท สาขา ศึกษาศาสตร์ 2547

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทำความเย็นโดยอาศัยกระบวนการนำและการพาความร้อน

The effects of forced-air cooling on the cooling rate of some agricultural products

ผู้จัดทำ

1. นาย สิทธิพร บุญเรือง รหัสประจำตัว 45516001

2. นาย สุทัศน์ สุภโชคทรัพย์ รหัสประจำตัว 45516003



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำความเย็นโดยอาศัยกระบวนการนำและการพาความร้อน

นายสิทธิพร บุญเรือง 45516001

นายสุทัศน์ สุขโชคทรัพย์ 45516003

อ.ศิระ สายสร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

งานชิ้นนี้ถูกทำออกมา เพื่อศึกษากลไกการทำความเย็นของผลไม้บางชนิด โดยใช้มังคุดและส้มโชกุน ในการทดสอบกับการทำความเย็นแบบบังคับในห้องทดลองขนาดเล็ก ทั้งนี้อัตราในการทำความเย็นและลักษณะทางกายภาพจะถูกเปรียบเทียบกันที่พารามิเตอร์ต่างๆ เช่น รูปแบบของกล่อง, ความเร็วลม และทิศทางการไหล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทำให้เป็นแบบบังคับจะทำให้อายุของผลผลิตเก็บได้นานกว่าการทำให้เย็นแบบธรรมดา (room cooling)

ที่พื้นที่ระบายอากาศเท่าๆกัน(14%) พบว่าหีบห่อที่มีรู 7 รู จะทำให้ได้อัตราการทำให้เย็นที่สูงกว่า นอกจากนี้ที่ความเร็วสูงๆ จะทำเวลาในการทำให้เย็นลดลง



The effects of forced-air cooling on the cooling rate of some agricultural products

Mr.SITTIPORN BOONLANG

Mr.SUTHAT SUPACHOKSUB

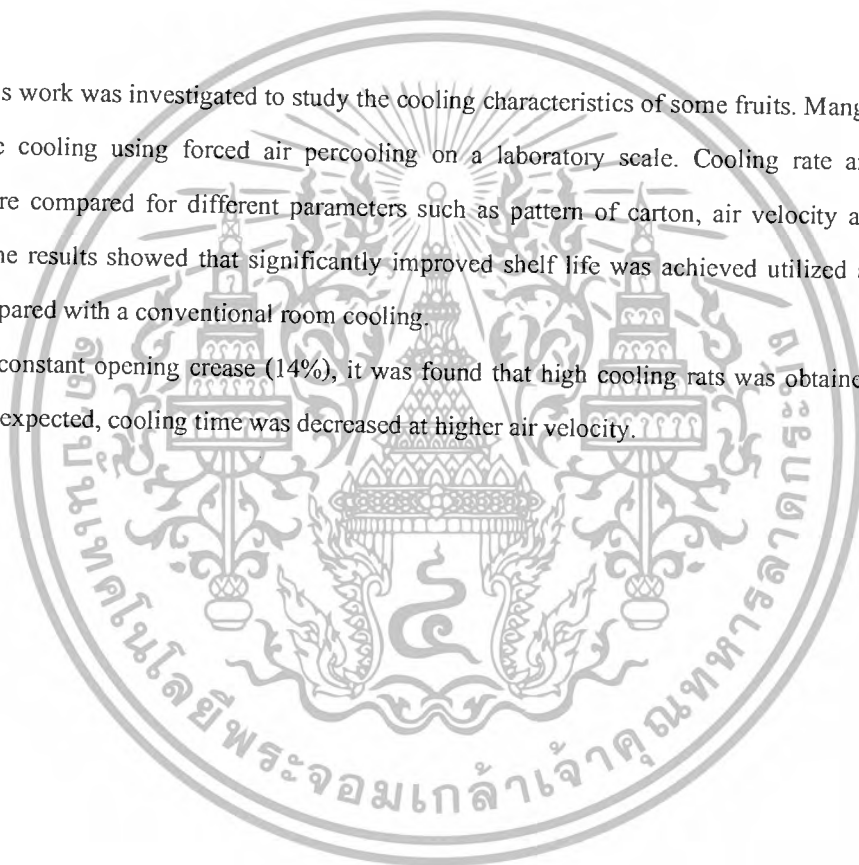
A.J. SIRA SAISORN

Advisor

ABSTRACT

This work was investigated to study the cooling characteristics of some fruits. Mangos teen and orange were cooling using forced air percooling on a laboratory scale. Cooling rate and physical property were compared for different parameters such as pattern of carton, air velocity and air flow direction. The results showed that significantly improved shelf life was achieved utilized a forced air cooling compared with a conventional room cooling.

At constant opening crease (14%), it was found that high cooling rats was obtained in 7-hole package. As expected, cooling time was decreased at higher air velocity.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ ศิระ สายสร อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอบคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดในชีวิตที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการทดลอง	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงาน	3
2.1 หลักของการทำความเย็น	3
2.2 การเลือกวิธีการทำความเย็น	5
2.3 วงจรเครื่องทำความเย็นระบบคอมเพรสเซอร์อัดไอ	6
2.4 หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์หลักมีดังนี้	6
2.5 หลักการทำงานของวงจรทำความเย็น	17
2.6 ภาระการทำความเย็น (Load of Refrigeration)	19
2.7 การไหลเวียนของอากาศที่มีต่อผลิตภัณฑ์ (The effect of air circulation on product condition)	19
2.8 เวลาในการเดินเครื่องทำความเย็น	20
2.9 ภาระของการทำความเย็น	21
2.10 สมรรถนะของอีแวโปเรเตอร์ (Evaporator Capacity)	24
2.11 Half cooling time	24
2.12 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ	24
บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ	26
3.1 การคำนวณหา Cooling load ของผลิตภัณฑ์	26
3.2 การคำนวณเพื่อหาขนาดของ BLOWER	26
3.3 การคำนวณหาค่า Temperature Ratio	32
บทที่ 4 การออกแบบ Package	34
4.1 ความสำคัญของ Package	34

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 คุณลักษณะของแผ่นกระดาษลูกฟูก	34
4.3 รูปแบบของกล่องกระดาษลูกฟูก	34
บทที่ 5 การทดลอง forced – air cooling กับ room cooling	37
5.1 อุปกรณ์การทดลอง	37
5.2 วิธีการทดลอง	40
5.3 ผลการทดลอง	41
บทที่ 6 การทดลองลดอุณหภูมิโดยวิธี forced – air cooling	45
6.1 อุปกรณ์การทดลอง	45
6.2 วิธีการทดลอง	46
6.3 ผลการทดลอง	47
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	65
7.1 สรุปผลการทดลอง	65
7.2 ข้อเสนอแนะ	65
ภาคผนวก	
บรรณานุกรม	



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงอุปกรณ์หลักของเครื่องทำความเย็น	6
รูปที่ 2-2 แสดง โครงสร้างของอีวาพอเรเตอร์แบบขดท่อและครีป	7
รูปที่ 2-3 แสดงมอเตอร์คอมเพรสเซอร์เฮอร์เมติก	9
รูปที่ 2-4 แสดงมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งเฮอร์เมติก	9
รูปที่ 2-5 แสดงมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบแยกส่วน	10
รูปที่ 2-6 แสดงคอนเดนเซอร์ยูนิตใช้การระบายความร้อนด้วยอากาศ	11
รูปที่ 2-7 แสดงเอกซ์แพนชั่นวาล์ว	11
รูปที่ 2-8 แสดงหลักการทำงานของวงจรเครื่องทำความเย็น	18
รูปที่ 3-1 แสดงขนาดท่อลม	26
รูปที่ 4-1 แสดงกล่องStandard	35
รูปที่ 4-2 แสดงกล่องเจาะ 3 รู แนวนอน	35
รูปที่ 4-3 แสดงกล่องเจาะ 4 รู แนวนอน	35
รูปที่ 4-4 แสดงกล่องเจาะ 7 รู แนวนอน	35
รูปที่ 4-5 แสดงกล่องเจาะ 4 รู แนวตั้ง	36
รูปที่ 4-6 แสดงกล่องเจาะ 5 รู แนวตั้ง	36
รูปที่ 5-1 แสดงห้องทำความเย็นแบบ FORCED – AIR COOLING	37
รูปที่ 5-2 แสดงห้องทำความเย็นแบบ ROOM COOLING	37
รูปที่ 5-3 แสดงแผงกระจายลม	38
รูปที่ 5-4 แสดงTEMPERATURE INDICATOR	38
รูปที่ 5-5 แสดงTHERMOCOUPLE	38
รูปที่ 5-6 แสดงแผ่นเทียบสีมาตรฐาน	38
รูปที่ 5-7 แสดงREFRACTOMETER	38
รูปที่ 5-8 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนัก	38
รูปที่ 5-9 แสดงบิวเรต	39
รูปที่ 5-10 แสดงPENETROMETER หรือ FIRMNESS TESTER	39
รูปที่ 5-11 แสดงสารละลายมาตรฐาน (NaOH) และฟีนอล์ฟทาลีน	39
รูปที่ 5-12 กราฟแสดงความหวานของมัจจุค	41
รูปที่ 5-13 กราฟแสดงความเป็นกรด / เวลา	41
รูปที่ 5-14 กราฟแสดงน้ำหนัก / เวลา	42
รูปที่ 5-15 กราฟแสดงความแน่นเนื้อของมัจจุค / เวลา	42
รูปที่ 5-16 กราฟแสดงคุณภาพของมัจจุคโดยการชิม / เวลา	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำ
 ไปทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6-1 กราฟทิศทางลมแนวนอน 3 รุ (HI=2.02 m/s)	47
รูปที่ 6-2 กราฟทิศทางลมแนวนอน 3 รุ (LO=1.7 m/s)	47
รูปที่ 6-3 กราฟทิศทางลมแนวนอน เจาะรุ 4 รุ (HI=2.02 m/s)	48
รูปที่ 6-4 กราฟทิศทางลมแนวนอน เจาะ 4 รุ (LO=1.7 m/s)	48
รูปที่ 6-5 กราฟทิศทางลมแนวนอน เจาะ 7 รุ (HI=2.02 m/s)	49
รูปที่ 6-6 กราฟทิศทางลมแนวนอน เจาะ 7 รุ (LO=1.7 m/s)	49
รูปที่ 6-7 กราฟทิศทางลมแนวนอน Standard (HI=2.02 m/s)	50
รูปที่ 6-8 กราฟทิศทางลมแนวนอน Standard (LO=1.7 m/s)	50
รูปที่ 6-9 กราฟทิศทางลมแนวตั้ง เจาะ 4 รุ (HI=2.65 m/s)	52
รูปที่ 6-10 กราฟทิศทางลมแนวตั้ง เจาะ 4 รุ (LO=1.866 m/s)	52
รูปที่ 6-11 กราฟทิศทางลมแนวตั้ง เจาะรุ 5 รุ (HI=2.65 m/s)	53
รูปที่ 6-12 กราฟทิศทางลมแนวตั้ง เจาะรุ 5 รุ (LO=1.866m/s)	53
รูปที่ 6-13 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง HI-LO ก่อเจาะรุแนวนอน 3 รุ	55
รูปที่ 6-14 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง HI-LO ก่อเจาะรุแนวนอน 4 รุ	55
รูปที่ 6-15 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง HI-LO ก่อเจาะรุแนวนอน 7 รุ	56
รูปที่ 6-16 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง HI-LO ก่อ standard	56
รูปที่ 6-17 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง HI-LO ก่อแนวตั้ง เจาะรุ 4 รุ	58
รูปที่ 6-18 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง HI-LO ก่อแนวตั้ง เจาะรุ 5 รุ	58
รูปที่ 6-19 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง Package ในทิศทางลมแนวนอนที่ความเร็วลม (HI=2.02 m/s)	60
รูปที่ 6-20 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง Package ในทิศทางลมแนวนอนที่ความเร็วลม (LO=1.7m/s)	60
รูปที่ 6-21 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง Package ในทิศทางลมแนวตั้งที่ความเร็วลม (HI=2.65m/s)	61
รูปที่ 6-22 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง Package ในทิศทางลมแนวตั้งที่ความเร็วลม (LO=1.866m/s)	61
รูปที่ 6-23 กราฟเปรียบเทียบระหว่างทิศทางลมในแนวตั้งและแนวนอนที่ความเร็วลม HI	63
รูปที่ 6-24 กราฟเปรียบเทียบระหว่างทิศทางลมในแนวตั้งและแนวนอนที่ความเร็วลม LO	64

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ ข. 2 แสดงสมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ (หน่วยเอสไอ)	69
ตารางที่ ข. 3 แสดงความขรุขระสมมูลของผิวท่อใหม่ที่ทำจากวัสดุต่าง ๆ	70
ตารางที่ ค.1 แสดงการวัดค่าจาก HOTWIRES ANEMOMETERS	71
ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 3 รูในแนวนอน (HI) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 6.557895$)	72
ตารางที่ ง.2 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 3 รูในแนวนอน (LO) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 5.123529$)	73
ตารางที่ ง.3 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 4 รูในแนวนอน (HI) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 5.752631$)	74
ตารางที่ ง.4 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 4 รูในแนวนอน (LO) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 4.947368$)	75
ตารางที่ ง.5 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 7 รูในแนวนอน (HI) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 6.407143$)	76
ตารางที่ ง.6 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 7 รูในแนวนอน (LO) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 6.407143$)	77
ตารางที่ ง.7 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู Standard ในแนวนอน (HI) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 4.2$)	78
ตารางที่ ง.8 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู Standard ในแนวนอน (LO) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 4.123$)	79
ตารางที่ ง.9 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 4 รูในแนวตั้ง (HI) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 5.9733333$)	80
ตารางที่ ง.10 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 4 รูในแนวตั้ง (LO) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 7.188235$)	81
ตารางที่ ง.11 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 5 รูในแนวตั้ง (HI) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 3.736842$)	82
ตารางที่ ง.12 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 5 รูในแนวตั้ง (LO) โดยอุณหภูมิจเฉลี่ย ($T_o = 5.4$)	83
ตารางที่ จ.1 แสดงอุปกรณ์ของ cooling box	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาการทำมาความเย็นด้วยวิธีต่างๆมากมาย เพื่อใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการเก็บรักษาเพื่อการจำหน่ายนอกฤดูหรือการเก็บรักษาในระหว่างการขนส่งมักจะประสบปัญหาผักและผลไม้เน่าเสียก่อนเวลาจำหน่าย

1.1.1 การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวของผลผลิตมีได้จำกัดอยู่เฉพาะตัวผลผลิตเท่านั้นกล่าวคือ

- **คุณค่าทางอาหาร**

ผลผลิตบางอย่างอาจจะยังมีลักษณะภายนอกเป็นปกติขายได้ราคา แต่คุณค่าทางอาหารอาจลดลงไปด้วย เช่น ปริมาณวิตามินซีในผลไม้หลาย ๆ อย่างลดลงไปในช่วงการเก็บรักษา โดยเฉพาะในการเก็บที่อุณหภูมิสูง นอกจากนั้นปริมาณน้ำตาลหรือแป้งก็ค่อย ๆ ลดลงเนื่องจากถูกใช้ไปในการหายใจ

- **คุณค่าทางด้านรสชาติในการรับประทาน**

ผลผลิตบางชนิด เช่น หน่อไม้ฝรั่งหรือหน่อไม้ไผ่เมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วไม่นานนักปริมาณน้ำตาลจะลดลงทำให้รสหวานหายไป ในขณะที่เดียวกันมีการสร้างเส้นใยเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทำให้รสชาติและเนื้อสัมผัสต่ำลง ไม่น่ารับประทาน แอปเปิ้ลที่มีขายในประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่มีรสชาติแอปเปิ้ลน้อยมาก ทั้งนี้เพราะต้องขนส่งมาด้วยระยะทางไกลแต่คนไทยก็ยังนิยมซื้อ

- **ทุน**

ผลผลิตแต่ละอย่างกว่าที่จะผลิตออกมาได้ จะต้องมีการลงทุนเป็นค่าเมล็ดพันธุ์ ค่าปุ๋ย ค่าสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ฯลฯ จำนวนมาก การสูญเสียผลผลิตไปทำให้รายได้ของผู้ผลิตลดน้อยลงหรือไม่เช่นนั้นผู้บริโภคก็ต้องจ่ายมากขึ้นเพราะผลผลิตมาถึงตลาดน้อยลงตามกฎของ demand และ supply ผลผลิตเมื่อมาถึงตลาดแล้วต้นทุนก็จะเพิ่มมากขึ้นจากค่าขนส่ง ค่าแรง ค่าบรรจุหีบห่อ และค่าการตลาดต่าง ๆ ดังนั้นการปล่อยให้ผลผลิตเน่าเสียจึงเป็นการสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างไม่จำเป็น

1.1.2 แนวทางในการปฏิบัติเพื่อลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวของผลผลิต

จากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตทำให้ทราบแนวทางในการปฏิบัติได้คือ ต้องพยายามลดอัตราการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับผลผลิต โดยการควบคุมปัจจัยภายนอกทุก ๆ อย่างเท่าที่จะทำได้ ที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นในการเก็บรักษา ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ขาดไม่ได้ ส่วนวิธีการอื่น ๆ นอกจากนั้น เช่น การปรับแต่งบรรยากาศ การเคลือบผิว การใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ฯลฯ เป็นวิธีการเสริมเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา แต่วิธีการเหล่านี้ไม่สามารถใช้เป็นวิธีการทดแทนการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้

ด้วยเหตุนี้การเก็บรักษาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ ถ้าอุณหภูมิสูงผักและผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมคุณภาพไปอย่างรวดเร็ว การลดอุณหภูมิและการเก็บรักษาให้ผักและผลไม้มีอุณหภูมิค่าอยู่เสมอจึงเป็นสิ่งจำเป็น ยิ่งไปกว่านั้นความรวดเร็วในการลดอุณหภูมิก็เป็นเรื่องสำคัญ ผักและผลไม้เมื่อตัดออกจากต้นยังคงเป็นสิ่งมีชีวิตอยู่

และมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ ความร้อนที่ติดมาจากแปลง (Field heat) และความร้อนที่คาย

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาจากผลไม้ (vital heat) ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจะไปเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมของผลไม้ชนิดต่างๆ มีผลทำให้คุณภาพของผักและผลไม้ต่ำลงและมีอายุการเก็บรักษาลงไปด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการลดอุณหภูมิเพื่อไ้ความร้อน เมื่อมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆเกิดช้าลง เช่น การหายใจช้าลง การคายน้ำช้าลง การทำลายจากเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆเกิดช้าลง อัตราการเสื่อมสลายช้าลงเป็นการลดการสูญเสีย ทำให้เพิ่มอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยเฉพาะกับผักและผลไม้ที่ค่อนข้างจะบอบบางเน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นควรคำนึงถึงวิธีการทำให้เย็นและเวลาการทำให้เย็นรวมถึงภาระที่มีผลต่อการทำความเย็น

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ ได้แก่ อุณหภูมิของห้องเย็น , ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็น , ความสมบูรณ์ของผลไม้ , การหมุนเวียนของอากาศภายในห้อง และอาจมีปัจจัยอื่นๆเป็นต้นๆ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ออกแบบและสร้างเครื่อง Forced-air cooling
- 1.2.2 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการยืดอายุผลิตผล
- 1.2.3 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วลมและทิศทางการเป่าผ่านผลิตผลให้เหมาะสม
- 1.2.4 ศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตการทดลอง

- 1.3.1 ทดลองการทำความเย็นด้วยวิธี Forced-air cooling ที่ใช้ความเร็วลมที่ใช้กับผักและผลไม้ตั้งแต่ 2 m/s -3 m/s
- 1.3.2 ทดลองทิศทางการเป่าในแนว horizontally และ vertically
- 1.3.3 ใช้กระดาษลูกฟูกในการทำบรรจุภัณฑ์
- 1.3.4 ทดลองกับความเร็วลม 2 ระดับ ที่ HI และ LO

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

- 1 ทำให้ทิศทางการกระจายลมแบบใดเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่สุด
- 2 ทำให้ทราบถึงบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุด
- 3 ผลิตผลสามารถเก็บได้นานขึ้นกว่าเดิม
- 4 ผลิตผลยังคงมีคุณภาพดีใกล้เคียงกับเมื่อเก็บเกี่ยวมาใหม่
- 5 คุณภาพยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค
- 6 ลดการสูญเสียทางการตลาดเนื่องมาจากผลิตผลเน่าเสียในระหว่างการเก็บรักษาหรือในระหว่างการขนส่ง
- 7 สามารถจำหน่ายนอกฤดูทำให้ราคาสูงและเกิดรายได้มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการทำงาน

2. ทฤษฎี

2.1 หลักของการทำความเย็น (Cooling) คือ การดึงเอาความร้อนจากสิ่งใดสิ่งหนึ่งออกไปโดยอาศัยตัวกลางเป็นตัวนำและหรือพาความร้อนออกไป อัตราการทำให้เย็นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

การนำความร้อน (Thermal conductivity) ของผลิตภัณฑ์และตัวกลาง ซึ่งถ้านำความร้อนได้ดีอุณหภูมิก็จะลดลงได้อย่างรวดเร็ว

ความจุความร้อนของตัวกลาง ถ้ามีมากสามารถนำความร้อนออกไปได้มาก ลดอุณหภูมิได้เร็ว

ความจุความร้อนของผลิตภัณฑ์ ถ้ามีมากการทำให้เย็นจะเกิดได้ช้า

ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่างผลิตภัณฑ์กับตัวกลางยิ่งต่างกันมากยิ่งทำให้เย็นได้เร็ว

การสัมผัสระหว่างตัวกลางกับผลิตภัณฑ์ ถ้ามีมากอุณหภูมิจะลดลงได้เร็ว

การเคลื่อนไหวของตัวกลางถ้าเคลื่อนไหวเร็วมากก็จะพาความร้อนออกไปได้มาก

ซึ่งการทำให้เย็นลงก่อนที่จะนำไปเก็บรักษา (Precooling) มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น

2.1.1 การทำให้เย็นโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง (Air cooling) วิธีนี้เป็นวิธีที่เห็นกันอยู่ทั่วไปในชีวิตประจำวัน ได้แก่ ตู้เย็นซึ่งของที่เก็บในตู้เย็นถูกทำให้เย็นลงโดยการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางคืออากาศ สำหรับการทำความเย็นโดยตู้เย็นนั้นต่างจากห้องเย็น เพราะในตู้เย็นส่วนใหญ่จะมีการหมุนเวียนของอากาศค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในช่องเก็บผักด้านล่าง การทำให้เย็นเกินขึ้นโดยการนำ (Conduction) เป็นส่วนใหญ่ แต่ในห้องเย็นจะมีลมพัดเป่าให้อากาศหมุนเวียน ทำให้มีความสามารถในการทำความเย็นสูง

กว่ามากเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเกิดได้ทั้งการนำและการพา (Conduction and convection) วิธีการทำให้เย็นโดยใช้ลมนี้แบ่งได้เป็นอีกหลายแบบคือ

2.1.1.1 Room cooling คือ การใช้ห้องเย็นเป็นห้องสำหรับลดอุณหภูมิของผักและผลไม้โดยตรง โดยไม่ต้องมีกรรมวิธีพิเศษอย่างไรนอกจากการนำผักและผลไม้เข้าไปไว้วิธีนี้มีความเร็วในการลดอุณหภูมิค่อนข้างต่ำเพราะอากาศเย็นหมุนเวียนรอบๆ ภาชนะบรรจุเท่านั้น การเพิ่มการไหลเวียนของอากาศ (70-130 เมตร/นาทึ) หรือการปรับช่องที่ลมออกจากเครื่องทำความเย็นให้ตรงกับตำแหน่งภาชนะบรรจุผักและผลไม้ให้มากที่สุดจะช่วยให้อุณหภูมิได้เร็วขึ้น การทำให้เย็นในห้องเย็นนี้ภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ควรมีช่องระบายอากาศเพื่อให้เวลาของการทำให้เย็นสั้นลง โดยปกติถ้าพื้นที่ของช่องระบายอากาศน้อยกว่า 2% จะไม่ได้ประโยชน์มากไปกว่าภาชนะปิด ถ้าช่องระบายอากาศมีพื้นที่ถึง 5% จะลดเวลาของการทำให้เย็นลงไป 25% ในขณะที่ความแข็งแรงของภาชนะบรรจุลดลงเพียง 2-3%

2.1.1.2 Forced-air cooling เป็นวิธีการทำให้เย็นโดยอาศัยกระบวนการนำและการพา ดังนั้นความสามารถในการทำให้เย็นโดยใช้อากาศจึงต้องขึ้นอยู่กับโอกาสที่อากาศเย็นโดยใช้อากาศจึงต้องขึ้นอยู่กับโอกาสที่อากาศเย็นจะสัมผัสกับผักผลไม้เพื่อที่จะดึงเอาความร้อนออกไป forced-air cooling เป็นวิธีการที่จัดทำขึ้นเพื่อทำให้ลมผ่านไปยังผักและผลไม้ได้อย่างทั่วถึงกันในเวลาอันสั้น ซึ่งอาจทำได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีการใช้งานโดยไม่ได้รับอนุญาต
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่องเรียบร้อยแล้วจะถูกนำเข้าไปเรียงในห้องเย็นเป็น 2 แถวชิดฝาผนัง เว้นที่ตรงกลางจัดให้มีพัดลมดูดอากาศออก ใช้ผ้าใบปิดช่องว่างระหว่างแถวของผลผลิต เพื่อมิให้อากาศถูกดูดออกจากห้องโดยตรงแต่จะต้องถูกดูดผ่านฝักและผลไม้ก่อน วิธีการเช่นนี้สามารถทำให้ฝักและผลไม้เย็นลงอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาเพียง 1/4 ถึง 1/10 ของเวลาที่ใช้ในแบบ room cooling ขึ้นอยู่กับความเร็วลมและชนิดของผลผลิต วิธีนี้เหมาะสำหรับผลผลิตที่บอบบางใช้น้ำในการทำให้อุ่นไม่ได้ เช่น เห็ด สตอเบอร์รี่ หรือผลผลิตที่จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมคุณภาพลงอย่างรวดเร็ว

2.1.2 Hydro cooling คือ เนื่องจากน้ำมีความจุความร้อนสูงและเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงสามารถใช้เป็นตัวกลางในการทำให้ผลผลิตเย็นลงได้ดีกว่าใช้อากาศที่กล่าวมาแล้ว ประสิทธิภาพของการทำให้เย็นโดยใช้น้ำก็เช่นเดียวกับอากาศ กล่าวคือขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับน้ำต้องมากที่สุด และน้ำจะต้องเย็นให้มากแต่ต้องไม่ทำให้เกิดผลเสียกับผลผลิต ในทางปฏิบัติทำได้หลายวิธีด้วยกัน อย่างง่ายที่สุดได้แก่ การจุ่มยกหรืออาจทำได้โดยผ่านผลผลิตไปตามสายพานและจัดให้มีน้ำเย็นไหลผ่านลงมา ทำความเย็นกับผลผลิตข้อสำคัญคือการไหลเวียนของน้ำต้องมากพอที่จะสัมผัสกับผลผลิตได้ทั่วถึงและสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำให้คงที่

2.1.3 Ice cooling คือ การใช้น้ำแข็งบดเป็นก้อนเล็กๆเพื่อทำให้ผลผลิตเย็นลงโดยตรง เป็นวิธีที่ใช้กันมานานและยังใช้กันอยู่โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่มีเครื่องทำความเย็น การใช้น้ำแข็งนี้น้ำจะสามารถลดความเย็นลงได้อย่างรวดเร็ว เพราะแต่ละกรัมของน้ำแข็งเมื่อละลายเป็นน้ำสามารถดูดความร้อนออกจากผลผลิตได้ถึง 80 cal การใช้น้ำแข็งน้ำจะสามารถลดความเย็นลงได้อย่างรวดเร็ว แต่ในทางปฏิบัติแล้วประสิทธิภาพในการทำให้ผลผลิตเย็นลงค่อนข้างต่ำ เนื่องจากน้ำแข็งไม่สามารถเข้าสัมผัสกับผลผลิตได้อย่างทั่วถึงเพราะไม่ใช่ของไหล (fluid) นอกจากนั้นเมื่อน้ำแข็งเริ่มละลายไปมักจะเกิดช่องว่างขึ้นระหว่างผลผลิตกับน้ำแข็งที่ยังเหลืออยู่ ช่องว่างนี้กลายเป็นสิ่งขัดขวางการถ่ายเทความร้อนระหว่างผลผลิตกับน้ำแข็ง ทำให้อุณหภูมิลดลงได้ช้า เราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการทำให้เย็นได้โดยการใช้น้ำแข็งร่วมกับน้ำ อาศัยน้ำเป็นตัวพาน้ำแข็งให้ไปสัมผัสกับผลผลิตมากขึ้น

2.1.4 Evaporative cooling คือ การทำให้เย็นโดยอาศัยการระเหยน้ำนี้เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นอันมากเพราะไม่ต้องใช้พลังงานที่มีราคาแพง เหมาะสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา แต่มีข้อจำกัดว่าไม่สามารถลดอุณหภูมิได้มากและเร็วตามที่ต้องการ วิธีนี้ใช้ได้ผลดีในพื้นที่ที่มีความชื้นต่ำการระเหยน้ำเกิดขึ้นได้มาก ในการปฏิบัติฝักและผลไม้จะถูกนำไปไว้ในห้อง ภาชนะและอุโมงค์ หรือถ้าที่สร้างขึ้น โดยจัดให้มีน้ำไหลผ่านผนังทั้งด้านบนและด้านข้าง เมื่อน้ำระเหยออกไป เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผลผลิตมายังผนังห้องและน้ำ ทำให้ผลผลิตมีอุณหภูมิลดลงได้พอสมควรอาจเรียกวิธีการนี้อีกอย่างหนึ่งว่า passive cooling

2.1.5 Vacuum cooling คือ การทำให้เย็นโดยใช้สุญญากาศ การทำให้เย็นด้วยวิธีนี้มีได้ทำในที่เป็นสุญญากาศตามชื่อ แต่ทำในสภาพที่มีความดันต่ำ โดยการดูดเอาอากาศออกไปจากห้องลดอุณหภูมิซึ่งต้องมีความความแข็งแรงมากในสภาพเช่นนี้จุดเดือดของน้ำจะลดต่ำลงใกล้ 0 องศาเซลเซียส ตามความดันบรรยากาศที่ลดลง น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอออกไปได้ง่ายโดยใช้ความร้อนจากผลผลิตนั่นเอง ทำให้อุณหภูมิของผลผลิตลดต่ำลง ดังนั้นผลผลิตที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น พวกผักกับประทุกันใบ สามารถคาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนออกไปได้มากด้วยวิธีนี้และอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วส่วนในผลผลิตที่มีลักษณะเป็นผล ที่มีพื้นที่ผิวน้อย เช่น มะเขือเทศ และมันฝรั่ง วิธีนี้ใช้ไม่ได้ผลนัก เพราะพื้นที่ที่จะให้มีการเปลี่ยนสถานะของน้ำไปเป็นไอน้ำน้อย อย่างไรก็ตามในผลผลิตที่มีพื้นที่ผิวมาก หากมีการสูญเสียน้ำไปมากจะทำให้ผลผลิตเหี่ยวมีคุณภาพต่ำลงจากการศึกษาพบว่า จะมีการสูญเสียน้ำหนัก 0.2 % ทุกๆ อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสที่ลดลง จึงต้องมีการพรมผลผลิตด้วยน้ำเย็นก่อนทำการลดความดันบรรยากาศ วิธีนี้สามารถลดการสูญเสียน้ำจากผลผลิตได้มาก เพราะการระเหยกลายเป็นไอและพาความร้อนออกไปจะเกิดกับน้ำที่พรมไว้ก่อน ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดีขึ้น อาจเรียกวิธีการลดอุณหภูมิแบบนี้ว่า evaporative cooling ได้เหมือนกัน

