



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาห้องเย็นเพื่อใช้ในการเก็บรักษาไม้ประดับแห้ง

Design and Development of a Cold Storage Room for Dried Flower Productions

นามผู้วิจัย นายเขมรัฐ สันตยากร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์รัชฎะ เกียรติวัฒน์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บรรยงวุฒิ จุลละโพธิ, วศ.ม.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ศักดิ์ดา อินทรวิชัย, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, วศ.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์รัชฎะ เกียรติวัฒน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 20 เดือน มกราคม พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบและพัฒนาห้องเย็นเพื่อใช้ในการเก็บรักษาไม้ประดับแห้ง

Design and Development of a Cold Storage Room for Dried Flower Productions

โดย

นายเขมรัฐ สันตยากร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1072-6

เจนรัฐ สันตยากร 2549: การออกแบบและพัฒนาห้องเย็นเพื่อใช้ในการเก็บรักษาไม้
ประดับแห้ง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สาขาวิชา
วิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ปรธานกรรมการที่ปรึกษา:
รองศาสตราจารย์อัญญา เกียรติวัฒน์, Ph.D. 101 หน้า
ISBN 974-16-1072-6

การเก็บรักษาดอกไม้แห้งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการแปรรูปดอกไม้แห้งในเชิงพาณิชย์
เนื่องจากการเก็บรักษาดอกไม้แห้งแบบที่มีใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้นจะทำการเก็บรักษาไว้ในโรงเรือนแบบ
ธรรมดาซึ่งไม่สามารถควบคุมสภาวะอากาศได้ ดังนั้นจึงทำให้ดอกไม้แห้งที่ทำการเก็บรักษาอาจได้รับ
ความเสียหายจากการทำลายของแมลงและเชื้อราได้ง่าย เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของดอกไม้แห้งจึงควร
มีการเก็บรักษาดอกไม้แห้งโดยการออกแบบห้องเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ
ให้เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบและสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง ให้
สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ที่ 10°C และมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 50 ถึง 65 %
ซึ่งห้องเย็นในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งจะประกอบไปด้วย ห้องเย็นขนาด $2 \times 4 \times 2 \text{ m}^3$ ภายในสามารถ
บรรจุดอกไม้แห้งได้ปริมาณ 400 kg ระบบการทำความเย็นที่เลือกใช้เป็นระบบทำความเย็นแบบอัดไอที่
มีขนาดการทำความเย็นเท่ากับ 2.2 kW โดยห้องเย็นในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งที่ได้ออกแบบไว้นี้มี
รูปแบบคล้ายกับตู้คอนเทนเนอร์เพื่อความสะดวกในการขนส่งและขนถ่ายดอกไม้แห้งได้สะดวก

หลังจากดำเนินการทดสอบและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ แล้ว ได้ทำการทดสอบและ
ประเมินผลขั้นสุดท้าย โดยทำการทดสอบเก็บรักษากระช่อและเฟิร์นที่อุณหภูมิ 10°C และความชื้น
สัมพัทธ์อยู่ในช่วง 50 ถึง 65 % ซึ่งเป็นสภาวะอากาศที่เหมาะสมในการเก็บรักษา ผลการทดสอบและ
ประเมินผลพบว่าห้องเย็นสามารถควบคุมปริมาณความชื้นของดอกไม้แห้งได้ค่อนข้างคงที่ และจากการ
ทดสอบหาประสิทธิภาพการทำความเย็นของห้องเย็นพบว่าห้องเย็นที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้มีประสิทธิภาพ
การทำความเย็นเท่ากับ 1.13 kW/ton สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนพบว่ามีการใช้จ่ายในการเก็บรักษา
ดอกไม้แห้งกิโลกรัมละ 9.6 บาท และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.2 ปี

เจนรัฐ สันตยากร
ลายมือชื่อนิติ


ลายมือชื่อประธานกรรมการ

17 / 1 / 49

Khemmarut Suntayagorn 2006: Design and Development of a Cold Storage Room for Dried Flower Productions. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Thanya Kiatiwat, Ph.D. 101 pages.
ISBN 974-16-1072-6

Storage of dried flowers is one of the major processes of commercially dried flower productions. Opened shelter or warehouse, which the ambient conditions can not be controlled is the conventional storage mean. Consequently, insects and molds may infest the quality of dried flowers during the process of storage. Therefore, a cold storage room for dried flower productions, being able to control temperature and relative humidity plays an important role for this measure.

Based upon those reasons, a cold storage room for dried flower productions, being able to control the temperature at 10 °C and relative humidity of 50-65 % was designed and constructed. The designed cold storage room consists of a storage room in a dimension of 2x4x2 m³, which is able to load with 400 kg of dried flowers and a 2.2 kW vapor-compression-type refrigeration system. However, the cold storage room was designed in a similar configuration as of the conventional-type container in order to facilitate the loading and unloading processes of the dried flowers.

After testing and modifications, a prototype of a cold storage room for dried flower productions was developed. Based on the tested results of Hibiscus Macrophyllus and Nephrolepis Cordifolia Presl storage at the temperature of 10 °C and relative humidity of 50-65 %, it reveals that the cold storage room can be able to control the moisture contents of both Hibiscus Macrophyllus and Nephrolepis Cordifolia Presl at constant values. Accordingly, the chilling performance was found to be 1.13 kW/ton. Based on the cost analysis, the operation and maintenance cost and payback period of this storage were found to be 9.6 Baht/kg of dried flowers and 2.2 years, respectively.

Khemmarut Suntayagorn
Student's signature

Thanya Kiatiwat 17 / 1 / 49
Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บรรยงวุฒิ จุลละโพธิ และรองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ อินทวิชัย กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และรองศาสตราจารย์ ดร.พิรุทธิ์ ชาญเศรษฐีกุล ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ โครงการพัฒนาเครื่องจักรกลเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห่งเพื่อการส่งออก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดสอบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาไม้ประดับแห่ง ขอขอบคุณ คุณนิกาล ขนานแก้ว ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ รวมทั้งช่วยดำเนินการแก้ไขปรับปรุงห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาไม้ประดับแห่ง

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลคลองหก ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทดสอบ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณปู่ คุณย่าและน้องสาว รวมไปถึงเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ ชี้นำและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เขมรัฐ สันตยากร

มกราคม 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	3
ข้อมูลโดยทั่วไป	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วัสดุที่ใช้ในการสร้างห้องเย็น	21
เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างห้องเย็น	21
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบห้องเย็น	21
วิธีการ	22
ศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ	22
ออกแบบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง	22
ดำเนินการสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง	22
ทดสอบและประเมินผลเบื้องต้น	23
ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง	23
ทดสอบและประเมินผลขั้นสุดท้าย	23
วิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	26
ผลการศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ	26
ผลการออกแบบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง	33
ผลการสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง	48
ผลการทดสอบและประเมินผลเบื้องต้น	49
ผลการปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่อง	51
ผลการทดสอบและประเมินผลขั้นสุดท้าย	53
ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	62
สรุป	65
ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	67
ภาคผนวก	69
ภาคผนวก ก	70
ภาคผนวก ข	81
ภาคผนวก ค	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลพื้นฐานและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระเจี๊ยบ	27
2	ข้อมูลพื้นฐานและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของเฟิร์น	27
3	ตารางคำนวณค่าความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็น	37
4	ภาระการทำความเย็นทั้งหมดของห้องเย็น	41
5	ผลการตรวจวัดด้านคอยล์เย็น	58
6	ผลการตรวจวัดด้านคอยล์ร้อน	58
ตารางผนวกที่		
ก1	ค่า Thermal conductivity และ Thermal conductance ของวัสดุ	71
ก2	ค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นต่อลิตร (kJ/L) ของอากาศภายนอกที่เข้ามาในห้องเย็น	72
ก3	ค่าโดยประมาณอัตราการไหลของอากาศใหม่ที่เข้าในห้องเย็น	73
ก4	ปริมาณความร้อนที่คายออกจากร่างกายคน	74
ก5	ค่าตัวประกอบในการคำนวณค่าความร้อนจากมอเตอร์	75
ก6	คอยล์เย็น ECO รุ่น MIC	76
ก7	คอนเดนซิ่งยูนิต Danfoss Bluestar	77
ก8	ขนาดท่อสารทำความเย็น R22 สำหรับอุณหภูมิคอยล์ร้อน	
	41 องศาเซลเซียส	79
ก9	ค่า kW สำหรับตารางผนวกที่ ก8 สำหรับอุณหภูมิคอยล์ร้อนอื่นๆ	80
ข1	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็นในการทดสอบเบื้องต้น	82
ข2	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็นหลังการแก้ไขวงจรควบคุมของระบบทำความเย็น	83
ข3	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด A	84
ข4	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด B	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข5	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็น ที่หน้าตัด C	86
ข6	ปริมาณความชื้นของกระโจมที่เก็บรักษาในห้องเย็น	87
ข7	ปริมาณความชื้นของกระโจมที่เก็บรักษานอกห้องเย็น	87
ข8	ปริมาณความชื้นของเฟิร์นที่เก็บรักษาในห้องเย็น	88
ข9	ปริมาณความชื้นของเฟิร์นที่เก็บรักษานอกห้องเย็น	88
ข10	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเย็นและนอกห้องเย็น ในขณะที่ทำการทดสอบความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง	89
ข11	ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง	90