2.1.6 การทำให้เย็นด้วยวิธีอื่นๆ นอกจาก 5 วิธีข้างต้น ยังมีวิธีลดอุณหภูมิผักผลไม้วิธีอื่นๆ อีก เช่น การใช้ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว และคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง ซึ่งมีความเหมาะสมแล้วแต่กรณีแตกต่างกันไปดังนี้

คาร์บอนไดออกไซด์เหลวและคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง(น้ำแข็งแห้ง)วิธีนี้มักใช้กับผลิตผลในตู้สินค้า(container) โดยการพ่นไนโตรเจนเหลวหรือคาร์บอนไดออกไซด์ในตู้สินค้า ซึ่งสามารถทำให้อากาศภายในและผลผลิตเย็นลงอย่างรวดเร็วทั้งนี้ต้องให้ไนโตรเจนเหลวหรือ คาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับอากาศให้อุณหภูมิสูงขึ้นพอสมควรก่อนสัมผัสกับผลผลิตและต้องจัดเรียงภายในcontainerให้มีการไหลเวียนของอากาศได้ดีด้วยมิฉะนั้นจะทำให้ผลผลิตเสียหายได้ อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายของการใช้ไนโตรเจนเหลวและคาร์บอนไดออกไซด์เหลวค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับน้ำแข็ง ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถใช้ได้สะดวก สะอาดและใช้ลด field heat ได้ดี สามารถนำไปปฏิบัติในแปลงพร้อมทั้งรดห้องเย็นได้ ลดค่าใช้จ่ายที่ต้องสร้าง cooling unit นอกจากนั้นการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวหรือแข็งมีประโยชน์ในแง่ของการปรับสภาพบรรยากาศของการเก็บรักษาให้มีสภาพเหมาะสมกับการเก็บรักษามากขึ้นด้วย

2.2 การเลือกวิธีการทำความเย็น

การทำผลผลิตให้เย็นลงสามารถทำได้หลายวิธี แต่จะใช้วิธีใดต่อผลผลิตชนิดหนึ่งนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างคือ

2.2.1 ความบอบบางหรือความทนทานต่อการกระทบกระเทือนของผลผลิต เช่นผลสตรอเบอรี่ที่มีผิวบางและอ่อนนุ่มย่อมไม่สามารถใช้วิธี Hydrocooling ได้ เพราะจะทำให้ผลชำเสียหาย และน้ำที่หลงเหลืออยู่บนผิวผลผลิตจะทำให้เกิดราได้ง่ายอีกด้วย

2.2.2 ภาชนะที่สำหรับบรรจุผลผลิตที่จะใช้วิธี Forced-air cooling ต้องมีช่องระบายอากาศที่เพียงพอ ส่วนภาชนะบรรจุสำหรับ Hydrocooling ต้องเป็นภาชนะที่ทนน้ำได้ ไม่เสียรูปทรงเมื่อถูกน้ำ

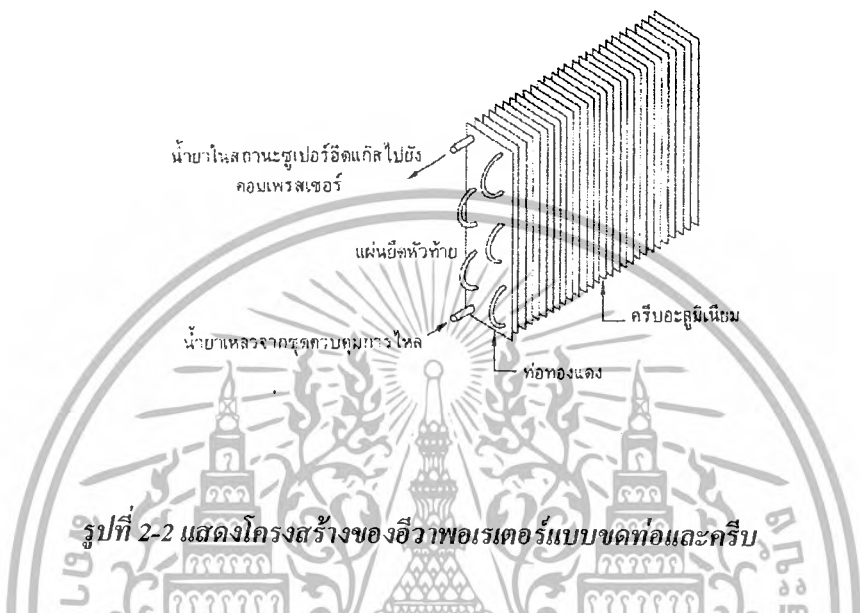
2.2.3 ความเร็วในการจัดการตลาด เวลาที่ใช้ในการจัดการผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวจนถึงมือผู้บริโภคเป็นสิ่งกำหนดวิธีการทำให้เย็นอย่างหนึ่ง เช่น ใช้เวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงก็สามารถขนส่งผลผลิตถึงมือผู้บริโภคและคุณภาพของผลผลิตยังไม่ทันเปลี่ยนแปลง ก็อาจไม่จำเป็นต้องทำให้เย็นเลย ในทางกลับกันถ้าเวลาก่อนการขนส่งมีน้อยมาก ก็จำเป็นต้องเลือกเอาวิธีที่ใช้เวลาในการทำความเย็นที่สั้นที่สุด

2.2.4 ราคาผลผลิต แน่นนอนที่สุดวิธีทำให้เย็นจะดีเพียงใดก็ไม่อาจนำมาใช้ปฏิบัติได้หากทำให้ต้นทุนของผลผลิตสูงขึ้นจนไม่คุ้มกับการลงทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีวาพอเรเตอร์แบบแห้ง (Dry – expansion evaporator) แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

- อีวาพอเรเตอร์แบบขดท่อและครีป (Finned – tube coil evaporator) อีวาพอเรเตอร์ที่ใช้กันโดยทั่วไปจะเป็นแบบท่อทองแดงขดไปมา มีครีปอะลูมิเนียมเป็นตัวเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำยาที่ไหลอยู่ภายในท่อ ดังรูปที่ 2.2



- อีวาพอเรเตอร์แบบเพลต (plate evaporator) เป็นอีวาพอเรเตอร์อีกแบบหนึ่งที่ใช้กันมาก ซึ่งอีวาพอเรเตอร์แบบนี้จะไม่มีครีป และมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไปหลายแบบ อีวาพอเรเตอร์แบบเพลตของตู้แช่บางแบบที่มีชั้นสำหรับแช่ของจะทำจากเพลตเหล็กสแตนเลสและมีขดท่อทองแดงขดไปมาบังคับหรือยึดเพลตซึ่งเป็น โครงสร้างแบบง่าย ๆ

อีวาพอเรเตอร์แบบนี้พบใช้กับเครื่องปรับอากาศชนิดติดหน้าต่างและชนิดแยกส่วน ซึ่งจะต้องมีมอเตอร์พัดลมช่วยเพิ่มความเร็วลมผ่านขดท่อและครีป อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของน้ำยาในอีวาพอเรเตอร์ ลมเย็นที่เป่าผ่านอีวาพอเรเตอร์นี้จะถูกส่งเข้าภายในห้องหรือพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น ตู้เย็นในระบบ โนฟรอสต์ซึ่งมีมอเตอร์พัดลมตัวเล็กๆ เป่าผ่านอีวาพอเรเตอร์ให้หมุนเวียนภายในตู้ก็ใช้อีวาพอเรเตอร์ที่ใช้โครงสร้างนี้เช่นกัน

2.4.2 คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่ในการดูดและอัดน้ำยาในสถานะที่เป็นแก๊ส โดยดูดแก๊สที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์ และอัดให้มีความดันสูงและอุณหภูมิสูง จนถึงจุดที่แก๊สพร้อมจะควบแน่นเป็นของเหลวเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนออกจากรุ่น้ำยา

คอมเพรสเซอร์หรือเครื่องอัด เป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญอันหนึ่งของระบบเครื่องทำความเย็นซึ่งทำหน้าที่ในการดูดและอัดน้ำยาในสถานะแก๊ส วิศวกรรมแห่งประเทศไทยได้ให้ความหมายของคำศัพท์ทางวิชาการของคอมเพรสเซอร์ไว้ว่า “เครื่องอัด คือ อุปกรณ์เพิ่มความดันของสารความเย็นที่อยู่ในสถานะที่เป็นไอ” คอมเพรสเซอร์จะดูดน้ำยาที่เป็นซูเปอร์ฮีตแก๊สความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำจากอีวาพอเร

เตอร์ผ่านเข้ามาทางท่อชักชั้น เข้ายังทางคูดของคอมเพรสเซอร์ แล้วอัดแก๊สนี้ให้มีความดันสูงขึ้นและมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ส่งเข้ายังคอนเดนเซอร์ โดยผ่านเข้าทางท่อดิสชาร์จเพื่อ ไปกลั่นตัวเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ด้วยการระบายความร้อนออกจากน้ำยาอีกทีหนึ่ง จะเห็นได้ว่าในวงจรเครื่องทำความเย็นคอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่แบ่งความดันในระบบระหว่างด้านความดันสูงและความดันต่ำ น้ำยาที่ถูกคูดเข้ามาในคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นแก๊สที่มีความดันต่ำและน้ำยา ที่อัดส่งจากคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นแก๊สซึ่งมีความดันสูง

คอมเพรสเซอร์ของตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศตามบ้านเรือน มักใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน บางครั้งจึงเรียกรวมกันว่า มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ส่วนคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศรถยนต์จะยึดติดอยู่กับเครื่องยนต์ และถูกขับเคลื่อนโดยสายพาน ซึ่งจะมีแม่เหล็กคัตช่วยควบคุมการเดินและหยุดคอมเพรสเซอร์ในขณะที่กำลังเดินเครื่องยนต์อยู่

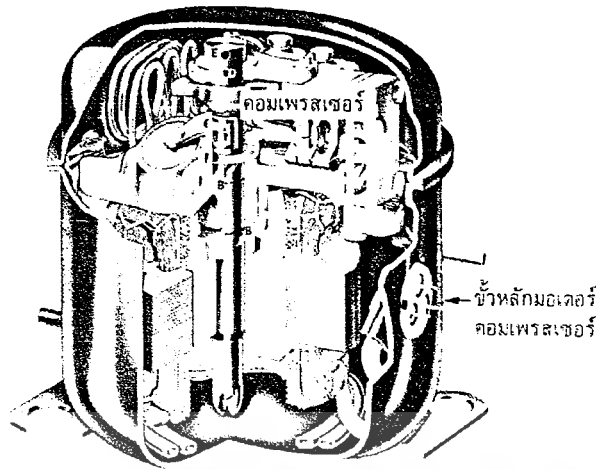
ชนิดของคอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์ที่ใช้กันอยู่ในงานเครื่องทำความเย็น มีแตกต่างกันหลายชนิด คือ

- แบบลูกสูบ (reciprocating)
- แบบโรตารี (rotary)
- แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal)
- แบบเกียร์ (gear)
- แบบไดอะแฟรม (diaphragm)
- แบบสวอชเพลต (swash plate)

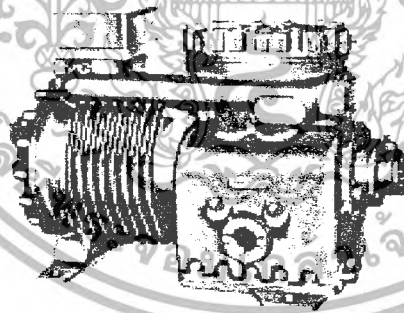
ต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนของคอมเพรสเซอร์เพื่อให้เกิดการคูดและอัดน้ำยาในสถานะแก๊สดังได้กล่าวมาแล้วนั้น ส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน จะมีอยู่บ้างที่ใช้เครื่องยนต์เป็นตัวขับเคลื่อน เช่น เครื่องปรับอากาศรถยนต์ เครื่องปรับอากาศโดยสาร เป็นต้น คอมเพรสเซอร์ที่มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนบางทีเรียกรวมกันว่า มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะแบ่งตามลักษณะ โครงสร้างภายนอกได้ 3 แบบ คือ

มอเตอร์คอมเพรสเซอร์เฮอเมติก (Hermetic motor compressor) เป็นแบบที่มีมอเตอร์และคอมเพรสเซอร์บรรจุภายในตัวเรือนที่เชื่อมมิดชิด ตัวมอเตอร์จะประกอบด้วยสเตเตอร์และโรเตอร์ แกนของโรเตอร์จะต่อเข้ากับเครื่องคอมเพรสเซอร์โดยตรง ในส่วนของคอมเพรสเซอร์อาจจะเป็นลูกสูบหรือโรตารีก็ได้ การซ่อมคอมเพรสเซอร์แบบนี้ต้องผ่าเปิดตัวเรือนตรงแนวเดิมที่เชื่อมปิดไว้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2-3 แสดงมอเตอร์คอมเพรสเซอร์เฮอริเมติก

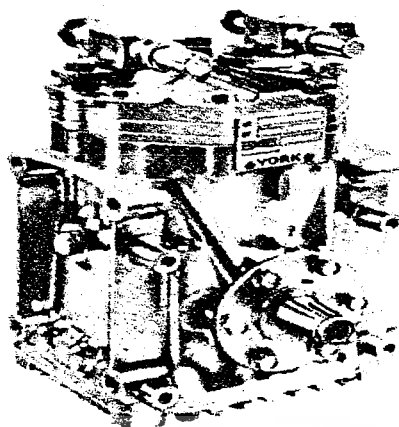
มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งเฮอริเมติก (Semi-hermetic motor compressor) เป็นแบบที่เมื่อติดตั้งอยู่ในระบบมอเตอร์และคอมเพรสเซอร์จะบรรจุอยู่ภายใต้ตัวเรือนเดียวกันเช่นเดียวกับแบบเฮอริเมติกต่างกันเพียงแต่ในการถอดซ่อมไม่ต้องผ่านเปิดตัวเรือน ถ้าเป็นการชำรุดทวงส่วนของคอมเพรสเซอร์ก็สามารถคลายนอตเปิดฝาครอบหัวสูบซ่อมได้ และถ้าเป็นการชำรุดทวงส่วนมอเตอร์ก็สามารถคลายนอตเปิดฝาครอบท้ายเพื่อถอดเอามอเตอร์ออกมาซ่อมได้ การปิดก็เพียงแค่เปลี่ยนปะเก็นใหม่และขันนอตกลับให้แน่นตามเดิม ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 แสดงมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งเฮอริเมติก

มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบแยกส่วน (Open motor compressor) เป็นแบบที่คอมเพรสเซอร์และมอเตอร์แยกออกจากกันโดยเด็ดขาด ในส่วนของคอมเพรสเซอร์จะมีแกนเพลายื่นออกมาการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ด้วยมอเตอร์จะใช้สายพานเป็นตัวจุด การซ่อมมอเตอร์หรือคอมเพรสเซอร์สามารถแยกกันซ่อมโดยอิสระ ตัวอย่างที่เห็นชัดที่สุดของคอมเพรสเซอร์แบบนี้ก็คือคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศรถยนต์ ดังรูปที่ 2-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-5 แสดงมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบแยกส่วน

2.4.3 คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ที่ให้น้ำยาในสถานะที่เป็นแก๊สกลั่นตัวเป็นของเหลวด้วยการระบายความร้อนออกจากน้ำยานั้น กล่าวคือน้ำยาในสถานะแก๊ส อุณหภูมิสูง ความดันสูง ซึ่งถูกอัดส่งมาจากคอมเพรสเซอร์ เมื่อถูกระบายความร้อนแผ่ออกจะกลั่นตัวเป็นของเหลว แต่ยังคงที่ความดันและอุณหภูมิสูงอยู่

คอนเดนเซอร์หรืออุปกรณ์ควบแน่นเป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญอีกอันหนึ่งของระบบเครื่องทำความเย็นซึ่งทำหน้าที่ให้น้ำยาทำความเย็น ในสถานะแก๊สที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงที่ถูกอัดตัวส่งมาจากคอมเพรสเซอร์ เพื่อกลั่นตัวให้เป็นน้ำยาเหลวภายในคอนเดนเซอร์ด้วยระบบความเย็นออก แต่ยังคงมีความดันและอุณหภูมิสูงอยู่

วิศวกรรมแห่งประเทศไทยได้ให้ความหมายคำศัพท์ทางวิชาการของคอนเดนเซอร์ว่า “อุปกรณ์ควบแน่นคือ อุปกรณ์ที่ทำให้สารความเย็นในสภาพที่เป็นไอ เปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวโดยการระบายความร้อนออกจากสารความเย็น”

ตัวกลางที่ใช้การระบายความร้อนออกจากน้ำยาในระบบคอนเดนเซอร์ บางครั้งเคยพบว่าใช้ตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำมากเพื่อการระบายความร้อนออกจากน้ำยา ตัวกลางหลักที่ใช้ในการระบายความร้อนนี้ก็คือ อากาศ หรือน้ำ หรือใช้ทั้งอากาศและน้ำช่วยกัน

ชนิดของคอนเดนเซอร์

โดยทั่วไปคอนเดนเซอร์สามารถแบ่งออกได้หลายชนิด เช่น

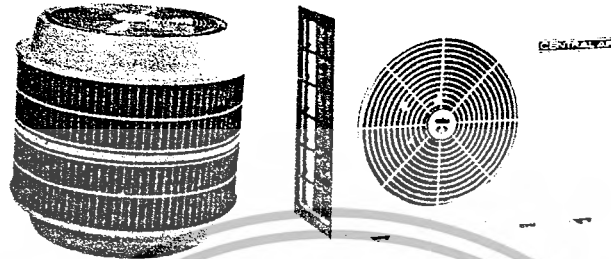
- ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (air – cooled) คอนเดนเซอร์ชนิดนี้ใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อนออกจากผิวของคอนเดนเซอร์ ซึ่งอาจเป็นอากาศที่หมุนเวียน โดยธรรมชาติหรืออาจใช้พัดลมช่วยก็ได้ ดังรูปที่ 2-6

- ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (water – cooled) คอนเดนเซอร์ชนิดนี้ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการระบายความร้อนออกจากน้ำยาภายในระบบ เพื่อให้น้ำยาในสถานะแก๊สภายในคอนเดนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

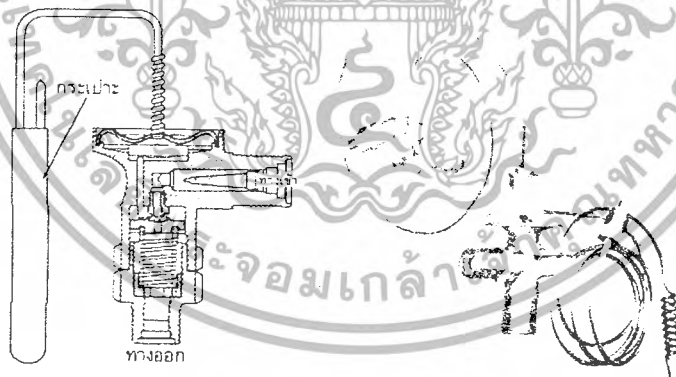
กลั่นตัวเป็นน้ำยาเหลว แบ่งได้หลายชนิด เช่น แบบท่อสองชั้น , แบบท่อใหญ่มีชุดท่อภายใน , แบบท่อใหญ่มีท่อตรงภายใน

- ชนิดอีวาพอเรทีฟ (evaporative) คอนเดนเซอร์ชนิดนี้อาศัยทั้งน้ำและอากาศในการถ่ายเทความร้อนออกจากรุ่น้ำยาในสถานะแก๊ส เพื่อให้รุ่น้ำยาในสถานะแก๊สนั้นกลั่นตัวเป็นน้ำยาเหลว



รูปที่ 2-6 แสดงคอนเดนเซอร์ชนิดที่ใช้การระบายความร้อนด้วยอากาศ

2.4.4 เอกซ์แพนชันวาล์ว ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำยาเหลวที่ผ่านไปยังอีวาพอเรเตอร์ลง ความดันของน้ำยาให้มีความดันต่ำลง จนสามารถระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ ในอีวาพอเรเตอร์



รูปที่ 2-7 แสดงเอกซ์แพนชันวาล์ว

2.4.5 ท่อพักน้ำยาเหลว น้ำยาเหลวที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงซึ่งกลั่นตัวมาแล้วจากคอนเดนเซอร์จะถูกส่งเข้ามาพักในท่อพักน้ำยานี้ ก่อนที่จะถูกส่งไปยังเอกซ์แพนชันวาล์ว อีกทีหนึ่ง

นอกจากอุปกรณ์หลักที่สำคัญของระบบการทำความเย็นที่กล่าวมาแล้ว ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่ควรทราบคือ

- ท่อซักชั่น (Suction line) เป็นท่อทางเดินน้ำยาที่ต่ออยู่ระหว่างอีวาพอเรเตอร์กับทางดูดของคอมเพรสเซอร์ น้ำยาในสถานะแก๊ส อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ จากอีวาพอเรเตอร์จะถูกดูดผ่านท่อซักชั่นเข้ามายังคอมเพรสเซอร์
- ท่อดิสชาร์จ (Discharge line) เป็นท่อทางเดินน้ำยาที่ต่ออยู่ระหว่างท่อทางอัดของคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์ น้ำยาในสถานะที่เป็นแก๊สซึ่งถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น จะถูกส่งไปยังคอนเดนเซอร์ โดยผ่านท่อดิสชาร์จนี้
- ท่อลิกวิด (Liquid line) เป็นท่อทางเดินน้ำยาที่ต่อระหว่างท่อพักน้ำยาเหลวกับเอกซ์แพนชันวาล์ว น้ำยาเหลว ความดันสูง อุณหภูมิสูง จากท่อพักน้ำยา จะถูกอัดส่ง ไปยังเอกซ์แพนชันวาล์ว โดยผ่านทางท่อลิกวิดนี้

อุปกรณ์อื่นๆ ของระบบ

นอกเหนือจากอุปกรณ์หลักที่สำคัญของระบบเครื่องทำความเย็น เช่น คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ อีวาพอเรเตอร์ และเอกซ์แพนชันวาล์ว ตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว ในบทที่ผ่านมา ในวงจรน้ำยาของระบบเครื่องทำความเย็น ยังมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไปนี้ อุปกรณ์ประกอบเหล่านี้ บางตัวอาจมีความสำคัญและจำเป็นจะต้องติดตั้งในระบบของเครื่องทำความเย็นบางระบบ แต่จะไม่มีควมจำเป็นเลยสำหรับเครื่องทำความเย็นอีกระบบหนึ่ง สำหรับในบทนี้จะได้รวบรวมเอาอุปกรณ์ประกอบต่างๆ มากกล่าวไว้เพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างหน้าที่และหลักการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ ตลอดจนตำแหน่งที่จะติดตั้งในระบบวงจรน้ำยา

ฟิลเตอร์ดรายเออร์ (filter drier)

ตามปกติฟิวเตอร์ทำด้วยสารซึ่งสามารถให้น้ำยาทำความเย็นผ่านไปได้ แต่จะป้องกันสารดูดความชื้น ผุ่นผง หรือสิ่งสกปรกอื่นๆ ที่ติดมากับน้ำยาทำความเย็นในระบบไม่ให้ผ่านไปได้ ในระบบของเครื่องทำความเย็นบางครั้งจะมีตะแกรงกรองทำหน้าที่แทนฟิลเตอร์ ตะแกรงกรองนี้ทำด้วยลวดเล็กๆ ฐานเป็นตะแกรงปิดครอบหัวท้ายของสารดูดความชื้น และบางครั้งตะแกรงนี้จะติดอยู่ที่ทางเข้าของเอกซ์แพนชันวาล์ว ด้วย ถ้าฟิลเตอร์หรือตะแกรงกรองนี้อยู่ในตัวเดียวกันกับดรายเออร์แล้ว จะเรียกรวมๆ กันว่าฟิลเตอร์ดรายเออร์ (filter drier)

ดรายเออร์หรือสารดูดความชื้น (drier) ที่พบใช้กันทั่วไปมี ซิลิกาเจล (silica gel) แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulphate) อะลูมินาเจล (alumina gel) เป็นต้น ซึ่งสารดูดความชื้นทุกชนิดที่กล่าวมานี้จะมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น ตะกอน และกรด ออกจากน้ำยาที่ไหลวนเวียนอยู่ในระบบ ดังรูป

ฟิลเตอร์ดรายเออร์ที่ใช้ในงานเครื่องทำความเย็นจะติดตั้งอยู่ที่ท่อลิกวิด ใกล้กับทางเข้าของชุดปรับอัตราการไหลของน้ำยา เพื่อทำหน้าที่ดูดความชื้นในระบบที่หลงเหลืออยู่ไม่ให้ผ่านเข้าไปอุดตันความที่เอกซ์แพนชันวาล์ว และตำแหน่งที่ติดตั้งฟิลเตอร์ดรายเออร์นี้จะต้องอยู่ในบริเวณที่เย็น ไม่ถูก

ปะทะด้วยลมร้อน เพราะสารดูดความชื้นดังกล่าวจะดูดความชื้นได้มากกว่าที่อุณหภูมิสูง ถ้าอยู่ในที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นจะลดลง ทำให้ความชื้นในระบบที่คุณรับไว้ถูกคายออกมาบางส่วนและไปอุดตันความชื้นที่เอกซ์แพนชันวาล์ว

กระจกมองน้ำยา (sight glass)

กระจกมองน้ำยาเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบเพื่อใช้สำหรับมองดูน้ำยาภายในระบบเครื่องทำความเย็นว่ามีเพียงพอหรือไม่ ซึ่งตามปกติแล้วมักจะติดตั้งอยู่ในช่วงท่อลิควิด ถ้าภายในระบบมีน้ำยาน้อย อันอาจเนื่องมาจากกระบบรั่วหรือซาร์จน้ำยาเต็มพอดี จะเห็นน้ำยาเหลวไหลวิ่งผ่านกระจกมองน้ำยาเช่นกัน กระจกมองน้ำยาควรจะต้องติดตั้งให้อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับท่อพักน้ำยาเหลวไหลมากที่สุด เท่าที่จะมากได้ แต่ต้องให้อยู่ห่างจากวาล์วท่อพักน้ำยาพอที่จะไม่ทำให้เกิดการกระทบกระแทกถูกกระจกมองน้ำยาในขณะที่เปิดปิดวาล์วบริการ และถ้าเป็นกระจกมองน้ำยาแบบใช้การเชื่อมต่อ ต้องถอดกระจกก่อนเชื่อมต่อ

ถ้าการติดตั้งระบบเครื่องทำความเย็นแยกเอาคอนเดนซึ่งยูนิทกับชุดคอยล์เย็นห่างออกจากกันมาก ทำให้ต้องเดินท่อลิควิดเป็นระยะทางยาวด้วย ควรจะติดตั้งกระจกมองน้ำยาเพิ่มขึ้นอีกตัวหนึ่งในตำแหน่งก่อนที่น้ำยาเหลวจะผ่านเข้าเอกซ์แพนชันวาล์ว ซึ่งถ้ามองเห็นฟองอากาศที่กระจกมองน้ำยา ณ ตำแหน่งนี้ แสดงว่าน้ำยาเหลวบางส่วนระเหยตัวเป็นแก๊สอันเนื่องมาจากความดันของน้ำยาในท่อลิควิดลดต่ำมากเกินไป ขณะผ่านท่อทางเดินน้ำยาเป็นระยะทางยาวๆ ทางที่จะแก้ปัญหานี้แก้ได้โดยการทำซับคูลแก่น้ำยาเหลวเสียก่อน รูปแบบของกระจกมองน้ำยา

แอกคิวมูเลเตอร์ (accumulator)

แอกคิวมูเลเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ระหว่างอีวาพอเรเตอร์และทางคูดของคอมเพรสเซอร์ หน้าที่ของแอกคิวมูเลเตอร์ ก็คือป้องกันไม่ให้มีน้ำยาเหลวจากอีวาพอเรเตอร์ ควบกลับเข้าคอมเพรสเซอร์โดยตรง

ตามปกติแล้วน้ำยาเหลวจะต้องเดือดเปลี่ยนสถานะหมดในอีวาพอเรเตอร์ และน้ำยาที่ถูกควบกลับเข้าคอมเพรสเซอร์ จะต้องเป็นซูเปอร์ฮีตแก๊สเท่านั้น แต่ในกรณีที่มีการลดปริมาณความร้อนที่คิดเป็นโหลดในอีวาพอเรเตอร์อย่างทันทีทันใด น้ำยาในอีวาพอเรเตอร์จะเดือดเปลี่ยนสถานะไม่หมด ทำให้มีน้ำยาเหลวถูกควบกลับเข้าคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะทำให้คอมเพรสเซอร์ชำรุดเสียหายได้จึงจำเป็นต้องมีแอกคิวมูเลเตอร์มาป้องกันไว้ น้ำยาเหลวที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์จะถูกกักไว้ที่แอกคิวมูเลเตอร์ และค่อยๆ เปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สจนหมดก่อนถูกควบกลับเข้าคอมเพรสเซอร์

ในการติดตั้งระบบเครื่องทำความเย็น บางครั้งจะมีการเดินท่อลิควิดที่ออกจากคอนเดนเซอร์มาพันรอบท่อแอกคิวมูเลเตอร์ เพื่อช่วยให้น้ำยาเหลวในแอกคิวมูเลเตอร์เปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สได้เร็วขึ้น ในขณะเดียวกันก็จะเป็น การทำซับคูลให้กับน้ำยาเหลวในท่อลิควิด ก่อนส่งเข้ายังเอกซ์แพนชันวาล์ว ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบอีกด้วย

เป็นรูปตัดแสดงถึง โครงสร้างภายในของแอกคิวมูเลเตอร์ น้ำยาเหลวจากอีวาพอเรเตอร์จะตกลงสู่ก้นท่อแอกคิวมูเลเตอร์ และส่วนที่เป็นแก๊สจะถูกควบกลับเข้าคอมเพรสเซอร์ทางท่อรูปตัวยู น้ำมันที่ติดมากับน้ำยาเหลวนี้จะถูกแยกตัวด้วย ดังนั้นจึงจะมีการเจาะรูเล็กๆ ตรงด้านล่างของท่อรูปตัวยู เพื่อให้

น้ำมันถูกควบกลับเข้าคอมเพรสเซอร์ทางรูนี้ ซึ่งแน่นอนว่าจะต้องมีน้ำยาเหลวจำนวนเล็กน้อยกลับเข้าด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมเพรสเซอร์ทางรูนีด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจากเป็นปริมาณที่น้อยมากจึงไม่เป็นอันตรายใดๆ ต่อคอมเพรสเซอร์

อุปกรณ์แยกน้ำมัน

ดัง ได้ศึกษากันแล้วว่า ภายในคอมเพรสเซอร์จะต้องมีน้ำมันเพื่อใช้ในการหล่อลื่นชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวของคอมเพรสเซอร์ และในขณะที่คอมเพรสเซอร์อัดน้ำยา ก็จะอัดเอาน้ำมันจำนวนเล็กน้อยติดไปในระบบด้วย ซึ่งในการเดินท่อทางของระบบจะต้องให้น้ำมันคอมเพรสเซอร์หมุนเวียนกลับเข้ามาหล่อลื่นชิ้นส่วนเคลื่อนไหวของคอมเพรสเซอร์หลังจากถูกอัดผ่านเข้าคอนเดนเซอร์ ชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำยาและอีวาพอเรเตอร์แล้ว

การที่มีน้ำมันคอนเดนเซอร์ไหลผ่านเข้าภายในท่อทางเดินน้ำยาของระบบนั้นจะมีข้อเสียอยู่ 2 ประการคือ

ประการแรก น้ำมันที่เคลือบผิวภายในท่อจะเป็นฉนวน ทำให้การถ่ายเทความร้อนผ่านผิวท่อน้ำยาเป็นไปโดยไม่สะดวกทั้งที่อีวาพอเรเตอร์และที่คอนเดนเซอร์