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการแปรรูปขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้งบางกลุ่ม	6
2	อุตสาหกรรมฟอก/ย้อม/อบแห้งผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้ง	7
3	แผนภาพการทำงานของสารทำความเย็นในเครื่องทำความเย็น	8
4	ความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน (P) – เอนทัลปี (h) และ อุณหภูมิ (T) – เอนโทรปี (s) ในสภาพปฏิบัติงานจริง	9
5	จุดวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเย็นจำนวน 27 จุด	24
6	ภาพถ่ายอย่างกระจัดและเฟิร์นที่ใช้ในการทดสอบ	26
7	Built-in-place cold storage	28
8	Refrigerated semi-tractor trailers	29
9	Prefabricated cold storage	30
10	อุณหภูมิและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษา	31
11	ภาพลายเส้น (Schematic Diagram) ของห้องเย็นที่จะทำการออกแบบ	34
12	แสดงลักษณะการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องเย็น	34
13	โครงสร้างของผนังห้องเย็น แบบที่ 1	36
14	โครงสร้างของผนังห้องเย็น แบบที่ 2	36
15	แผนภาพไซโครเมตริกซ์แสดงการหาค่าอัตราส่วนความร้อนสัมผัส	39
16	เส้นสภาวะอากาศผ่านคอยล์เย็นในแผนภาพไซโครเมตริกซ์	43
17	ตำแหน่งและความยาวของท่อสารทำความเย็น	44
18	ภาพแสดงรายละเอียดส่วนประกอบของห้องเย็นสำหรับเก็บรักษา ดอกไม้แห้ง	47
19	ห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง	48
20	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในห้องเย็นกับระยะเวลา	49
21	กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นกับระยะเวลา	50
22	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในห้องเย็นกับระยะเวลาหลังแก้ไข	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นกับระยะเวลาหลัง แก้ไขวงจรควบคุมระบบทำความเย็น	52
24	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด A	53
25	แสดงการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็น ที่หน้าตัด A	54
26	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด B	55
27	แสดงการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็น ที่หน้าตัด B	56
28	การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด C	56
29	แสดงการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็น ที่หน้าตัด C	57
30	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นของกระช้อกับระยะเวลา	60
31	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นของเฟิร์นกับระยะเวลา	61
ภาพผนวกที่		
ค1	แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นฯ หน้าที่ 1	92
ค2	แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นฯ หน้าที่ 2	93
ค3	แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นฯ หน้าที่ 3	94
ค4	แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นฯ หน้าที่ 4	95
ค5	แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นฯ หน้าที่ 5	96
ค6	แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นฯ หน้าที่ 6	97
ค7	แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นฯ หน้าที่ 7	98
ค8	แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นฯ หน้าที่ 8	99
ค9	แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นฯ หน้าที่ 9	100
ค10	แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นฯ หน้าที่ 10	101