ประการที่สอง ถ้าเป็นระบบที่ต้องปรับปรุงให้อุณหภูมิที่อีวาพอเรเตอร์ต่ำมากๆ (ต่ำกว่า - 40 องศาเซลเซียส) แล้วน้ำมันที่ติดเข้าไปในระบบจะเริ่มแข็งตัว (wax) ทำให้เกิดการอุดตันที่ลิ้นชุดปรับอัตราการไหลของน้ำยา

อุปกรณ์แยกน้ำมัน (oil separator) จะติดตั้งอยู่ระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่แยกน้ำมันคอมเพรสเซอร์ที่ถูกอัดติดมากับน้ำยาออกจากกัน และน้ำมันนี้จะถูกส่งกลับเข้ายังคอมเพรสเซอร์โดยตรง แสดงให้เห็นว่าขณะที่แก๊สถูกลดความเร็วลงภายในอุปกรณ์แยกน้ำมัน น้ำมันคอมเพรสเซอร์จะตกลงสู่ก้นถัง เมื่อระดับของน้ำมันสูงขึ้น ก็จะยกลูกลอยทำให้ลิ้นลูกลอยเปิดน้ำมันจะถูกอัดกลับเข้ายังห้องเพลลาข้อเหวี่ยงของคอมเพรสเซอร์โดยตรง ทั้งนี้เพราะแก๊สภายในท่ออุปกรณ์แยกน้ำมันเป็นแก๊สทางด้านความดันสูง ส่วนห้องเพลลาข้อเหวี่ยงของคอมเพรสเซอร์เป็นด้านความดันต่ำของระบบ การติดตั้งอุปกรณ์แยกน้ำมันจะต้องติดตั้งให้อยู่ในตำแหน่งตั้งขึ้นเสมอ เพื่อให้การทำงานของลูกลอยเป็นไปโดยถูกต้อง

อุปกรณ์ลดเสียง

สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ที่การดูดอัดน้ำยาของคอมเพรสเซอร์มีเสียงดังมาก เพื่อเป็นการลดเสียงดังกล่าว บางครั้งจึงมีการติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียงหรือที่เรียกว่า มัฟเฟลเลอร์ (muffler) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แบบเดียวกับที่ใช้ลดเสียงดังของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งที่ท่อไอเสียรถยนต์

อุปกรณ์ลดเสียงนี้บางครั้งพบติดตั้งที่ท่อดิสชาร์จของคอมเพรสเซอร์โดยตรง หรือบางครั้งพบว่าบริษัทผู้ผลิตคอมเพรสเซอร์จะติดอุปกรณ์ลดเสียงเข้าภายในคอมเพรสเซอร์ก่อนส่งออกท่อดิสชาร์จ

ท่ออ่อนกันสะเทือน

ในระบบของเครื่องทำความเย็น การทำงานของคอมเพรสเซอร์จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนถ้าหากท่อทางเดินน้ำยาเป็นท่อแข็งทั้งหมดแล้ว อาจเกิดการแตกร้าวตามข้อต่างๆ อันเนื่องจากการสั่นสะเทือนได้ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวการออกแบบติดตั้งเครื่องทำความเย็นจึงใช้ท่ออ่อนกันสะเทือน (flexible) ดังรูป ซึ่งติดตั้งในช่วงท่อคิซซาร์จและท่อชักชั้นของคอมเพรสเซอร์ สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กจะใช้การขดท่อเพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์แทนได้

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ดังที่เคยศึกษามาแล้วว่า ระบบของการทำความเย็นจะมีประสิทธิภาพดีขึ้น ถ้าน้ำยาเหลวในท่อลิวิดถูกทำให้เป็นซบควบก่อนส่งเข้ายังชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำยา และน้ำยาในสถานะแก๊สในท่อชักชั้นถูกทำให้เป็นซูเปอร์ฮีตแก๊สก่อนถูกดูดกลับเข้าคอมเพรสเซอร์

เพื่อให้ได้ผลในทางปฏิบัติตามที่กล่าวมาแล้วนั้น เครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก เช่น ตู้เย็น หรือเครื่องปรับอากาศชนิดหน้าต่าง ที่ใช้ท่อแคพิลลารีเป็นตัวควบคุมการปรับอัตราการไหลของน้ำยา จะนำเอาท่อแคพิลลารีบัดกรีติดกับท่อชักชั้น บางครั้งจะร้อยท่อแคพิลลารีเข้าไปในท่อชักชั้นโดยตรง

สำหรับเครื่องทำความเย็นในระบบใหญ่ที่ใช้ชุดปรับอัตราการไหลของน้ำยาเป็นแบบอื่น จะต้องมียุกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchange)

ความร้อนของน้ำยาเหลวในท่อลิวิดซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดในท่อชักชั้นอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นซูเปอร์ฮีต ในขณะที่เดียวกันน้ำยาในสถานะแก๊สในท่อชักชั้นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ จะทำให้น้ำยาเหลวในท่อลิวิดมีอุณหภูมิลดลงเป็นของเหลวซบควบ ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบการทำความเย็นดีขึ้น

วาล์วบริการ

สิ่งที่จำเป็นสำหรับช่างซ่อมและบริการเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศก็คือจะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับวาล์วบริการให้ดีเสียก่อน เพราะในการตรวจระบบเพื่อการซ่อมหรือบริการ จะต้องต่อเกจแมนิโฟลด์เข้ากับวาล์วบริการนี้ เพื่อวัดความดันภายในระบบหรือทำสุญญากาศหรือชาร์จน้ำยาเข้าในระบบ

ระบบเครื่องทำความเย็นโดยทั่วไปมักจะมีวาล์วบริการอยู่ 2 ตัว แต่บางครั้งก็พบว่ามีถึง 3 ตัว วาล์วบริการที่ใช้กันอยู่มีหลายแบบ เช่น

- วาล์วบริการแบบปิด-เปิดด้วยมือ (Hand shut off type) วาล์วแบบนี้สามารถปรับไว้ได้ 3 ตำแหน่ง ขึ้นอยู่กับหน้าที่และการใช้งานในตำแหน่งนั้นๆ

วาล์วปิดทางเดินน้ำยาในระบบ ท่อบริการต่อเข้าเกจต่ออยู่นอกระบบ ณ ตำแหน่งนี้วาล์วบริการจะอยู่ในตำแหน่งที่ขึ้นข้างบนสุด (front-seated) ท่อทางเดินน้ำยาจะถูกปิดตัน ท่อ 2 ต่อเข้ากับในระบบซึ่งมีน้ำยาอยู่ ท่อ 3 ซึ่งต่ออยู่กับทางอัดของคอมเพรสเซอร์จะถูกต่อออกภายนอกระบบทางท่อบริการ 1 ถ้า

คอมเพรสเซอร์ทำงานในขณะที่วาล์วอยู่ในตำแหน่งนี้และท่อบริการ 1 ปีคด้วยฝาครอบอยู่ อาจทำให้คอมเพรสเซอร์ชำรุดเสียหายได้ เพราะน้ำยาที่ถูกอัดจากคอมเพรสเซอร์ไม่สามารถผ่านเข้าไปในท่อทางเดินน้ำยาในระบบ และทางค้ำอัดของคอมเพรสเซอร์ไม่มีที่ให้น้ำยาอัดออกไปได้

อย่าเดินคอมเพรสเซอร์ในขณะที่วาล์วบริการอยู่ในตำแหน่งนี้เป็นอันขาด เว้นแต่เพื่อการทดสอบกำลังอัดของคอมเพรสเซอร์

ระบบทางเดินน้ำยาขณะทำงานปกติ ท่อบริการต่อเข้าเกจต่ออยู่นอกกระบบ จากรูป วาล์วบริการจะอยู่ในตำแหน่งที่ขึ้นออกสุด (back seated) คอมเพรสเซอร์และท่อทางอัดค่อถึงกันอยู่ เมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงาน น้ำยาสามารถถูกอัดผ่านเข้าไปในระบบเข้าในระบบได้ตามปกติ ท่อบริการ 1 ซึ่งต่อเข้ากับสายเกจจะถูกปิดและตัดออกจากภายในระบบ ณ วาล์วบริการตำแหน่งนี้จะมาสามารถอ่านค่าความดันในระบบได้

ทุกครั้งที่เราเสร็จจากการตรวจซ่อม ก่อนปลดสายเกจออกจากกระบบ วาล์วบริการจะต้องขึ้นออกสุดอยู่ในตำแหน่งนี้เสมอ

ระบบทางเดินน้ำยาขณะทำงานปกติ ท่อบริการต่อเข้าเกจต่ออยู่ในระบบ วาล์วบริการซึ่งอยู่ในตำแหน่งจะอยู่ในตำแหน่งกลาง ในทางปฏิบัติอาจขันเข้าจนสุดแล้วขันออกสัก 2 – 3 รอบท่อทั้งหมดจะเปิดถึงกันทั้ง 3 ทาง ณ ตำแหน่งนี้ สามารถเดินรับ ได้และยังสามารถอ่านค่าความดันของระบบได้อีกด้วย

ในการบริการทำสูญญากาศหรือชาร์จน้ำยาเข้าไปในระบบ วาล์วบริการจะต้องอยู่ในตำแหน่ง และโปรดจดจำไว้เสมอว่า ทุกครั้งที่เสร็จจากการตรวจซ่อมก่อนปลดสายเกจออกจากกระบบวาล์วบริการจะต้องขึ้นออกสุดเสมอ เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำยาในระบบขณะถอดสายเกจออกจากกระบบ

โครงสร้างตัวตู้

ทั้งตู้เย็นและตู้แช่จะมีโครงสร้างตัวตู้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โครงตู้ชั้นนอกและโครงตู้ชั้นใน โดยมีฉนวนกันความร้อนใส่อยู่ระหว่างโครงตู้ทั้งสองชั้นนี้

โครงตู้ชั้นนอก โครงตู้ชั้นนอกของตู้เย็นส่วนใหญ่ทำจากเหล็กแผ่น พับขึ้นรูปเป็นตัวตู้และฝาตู้ และผ่านกรรมวิธีป้องกันสนิม แล้วพ่นทับด้วยสีรองพื้นเพื่อให้สวยงาม โครงสร้างชั้นนอกนี้เคยพบว่ามีบริษัทผู้ผลิตบางแห่งใช้วัสดุอื่นแทนเหล็ก แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้กัน สำหรับโครงตู้ชั้นนอกของตู้แช่ มักทำด้วยเหล็กไม่เป็นสนิม พับขึ้นรูปแต่ถ้าทำด้วยเหล็กจะต้องผ่านกรรมวิธีป้องกันสนิมและพ่นสีเช่นเดียวกับตู้เย็น

โครงตู้ชั้นใน โครงตู้ชั้นในของตู้เย็นส่วนใหญ่จะทำจากพลาสติก ทั้งโครงตู้และฝาด้านใน เพราะมีน้ำหนักเบาและไม่เป็นสนิม สำหรับตู้เย็นรุ่นเก่าๆ มักจะทำจากเหล็กเคลือบสีบรอนซ์เช่นเดียวกับงานสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน โครงผู้ชั้นในของผู้แช่ มักทำจากอะลูมิเนียมหรือเหล็กไม่เป็นสนิม ซึ่งท่อของน้ำยาทำความเย็นจะยึดติดแนบกับ โครงผู้ชั้นใน เพื่อให้ผนังผู้ชั้นในเกิดความเย็น ผู้แช่ขนาดใหญ่บางชนิดใช้พัดลมเป่าลมเย็นให้หมุนเวียนภายในผู้ ผังภายในผู้อาจทำด้วยพลาสติก เพราะเป็นฉนวนไปในตัว และมีน้ำหนักเบา

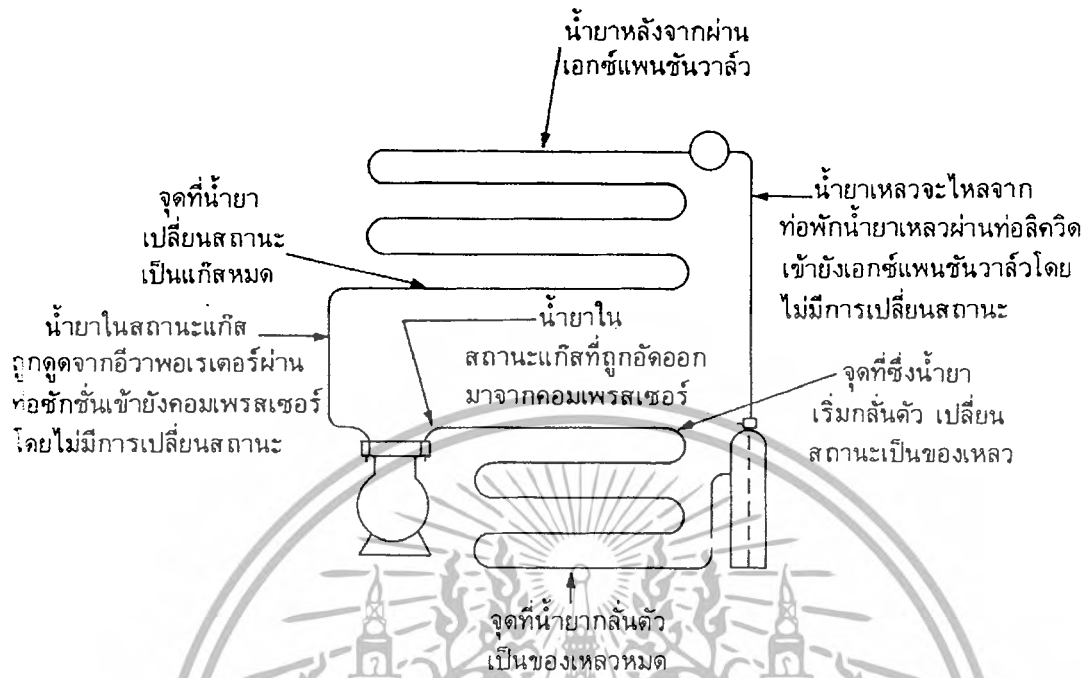
ฉนวนกันความร้อน เป็นวัสดุที่ใช้กันระหว่าง โครงผู้ชั้นนอกและชั้น ในของผู้เย็นและผู้แช่ ฉนวนนี้ทำจากวัสดุใยแก้ว โฟมแผ่นหรือโฟมฉีด (Poly urethane foam) ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากภายนอกผู้ไม่ให้ถ่ายเทเข้าภายในผู้ รักษารับความเย็นภายในผู้เย็นให้มีอุณหภูมิต่ำตามต้องการเสมอ

ยางขอบผู้ของผู้เย็นและผู้แช่ เป็นขอบยางช่วยให้ตัวผู้กับประตูหรือฝาผู้ปิดสนิทป้องกันไม่ให้ อากาศไหลผ่านเข้าออกซึ่งจะทำให้ความเย็นลดน้อยลง สำหรับยางขอบผู้ของผู้เย็นรุ่นใหม่ๆ จะมีเส้น แม่เหล็กสอดอยู่ภายในยาง เพื่อให้ยางแนบกับตัวผู้ดียิ่งขึ้นแต่จะมีเส้นแม่เหล็กเพียง 3 ด้านสำหรับด้านที่มี บานพับจะ ไม่ใส่เส้นแม่เหล็ก สำหรับผู้แช่นั้นยางขอบผู้จะเป็นชนิดธรรมดาไม่มีแม่เหล็กสอดเหมือนยาง ขอบผู้ของผู้เย็น

ชั้นวางของภายในผู้เย็น เป็นตะแกรงโปร่ง เพื่อให้ความเย็นสามารถถ่ายเทมายังชั้นล่างๆ ได้ วัสดุที่ใช้ทั่วไปเป็นวัสดุที่ไม่เป็นสนิม เช่น เหล็กเส้นเคลือบด้วยพลาสติก ตะแกรงอะลูมิเนียม หรือ พลาสติกเป็นต้น ชั้นวางของภายในจะปรับสูงหรือต่ำได้ตามช่องทั้งสองข้างของ โครงผู้ชั้นใน

2.5 หลักการทำงานของวงจรทำความเย็น

หลักการทำงานของวงจรทำความเย็น ดังรูปที่ 2.8 เริ่มที่ท่อพักน้ำยาเหลว น้ำยาในท่อพักมี สถานะเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิสูง ความดันสูง ถูกส่งไปยังเอกซ์แพนชันวาล์วโดยผ่านทางท่อลิควิด ซึ่งเอกซ์แพนชันวาล์วนี้จะทำหน้าที่ควบคุมน้ำยาเหลวที่ผ่านเข้าไปยังอีวาพอเรเตอร์ ลดความดันของน้ำยา เหลวให้มีความดันต่ำลงจนสามารถระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สและดูดซับปริมาณความดันได้ที่อุณหภูมิ ต่ำๆ ภายในอีวาพอเรเตอร์



รูปที่ 2-8 แสดงหลักการทำงานของวงจรทำความเย็น

ขณะที่น้ำยาเหลวภายในอีวาพอเรเตอร์ระเหยตัวเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส จะดูดซับปริมาณความร้อนจากอากาศโดยรอบ ทำให้อากาศโดยรอบที่อีวาพอเรเตอร์มีอุณหภูมิลดต่ำลง และถ้ามีจำนวนกันความร้อนกัน โดยรอบอีวาพอเรเตอร์ไว้ ความร้อนจากภายนอกไม่สามารถผ่านเข้าไปได้หรือผ่านได้น้อย ก็จะทำให้อุณหภูมิกายในบริเวณที่ต้องการทำความเย็นลดต่ำลง

แก๊สซึ่งมีอุณหภูมิและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์จะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดผ่านเข้าทางท่อชักชั้นและอัดส่งออกทางท่อดิสชาร์จ ในลักษณะของแก๊สที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เพื่อส่งไปกลั่นตัวเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ โดยการระบายความร้อนออก แต่น้ำยาเหลวนี้จะยังคงมีความดันและอุณหภูมิสูงอยู่และถูกส่งเข้าไปในท่อพักน้ำยาเหลว ก่อนที่จะถูกส่งไปยังเอกซ์แพนชันวาล์วอีกครั้งหนึ่ง อันเป็นการครบวงจร

ในระบบของเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กๆ เช่น ตู้เย็นที่ใช้ในบ้าน และเครื่องปรับอากาศชนิดหน้าต่าง บางครั้งไม่ต้องมีท่อพักน้ำยาเหลว แต่น้ำยาเหลวซึ่งถูกกลั่นตัวเรียบร้อยแล้วจากคอนเดนเซอร์ จะถูกส่งต่อเข้าไปยังเอกซ์แพนชันวาล์วโดยตรง

การแบ่งส่วนการทำงานของระบบทำความเย็น

เมื่อพิจารณาถึงความดันภายในระบบเครื่องทำความเย็นแล้ว จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ด้านความดันสูงของระบบและด้านความดันต่ำของระบบ

- ด้านความดันสูง (high side) ประกอบด้วยทางอัดของคอมเพรสเซอร์ ท่อคิศจาร์จ คอมเพรสเซอร์ ท่อพักน้ำยาเหลว ท่อลิตวิต และทางเข้าของเอ็กซ์แพนชันวาล์ว ความดันของน้ำยาด้านความอัดสูงนี้บางครั้งเรียกว่า ความดันทางคอนเดนเซอร์ (condensing pressure) หรือความดันด้านอัด (discharge pressure)
- ด้านความดันต่ำ (low side) ประกอบด้วยทางออกของเอ็กซ์แพนชันวาล์ว อีวาพอเรเตอร์ ท่อชักชั้น และทางดูดของคอมเพรสเซอร์ ความดันของน้ำยาด้านความดันต่ำนี้ บางครั้งเรียกว่า ความดันทางอีวาพอเรเตอร์ (evaporator pressure) หรือความดันด้านดูด (suction pressure) หรือความดันด้านกลับ (back pressure)

จะเห็นได้ว่าทั้งคอมเพรสเซอร์และเอ็กซ์แพนชันวาล์วเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งความดันของระบบเครื่องทำความเย็นออกเป็น 2 ส่วนดังกล่าว

2.6 ภาระการทำความเย็น (Load of Refrigeration)

คือ จำนวนความร้อนทั้งหมดที่เครื่องทำความเย็นจะต้องเอาออกไป แผลงความร้อนที่เป็นภาระในการทำความเย็น ได้แก่

- ความร้อนที่ผ่านเข้าไปในบริเวณทำความเย็นจากภายนอกไปภายใน โดยการนำความร้อนผ่านฉนวนของผนัง
- ความร้อนที่ผ่านเข้ามาในบริเวณทำความเย็นโดยการแผ่รังสี โดยตรงจากกระจกหรือวัสดุอื่นที่ผ่านได้
- ความร้อนที่ผ่านเข้ามาในบริเวณทำความเย็นเนื่องจากอากาศร้อนจากภายนอกเข้ามาในห้อง อาจผ่านโดยทางประตู หน้าต่าง หรือรอยรั่วอื่น ๆ
- ความร้อนที่เกิดจากการนำสิ่งของที่อุณหภูมิสูงกว่าเข้ามาในบริเวณทำความเย็น
- ความร้อนที่ออกจากคนที่เข้าไปอยู่ในบริเวณทำความเย็น
- ความร้อนที่เกิดจากเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ที่อยู่ในบริเวณทำความเย็น เช่น ไฟแสงสว่าง มอเตอร์ไฟฟ้า เตาหุงอาหาร เป็นต้น

ความสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดความร้อนที่จะต้องคำนึงถึงจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับงานไม่ว่าทุกห้วงจะมีความสำคัญที่จะต้องรวมอยู่ในงานทุกอย่าง อย่างไรก็ตาม ในงานที่ได้กำหนดไว้แต่ละงานจำเป็นจะต้องพิจารณาความร้อนจากแหล่งที่ให้ความร้อนทุกอย่างในงานนั้น ๆ

2.7 การไหลเวียนของอากาศที่มีต่อผลิตภัณฑ์ (The effect of air circulation on product condition)

ดังกล่าวแล้วการไหลเวียนของอากาศเป็นสิ่งจำเป็นในการพาเอาความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์เพื่อ

ไปสู่อีวาพอเรเตอร์ ถ้าอากาศไหลเวียนไม่พอเพียง ประสิทธิภาพการทำความเย็นก็จะลดลงผลิตภัณฑ์ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไป

จะไม่เย็นในอัตราที่เพียงพอ อาจจะทำให้เชื้อโรคก่อตัวขึ้นได้ และอาจจะเกิดเมือกในผลิตภัณฑ์บางอย่าง แต่ถ้าไหลเวียนมากเกินไปผลิตภัณฑ์ก็จะเกิดการคายน้ำออกมากเกินไป ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์บางอย่างเสียหาย ทั้งคุณค่าทางอาหาร และอายุ นอกจากนี้จะทำให้น้ำหนักลดลงได้ อันเป็นตัวแปรอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึง ถ้าเป็นสินค้าขายต่อไป

อัตราการไหลเวียนของอากาศที่ต้องการขึ้นอยู่กับการใช้ต่างๆ กัน ขึ้นกับความชื้น แบบของผลิตภัณฑ์ และช่วงเวลาที่ต้องการแช่เย็น

2.8 เวลาในการเดินเครื่องทำความเย็น

เนื่องจากมีความจำเป็นที่จะต้องละลายน้ำแข็งจากอีวาพอเรเตอร์เป็นระยะๆ ไปทำให้ไม่สามารถที่จะออกแบบระบบทำความเย็นให้ทำงานอยู่ตลอดเวลาโดยไม่หยุดเลย ในทุกกรณีอากาศที่ผ่านขดลวดท่อเย็นจะถูกทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้าง และความชื้นจะควบแน่นออกจากอากาศมาจับอยู่บนผิวหน้าของขดท่อเย็น เมื่ออุณหภูมิของท่อสูงกว่าอุณหภูมิแข็งตัวของน้ำ (0°C) น้ำบนขดท่อก็จะละลายไหลออกจากขดท่อลงไปยังถาดรับน้ำ และออกจากห้องเย็นทางท่อทิ้ง อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิของขดท่อเย็นต่ำกว่าอุณหภูมิจุดแข็งตัวของน้ำ ไอน้ำที่จับอยู่บนขดท่อก็จะแข็งตัวจับอยู่บนผิวขดท่อ และจับน้ำแข็งเรื่อยๆ น้ำแข็งที่จับอยู่ที่ขดท่อจะคล้ายกับฉนวนคลุมขดท่อและจะลดประสิทธิภาพของการทำความเย็นลง

เนื่องจากน้ำแข็งมีสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนต่ำ และทำให้ความสามารถของขดท่อลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้น้ำแข็งละลายออกไปเป็นระยะๆ อาจจะทำโดยให้อุณหภูมิของขดท่อสูงกว่าอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของน้ำนานจนกระทั่งน้ำแข็งละลายหมด

ไม่ว่าการละลายน้ำแข็งจะสำเร็จด้วยวิธีใดก็ตาม จำเป็นต้องใช้เวลาจำนวนหนึ่งและในระหว่างเวลานี้ระบบการทำความเย็นก็ต้องหยุดทำงาน

วิธีหนึ่งที่ใช้ละลายน้ำแข็ง โดยการหยุดเครื่องอัดแล้วปล่อยให้ไอแวนโปเรเตอร์อุ่นขึ้นจนถึงอุณหภูมิของห้อง แล้วปล่อยให้อยู่ที่อุณหภูมินี้จนกระทั่งน้ำแข็งละลายออกจากท่อหมด วิธีการละลายน้ำแข็งนี้เรียกว่า “การหยุดวัฏจักรการทำความเย็น” เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำแข็งละลายออกมาจากอากาศในห้อง การละลายน้ำแข็งแบบนี้จึงต้องใช้เวลาานาน จากประสบการณ์แสดงให้เห็นว่าการละลายน้ำแข็ง โดยการหยุดวัฏจักรการทำความเย็น จะทำให้เวลาสูงสุดของระบบทำความเย็นของระบบทำความเย็นขณะทำงานจะมีเพียง 16 ชั่วโมง ของเวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมง เหลือไว้สำหรับละลายน้ำแข็ง หมายความว่าเครื่องทำความเย็นจะต้องมีความสามารถพอที่จะทำให้ความเย็นซึ่งตามปกติแล้วใช้เวลา 24 ชั่วโมง ให้ได้ภายใน 16 ชั่วโมง ดังนั้นการคำนวณหาความสามารถในการทำความเย็นหาได้ดังนี้

$$Q = \frac{24\text{hr.}}{(RT)} (q_r) \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Q = ความต้องการความสามารถของการทำความเย็นในหน่วย KW
 RT = เวลาที่เครื่องทำความเย็นทำงานในหน่วยชั่วโมง (hr)
 q_i = ภาระของการทำความเย็นทั้งหมดในหน่วย KW

2.9 ภาระของการทำความเย็น

เพื่อที่จะให้ง่ายต่อการคำนวณภาระของการทำความเย็นภาระทั้งหมดของการทำความเย็นจะแบ่งออกในแต่ละชนิดของแหล่งความร้อนที่จะต้องเอาออกไป ผลรวมของภาระแต่ละชนิดเหล่านี้จะเป็นภาระของการทำความเย็นทั้งหมดของเครื่อง

การทำความเย็นในอุตสาหกรรม ภาระทั้งหมดของการทำความเย็นแบ่งออกได้เป็น 4 อย่างดังนี้

- 1) ภาระที่ผ่านผนังเข้ามา (Wall Gain Load)
- 2) ภาระจากอากาศใหม่ (Air Change Load)
- 3) ภาระจากผลิตภัณฑ์ (Product Load)
- 4) ภาระจากอุปกรณ์ต่างๆ (Miscellaneous Load)

1) ภาระที่ผ่านผนังเข้ามา

คือ ความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็น โดยการนำความร้อนจากภายนอกเข้ามายังภายใน เนื่องจากไม่มีฉนวนที่สมบูรณ์ในการป้องกันการนำความร้อนจากภายนอกมาภายใน เมื่ออุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ภาระของความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามาจะเป็นภาระส่วนใหญ่ของภาระทั้งหมด โดยเฉพาะในระบบการปรับอากาศให้สบาย และอุตสาหกรรมห้องเย็น ยกเว้นใน Liquid chilling ซึ่งผนังได้บุฉนวนไว้อย่างดี ภาระความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามามีเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับภาระทั้งหมด ในบางครั้งอาจจะตัดทิ้งได้

- ตัวประกอบของความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามา

ปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังของบริเวณทำความเย็นเข้ามาต่อหน่วยเวลา เป็นฟังก์ชันของตัวประกอบ 3 ตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการดังต่อไปนี้

$$Q = (U)(A)(\Delta T) \quad (2.2)$$

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังห้องเข้ามา (W)

A = พื้นที่ผิวภายนอกของผนัง (m^2)

U = สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน ($W / m^2 \cdot K$)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน ($^{\circ}K$)

สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนตัวประกอบ "U" เป็นการวัดอัตราความร้อนผ่านพื้นที่ผิว

ของผนัง $1m^2$ จากภายนอกไปยังภายใน สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิ $1^{\circ}K$ ที่ผ่านผนังค่าของตัว
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามรับรองโดยสภาวิศวกร
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบ “U” ขึ้นกับความหนาของผนัง และวัสดุที่ใช้ในการทำผนัง เพราะว่าในการออกแบบก็ได้ป้องกันความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามาเท่าที่จะทำได้ และความร้อนที่จะเป็นการเพิ่มภาระให้กับอุปกรณ์ทำความเย็น วัสดุที่ใช้ในการสร้างผนังห้องเย็น ควรจะเป็นฉนวนที่ป้องกันความร้อนที่ดี ดังนั้นในทางปฏิบัติ จะพยายามให้ค่า “U” น้อยที่สุด

- ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ข้ามผนังห้องเย็นเข้ามา

ในการออกแบบความแตกต่างของอุณหภูมิที่ข้ามห้องเย็นเข้ามา โดยปกติจะเป็นความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ภายในและภายนอก

การออกแบบอุณหภูมิตั้งแต่ภายในซึ่งเป็นการทำความเย็น และโดยปกติอุณหภูมิที่ ออกแบบจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่จะใช้เก็บ และช่วงเวลาที่เก็บผลิตภัณฑ์

การออกแบบอุณหภูมิตั้งแต่ภายนอกจะขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้งของห้องเย็น สำหรับผนังของห้องเย็นที่อยู่ภายในอาคาร การออกแบบอุณหภูมิตั้งแต่ภายนอกของผนังห้องเย็น คืออุณหภูมิภายในของอาคาร เมื่อผนังของห้องเย็นอยู่ในบรรยากาศภายนอก

- ความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ผ่านเพดานและพื้น

เมื่อห้องเย็นตั้งอยู่ภายในอาคาร และมีที่ว่างระหว่างส่วนบนของห้องเย็น และเพดานของอาคารที่ยอมให้อากาศหมุนเวียนอย่างอิสระเหนือส่วนบนของห้องเย็น เพดานของห้องเย็นก็คิดเช่นเดียวกับผนังห้องเย็นที่อยู่ภายในอาคาร ในทางกลับกันเมื่อส่วนบนของห้องเย็นอยู่ในบรรยากาศภายนอก ก็กระทำเช่นเดียวกับผนังห้องเย็นที่อยู่ในบรรยากาศภายนอก ส่วนการพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิของพื้นของห้องเย็นที่ตั้งอยู่บนพื้นดิน สำหรับในหน้าร้อนอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอกจะสูงกว่าอุณหภูมิของพื้นดิน

- ผลของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

เมื่อไรก็ตามที่ผนังห้องเย็นอยู่ในตำแหน่งที่รับความร้อนจากการแผ่รังสี หรือจากวัสดุร้อนอื่น อุณหภูมิผิวของผนัง โดยปกติแล้วจะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศ เช่น การจอดรถยนต์ไว้กลางแดดอุณหภูมิผิวโลหะจะสูงกว่าอากาศรอบๆ จำนวนอุณหภูมิที่ผิวโลหะจะขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานรังสีความร้อนที่กระทำบนผิวและการสะท้อนของผิว คลื่นรังสีแต่ละอันที่สะท้อนกลับ หรือถูกดูดไว้โดยวัตถุที่บดแสง วัตถุสีอ่อนที่มีผิวเรียบจะสะท้อนรังสีได้มาก และดูดได้น้อย ดังนั้นอุณหภูมิผิวของผนังเรียบสีอ่อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าผนังผิวเข้ม ผนังผิวหยาบก็จะมีลักษณะเหมือนกันกับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

2) การคำนวณ Air Change Load

การคำนวณหาความร้อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการถ่ายเทอากาศในห้องทำได้แน่นอนยาก ทั้งนี้เพราะการจัดจำนวนอากาศที่ถ่ายเททำได้ไม่ละเอียด

ถ้าจำนวนอากาศที่ถ่ายเทสามารถทราบได้แน่นอน ความร้อนที่เพิ่มขึ้นหาได้จากความแตกต่างของเอนทาลปีของอากาศภายนอก และภายในห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \dot{m}(h_o - h_i) \quad (2.3)$$

เมื่อ Q = จำนวนภาระจากอากาศใหม่ (KW)
 \dot{m} = จำนวนมวลของอากาศที่เข้ามาในห้อง (Kg/S)
 h_o = เอนทาลปีของอากาศภายนอก (Kj/kg)
 h_i = เอนทาลปีของอากาศภายใน (Kj/kg)

3) การคำนวณภาระจากผลิตภัณฑ์

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเข้าไปเก็บไว้ในห้องเย็น ผลิตภัณฑ์จะคายความร้อน เพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องเย็น ความร้อนที่เป็นภาระแก่การทำทำความเย็นสามารถคำนวณได้ดังนี้
 เมื่ออุณหภูมิของห้องเย็นอยู่เหนือจุดเยือกแข็ง ($0^{\circ}C$) การคำนวณความร้อนของผลิตภัณฑ์หาได้ดังนี้

$$Q = (m)(C)(\Delta T) \quad (2.4)$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่คายออกจากผลิตภัณฑ์ (KJ/kg)
 m = มวลของผลิตภัณฑ์ (kg)
 c = ความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์เหนือจุดเยือกแข็ง (KJ/kg $^{\circ}K$)
 ΔT = อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไป ($^{\circ}K$)
 - ตัวประกอบอัตราการทำความเย็น (Chilling Rate Factor)

ในระหว่างเวลาของการให้ความเย็น ภาระของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อเครื่องทำความเย็นจะต้องพิจารณาให้สูงกว่าค่าปานกลาง เช่น ภาระของผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูง ซึ่งอยู่ระหว่างผลิตภัณฑ์และบริเวณที่วางที่จุดเริ่มต้นของการทำความเย็น อัตราการทำความเย็นจะสูงกว่า ดังนั้นเครื่องทำความเย็นจะต้องมีความสามารถเพียงพอที่จะดึงภาระความร้อนจากผลิตภัณฑ์ในสภาวะเริ่มต้น

4) การคำนวณภาระจากอุปกรณ์ต่างๆ

เป็นความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในห้อง เช่น มอเตอร์ ไฟแสงสว่าง เป็นต้น

$$Q \text{ ของไฟแสงสว่าง (วัตต์)} = \frac{W \times \text{hr}}{24 \text{ hr.}} \quad (2.5)$$

$$Q \text{ ของมอเตอร์ (KW)} = \frac{\text{พลังงานที่ออกมาของมอเตอร์ (KW)} \times \text{ตัวประกอบ} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ทำงาน}}{24 \text{ ชั่วโมง}} \quad (2.6)$$

ตัวประกอบความปลอดภัย

ภาระทั้งหมดของการทำความเย็นเป็นผลรวมของความร้อนที่ได้จากการคำนวณในส่วนต่างๆ

ดังกล่าวแล้วในทางปฏิบัติ วิศวกรจะใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัย 5% ถึง 10% ค่าเปอร์เซ็นต์ตัวประกอบความปลอดภัยขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของห้องเย็นนั้นๆ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบความปลอดภัยที่ใช้ขึ้นอยู่กับความเชื่อถือข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณภาระของการทำความเย็น กฎทั่วๆ ไปใช้ตัวประกอบความปลอดภัย 10%

เมื่อรวมค่าตัวประกอบความปลอดภัยกับภาระการทำความเย็นแล้วคูณด้วย 24 ชั่วโมง และหารด้วยเวลาที่ใช้ในการทำความเย็น (ชั่วโมง) จะได้ค่าภาระของเครื่องทำความเย็นตามต้องการ

2.10 สมรรถนะของอีแวปโปเรเตอร์ (Evaporator Capacity)

คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่ออีแวปโปเรเตอร์จากช่องหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำความเย็นให้กับสารทำความเย็น แสดงเป็นวัตต์ ซึ่งในการเลือกใช้ต้องให้มีสมรรถนะเพียงพอกับการทำความเย็น

ความร้อนที่เข้าสู่อีแวปโปเรเตอร์ได้ 3 ทาง คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี ถ้าไม่พิจารณาถึงวิธีที่ความร้อนจะเข้าสู่ท่อแล้ว ความร้อนที่ผ่านผนังท่อจะเป็นแบบการนำความร้อนเท่านั้น ดังนั้นสมรรถนะของอีแวปโปเรเตอร์ ก็คืออัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อ ซึ่งสามารถคำนวณโดย

$$Q = A \times U \times TD \quad (2.7)$$

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (Watt)

A = พื้นที่ผิวภายนอก (m^2)

U = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนทั้งหมด (W/m^2K)

TD = Logarithmic mean temperature difference (K) ระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในท่อ

2.11 Half cooling time

เป็นเส้นที่ใช้สำหรับอ้างอิงถึงการลดอุณหภูมิโดยที่เส้นนี้จะทำให้เป็นเส้นอ้างอิงของทุกค่า เพื่ออ่านค่าระหว่าง TR กับ เวลา โดยในการทดลองครั้งนี้ผู้ทดลองเลือกค่าของ TR เท่ากับ 0.5 จะทำให้สามารถอ่านค่าได้ทุกค่า

2.12 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

- TEMPERATURE INDICATOR มีหน้าที่ ในการวัดอุณหภูมิได้ทั้งองศาเซลเซียสและองศาฟาเรนไฮต์โดยอ่านค่าเป็นดิจิทัล ใช้คู่กับ THERMOCOUPLE

- THERMOCOUPLE ทวีวัฒน์ สุภารส [2541] กล่าวว่า เครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดเทอร์โมคัปเปิล มีด้วยกันหลายแบบแต่จะมีหลักการทำงานเหมือนกัน โดยใช้ผลจากการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความร้อน ซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเทอร์โมคัปเปิลชนิดใดๆ ที่มีอุณหภูมิที่จุดต่อ ต่างกันจะมีค่าเท่ากับผลรวมของเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองจุด

เนื่องจากเทอร์โมคัปเปิลเป็นเครื่องมือวัดที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิดังนั้น ในขณะที่ใช้งานจำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิที่บริเวณจุดต่อของอุปกรณ์หรือเครื่องมืออ่านค่า(Reference Junction) ให้มีค่าที่ที่ ($0^{\circ}C$) ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเทอร์โมคัปเปิล โดยปกติทั่วไปแล้วเทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยโลหะต่างชนิดกัน และที่ส่วนปลายของโลหะทั้งสองจะถูกเชื่อมต่อกันเข้าด้วยกันเรียกว่า จุดต่อสำหรับวัด ปัจจุบันมีเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานหลายชนิด แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับส่วนผสมของโลหะ ได้แก่

แบบ S (Platinum 10 % V.S Rhodium V.S Platinum) วัดอุณหภูมิได้ถึง 1400°C

แบบ R (Platinum 13 % V.S Rhodium V.S Platinum) วัดอุณหภูมิได้ถึง 1400°C

แบบ B (Platinum 30 % V.S Rhodium / Platinum 6 % Rhodium) วัดอุณหภูมิได้ถึง 1704°C

แบบ J (Iron V.s Constantan) วัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง 0°C ถึง 760°C

แบบ K (Chromel V.S Alumel) วัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง -250°C ถึง 1260°C

แบบ T (Copper V.S Constantan) วัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง -184°C ถึง 370°C

แบบ E (Chromel V.S Constantan) วัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง -250°C ถึง 871°C

สายเทอร์โมคัปเปิล มีหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับจุดต่อที่มีระยะห่างกันมากๆ อาจทำจากวัสดุประเภทเดียวกับเทอร์โมคัปเปิลหรือเป็นวัสดุที่ต่างชนิดกับเทอร์โมคัปเปิล

- HOTWIRES ANEMOMETERS มีหน้าที่ วัดความเร็วลม โดยวัดไม่ต่ำกว่า 25 จู (จากตารางที่ อ.1)



บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

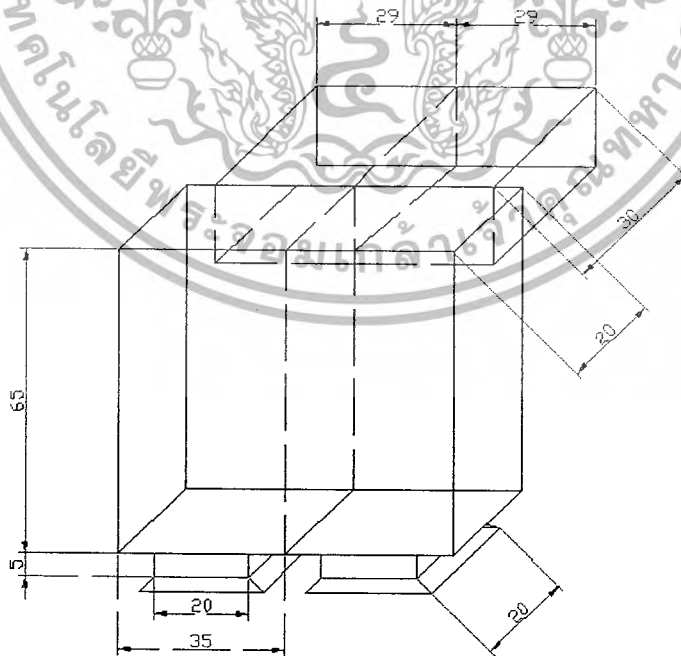
3.1 การคำนวณหาภาระจากผลิตภัณฑ์ (Cooling load) ของผลิตภัณฑ์

จากสูตร
$$Q = \frac{m \times cp \times \Delta T}{\Delta t} \quad (3.1)$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนที่คายออกจากผลิตภัณฑ์ (KW)
 m = มวลของผลิตภัณฑ์ (Kg)
 cp = ความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Kj / Kg °k)
 ΔT = อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไป (°K)
 Δt = เวลาที่ใช้ในการรักษาความเย็น (sec)

3.2 การคำนวณเพื่อหาขนาดของ BLOWER

วัตถุประสงค์ เพื่อที่จะได้ขนาดของ BLOWER ตามที่ต้องการ โดยใช้หลักการคำนวณของวิชากลศาสตร์ของไหล โดยพิจารณาถึงของไหลที่สูญเสียภายในท่อทั้งการสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง



รูปที่ 3-1ขนาดท่อลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ;

$$V_1 = 10 \text{ m/s (ได้จากอัตราการวัดความเร็วลม)}$$

$$A_1 = 17 \times 29 = 493 \text{ cm}^2 = 0.0493 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 35 \times 20 = 700 \text{ cm}^2 = 0.0700 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 20 \times 20 = 400 \text{ cm}^2 = 0.0400 \text{ m}^2$$

หาค่าความเร็วลมในแต่ละช่วง

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (3.2)$$

$$V_2 = V_1 \frac{A_1}{A_2} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \left[\frac{0.00493 \text{ m}^2}{0.007 \text{ m}^2} \right] = 7.04 \text{ m/s}$$

$$A_2 V_2 = A_3 V_3$$

$$V_3 = V_2 \frac{A_2}{A_3} = 7.04 \text{ m/s} \left[\frac{0.07 \text{ m}^2}{0.04 \text{ m}^2} \right] = 12.325 \text{ m/s}$$

หาค่า d_h แต่ละตัว $\left[d_h = \frac{4A_c}{2P} \right] \quad (3.3)$

$$d_{h1} = \frac{4(17 \times 29)}{2(17 + 29)} = 21.43 \text{ cm} = 0.2143 \text{ m.}$$

$$d_{h2} = \frac{4(35 \times 20)}{2(35 + 20)} = 25.45 \text{ cm} = 0.2545 \text{ m.}$$

$$d_{h3} = \frac{4(20 \times 20)}{2(20 + 20)} = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า h_{loss} แต่ละช่วง

ท่อที่ 1

$$h_{loss,f} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (3.4)$$

(ดูจากตารางที่ ข.3 ค่า $\mathcal{E} = 0.046 \text{ mm} = 4.6 \times 10^{-5} \text{ m}$)

$$\frac{\mathcal{E}}{D} = \frac{4.6 \times 10^{-5} \text{ m}}{0.2143 \text{ m}} = 2.146 \times 10^{-4} = 0.0002146$$

$$Re_D = U_m \frac{D}{\nu} = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (3.5)$$

ที่อุณหภูมิ 5°C $\rho = 1.269 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 1.73 \times 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$

$$\begin{aligned} Re_D &= \frac{1.269 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s} \times 0.2143 \text{ m}}{1.73 \times 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2} \\ &= 1.57194 \times 10^5 \quad (\text{ค่า } Re_D > 4000 \therefore \text{เป็นการไหลแบบปั่นป่วน}) \end{aligned}$$

จากตาราง Moody Diagram (จากตารางที่ ข.1 ค่า $f = 0.028$)

$$\begin{aligned} h_{loss,f} &= f \frac{L}{D} \frac{V_1^2}{2g} \\ &= 0.028 \left[\frac{0.3 \text{ m}}{0.2143 \text{ m}} \right] \left[\frac{10^2}{2(9.81)} \right] \\ &= 0.19978 \text{ m} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อเพิ่มขนาด.

$$h_{loss, m_1} = h \frac{V_1^2}{2g} = 0.5 \left[\frac{10^2}{2(9.81)} \right] = 2.54 \text{ m}$$

ท่อที่ 2

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{4.6 \times 10^{-5} \text{ m}}{0.2545 \text{ m}} = 1.807 \times 10^{-4}$$

$$R_{eD} = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} = \frac{1.269 \text{ kg/m}^3 \times 7.04 \text{ m/s} \times 0.2545 \text{ m}}{1.73 \times 10^{-5} \text{ N.S/m}^2}$$

$$= 1.314 \times 10^5 \quad (\text{ค่า } R_{eD} > 4000 \therefore \text{เป็นการไหลแบบปั่นป่วน})$$

จากตาราง Moody Diagram (จากตารางที่ ข.1 ค่า $f = 0.028$)

$$h_{loss, f_2} = f \frac{L}{D} \frac{V_2^2}{2g}$$

$$= 0.028 \left[\frac{0.65 \text{ m}}{0.2545 \text{ m}} \right] \left[\frac{7.04 \text{ m/s}}{2(9.81)} \right]$$

$$= 0.0256 \text{ m}$$

ท่อลดขนาด.

$$h_{loss, f_2} = \frac{V_2^2}{2g} \left[1 - \frac{A_2}{A_3} \right]^2$$

$$= \frac{7.04^2}{2(9.81)} \left[1 - \frac{0.07}{0.04} \right]^2$$

$$= 1.42 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อที่ 3

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{4.6 \times 10^{-5} \text{ m}}{0.2 \text{ m}} = 2.3 \times 10^{-4}$$

$$R_{eD} = \frac{\rho V \bar{D}}{\mu} = \frac{1.269 \text{ kg/m}^3 \times 12.325 \text{ m/s} \times 0.2 \text{ m}}{1.73 \times 10^{-5} \text{ N.S/m}^2}$$

$$= 1.808 \times 10^5 \quad (\text{ค่า } R_{eD} > 4000 \therefore \text{เป็นการไหลแบบปั่นป่วน})$$

จากตาราง Moody Diagram (จากตารางที่ ข.1 ค่า $f = 0.029$)

$$h_{loss, f_3} = f \frac{L}{D} \frac{V_2^2}{2g}$$

$$= 0.029 \left[\frac{0.05}{0.2} \right] \left[\frac{12.325^2}{2(9.81)} \right]$$

$$= 0.0561 \text{ m}$$

จากสูตร

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \sum f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum k \frac{V^2}{2g} \quad (3.6)$$

จากท่อ 1 ถึง ท่อ 2

$$\Delta P = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (Z_1 - Z_2) + \sum f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum k \frac{V^2}{2g}$$

$$\Delta P_1 = \frac{7.04^2 - 10^2}{2(9.81)} + (0.05 - 0.65) + (0.19978 + 0.0256) + (2.54 + 1.42)$$

$$= 1.014 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากท่อ2 ถึง ท่อ3

$$\begin{aligned}\Delta P_2 &= \frac{V_3^2 - V_2^2}{2g} + (Z_3 - Z_2) + \sum f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum k \frac{V^2}{2g} \\ &= \frac{12.325^2 - 7.04^2}{2(9.81)} + (0 - 0.05) + (0.0561 + 0.0256) + 1.42 \\ &= 6.48 \text{ m}\end{aligned}$$

หาค่า \dot{V}

$$\dot{V} = A_1 V_1 = 10 \text{ m/s} \times 0.0493 \text{ m}^2 = 0.493 \text{ m}^3/\text{s} \quad (3.7)$$

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 1.014 \text{ m} + 6.48 \text{ m} = 7.494 \text{ m} \quad (3.8)$$

$$= \rho g h \quad (3.9)$$

$$= 1.269 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 7.494 \text{ m} = 93,291 \text{ Pa}$$

หาแรงม้า(HP)

จาก

$$93,291 \text{ Pa} \times 0.493 \text{ m}^3/\text{s} = 45,992 \text{ J/s}$$

$$45,992 \text{ J/s} \times \frac{1}{745.7} \frac{\text{hp}}{\text{J/s}} = 0.06167 \text{ hp}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณหาค่า Temperature Ratio

จากสูตร

$$TR = \frac{t - t_o}{t_i - t_o}$$

กำหนดให้;

TR = Temperature Ratio

t = Product temperature

t_i = Initial product

t_o = Air Temperature

ยกตัวอย่างดังตารางภาคผนวกที่ ง.1(ค่าที่นำมายกตัวอย่างคือในกล่องที่ 7)

คำนวณค่า t_o โดยนำค่าที่ได้จากเก็บผลใน cooling box มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้อุณหภูมิในห้องคงที่จะได้ = 6.557895°C

$$TR 0 = \frac{26.6 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 1$$

$$TR 1 = \frac{25.8 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.960084$$

$$TR 2 = \frac{24.5 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.895221$$

$$TR 3 = \frac{22.7 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.80541$$

$$TR 4 = \frac{20.8 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.710609$$

$$TR 5 = \frac{19.3 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.635767$$

$$TR 6 = \frac{17.5 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.545956$$

$$TR 7 = \frac{16.6 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.50105$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$TR\ 8 = \frac{15.5 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.446166$$

$$TR\ 9 = \frac{14.5 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.396271$$

$$TR\ 10 = \frac{13.6 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.351366$$

$$TR\ 11 = \frac{12.8 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.31145$$

$$TR\ 12 = \frac{11.8 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.261555$$

$$TR\ 13 = \frac{11.7 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.256565$$

$$TR\ 14 = \frac{11.3 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.236607$$

$$TR\ 15 = \frac{11 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.221639$$

$$TR\ 16 = \frac{10.7 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.20667$$

$$TR\ 17 = \frac{10 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.171744$$

$$TR\ 18 = \frac{9.9 - 6.557895}{26.6 - 6.557895} = 0.166754$$

จากนั้นก็นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบ Package

4.1 ความสำคัญของ Package

Package นับว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอีกอย่างหนึ่ง นอกจากทำให้การขนย้ายและการเก็บรักษาทำได้สะดวกง่ายดายแล้ว ยังต้องมีกรออกแบบให้มีอากาศไหลผ่านเข้าไปสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ได้อย่างทั่วถึงด้วย จึงต้องออกแบบให้ภาชนะมีลักษณะค่อนข้างโปร่ง, อากาศถ่ายเทได้สะดวกและเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์

4.2 คุณลักษณะของแผ่นกระดาษลูกฟูก

กระดาษที่ใช้ทำกระดาษลูกฟูกเป็นกระดาษแข็ง (paper board) หนากว่า 0.009 นิ้ว เนื้อหยาบ มีน้ำหนักสูงกว่า 26 ปอนด์ / 1000 ฟุต² ทำขึ้นจากเส้นใย (fiber) ขนาดยาวที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนโดยไม่ฟอกสี มีความแข็งแรง ทั้ง tensile และ tear strengths

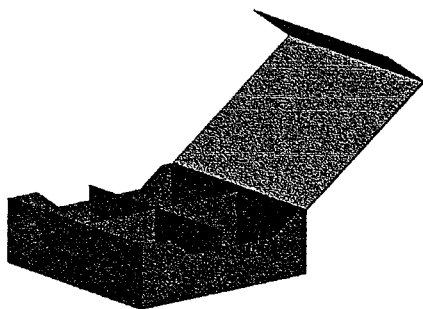
4.3 รูปแบบของกล่องกระดาษลูกฟูก

อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้กล่องกระดาษลูกฟูกได้รับความนิยมในการใช้บรรจุผลิตภัณฑ์มาก ในปัจจุบัน คือ ความสามารถในการออกแบบได้หลายรูปร่างเพื่อให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งความแข็งแรงในของกล่องเป็นเรื่องสำคัญมาก กล่องต่างแบบกันจะมีการรับน้ำหนักแตกต่างกัน ส่วนของกล่องที่สามารถรับแรงได้มากที่สุดคือ บริเวณมุมทั้ง 4 ของกล่อง บริเวณกลางกล่องจะรับน้ำหนักได้น้อยกว่า ดังนั้นกล่องที่มีมุมมากสามารถรับแรงได้มากกว่าเมื่อมีเส้นรอบรูปกล่องเท่า ๆ กัน กล่องที่มีความยาวมาก บริเวณกลางกล่องจะรับน้ำหนักได้น้อย การออกแบบจึงไม่ควรออกแบบกล่องที่มีความกว้างและยาวแตกต่างกันมาก หากมีความจำเป็นต้องออกแบบกล่องให้ยาวสามารถเสริมความแข็งแรงของกล่องได้ด้วย แผ่นกั้นบริเวณกลางกล่อง

ในกรณีที่ทำการทดลองด้วยวิธี Forced-air cooling เราจะเลือกวัสดุที่เป็นกระดาษลูกฟูก มีข้อดีดังนี้ กระดาษมีผิวที่เรียบไม่ทำอันตรายแก่ผิวของผลิตภัณฑ์ ลอนลูกฟูกช่วยป้องกันการกระแทกได้ดี, มีน้ำหนักเบา, ขึ้นรูปเป็นกล่องได้ง่าย, สามารถกำจัดได้ง่ายแล้วนำมาเข้ากระบวนการผลิตชิ้นใหม่ได้ (recyclable) และราคาไม่แพง สำหรับข้อเสียได้แก่ ยอมให้อากาศถ่ายเทได้น้อย กระดาษดูดความชื้นทำให้มีผลต่อผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

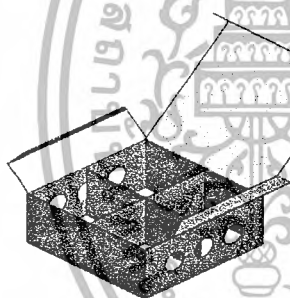
โดยการที่จะคิดเป็นจำนวนที่พื้นที่เท่ากัน (14%) เพื่อที่จะได้ทราบถึงรูปที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์มากที่สุด การศึกษา Package มีด้วยกัน 5 ลักษณะที่จะทำให้อากาศถ่ายเทได้สะดวกและสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ได้อย่างทั่วถึง ดังนี้

4.3.1 Standard

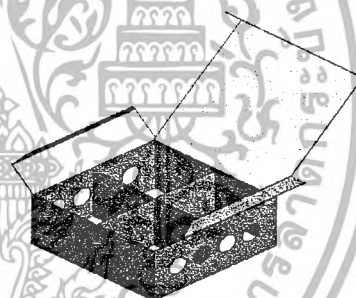


รูปที่ 4-1 แสดงกล่อง Standard

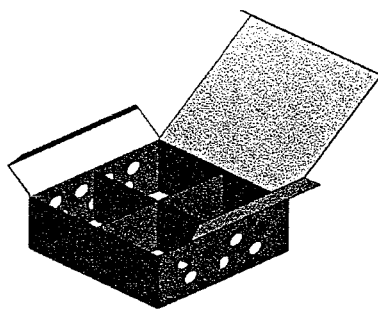
4.3.2 Package ที่ทำการเจาะรูในแนวนอนในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 4-2 แสดงกล่องเจาะ 3 รู แนวนอน



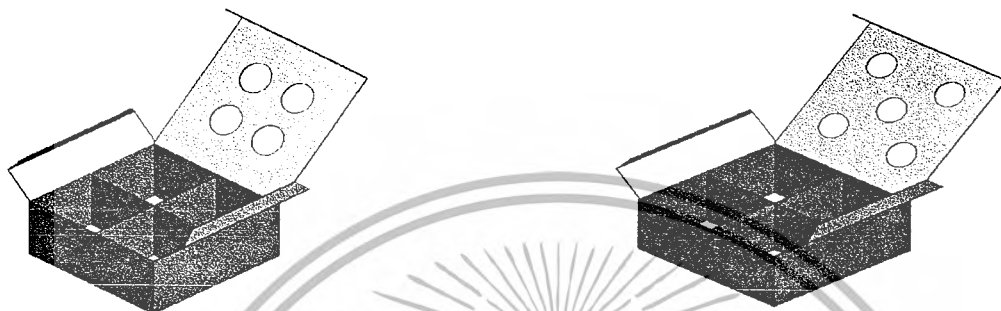
รูปที่ 4-3 แสดงกล่องเจาะ 4 รู แนวนอน



รูปที่ 4-4 แสดงกล่องเจาะ 7 รู แนวนอน

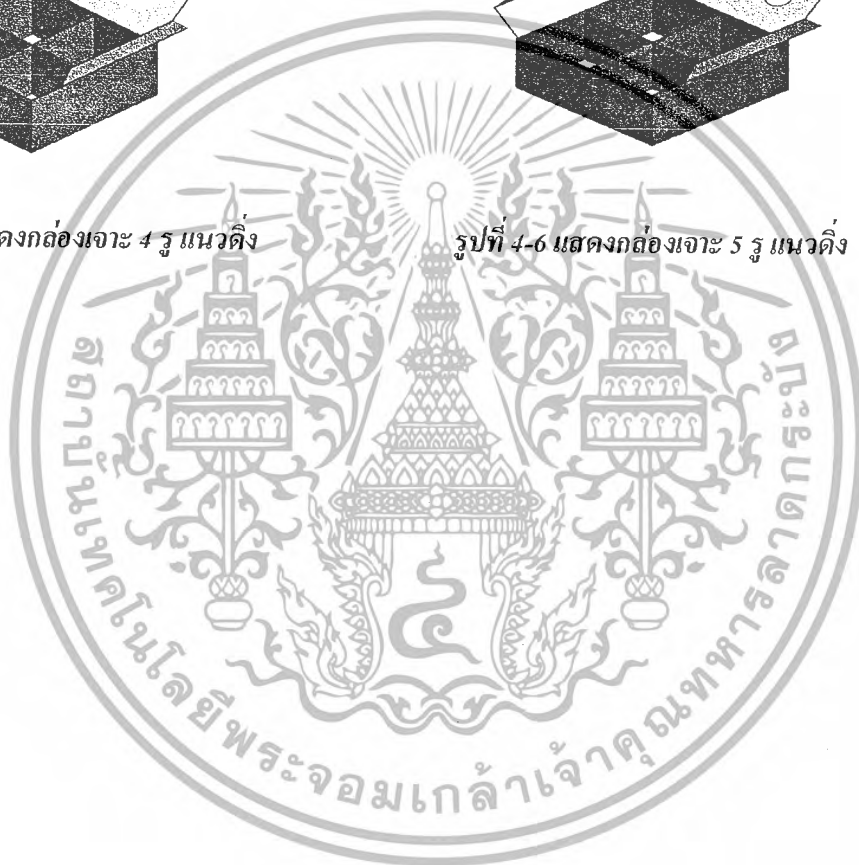
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 Package ที่ทำการเจาะรูในแนวตั้งในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 4-5 แสดงกล่องเจาะ 4 รู แนวตั้ง

รูปที่ 4-6 แสดงกล่องเจาะ 5 รู แนวตั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลอง forced – air cooling กับ room cooling

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองในส่วนแรกคือ การทดลองว่าการทำความเย็นโดยวิธี Forced – air cooling กับ Room cooling ว่าแบบใดสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น

5.1 อุปกรณ์การทดลอง

5.1.1 ห้องทำความเย็นแบบ FORCED – AIR COOLING

5.1.2 ห้องทำความเย็นแบบ ROOM COOLING

5.1.3 แผงกระจายลม

5.1.4 TEMPERATURE INDICATOR

5.1.5 THERMOCOUPLE

5.1.6 แผ่นเทียบสีมาตรฐาน

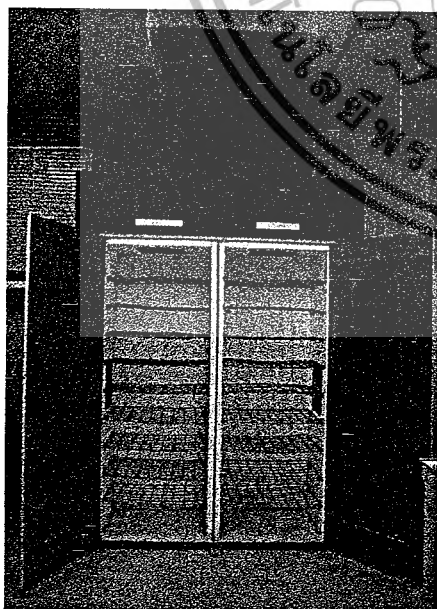
5.1.7 REFRACTOMETER

5.1.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก

5.1.9 บิวเรต

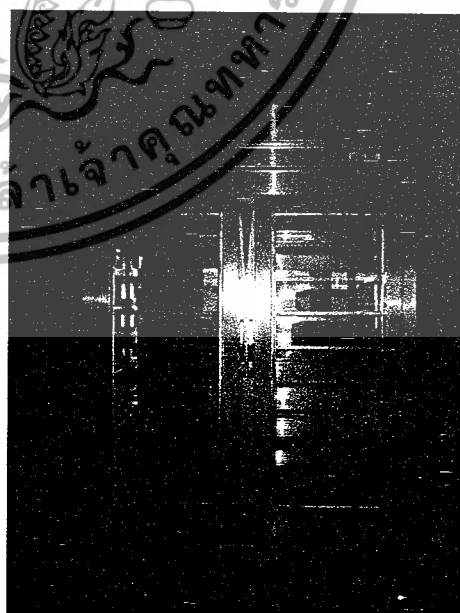
5.1.10 PENETROMETER หรือ FIRMNESS TESTER

5.1.11 สารละลายมาตรฐาน (NaOH) และฟีนอล์ฟทาลีน



รูปที่ 5-1 แสดงห้องทำความเย็นแบบ

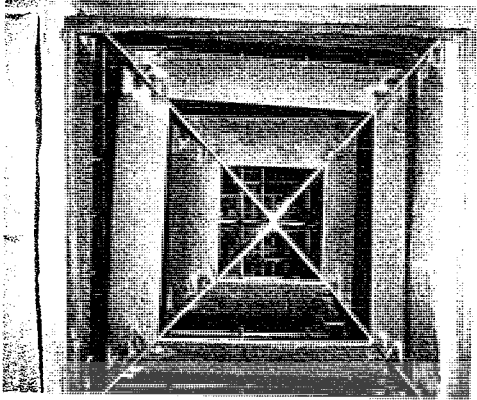
FORCED – AIR COOLING



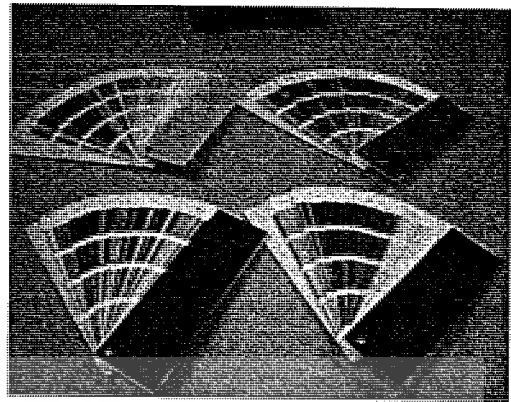
รูปที่ 5-2 แสดงห้องทำความเย็นแบบ

ROOM COOLING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



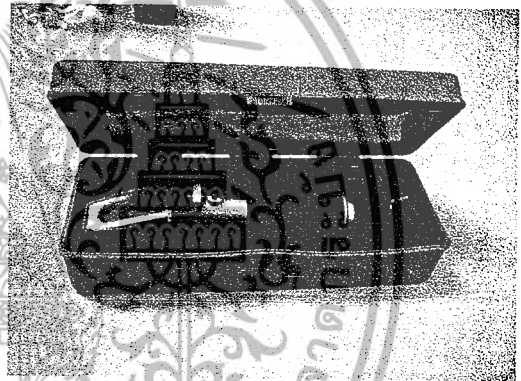
รูปที่ 5-3 แสดงแผงกระจายลม



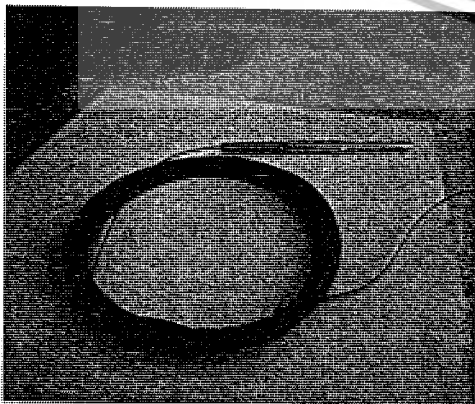
รูปที่ 5-6 แสดงแผ่นเทียบสิมาตรฐาน



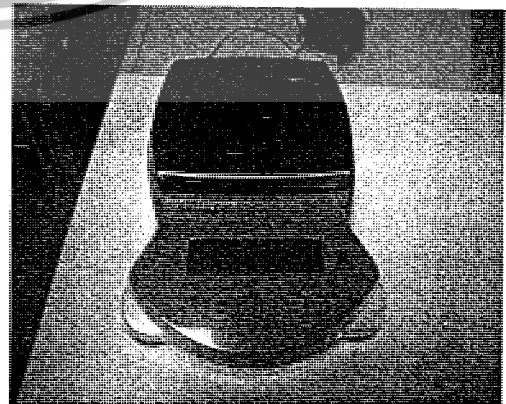
รูปที่ 5-4 แสดง TEMPERATURE INDICATOR



รูปที่ 5-7 แสดง REFRACTOMETER

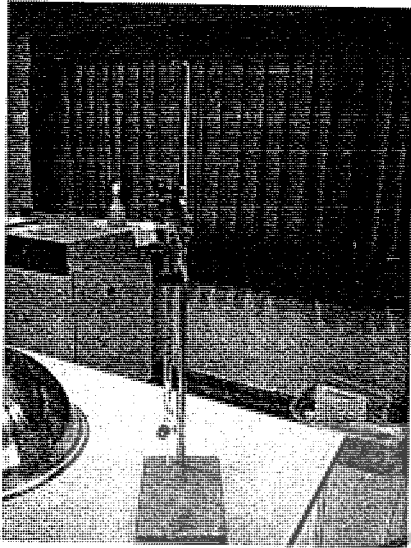


รูปที่ 5-5 แสดง THERMOCOUPLE



รูปที่ 5-8 แสดงเครื่องปั้มน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-9 แสดงบิวเรต



รูปที่ 5-10 แสดงPENETROMETERหรือ
FIRMNESS TESTER



รูปที่ 5-11 แสดงสารละลายมาตรฐาน (NaOH) และฟีนอล์ฟทาลิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิธีการทดลอง

5.2.1 เตรียมผลิตภัณฑ์ (มังคุด) ที่จะนำมาทดลองเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

5.2.2 RUN เครื่องทำความเย็นประมาณ 15-20 นาที

5.2.3 ทำการทดลองโดยนำผลิตภัณฑ์ไปไว้ในห้องทำความเย็น (forced-air cooling) และเก็บรักษาตามอุณหภูมิที่กำหนด

5.2.4 เมื่ออุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ที่แล้วทำการย้ายจากห้องทำความเย็น (forced-air cooling) มาไว้ในห้องทำความเย็น (room cooling)

5.2.5 ทำการบันทึกผล โดยใช้มังคุดสำหรับการเก็บผลในแต่ละสัปดาห์จำนวน 4 ลูกทำการเก็บผลดังหัวข้อ 5.2.6

5.2.6 บันทึกผล

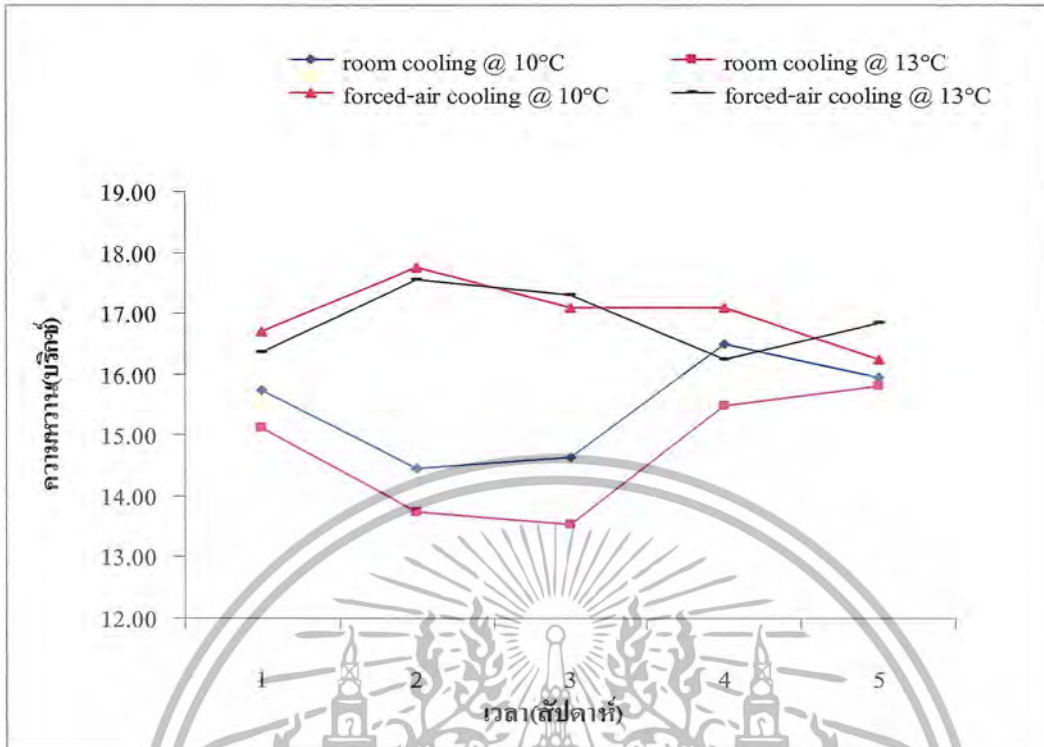
- ระยะเวลาการลดอุณหภูมิ
- อายุการเก็บรักษา
- การเปลี่ยนแปลงสีผิว โดยใช้แผ่นเทียบสีมาตรฐาน
- ปริมาณ Total Soluble Solids (TSS) โดยใช้น้ำคั้นหยดลงบนเครื่องมือวัดปริมาณน้ำตาล (refractometer) มีหน่วยเป็นบริกซ์ (°Brix)
- ปริมาณ Titratable acid (TA) โดยการไทเทรตน้ำคั้นด้วยสารละลายด่างมาตรฐาน (NaOH) ด้วยความเข้มข้น 0.1 N หยดฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติ คือ เป็นสีชมพูประมาณ 30 วินาที
- เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก คำนวณดังนี้ น้ำหนักสูญเสีย (%) = $\frac{[(\text{น้ำหนักก่อนการทดลอง} - \text{น้ำหนักหลังการทดลอง}) \times 100]}{\text{น้ำหนักหลังการทดลอง}}$
- ความแน่นเนื้อ หรือการสูญเสียรูปทรงของมังคุดด้วยเครื่องวัดความแน่นเนื้อ
- เก็บผลการชิมโดยเลือกผู้ชิม 4 คน และแบ่งระดับคุณภาพของมังคุดเป็น 4 ระดับ
 - 4 = ดีมาก
 - 3 = ดี
 - 2 = พอใช้
 - 1 = แย่
- นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟซึ่งผลที่ได้ในกราฟ คือ การหาเฉลี่ยออกมา

5.2.7 การพลอตกราฟ

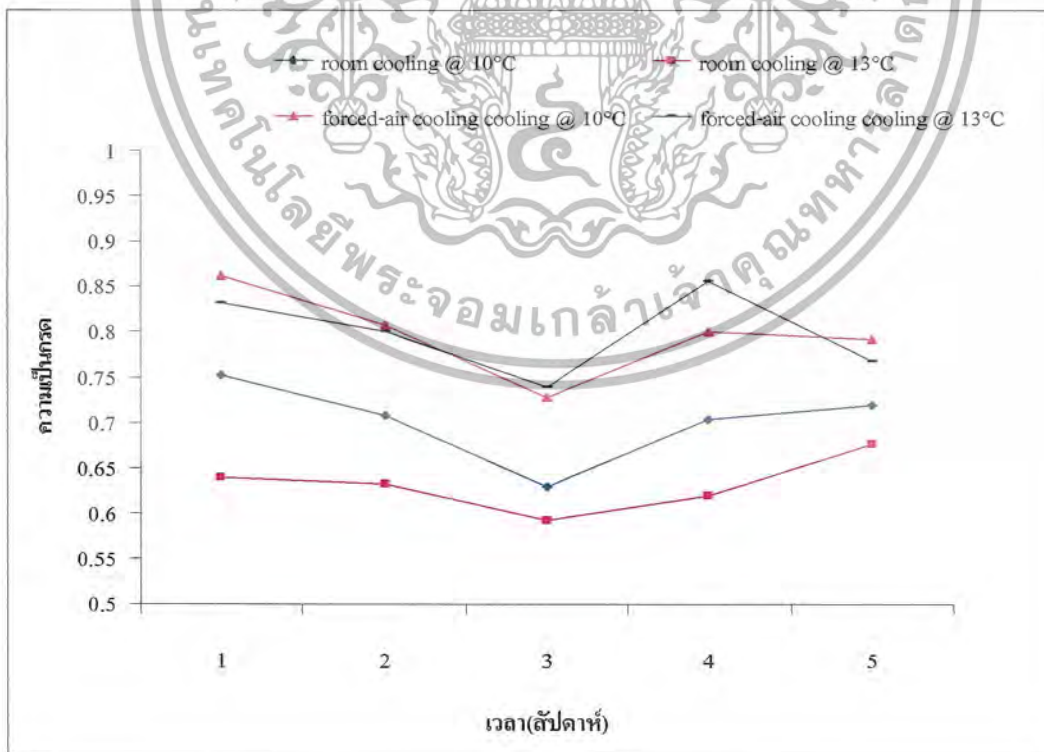
นำค่าที่ได้จากการบันทึกผลมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อทำการพลอตกราฟเปรียบเทียบกับเพื่อหาค่าความแตกต่างของแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดลอง

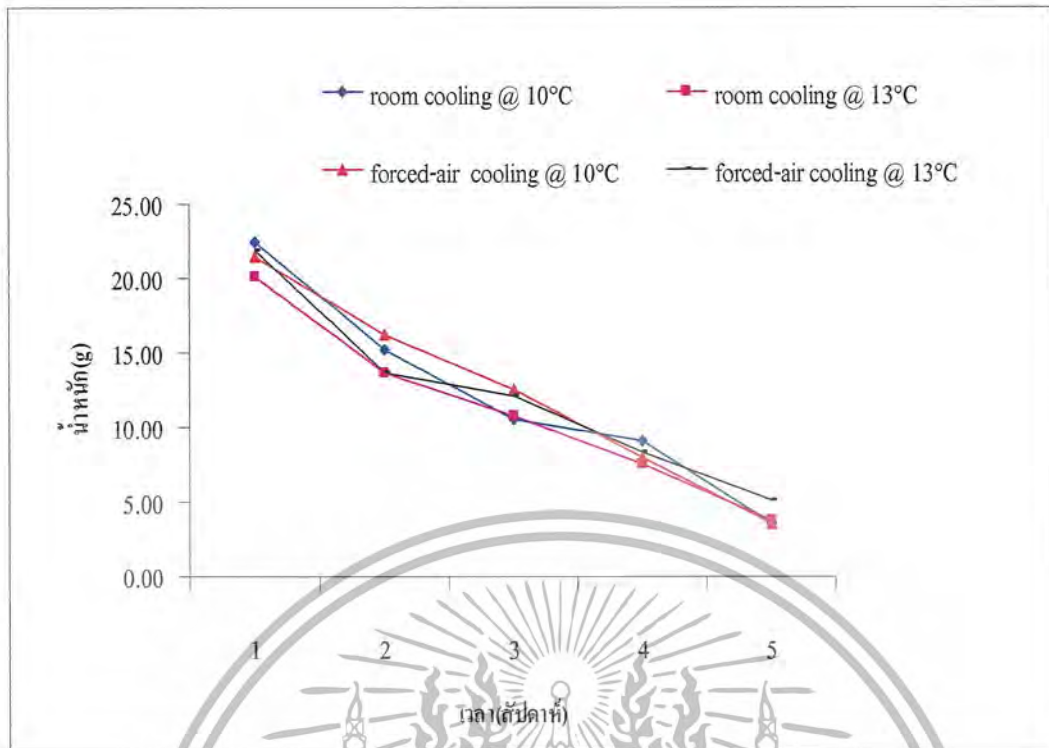


รูปที่ 5-12 กราฟแสดงความหวานของมัจจุ

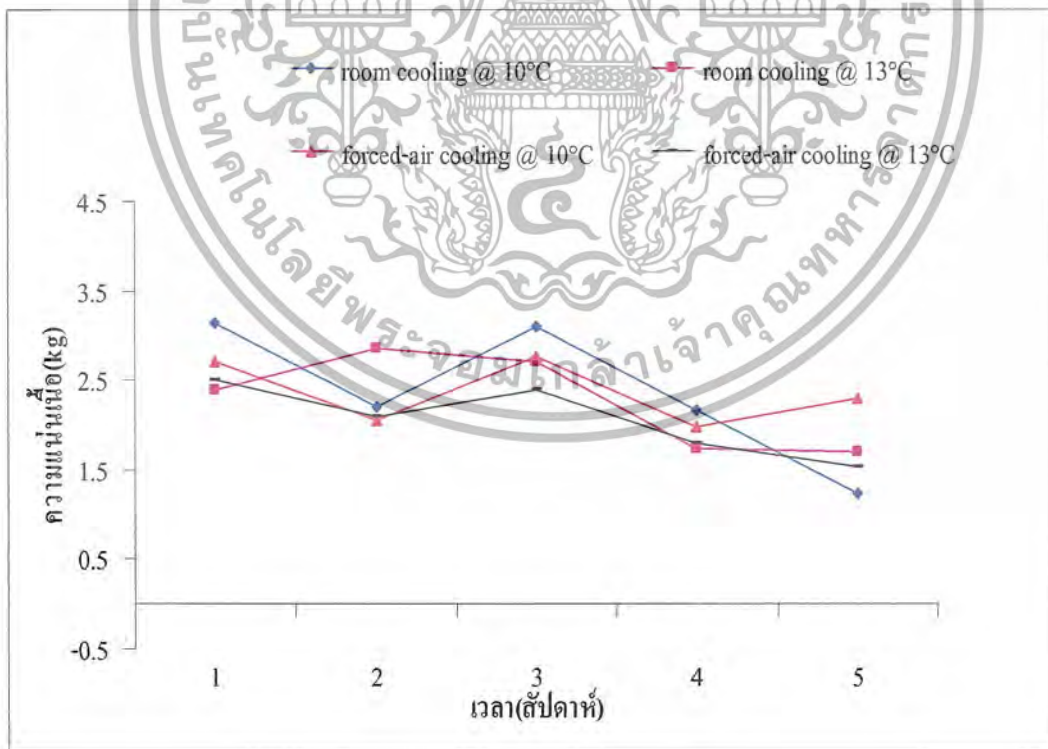


รูปที่ 5-13 กราฟแสดงความเป็นกรด/เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

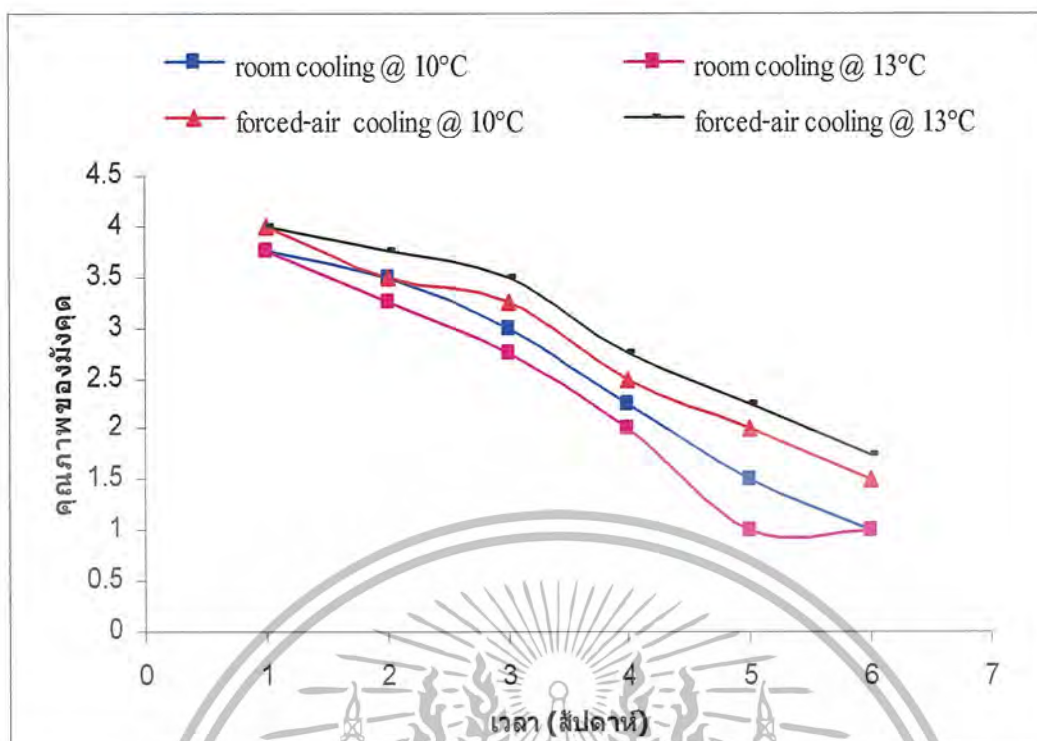


รูปที่ 5-14 กราฟแสดงน้ำหนัก/เวลา



รูปที่ 5-15 กราฟแสดงความแน่นเนื้อของมังคุด/เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-16 กราฟแสดงคุณภาพของมิ่งคุดโดยการชิมเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ 5-12 ถึง 5-16

จากการทดลองเนื่องจากผลไม้บางชนิดจะมีสีระไม่เหมือนกันทำให้การเก็บผลแต่ละค่าต่อสัปดาห์จะแตกต่างกัน ๆ และการเก็บผลจะใช้คนละผลกันเพราะถ้าเก็บผลของสัปดาห์นี้แล้วสัปดาห์ต่อไปจะใช้ไม่ได้อีก แต่โดยรวมแล้ว forced – air cooling จะมีการยืดอายุได้นานที่สุด โดยดูจากความหวานจะสัมพันธ์กับความเป็นกรดคือถ้าความหวานมากกรดก็จะลดมาก แต่น้ำหนักจะใกล้เคียงกันจนถึงสัปดาห์สุดท้ายและความแน่นเนื้อของมังคุด จะไม่ค่อยคงที่อาจจะเป็นเพราะความเย็นจะทำให้ผลิตผลมีความแข็งขึ้นชั่วขณะหนึ่งแต่พอนาน ๆ ไป ผลิตผลก็จะมี การเสื่อมสภาพลง แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 5 ไปแล้วจะเก็บผลลักษณะทางกายภาพมากขึ้น เช่นการชิม จากการทดลองพบว่ามังคุดที่ทำการ Percooling โดยวิธี forced – air cooling จะยังคงความหวานไว้ได้นานกว่ามังคุดที่ room cooling และดูจากลักษณะภายนอกสีผิวจะยังไม่เปลี่ยนตรงกับทฤษฎีที่ว่า การทำ Percooling คือต้องการยับยั้งกระบวนการต่าง ๆ และยังคงรักษาสภาพไว้ใกล้เคียงกับเมื่อเก็บเกี่ยวมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองการลดอุณหภูมิโดยวิธี forced – air cooling

6.1 อุปกรณ์การทดลอง

6.1.1 ห้องทำความเย็นแบบ FORCED – AIR COOLING

6.1.2 แผงกระจายลม

6.1.3 TEMPERATURE INDICATOR

6.1.4 THERMOCOUPLE

6.1.5 Package จะมี 2 ลักษณะ

1) Horizontally -directed forced-air cooling (HFC) ลักษณะกล่องบรรจุภัณฑ์นี้จะมี
การ เจาะรูในแนวนอนด้านข้าง 4 แบบดังนี้

- แบบมาตรฐาน
- แบบเจาะ 4 รู
- แบบเจาะ 7 รู

2) Vertically -directed forced-air cooling (VFC) ลักษณะกล่องบรรจุภัณฑ์นี้จะมี
การ เจาะรูในแนวตั้งด้านบน 2 แบบดังนี้

- แบบเจาะ 4 รู
- แบบเจาะ 5 รู

*หมายเหตุ (รูป Package ในลักษณะต่าง ๆ จะอยู่ในบทที่ 4 เรื่องการออกแบบ Package)

6.2 วิธีการทดลอง

- 6.2.1 เตรียมผลส้มตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้กล่อง 7 ใบ ใบละ 4 ลูก
- 6.2.2 RUN เครื่องทำความเย็นประมาณ 15-20 นาที
- 6.2.3 ปรับทิศทางลมและเลือกใช้ Package ที่ทำการทดลอง
- 6.2.4 วัดอุณหภูมิภายในผลส้ม โดยใช้ thermocouple และบันทึกค่า
- 6.2.5 เมื่อวัดอุณหภูมิครบทุกกล่องแล้วนำผลส้มไปไว้ในห้องทำความเย็น (forced-air cooling)
- 6.2.6 วัดอุณหภูมิทั้ง 7 กล่อง ทุก 10 นาที โดยให้อุณหภูมิคงที่แล้วจึงทำการวัดค่า
- 6.2.7 เมื่ออุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้ง 7 กล่อง คงที่แล้วนำค่าที่วัดได้มาคำนวณ Temperature Ratio จากสูตร

$$TR = \frac{t - t_o}{t_i - t_o}$$

กำหนดให้;

TR = Temperature Ratio

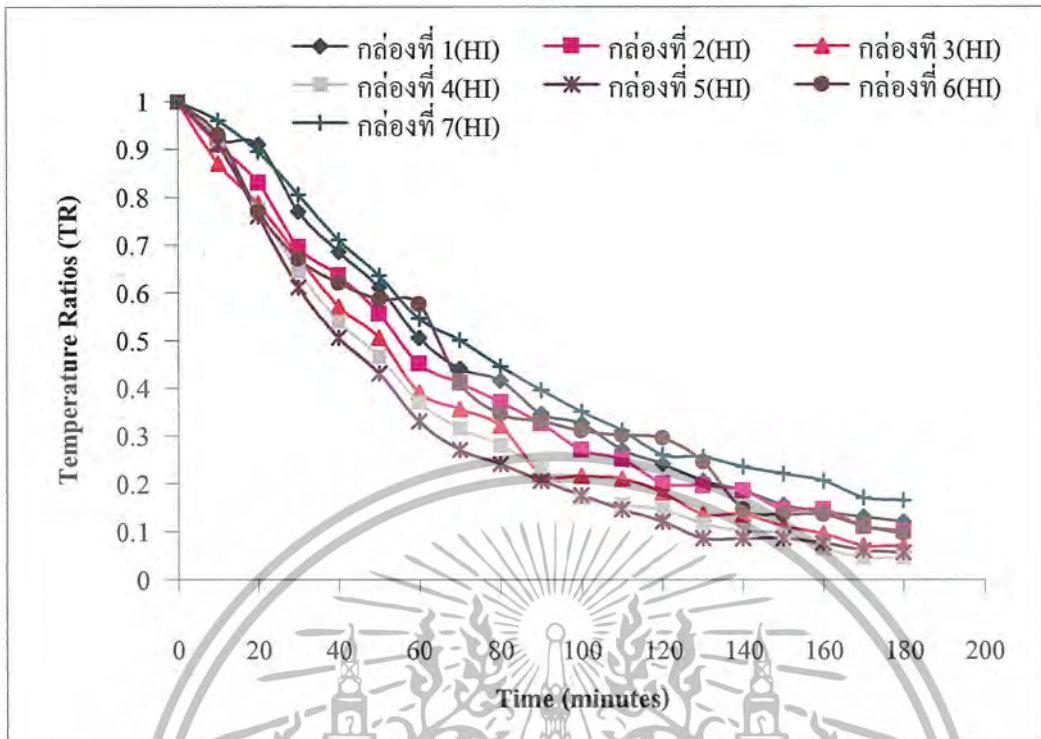
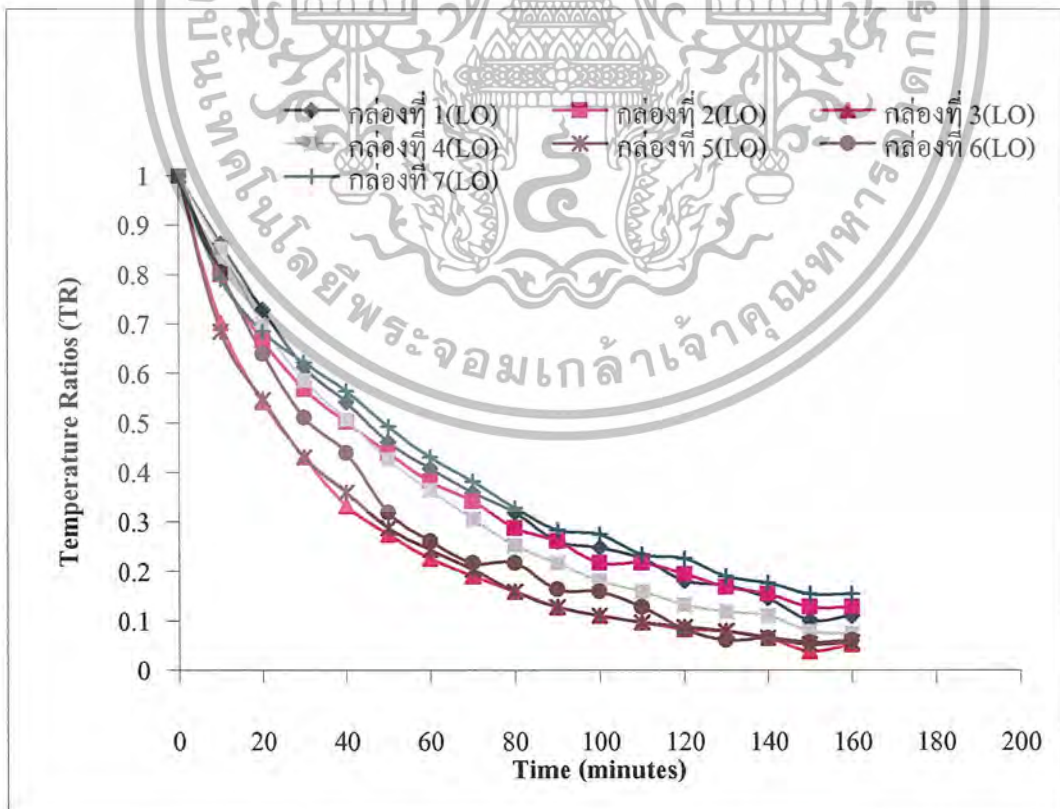
t = Product temperature

t_i = Initial product

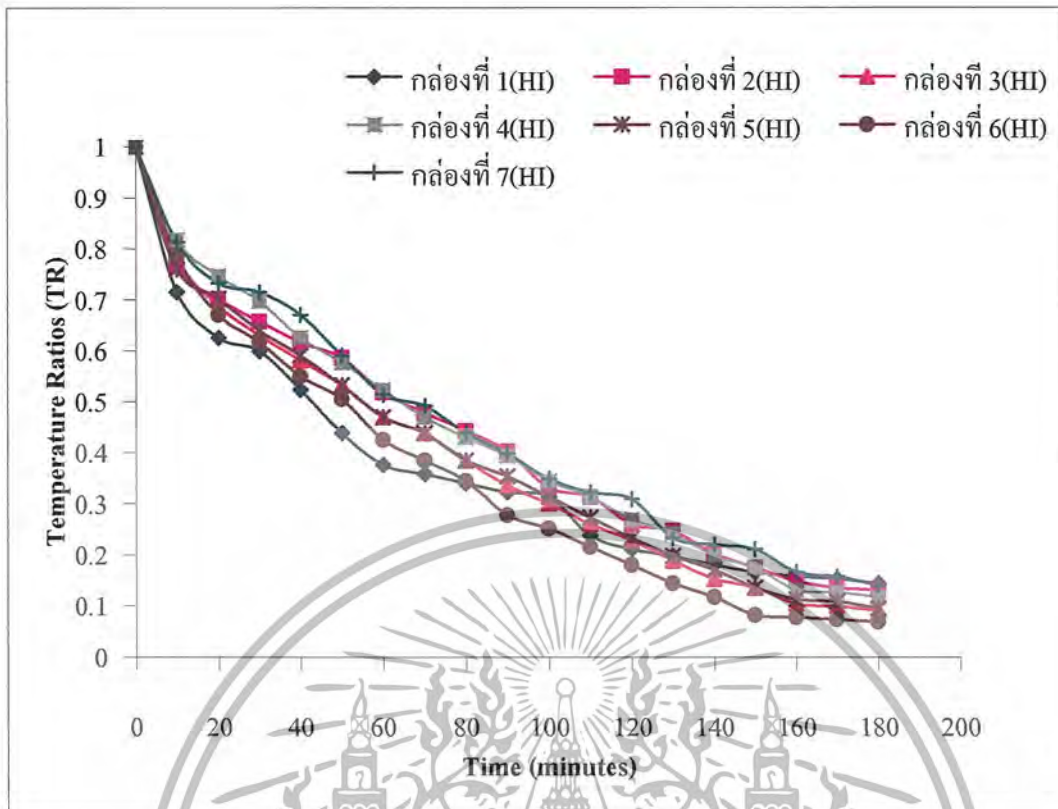
t_o = Air temperature

- 6.2.8 นำค่าที่คำนวณได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง temperature ratio กับ time (minutes)
- 6.2.9 ทำการทดลองในรูปแบบต่อไป โดยเปลี่ยน Package หรือ ทิศทางลม

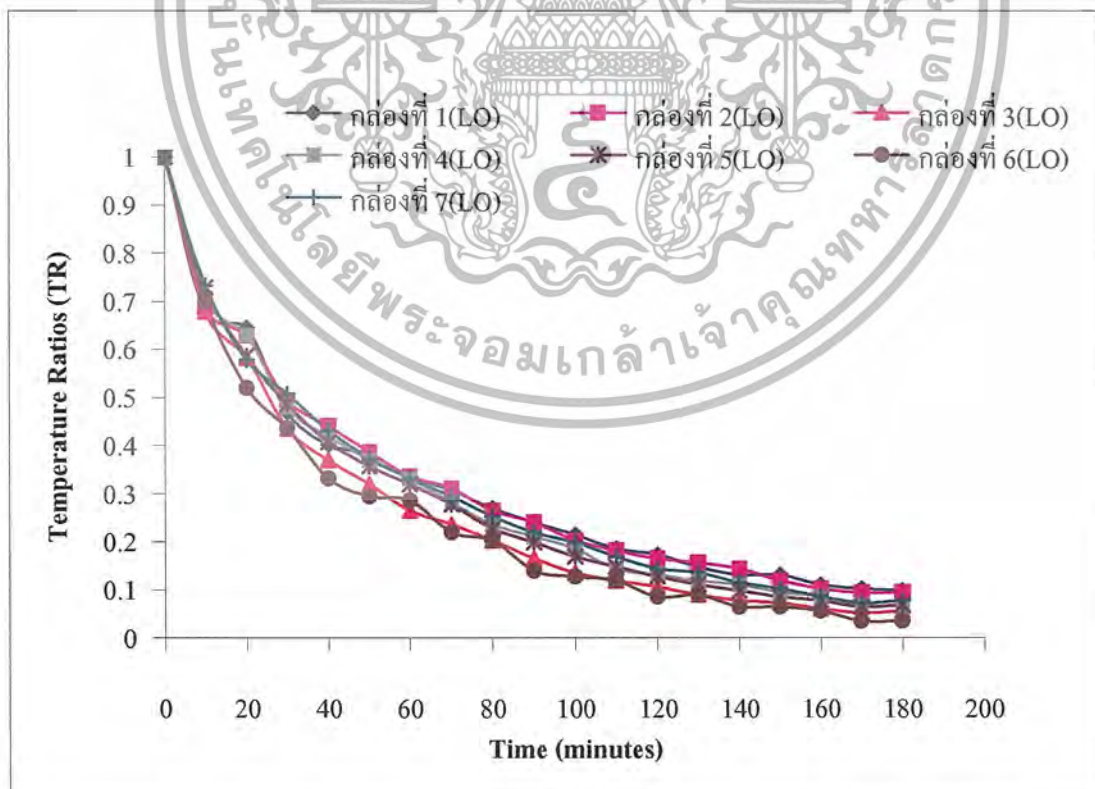
6.3 ผลการทดลอง

รูปที่ 6-1 กราฟทิศทางลมแนวอน 3 รู ($HI=2.02$ m/s)รูปที่ 6-2 กราฟทิศทางลมแนวอน 3 รู ($LO=1.7$ m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

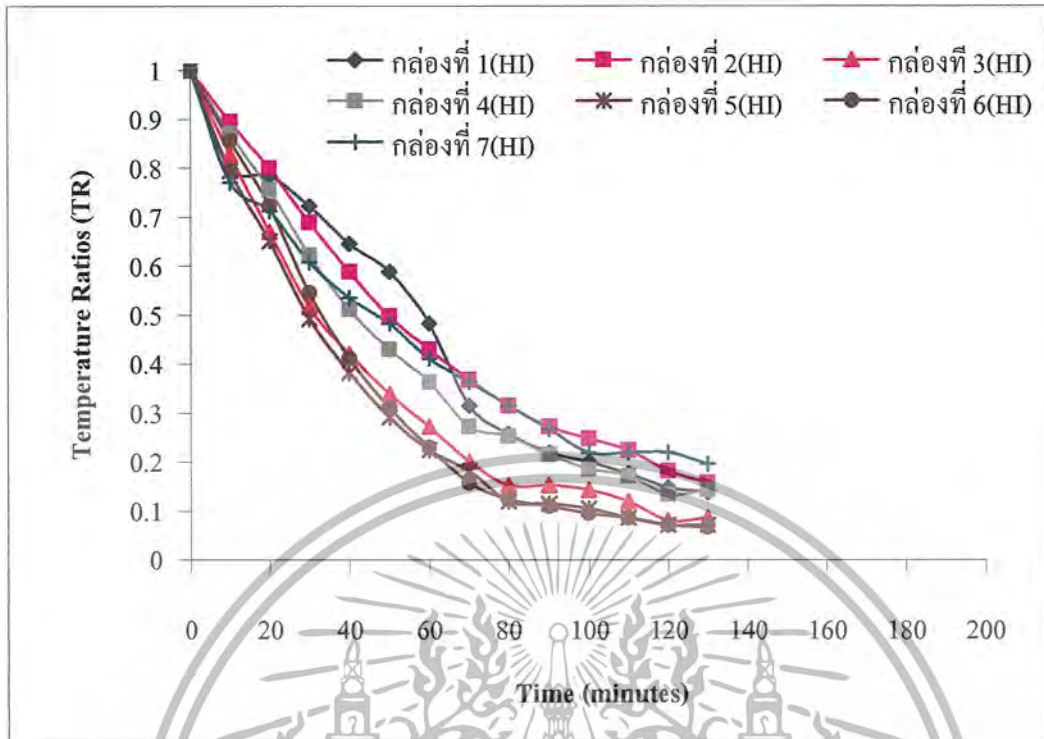


รูปที่ 6-3 กราฟทิศทางการถดถอยของอุณหภูมิ (HI=2.02 m/s)

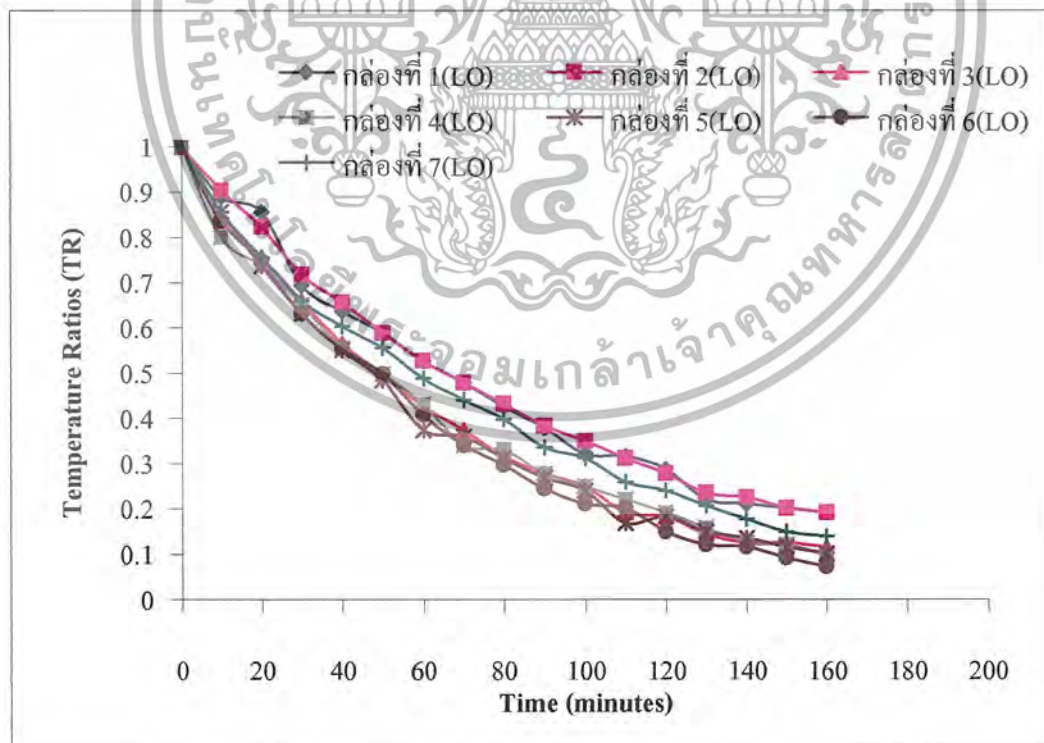


รูปที่ 6-4 กราฟทิศทางการถดถอยของอุณหภูมิ (LO=1.7 m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

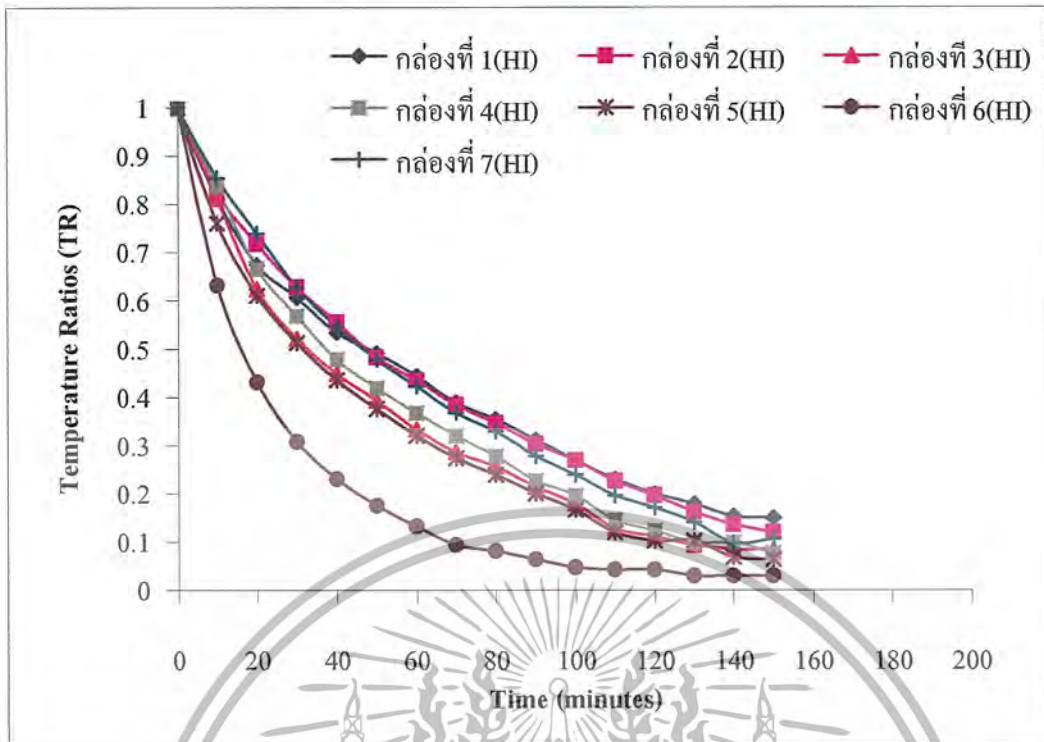


รูปที่ 6-5 กราฟทิศทางลมแนวอน เจาะรู 7 รู ($HI=2.02$ m/s)

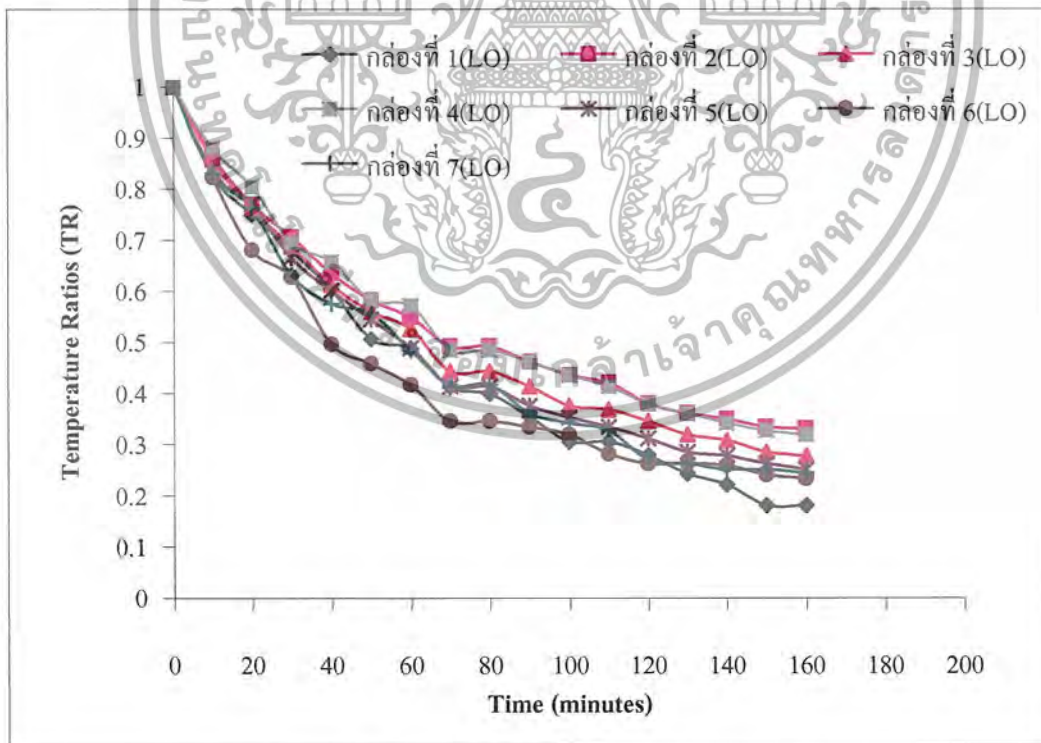


รูปที่ 6-6 กราฟทิศทางลมแนวอน เจาะรู 7 รู ($LO=1.7$ m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-7 กราฟทิศทางลมแนวอน Standard (HI=2.02 m/s)



รูปที่ 6-8 กราฟทิศทางลมแนวอน Standard (LO=1.7 m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

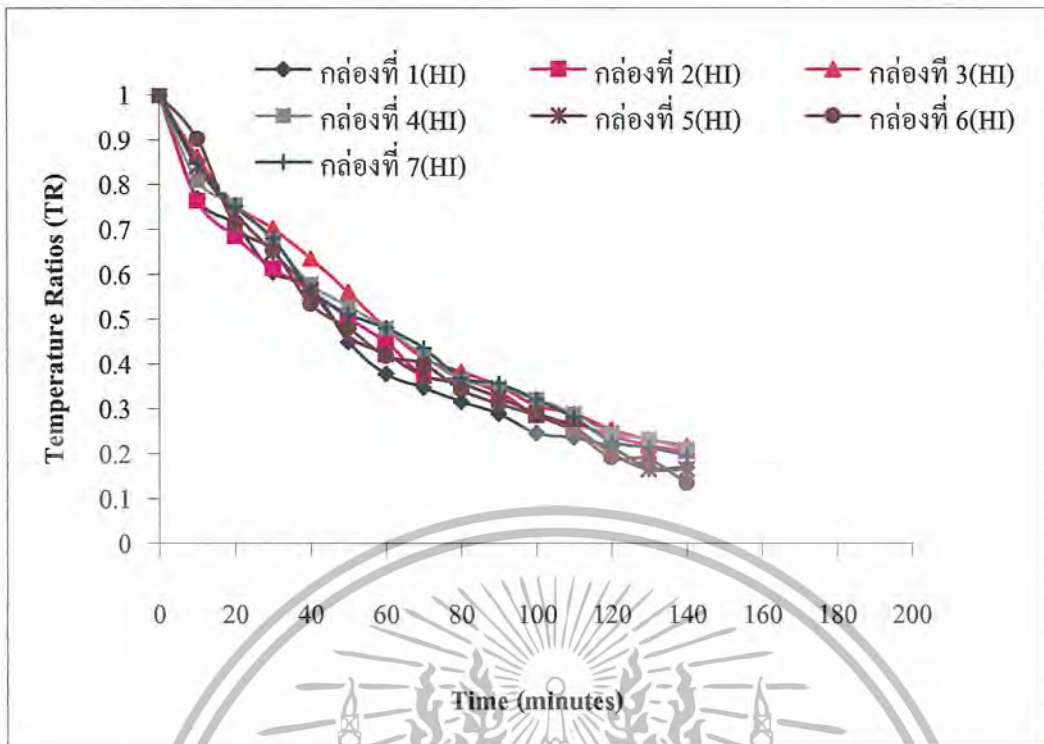
คำบรรยายภาพตั้งแต่กราฟที่ 6-1 ถึง 6-8

คือ กราฟเปรียบเทียบทั้ง 7 กล้อง โดยคิดทิศทางลมในแนวนอนและคิด Package ที่เจาะรูตั้งแต่ 3 รู, 4 รู, 7 รู, และ Standard ทั้งความเร็วลมที่ HI กับ LO จะพบว่า

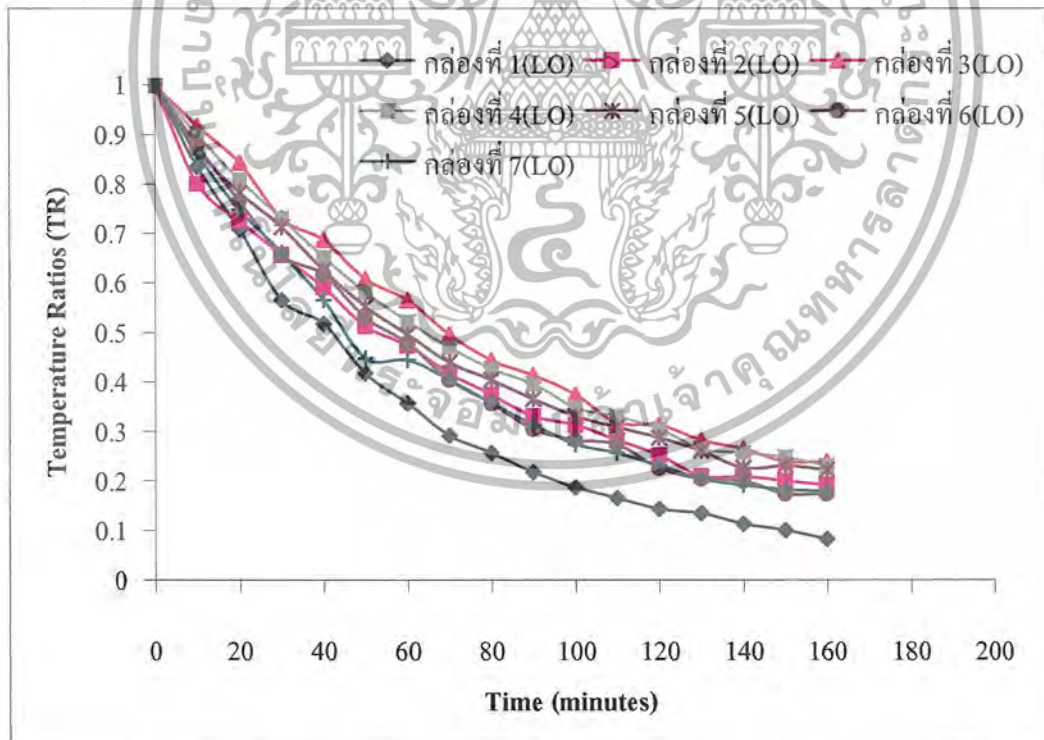
- ทิศทางลมในแนวนอนกล้องที่ 6 จะมีการลดอุณหภูมิได้เร็วกว่ากล้องอื่น ๆ ซึ่งอาจจะมีผลมาจากที่แผงกระจายลมจะมีการเป่าลมออกมาตรงกับกล้องที่ 6 มากที่สุด
- ที่ความเร็วลมสูงจะสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าที่ความเร็วลมต่ำ
- ถ้ารูยิ่งมากจะสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

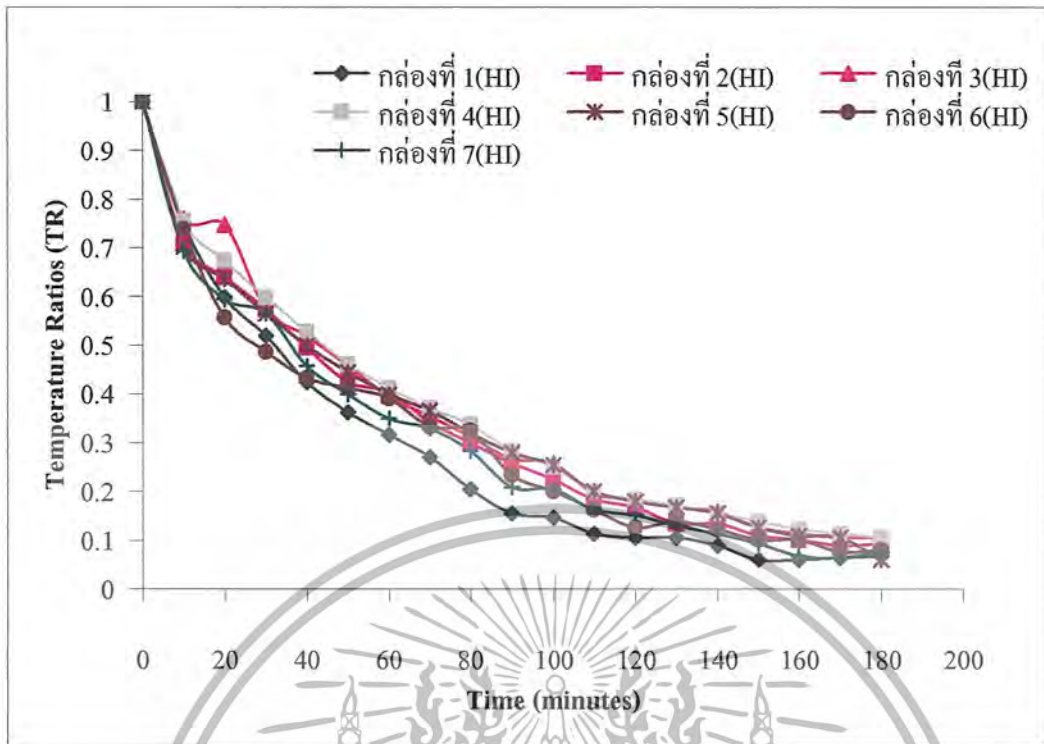


รูปที่ 6-9 กราฟทิศทางลมแนวตั้ง เจาะรู 4 รู ($HI=2.65$ m/s)

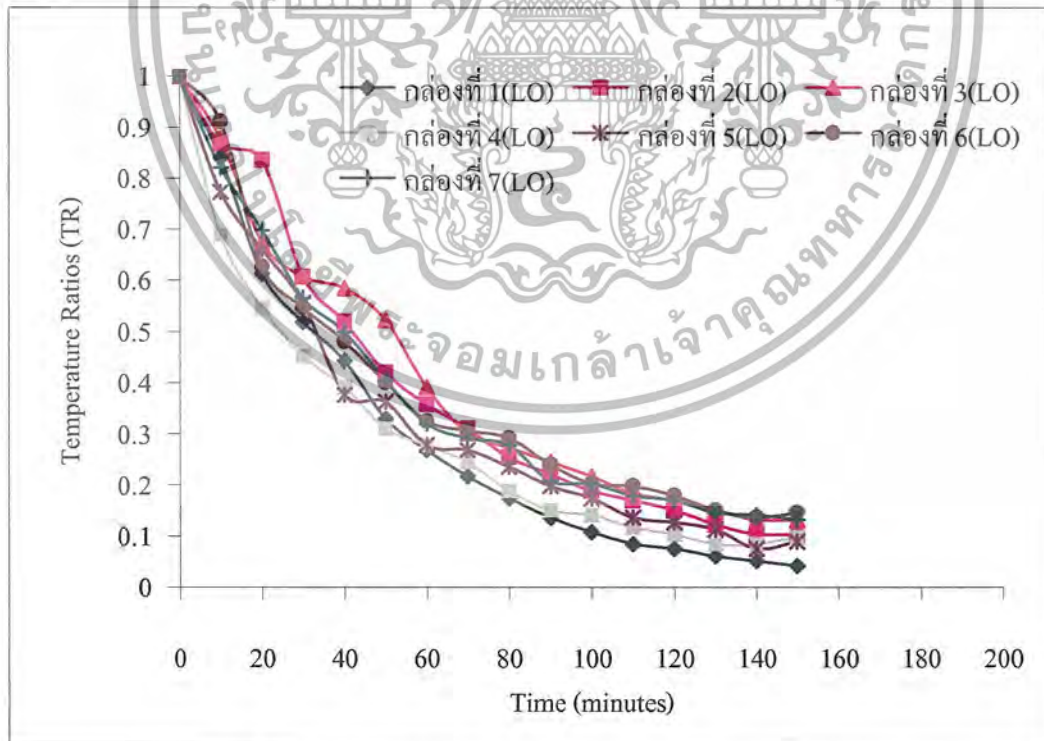


รูปที่ 6-10 กราฟทิศทางลมแนวตั้ง เจาะรู 4 รู ($LO=1.866$ m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-11 กราฟทิศทางลมแนวตั้ง เจาะรู 5 รู (HI=2.65 m/s)



รูปที่ 6-12 กราฟทิศทางลมแนวตั้ง เจาะรู 5 รู (LO=1.866m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายกราฟตั้งแต่กราฟที่ 6-9 ถึง 6-12

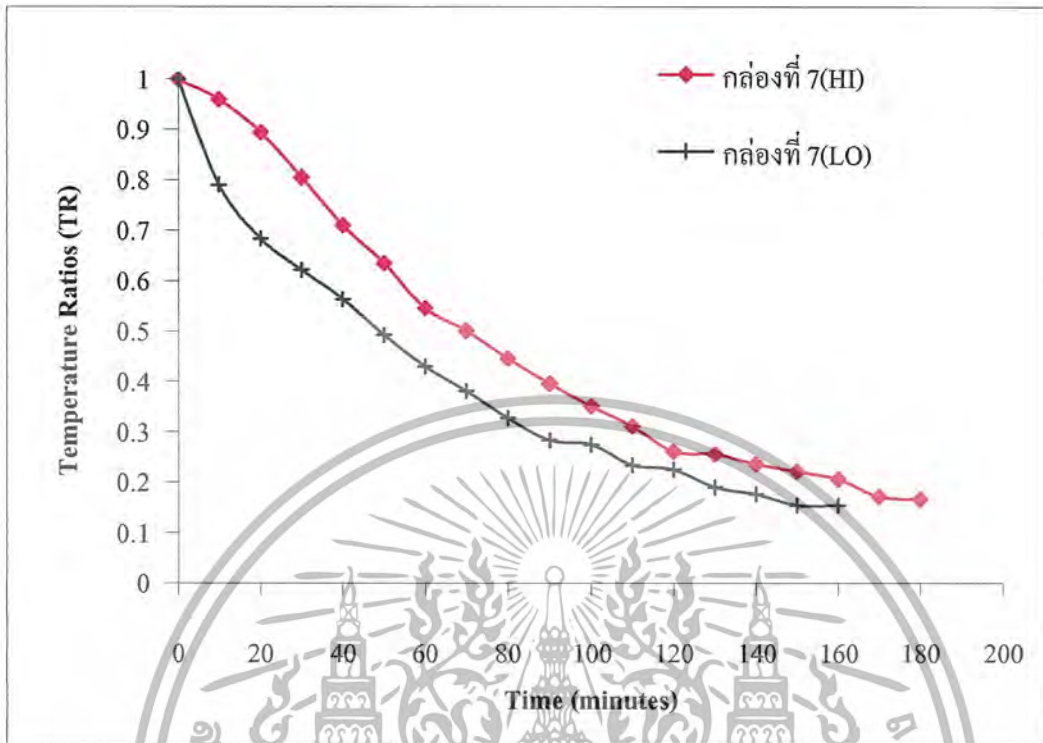
คือ กราฟเปรียบเทียบทั้ง 7 กล่อง โดยคิดทิศทางลมในแนวตั้งและคิด Package ที่เจาะรูตั้งแต่ 4 รู, 5 รู, ทั้งความเร็วลมที่ HI กับ LO จะพบว่า

- ทิศทางลมในแนวตั้งกล่องที่ 1 จะมีการลดอุณหภูมิได้เร็วกว่ากล่องอื่น ๆ เนื่องจากการเรียงเป็นชั้นซ้อนกันลงไปจนถึงกล่องที่ 7 ซึ่งกล่องที่ 1 จะอยู่ชั้นบนสุดสามารถรับลมได้ดีกว่ากล่องอื่น ๆ
- ที่ความเร็วลมสูงจะสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าที่ความเร็วลมต่ำ
- ถ้ารูยิ่งมากจะสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าด้วย

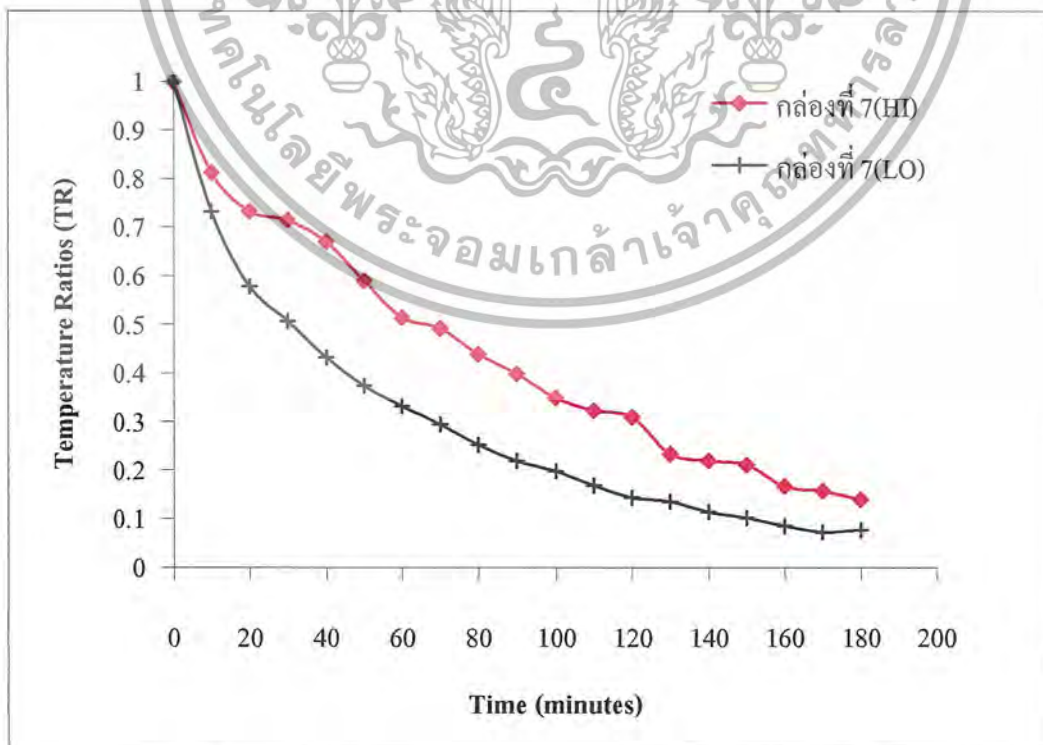


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางลมในแนวนอน HI=2.02 m/s กับ LO=1.7m/s

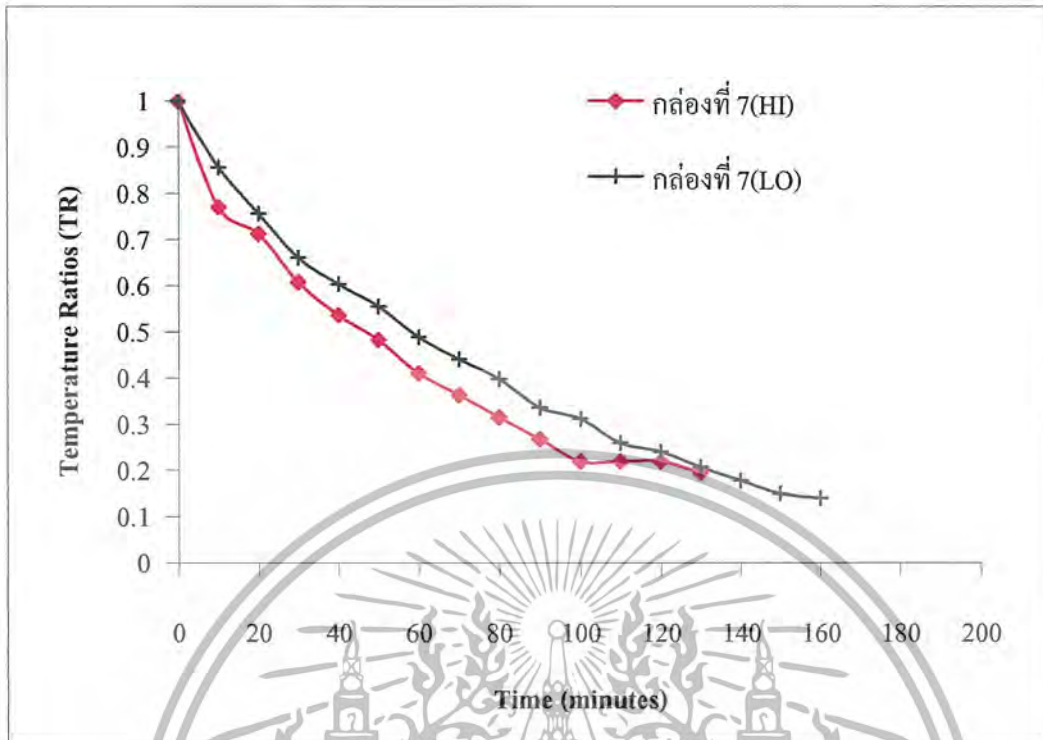


รูปที่ 6-13 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง HI-LO ก่อสร้างอาคารแนวอน 3 ชั้น

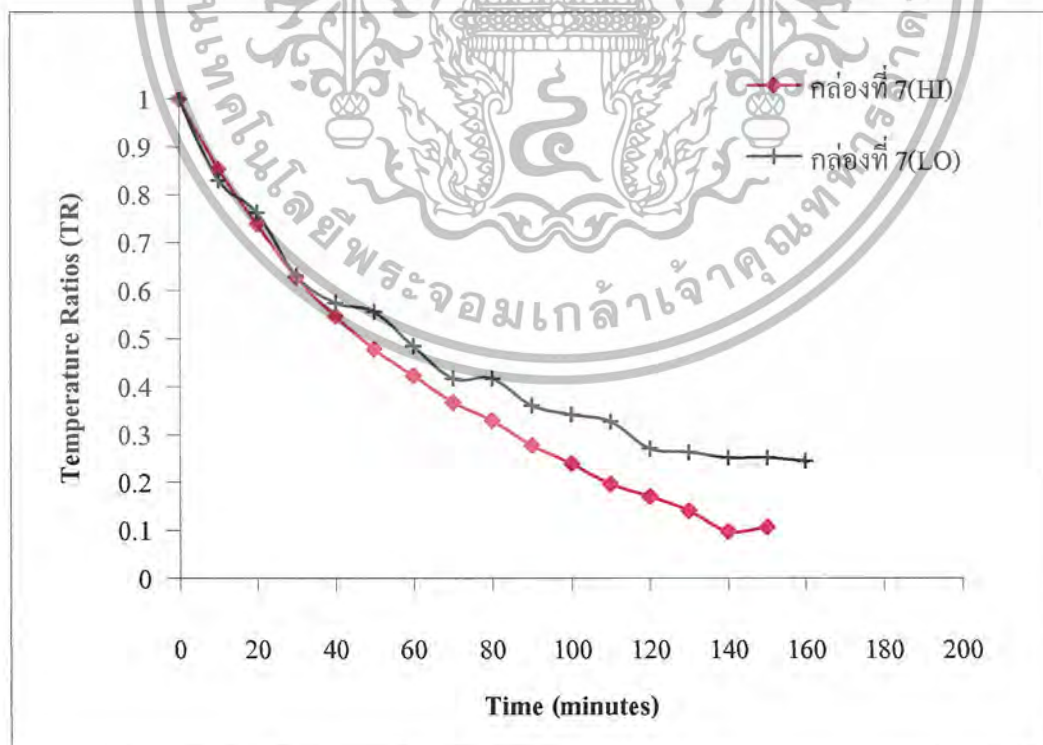


รูปที่ 6-14 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง HI-LO ก่อสร้างอาคารแนวอน 4 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น มิใช่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-15 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง HI-LO กล้องเจาะรูแนวนอน 7 รู



รูปที่ 6-16 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง HI-LO กล้อง standard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายภาพตั้งแต่กราฟที่ 6-13 ถึง 6-16

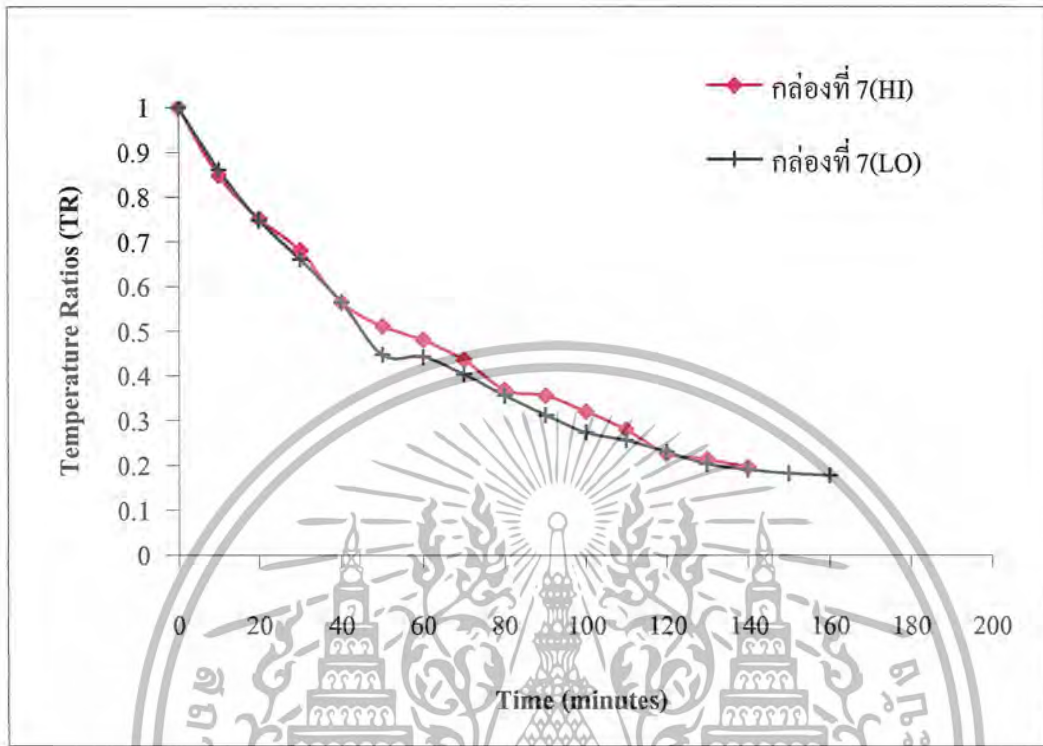
คือ กราฟเปรียบเทียบที่ความเร็วลม HI กับ LO นำกล่องที่ 7 มาเปรียบเทียบ โดยคิดทิศทางลมในแนวนอนและคิด Package ที่เจาะรูตั้งแต่ 3 รู, 4 รู, 7 รู, และ Standard จะพบว่า

- เจาะ 3 รู และ 4 รู ที่ความเร็วลมต่ำจะลดอุณหภูมิได้มากกว่าอาจจะเป็นผลมาจากถ้ำรูยั้งน้อยและการเป่าลมต่ำจะทำให้อากาศไม่สามารถถ่ายเทได้สะดวกทำให้ผลิตผลสามารถเก็บความเย็นได้ดี
- เจาะ 7 รู และ Standard ที่ความเร็วลมสูงและรูมากจะลดอุณหภูมิได้ดีกว่าที่ความเร็วลมต่ำรูน้อยตามหลักความเป็นจริง เพราะความเร็วลมที่สูงจะสามารถพาเอาความร้อนออกไปได้มากทำให้ผลิตผลเกิดการลดอุณหภูมิได้เร็วขึ้น

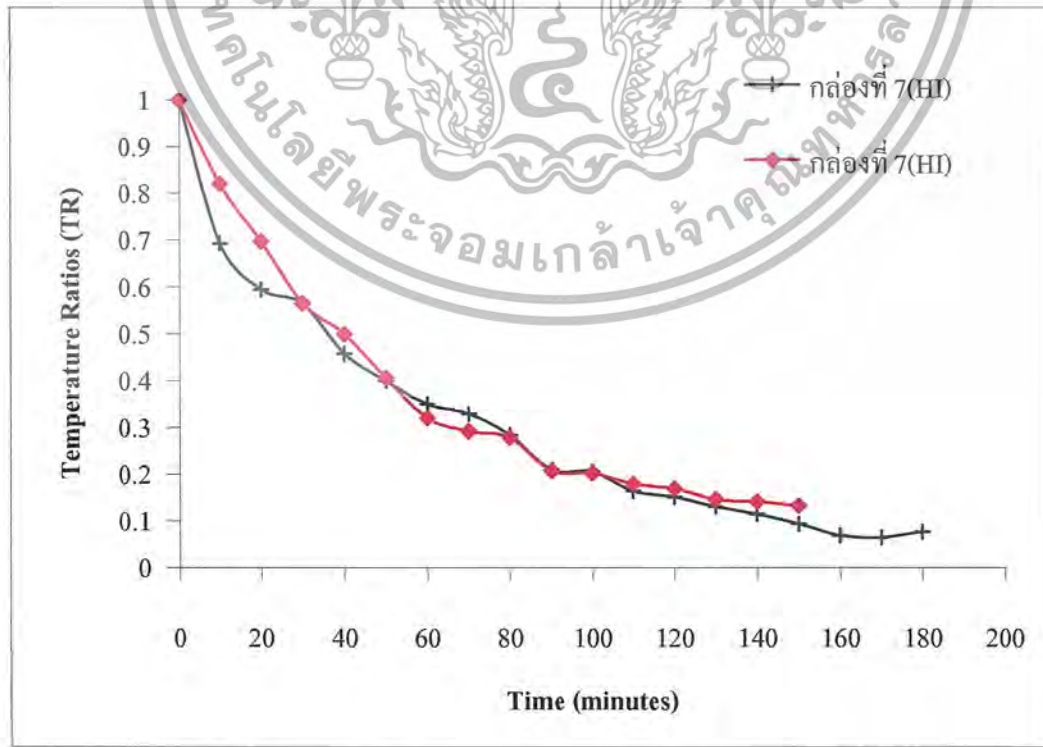


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางลมในแนวตั้ง HI= 2.65 m/s กับ LO=1.866 m/s



รูปที่ 6-17 กราฟเปรียบเทียบระหว่างHI-LOกล่องแนวตั้งแถว 4 ร



รูปที่ 6-18 กราฟเปรียบเทียบระหว่างHI-LOกล่องแนวตั้งแถว 5 ร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ผู้อื่นผู้ใดที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

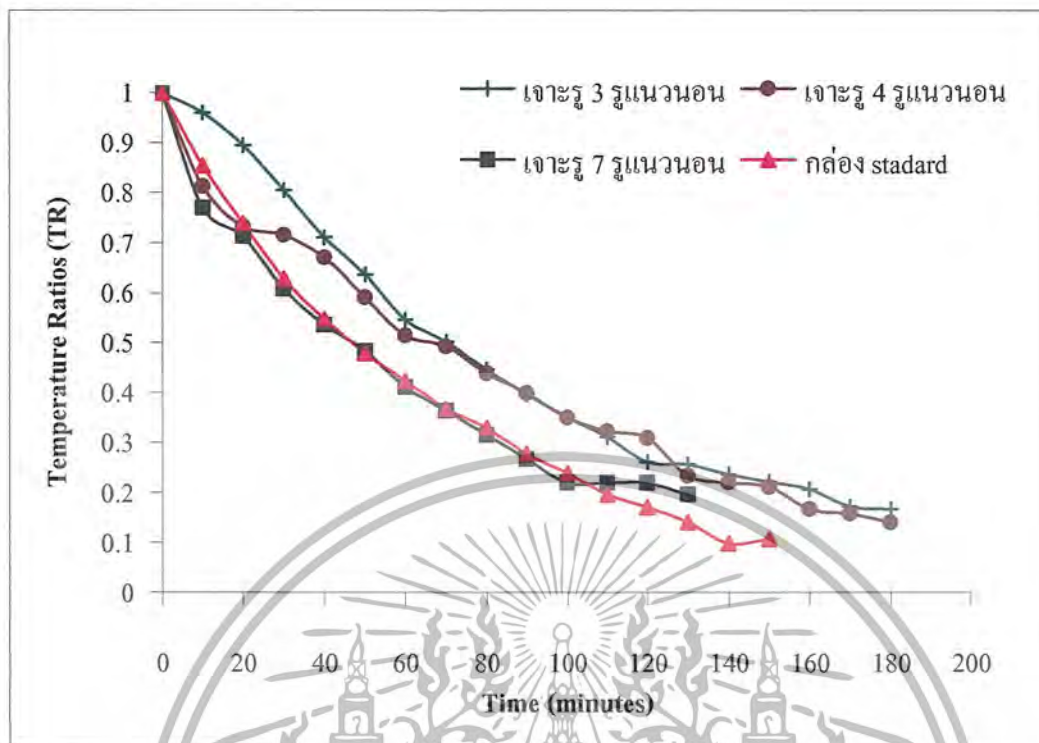
คำบรรยายกราฟตั้งแต่กราฟที่ 6-17 ถึง 6-18

คือ กราฟเปรียบเทียบที่ความเร็วลม HI กับ LO นำกล่องที่ 7 มาเปรียบเทียบ โดยคิดทิศทางลมในแนวตั้งและคิด Package ที่เจาะรู 4 รูและ 5 รู จะพบว่า

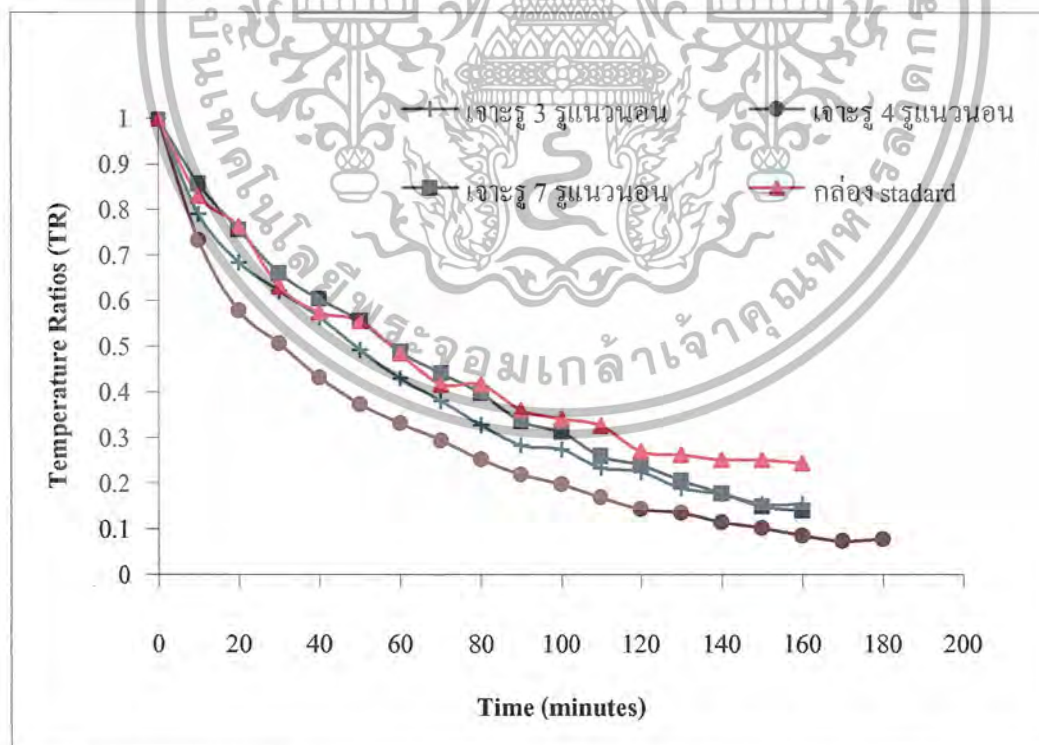
- ทั้งความเร็วลม HI และ LO จะมีการลดอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกันอาจจะเป็นผลมาจากการทดลองในแนวตั้งและนำกล่องที่ 7 มาเปรียบเทียบ ซึ่งเป็นกล่องที่อยู่ชั้นล่างสุด เพราะความเร็วลมทั้งสูงและต่ำเมื่อเป่าลงในแนวตั้ง ซึ่งกว่าจะเป่าตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึง ชั้นที่ 7 จะทำให้ความเร็วลมลดลงไปและได้มีการออกแบบให้มีช่องระบายอากาศออกสู่ภายนอกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

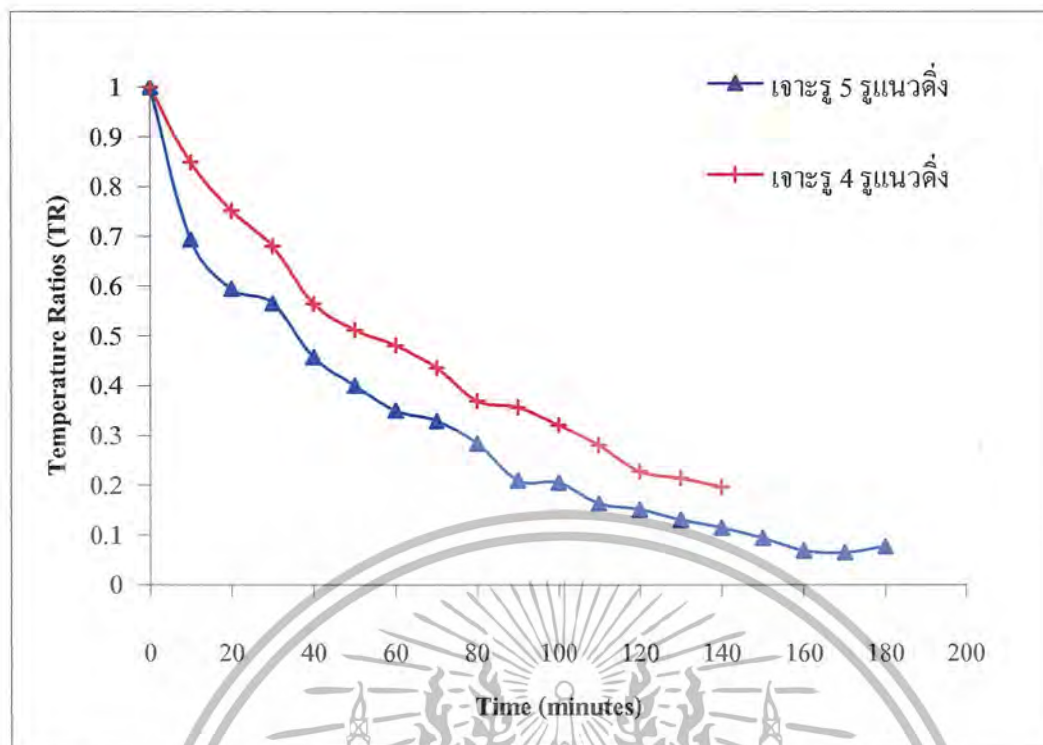


รูปที่ 6-19 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง Package ในทิศทางลมแนวอนที่ความเร็วลม(HI=2.02 m/s)

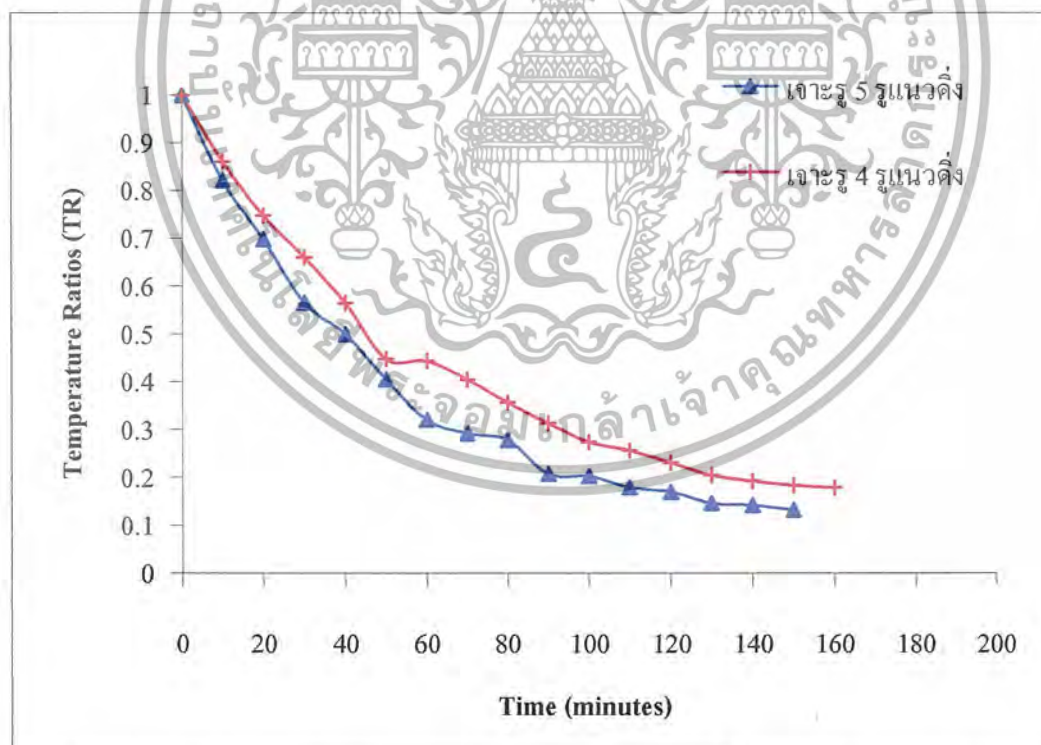


รูปที่ 6-20 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง Package ในทิศทางลมแนวอนที่ความเร็วลม (LO=1.7m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-21 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง Package ในทิศทางลมแนวตั้งที่ความเร็วลม ($HI=2.65m/s$)



รูปที่ 6-22 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง Package ในทิศทางลมแนวตั้งที่ความเร็วลม ($LO=1.866m/s$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายภาพตั้งแต่กราฟที่ 6-19 ถึง 6-22

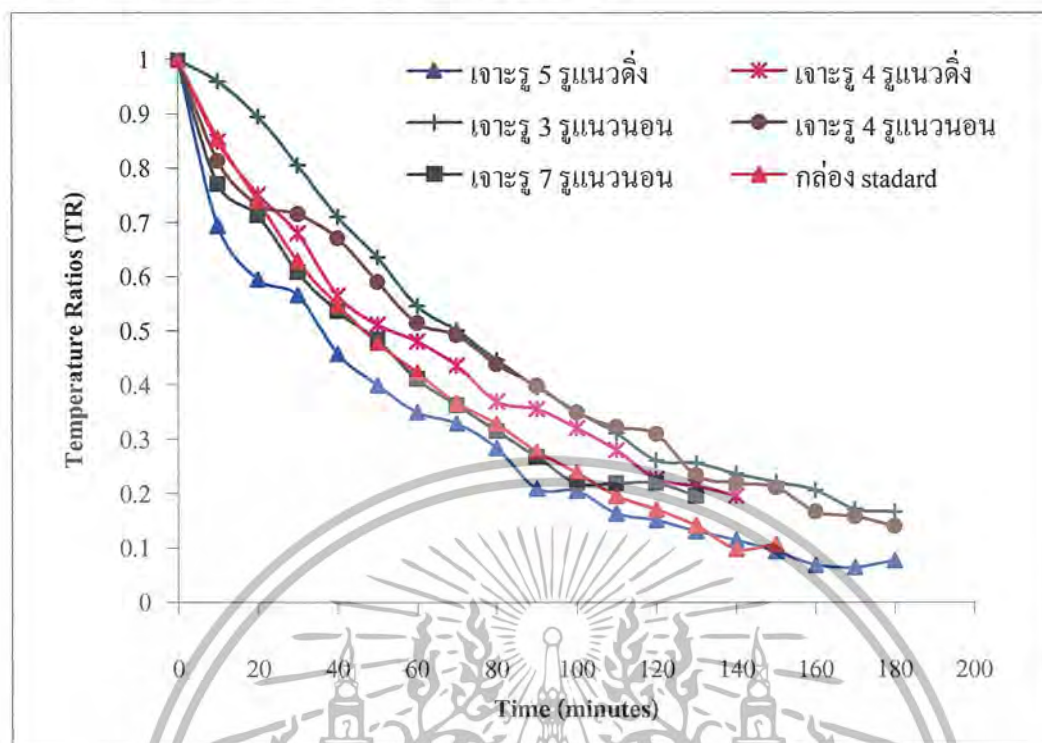
คือ กราฟเปรียบเทียบ Package ทั้งหมดในทิศทางลมแนวนอน และในทิศทางลมแนวตั้ง ทั้ง HI และ LO จะพบว่า

Package ที่มีการเจาะรูมาก ๆ จะสามารถรับลมได้มากกว่าและสามารถลดอุณหภูมิได้เร็วกว่าโดยดูจากในแนวนอน ซึ่ง ได้แก่ Standard, 7 รู, 4 รู และ 3 รู ตามลำดับ ในแนวตั้งซึ่งได้แก่ 5 รู และ 4 รู ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ลมในแนวตั้ง = 2.65 m/s และลมในแนวนอน = 2.02 m/s



รูปที่ 6-23 กราฟเปรียบเทียบระหว่างทิศทางลมในแนวตั้งและแนวนอนที่ความเร็วลม HI

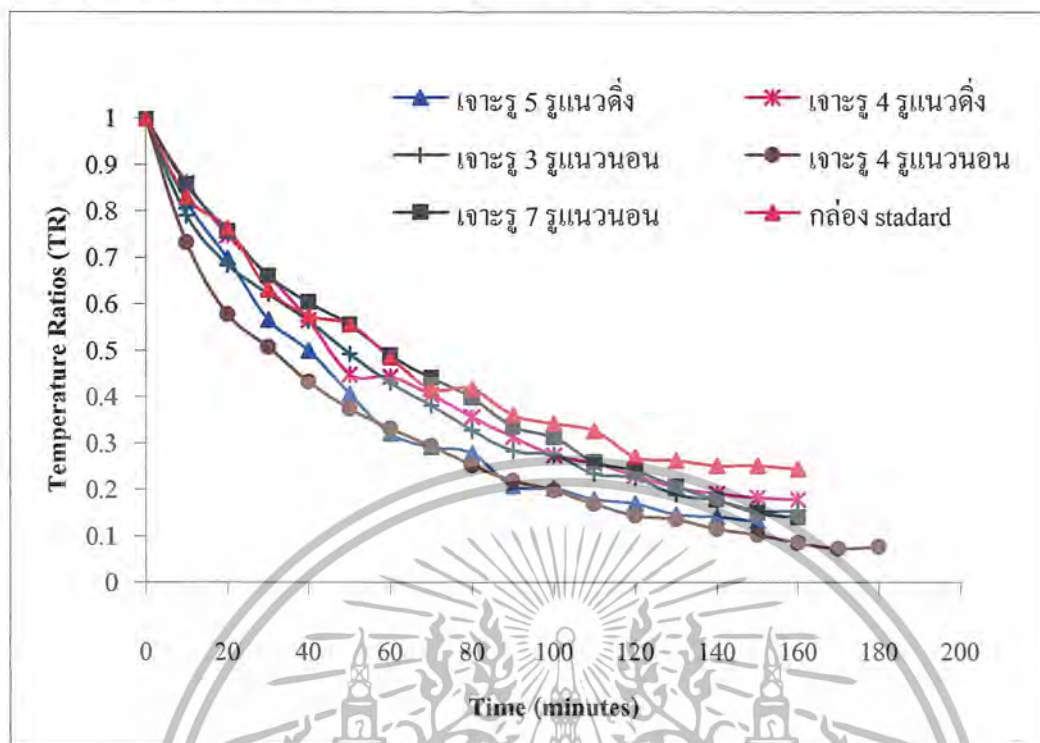
คำบรรยายภาพ 6-23

คือ กราฟเปรียบเทียบระหว่างทิศทางลมในแนวตั้งและแนวนอนที่ความเร็วลม HI จะพบว่า

- ที่ความเร็วลมต่างกันการเจาะรู 5 รู ในแนวตั้งจะมีการลดอุณหภูมิได้มากกว่า แต่โดยรวมแล้วจากการทดลองทุกกล่องที่ความเร็วลม HI ทิศทางลมในแนวตั้งจะมีการลดอุณหภูมิได้ดีกว่าเพราะสูญเสียความดันลดลงได้น้อยกว่าและอุณหภูมิของทุกกล่องจะลดได้สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ลมในแนวตั้ง = 1.866 m/s และลมในแนวนอน = 1.7 m/s



รูปที่ 6-24 กราฟเปรียบเทียบระหว่างทิศทางลมในแนวตั้งและแนวนอนที่ความเร็วลม LO

คำบรรยายภาพ 6-24

คือ กราฟเปรียบเทียบระหว่างทิศทางลมในแนวตั้งและแนวนอนที่ความเร็วลม LO

- ที่ความเร็วลมต่างกันการเจาะรู 5 รู ในแนวตั้งจะมีการลดอุณหภูมิได้มากกว่า แต่โดยรวมแล้วจากการทดลองทุกกล่องที่ความเร็วลม LO ทิศทางลมในแนวตั้งจะมีการลดอุณหภูมิได้ดีกว่าเพราะสูญเสียความดันลดลงได้น้อยกว่าและอุณหภูมิของทุกกล่องจะลดได้สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ได้ โดย Package คิดเป็นบริเวณที่เจาะรู คือ 14 % ของพื้นที่ด้านนั้น ๆ พบว่า Package ที่เจาะรู 7 รู ได้มีการลดอุณหภูมิได้เร็วที่สุดและใน Package ที่เป็นแบบ Standard มีการลดอุณหภูมิได้รองลงมาและ 5 รู 4 รู ตามลำดับ สังเกตได้ว่าถ้ายังมีรูมาก ๆ จะทำให้สามารถลดอุณหภูมิได้เร็วที่สุด เพราะยังมีพื้นที่มากจะสามารถรับลมได้มากที่สุด และจากการเปรียบเทียบที่ระหว่างความเร็วสูงและความเร็วต่ำ จะพบว่ายังมีความเร็วลมสูง ๆ จะทำให้สามารถลดอุณหภูมิได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

7.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองครั้งนี้มีข้อที่ต้องการเสนอแนะแก่ผู้อ่านที่ต้องการทำการปรับปรุงจากผู้ทำการทดลองคือ

1. ต้องทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานอยู่ตลอดเวลาเพราะจะทำให้อุณหภูมิภายใน Cooling box คงที่อยู่ตลอดเวลา (To) เพื่อลดค่าความผิดพลาดลง
2. Blower ที่มีการเป่าลมในทิศทางที่ตรงกับผลิตภัณฑ์ คือ ในทิศทางแนวตั้งเพื่อที่จะทำให้ความเร็วลมมีความเร็วที่เท่ากันและสามารถนำค่ามาเปรียบเทียบได้
3. ลดจำนวนของช่องของท่อเพื่อลดความดันตกคร่อมเพื่อให้ความเร็วลมมีความเร็วลมคงที่
4. มุมของแผงกระจายลมต้องทำให้มาตรฐานคือ 90 องศาให้เท่ากันเพื่อให้กระจายลมได้สม่ำเสมอ



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

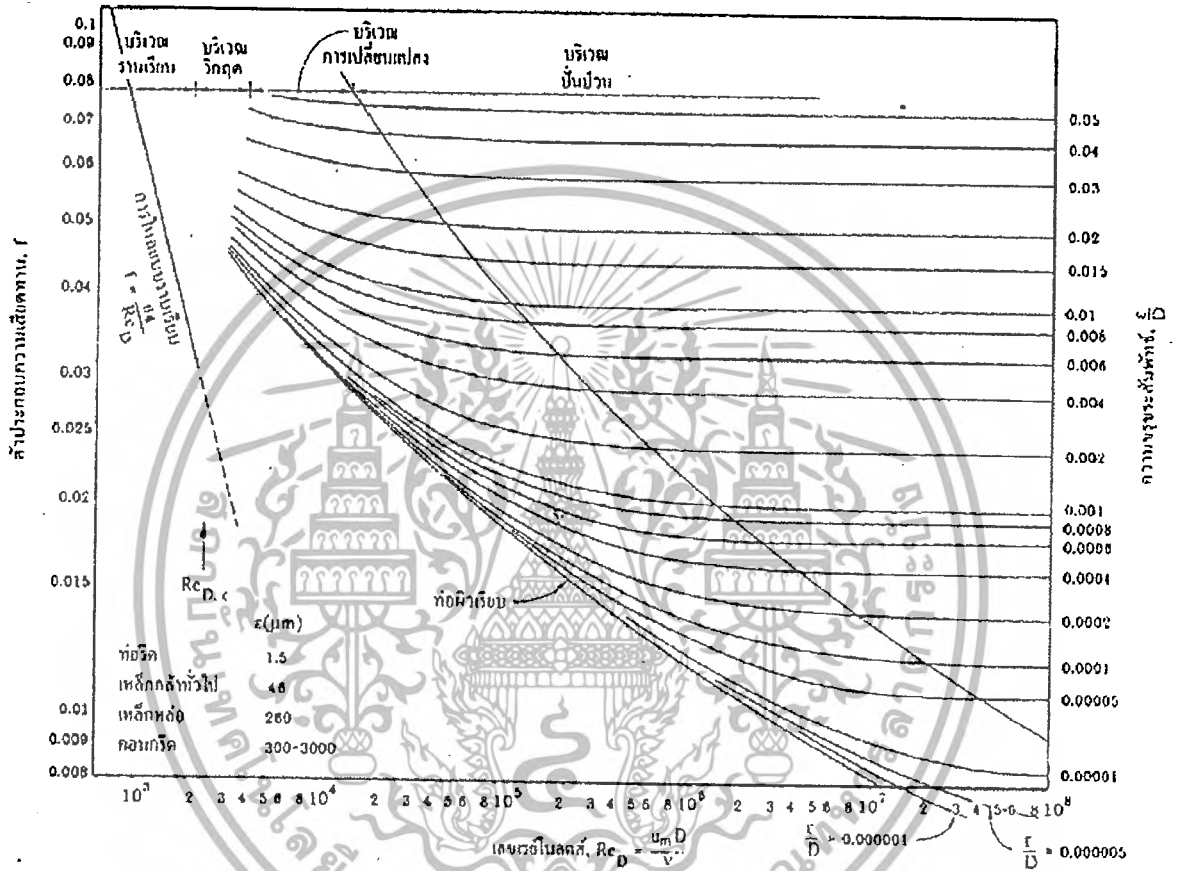
คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Q	ปริมาณความร้อนที่คายออกจากผลิตภัณฑ์	KW
m	มวลของผลิตภัณฑ์	kg
cp	ความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์	$Kj / Kg^{\circ}k$
ΔT	อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไป	$^{\circ}K$
Δt	เวลาที่ใช้ในการรักษาความเย็น	sec
V	ความเร็ว	m/s
A	พื้นที่	m^2
h_{loss}	เสดสูญเสียในระบบท่อ	m
ε	ความขรุขระสมมูล	m
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
Re	อัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงหนืดเนื่องจากความหนืด	-
μ	ความหนืดสัมบูรณ์	$N \cdot s/m^2$
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
ν	ความหนืดจลน์	m^2/s
f	ตัวประกอบความเสียดทาน	-
L	ความยาว	m
\dot{V}	อัตราการไหล	m^3/s
ΔP	ความดันลดลง	m
g	แรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
Z	ความสูง	m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

รูปที่ ข. 1 แผนภูมิโมดูลีใช้หาตัวประกอบความเสียดทานสำหรับการไหลเต็มท่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงสมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ (หน่วยเอสไอ)

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น, ^a ρ (kg/m ³)	น้ำหนัก จำเพาะ, ^b γ (N/m ³)	ความหนืด พลวัต, μ (N·s/m ²)	ความหนืด จลน, ν (m ² /s)	อัตราส่วน ความจุความร้อน ที่ความดันคงที่, k	อัตราค่า เสียง, c (m/s)
-40	1.514	14.85	1.57×10^{-5}	1.04×10^{-5}	1.401	306.2
-20	1.395	13.68	1.63	1.17	1.401	319.1
0	1.292	12.67	1.71	1.32	1.401	331.4
5	1.269	12.45	1.73	1.36	1.401	334.4
10	1.247	12.23	1.76	1.41	1.401	337.4
15	1.225	12.01	1.80	1.47	1.401	340.4
20	1.204	11.81	1.82	1.51	1.401	343.3
25	1.184	11.61	1.85	1.56	1.401	346.3
30	1.165	11.43	1.86	1.60	1.401	349.1
40	1.127	11.05	1.87	1.66	1.401	354.7
50	1.105	10.88	1.95	1.70	1.401	360.3
60	1.080	10.60	1.97	1.86	1.399	365.7
70	1.029	10.09	2.03	1.97	1.399	371.2
80	0.9996	9.803	2.07	2.07	1.399	376.6
90	0.9721	9.523	2.14	2.20	1.398	381.7
100	0.9461	9.278	2.17	2.29	1.397	386.5
200	0.7461	7.317	2.53	3.39	1.390	434.5
300	0.6159	6.040	2.98	4.84	1.379	476.2
400	0.5243	5.147	3.37	6.34	1.368	514.1
500	0.4565	4.477	3.64	7.97	1.357	548.6
1000	0.2773	2.719	5.04	18.2	1.324	694.8

^a แหล่งข้อมูลจาก F.D. Brown, Applied Fluid Dynamics Handbook, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, 1984

^b ความหนาแน่นและน้ำหนักจำเพาะมีความสัมพันธ์ในรูปของ $\gamma = \rho g$ ในการคำนวณค่าของ γ - ให้ใช้ $g = 9.807$ m/s²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข. 3 แสดงความขรุขระสมมูลของผิวท่อใหม่ที่ทำจากวัสดุต่าง ๆ

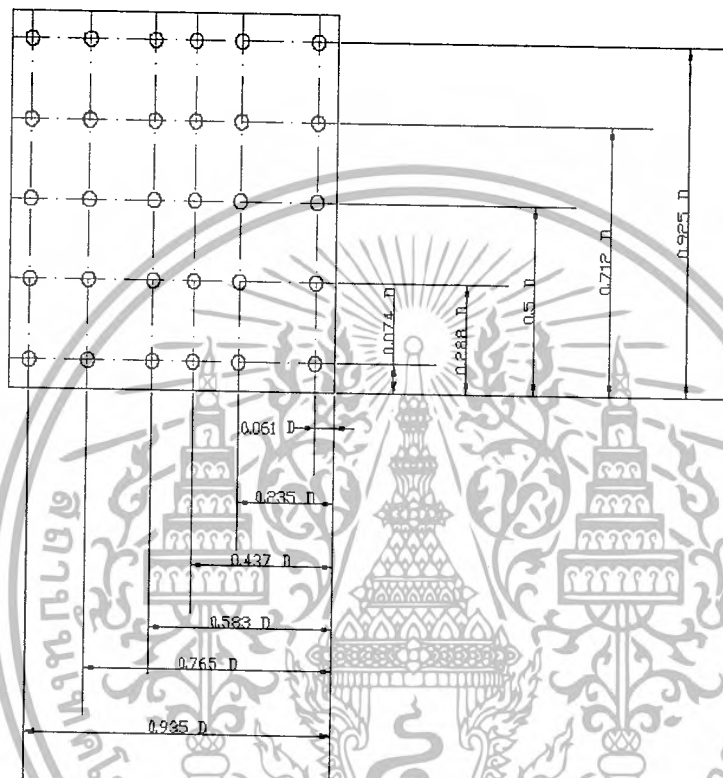
ชนิดวัสดุที่ใช้ทำท่อ	ความขรุขระสมมูล e (mm)
เหล็กกล้าเชื่อมหมุดย้ำ (riveted steel)	0.9 - 9.0
คอนกรีต	0.3 - 3.0
ท่อไม้ (wood stave)	0.18 - 0.9
เหล็กหล่อ (cast iron)	0.25
ผิวท่อเคลือบสังกะสี	0.15
เหล็กกล้าตีไป (เหล็กเหนียว, wrought iron)	0.046
ท่อรีด (drawn tubing)	0.015
พลาสติก, แก้ว	0.0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

รูปที่ ค.1 แสดงการใช้ HOTWIRES ANEMOMETERS



No. of Points for Traverse Lines	Position Relative to Inner Wall
5	0.074, 0.288, 0.5, 0.712, 0.925
6	0.061, 0.235, 0.437, 0.583, 0.765, 0.935

ตารางที่ ค.1 แสดงการวัดค่าจาก HOTWIRES ANEMOMETERS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
กล่องที่ 1	26.6	25	24.8	22	20.3	18.8	16.7	15.4	14.9	13.5	13.1	12	11.4	10.7	10.3	9.7	9.4	9.2	9
กล่องที่ 2	26.6	24.8	23.2	20.5	19.3	17.7	15.6	14.8	14	13.1	12	11.6	10.6	10.5	10.3	9.5	9.5	8.8	8.6
กล่องที่ 3	26.6	24	22.3	20.1	18	16.7	14.4	13.7	13	11	10.9	10.8	10.2	9.3	9.3	8.8	8.5	8	8
กล่องที่ 4	26.6	25	22.1	19.5	17.4	15.9	14	12.9	12.2	11.2	10	9.7	9.5	8.9	8.6	8.5	7.9	7.5	7.5
กล่องที่ 5	26.6	24.8	21.8	18.8	16.7	15.2	13.2	12	11.4	10.7	10.1	9.5	9	8.3	8.3	8.3	8.1	7.8	7.7
กล่องที่ 6	26.6	25.2	22	20	19	18.3	18.1	14.8	13.5	13.2	12.8	12.6	12.5	11.5	9.5	9.3	9.3	8.8	8.5
กล่องที่ 7	26.6	25.8	24.5	22.7	20.8	19.3	17.5	16.6	15.5	14.5	13.6	12.8	11.8	11.7	11.3	11	10.7	10	9.9
อุณหภูมิใน cooling box	5.9	5.9	5	6	6.7	5.9	6.9	6.4	5.9	8.9	9.3	5.5	5.5	6.4	6.1	7	7	7.1	7.2

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 3 รูในแนวนอน (HI) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย ($T_o = 6.557895$)

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
กล่องที่ 1	27.6	24.5	21.5	18.9	17.3	15.5	14.3	13.2	12.3	11	10.7	10.2	9.2	9	8.4	7.4	7.6
กล่องที่ 2	27.6	23.1	20.1	17.9	16.4	15	13.7	12.8	11.6	11	10	10	9.5	8.9	8.6	8	8
กล่องที่ 3	27.6	20.9	17.3	14.8	12.6	11.3	10.2	9.4	8.7	8	7.6	7.3	7	6.9	6.6	6	6.3
กล่องที่ 4	27.6	24.3	20.8	18.3	16.5	14.7	13.3	12	10.8	10	9.2	8.7	8.1	7.8	7.6	6.9	6.8
กล่องที่ 5	27.6	20.5	17.4	14.8	13.2	11.6	10.6	9.7	8.7	8	7.6	7.3	7.1	6.9	6.6	6.3	6.4
กล่องที่ 6	27.6	23.2	19.5	16.6	15	12.3	11	10	10	8.8	8.7	8	7	6.5	6.6	6.4	6.5
กล่องที่ 7	27.6	22.9	20.5	19.1	17.8	16.2	14.8	13.7	12.5	11.5	11.3	10.4	10.2	9.4	9.1	8.6	8.6
อุณหภูมิใน cooling box	4	4	6.5	4.1	4.9	5.2	4.6	4.3	6	5.1	5.2	5.8	6.1	4.8	6.2	5.1	5.2

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 3 รูในแนวนอน(LO) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย ($T_o = 5.123529$)

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
กล่องที่ 1	28.2	21.8	19.8	19.2	17.5	15.6	14.2	13.8	13.4	13	12.8	11.1	10.5	10.2	9.8	9.5	9.3	9.2	9
กล่องที่ 2	28.2	23	21.5	20.5	19.6	18.9	17.4	16.5	15.7	14.8	13.2	12.8	11.6	11.3	10.3	9.7	9.1	8.8	8.7
กล่องที่ 3	28.2	23.3	21.2	19.9	18.8	17.7	16.3	15.6	14.4	13.3	12.5	11.6	10.9	10	9.2	8.8	8.1	8	7.8
กล่องที่ 4	28.2	24.1	22.5	21.4	19.8	18.7	17.5	16.3	15.4	14.6	13.5	12.8	11.8	11.2	10.2	9.7	8.7	8.6	8.4
กล่องที่ 5	28.2	22.8	21.5	20.1	19	17.7	16.3	15.6	14.4	13.7	12.8	11.9	11	10.2	9.6	8.8	8.3	8.2	7.9
กล่องที่ 6	28.2	23.4	20.8	19.6	18.1	17.1	15.3	14.4	13.5	12	11.4	10.6	9.8	9	8.4	7.6	7.5	7.4	7.3
กล่องที่ 7	28.2	24	22.2	21.8	20.8	19	17.3	16.8	15.6	14.7	13.6	13	12.7	11	10.7	10.5	9.5	9.3	8.9
อุณหภูมิใน cooling box	5	5.2	5.5	5.3	5.5	5.4	6.2	5.8	5.6	5.9	6	7.2	6	5.8	5.9	6.2	5.5	5.8	5.5

ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 4 รูในแนวนอน(HI) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย ($T_o = 5.752631$)

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
กล่องที่ 1	28.9	21.2	20.4	16.2	14.6	14.1	13	12.3	11.4	10.7	10.1	9.4	9.1	8.5	8.1	8.1	7.6	7.4	7.3
กล่องที่ 2	28.9	21.4	20	16.8	15.5	14.2	13	12.4	11.3	10.7	9.8	9.3	8.9	8.7	8.4	7.8	7.4	7.2	7.2
กล่องที่ 3	28.9	21.2	18.9	15.4	13.8	12.6	11.3	10.6	9.8	8.9	8.2	7.8	7.5	7.1	6.8	6.7	6.4	6.2	6.3
กล่องที่ 4	28.9	21.8	20	16.4	15	13.8	12.9	11.7	10.6	10	9.4	8.4	8.1	7.8	7.6	7.2	7	6.6	6.5
กล่องที่ 5	28.9	22.4	19	16.6	14.7	13.5	12.6	11.6	10.4	9.7	9	8.5	8	7.6	7.3	7	6.8	6.5	6.6
กล่องที่ 6	28.9	21.7	17.4	15.4	12.9	12	11.8	10.2	9.8	8.3	8	7.8	7	7.1	6.5	6.5	6.3	5.8	5.8
กล่องที่ 7	28.9	22.5	18.8	17.1	15.3	13.9	12.9	12	11	10.2	9.7	9	8.4	8.2	7.7	7.4	7	6.7	6.8
อุณหภูมิใน cooling box	5.2	3.9	5	3.7	5.1	5	5	6.7	5.4	3.8	6.5	4.8	5.3	3.9	5.4	4.7	5.1	4.1	5.5

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 4 รูในแนวนอน(LO) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย (To 4.947368)

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
กล่องที่ 1	27.3	23.1	22.8	21.5	19.9	18.7	16.5	13	11.8	11	10.6	10.1	9.5	9.3
กล่องที่ 2	27.3	25.1	23.1	20.8	18.7	16.8	15.4	14.1	13	12.1	11.6	11.1	10.2	9.7
กล่องที่ 3	27.3	23.7	20.4	17.2	15.2	13.5	12.1	10.6	9.6	9.6	9.4	8.9	8.1	8.2
กล่องที่ 4	27.3	24.6	22.2	19.4	17.1	15.4	14	12.1	11.7	10.9	10.3	10	9.2	9.4
กล่องที่ 5	27.3	23	20	16.7	14.4	12.5	11.1	10.2	8.9	8.8	8.6	8.2	7.9	7.9
กล่องที่ 6	27.3	24.3	21.5	17.8	15	12.9	11.2	9.7	9	8.7	8.4	8.2	7.9	7.8
กล่องที่ 7	27.3	22.5	21.3	19.1	17.6	16.5	15	14	13	12	11	11	11	10.5
อุณหภูมิใน cooling box	5.5	7.2	5.7	4.7	5.2	5.2	6.3	6.5	6.8	6.6	6.2	7.7	8	8.1

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 7 รูในแนวนอน(HI) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย ($T_o = 6.407143$)

เวลา อุณหภูมิตั้ง	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
กล่องที่ 1	25.5	23.2	22.5	19.1	17.9	16.9	15.6	14.6	13.5	12.5	11.3	11.2	10.6	9.2	9	8.8	8.6
กล่องที่ 2	25.5	23.5	21.8	19.6	18.3	16.9	15.6	14.6	13.6	12.6	11.9	11.1	10.4	9.5	9.3	8.8	8.6
กล่องที่ 3	25.5	22.1	20.4	18.4	16.4	15	13.5	12.4	11.2	10.4	9.8	8.6	8.4	7.6	7.2	7.2	7
กล่องที่ 4	25.5	21.3	20	18.2	16.2	15	13.6	11.7	11.5	10.4	9.8	9.2	8.6	7.9	7.2	7.1	6.6
กล่องที่ 5	25.5	22.5	20	17.8	16.1	14.7	12.4	12.1	11.1	10.2	9.6	8.1	8.4	7.7	7.4	7	6.7
กล่องที่ 6	25.5	22.1	20.2	17.8	16.2	15	13.1	11.7	10.8	9.7	9	8.8	7.7	7.1	7	6.5	6.1
กล่องที่ 7	25.5	22.5	20.4	18.4	17.2	16.2	14.8	13.8	12.9	11.6	11.1	10	9.6	8.9	8.3	7.7	7.5
อุณหภูมิตั้งใน cooling box	8.1	3.6	4.8	3.5	3.4	3.4	5.4	3.9	4.3	3.6	4.6	5.1	3.9	5.5	5.7	4.8	4

ตารางที่ 6 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 7 รูในแนวนอน(LO) โดยอุณหภูมิตั้ง (To = 6.407143)

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
กล่องที่ 1	27.6	23.2	20	18.4	16.7	15.7	14.6	13.3	12.5	11.5	10.5	9.6	8.9	8.4	7.8	7.7
กล่องที่ 2	27.6	23.5	21	18.9	17.2	15.5	14.4	13.2	12.3	11.3	10.5	9.5	8.8	8	7.4	7
กล่องที่ 3	27.6	23.2	18.8	16.4	14.7	13.4	12	10.9	10.2	9.2	8.4	7.2	6.8	6.4	6.2	6.2
กล่องที่ 4	27.6	23.8	19.8	17.5	15.4	14	12.8	11.7	10.7	9.5	8.8	7.6	7.1	6.5	6.5	6
กล่องที่ 5	27.6	22	18.5	16.2	14.4	13	11.7	10.6	9.8	8.9	8.1	7	6.6	6.6	5.8	5.7
กล่องที่ 6	27.6	19	14.3	11.4	9.6	8.3	7.3	6.4	6.1	5.7	5.3	5.2	5.2	4.9	4.9	4.9
กล่องที่ 7	27.6	24.2	21.5	18.9	17	15.4	14.1	12.8	11.9	10.7	9.8	8.8	8.2	7.5	6.5	6.7
อุณหภูมิใน cooling box	5	4	3.6	3.4	2.7	2.9	3.5	2.9	4	5.1	5.8	3.1	4.5	6.1	5.8	4.8

ตารางที่ 7.7 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะStandardในแนวนอน (HI) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย ($T_o = 4.2$)

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
กล่องที่ 1	26.6	22.7	21	19.4	17.7	15.5	15.1	13.4	13.1	12.1	11	11	10.4	9.6	9.1	8.2	8.2
กล่องที่ 2	26.6	23	20.5	18.8	16.9	15.5	14.6	13.1	13.1	12.3	11.6	11.2	10.1	9.6	9.3	8.9	8.8
กล่องที่ 3	26.6	22.8	20.3	18.3	16.3	14.9	14	11.8	11.8	11	10	9.8	9.2	8.5	8.2	7.6	7.4
กล่องที่ 4	26.6	23.4	21.4	18.5	17.5	15.5	15.2	12.9	12.9	12.3	11.6	11	10.1	9.6	9.1	8.7	8.5
กล่องที่ 5	26.6	22.2	20.5	17.7	16	14.5	13	11	11	10	9.4	8.9	8.3	7.6	7.4	7	6.7
กล่องที่ 6	26.6	21.9	18.1	16.7	13.2	12.2	11.1	9.2	9.2	8.9	8.5	7.5	7	7	6.9	6.4	6.2
กล่องที่ 7	26.6	22.1	20.3	16.8	15.3	14.8	12.9	11.1	11.1	9.6	9.1	8.7	7.2	7	6.7	6.7	6.5
อุณหภูมิใน cooling box	5	4.1	4.4	3.4	3.3	3	3	4.9	4.9	5.6	5.7	3.4	2.8	3	3.1	4.2	6.3

ตารางที่ ง.8 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะStandardในเนวนอน (LO) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย (To =4.123)

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
กล่องที่ 1	28.5	23.3	22	19.6	18.9	16.1	14.5	13.8	13.1	12.5	11.5	11.3	10.8	9.8	9.8
กล่องที่ 2	28.5	23.2	21.4	19.8	18.7	17.3	16.1	14.4	14.2	13.6	12.4	12	11.4	10.9	10.6
กล่องที่ 3	28.5	25.4	23	21.8	20.3	18.6	16.8	15.3	14.6	13.9	12.9	12.5	11.7	11.2	10.9
กล่องที่ 4	28.5	24.2	23	21.2	19	17.9	16.8	15.4	14.2	13.8	13.2	12.5	11.5	11.2	10.7
กล่องที่ 5	28.5	24.9	22.6	20.6	18.7	16.4	15.5	14.4	14	13.3	12.5	11.8	10.5	9.7	9.7
กล่องที่ 6	28.5	26.3	22	20.7	18	16.8	15.4	15	13.7	13	12.4	11.6	10.3	10.2	9
กล่องที่ 7	28.5	25.1	22.9	21.3	18.7	17.5	16.8	15.8	14.3	14	13.2	12.3	11.1	10.8	10.4
อุณหภูมิใน cooling box	3	3.3	3.7	7.1	8.1	5.3	5.1	6.5	7	6.6	4.9	8.6	5.6	8	6.8

ตารางที่ ง.9 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 4 รูในแนวตั้ง(HI) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย ($T_o = 5.9733333$)

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
กล่องที่ 1	30.2	26.4	23.5	20.2	19.1	16.8	15.4	13.9	13.1	12.2	11.5	11	10.5	10.3	9.8	9.5	9.1
กล่องที่ 2	30.2	25.6	23.9	22.3	20.8	19	18.1	16.8	15.8	14.8	14.4	13.7	13	12	12	11.8	11.6
กล่องที่ 3	30.2	28.3	26.6	24	23	21.2	20.2	18.6	17.4	16.7	15.8	14.5	14.4	13.7	13.3	12.7	12.7
กล่องที่ 4	30.2	27.9	25.8	24	22.2	20.6	19.2	18	17	16.3	15.2	14.8	14.2	13.3	13.1	12.9	12.5
กล่องที่ 5	30.2	27.2	25.2	23.6	21.6	19.9	18.6	17.3	16.5	15.6	14.8	14.3	13.8	13.2	12.4	12.5	12.3
กล่องที่ 6	30.2	27.4	24.8	22.3	21.4	19.4	18.2	16.5	15.4	14.2	13.7	13.5	12.4	11.9	11.8	11.2	11.2
กล่องที่ 7	30.2	27	24.4	22.4	20.2	17.5	17.4	16.5	15.4	14.4	13.5	13.1	12.5	11.9	11.6	11.4	11.3
อุณหภูมิใน cooling box	6	6.9	4.8	7	3.8	6.1	6.4	8	8	7.7	7.1	6.2	5.4	10.9	9.3	9.2	9.4

ตารางที่ ง.10 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 4 รูในแนวตั้ง(LO) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย ($T_o = 7.188235$)

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
กล่องที่ 1	27.9	21.9	18.2	16.3	14	12.5	11.4	10.3	8.7	7.5	7.3	6.5	6.3	6.3	5.9	5.2	5.2	5.3	5.4
กล่องที่ 2	27.9	20.9	19.2	17.6	15.7	14	13.5	12	11	10	9.2	8.2	7.8	7	7	6.4	6.2	5.9	6
กล่องที่ 3	27.9	22.1	21.8	17.6	16.3	14.8	13.3	12.3	11.3	10.2	10	8.5	8.2	7.8	7.6	6.8	6.5	6.3	6.3
กล่องที่ 4	27.9	22	20	18.2	16.5	14.9	13.7	12.7	11.9	10.6	9.8	8.6	8.2	7.9	7.5	7.1	6.7	6.5	6.3
กล่องที่ 5	27.9	20.7	19.1	17.4	15.8	14.5	13.4	12.6	11.5	10.5	9.9	8.6	8.1	7.8	7.5	6.8	6.4	6.3	5.2
กล่องที่ 6	27.9	21.6	17.2	15.5	14.2	13.7	13.2	11.8	11.6	9.4	8.6	7.7	6.8	7.1	6.7	6.2	6.2	5.6	5.7
กล่องที่ 7	27.9	20.5	18.1	17.4	14.8	13.4	12.2	11.7	10.6	8.8	8.7	7.7	7.4	6.9	6.5	6	5.4	5.3	5.6
อุณหภูมิใน cooling box	6.1	6.1	6.1	7	3	2.5	3.4	4.6	6.8	2.4	3.1	2.4	3.8	3.9	2.1	1.3	2	1.5	2.9

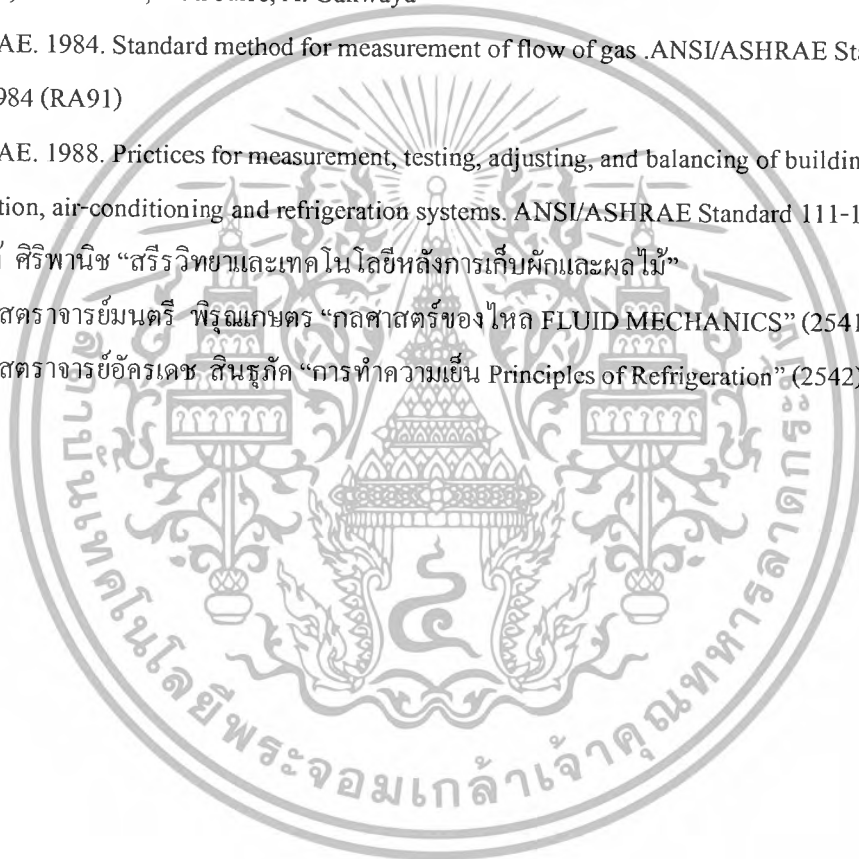
ตารางที่ ง.11 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 5 รูในแนวตั้ง(HI) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย ($T_o = 3.736842$)

เวลา อุณหภูมิ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
กล่องที่ 1	26.6	23.2	18.4	16.4	14.8	12.4	11.1	10	9.1	8.3	7.7	7.2	7	6.7	6.5	6.3
กล่องที่ 2	26.6	23.8	23.1	18.3	16.4	14.3	13	12	10.8	10.1	9.4	9	8.6	8	7.6	7.6
กล่องที่ 3	26.6	24	19.7	18.3	17.8	16.5	13.7	11.8	11.2	10.6	10	9.3	9	8.6	8.2	8.2
กล่องที่ 4	26.6	20	17	15	13.7	12	11.3	10.6	9.4	8.6	8.4	7.9	7.6	7.2	7.2	7.5
กล่องที่ 5	26.6	21.8	19.4	17.2	13.4	13.1	11.3	11.1	10.4	9.6	9.1	8.3	8.1	7.8	7	7.3
กล่องที่ 6	26.6	24.7	18.7	17	15.6	13.9	12.3	11.9	11.6	10.5	9.7	9.6	9.2	8.6	8.3	8.5
กล่องที่ 7	26.6	22.8	20.2	17.4	16	14	12.2	11.6	11.3	9.8	9.7	9.2	9	8.5	8.4	8.2
อุณหภูมิใน cooling box	8.9	8.9	7.7	5.8	8	7.5	5.4	3.6	3.5	3.1	3.3	2.6	2.3	4.3	6.9	4.6

ตารางที่ ง.12 ข้อมูลการทดลองกล่องเจาะรู 5 รูในแนวตั้ง(LO) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย (To =5.4)

บรรณานุกรม

- [1] DESIGN AND DEVELOPMENT OF A PRECOOLING SYSTEM FOR TROPICAL FRUITS AND VEGETABLES BY JOSE D. GUZMAN
- [2] Tadhg Brosnan , Da –Wen Sun* “Precooling techniques” Internationnal Journal of Refrigeration 24 (2001) 154-170
- [3] STUDY OF PARAMETERS AFFECTING COOLING RATE AND TEMPERATURE DISTRIBUTION IN FORCED-AIR PRECOOLING OF STRAWBERRY BY J.-P. Emond, F. Mercier, S. O. Sadfa, M. Bourre, A. Gakwaya
- [4] ASHRAE. 1984. Standard method for measurement of flow of gas .ANSI/ASHRAE Standard 41.7-1984 (RA91)
- [5] ASHRAE. 1988. Prictices for measurement, testing, adjusting, and balancing of building heating, ventilation, air-conditioning and refrigeration systems. ANSI/ASHRAE Standard 111-1988.
- [6] จริ่งแท้ ศิริพานิช “สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บผักและผลไม้”
- [7] รองศาสตราจารย์มนตรี พิรุณเกษศร “กลศาสตร์ของไหล FLUID MECHANICS” (2541) 271-345
- [8] รองศาสตราจารย์อัศวินเดช สิ้นรุภัก “การทำความเย็น Principles of Refrigeration” (2542) 91-146



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้