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่ผิว
c	=	ความร้อนจำเพาะ
c_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ
Chp	=	Chilling Performance
h	=	เอนทาลปี
h_i	=	เอนทาลปีของอากาศภายใน
h_o	=	เอนทาลปีของอากาศภายนอก
k	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
L	=	ความร้อนแฝงของผลิตภัณฑ์
m	=	มวล
$\dot{m}$	=	จำนวนมวลของอากาศที่เข้ามาในห้อง
m_a	=	ปริมาณอากาศที่ส่งเข้าห้อง
n	=	จำนวนคนทำงาน
P	=	กำลังไฟฟ้า
Q	=	ความร้อน
Q_s	=	ความร้อนสัมผัส
Q_i	=	ความร้อนรวม
Q_o	=	ความร้อนเข้าสู่ระบบ
Q_i	=	ความร้อนออกจากระบบ
Q_c	=	ความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์
Q_e	=	ความร้อนเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์
Q_p	=	ความร้อนต่อคน
R_s	=	อัตราส่วนความร้อนสัมผัส
t	=	เวลาในการทำงาน
T	=	อุณหภูมิ
T_i	=	อุณหภูมิของอากาศในห้อง
T_s	=	อุณหภูมิของอากาศที่ส่งเข้าห้อง
U	=	สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

W_{in} = งานที่ให้กับคอมเพรสเซอร์

x = ความหนาของวัสดุ

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน

การออกแบบและพัฒนาห้องเย็นเพื่อใช้ในการเก็บรักษาไม้ประดับแห้ง

Design and Development of a Cold Storage Room for Dried Flower Productions

คำนำ

ในอดีตและปัจจุบัน ผู้ไม้ดอกไม้ประดับเป็นที่นิยมใช้ในการตกแต่งสถานที่เพื่อความสวยงามเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ตลาดการค้าของดอกไม้ขยายวงกว้างออกไปอย่างมาก จึงได้มีการคิดค้นวิธีนำดอกไม้สดมาผ่านกระบวนการทำให้แห้ง เพื่อให้มีอายุการใช้งานยาวนานยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการทำดอกไม้แห้งนั้นมีหลายวิธี เช่น การผึ่งลม การใช้สารดูดความชื้น การใช้เตาไมโครเวฟ การอบด้วยลมร้อน และอื่นๆ

ดอกไม้แห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมแพร่หลายกันมากขึ้นทั้งภายในประเทศ และต่างประเทศ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีมูลค่าสูง อีกทั้งยังมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ มีคุณภาพสูง ซึ่งดอกไม้แห้งนี้สามารถทำมาจากดอกไม้ ใบเฟิร์น ใบไม้ กิ่งก้านและผลไม้จากธรรมชาตินับร้อยชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันมีเทคโนโลยีมากมายมาช่วยในการบวนการผลิต ทำให้ดอกไม้แห้งมีความสวยงามของรูปทรงและสีสันเพิ่มมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำมาจัดเป็นช่อซึ่งสามารถจัดรูปแบบได้หลากหลายมากกว่าดอกไม้สด ตลอดจนมีการเติมกลิ่นหอมลงในดอกไม้แห้ง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีมูลค่าสูงยิ่งขึ้น

ภายใต้โครงการผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้ง มูลนิธิโครงการหลวงได้มีการค้นคว้าพัฒนาพันธุ์พืช และเทคโนโลยีการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผลผลิตที่ได้ต้องควบคุมคุณภาพและพัฒนารูปแบบให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด และจากข้อมูลของกรมศุลกากร พ.ศ. 2547 พบว่าประเทศไทยส่งออกดอกไม้แห้งเป็นปริมาณ 1215 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 148.7 ล้านบาท ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าการส่งออกสูง จึงได้มีการพัฒนาวิธีการในการเก็บรักษา เพื่อรักษาคุณภาพของดอกไม้แห้งเพื่อเป็นการเพิ่มเทคโนโลยีในการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเก็บรักษาถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตดอกไม้แห้ง จากวิธีการเก็บรักษาแบบเดิมซึ่งเป็นการเก็บรักษาดอกไม้แห้งไว้ที่สภาวะอากาศปกติ พบว่าปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งคือการทำลายของแมลงและเชื้อรา เนื่องจากสภาพอากาศของประเทศไทยนั้นเป็นลักษณะอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งเป็นสภาวะอากาศที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของทั้งแมลงและเชื้อรา โดยเฉพาะหากต้องการเก็บรักษาดอกไม้แห้งเป็นระยะเวลานานแล้วจะทำให้ดอกไม้แห้งเกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก

เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของดอกไม้แห้งให้เป็นที่พึงพอใจของผู้ซื้อแล้ว ในขั้นตอนการเก็บรักษานี้จึงได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยการออกแบบและพัฒนาห้องเย็นที่สามารถควบคุมสภาวะอากาศ (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ) ในห้องเย็นให้เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง เพื่อป้องกันความเสียหายของดอกไม้แห้ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับห้องเย็นและระบบทำความเย็นที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง
2. เพื่อออกแบบ สร้าง และประเมินผลห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง เพื่อให้สามารถรักษาคุณภาพของดอกไม้แห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอบเขตของการวิจัย

1. ดำเนินการออกแบบและสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง
2. ดำเนินการทดสอบห้องเย็นที่สร้างขึ้น เพื่อทดสอบการทำงานของระบบทำความเย็น ทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง และทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น และความสามารถในการเก็บรักษาคุณภาพของดอกไม้แห้ง โดยวิเคราะห์จากปริมาณความชื้นของดอกไม้แห้งที่ใช้ในการทดสอบ

การตรวจเอกสาร

1. ข้อมูลโดยทั่วไป

1.1 การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากดอกไม้สดให้เป็นดอกไม้แห้ง

ดอกไม้สด ที่นำมาทำเป็นดอกไม้แห้งที่สามารถพบเห็นกันโดยทั่วไปนั้น นอกจากจะนำส่วนดอกมาใช้ในการผลิตแล้ว ยังได้มีการนำส่วนต่าง ๆ ของพืชซึ่งได้แก่ กิ่ง ใบ ผล หรือฝัก มาทำให้แห้งได้อีกด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่าง ขนาด สีของพืชแต่ละชนิดว่ามีความเหมาะสมต่อการใช้งานแต่ละประเภท มากน้อยเพียงใด คุณสมบัติที่สำคัญของดอกไม้และส่วนอื่น ๆ ของไม้ดอกที่เหมาะสมสำหรับทำดอกไม้แห้ง คือ การคงรูปและสี ภายหลังจากที่ได้ผ่านกระบวนการทำให้แห้งแล้ว ดังนั้นดอกไม้แห้งจึงสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่

1. ไม้ดอกไม้ประดับ

เช่น ชมพูทิพย์ ต่อมดอย ปอตาเลื้อย กล้วยฝ้าย กัญชาเทศ ดอกเบงกซ์เซีย ดาวอังคาร เกล็ดมังกร ชบาดอย และคาร์เนชั่น เป็นต้น

2. พืชจำพวกหญ้าและธัญพืช

เช่น หญ้าหางกระต่าย หนวดเจ้าชู หญ้านิวทอง ธัญพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวบาร์เลย์ ฝั่วยี่สิบ ข้าวสาลี กกนา และซีทาเรีย เป็นต้น

3. ไม้ใบประดับ

ได้แก่ เฟิร์นชนิดต่าง ๆ เช่น เฟิร์นนาคราช เฟิร์นโชน เฟิร์นใบหนัง ใบหมากเขียว ใบหมากเหลือง ใบเต้าร้าง และใบหมากผู้หมากเมีย เป็นต้น

4. ฝักหรือผล

ส่วนใหญ่เป็นพวกพืชยืนต้น เช่น โคนัสสนสองใบ โคนัสสนสามใบ ลูกก่อ ฝักสะแก ฝักประดู่ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ดอกไม้ที่มักนิยมนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้งมากที่สุด ได้แก่

ดอกไม้หรือพืชป่าพื้นเมืองต่าง ๆ หลายสิบชนิด รองลงมาได้แก่ ดอกไม้ปลูก เช่น ไฮเดรนเยีย สเตติส จิบโซฟีลา กล้วยไม้ อคิเลีย เฟิร์นและไม้ใบอีกนับสิบชนิด พืชเหล่านี้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการฟอกสี เพื่อสกัดเอาคลอโรฟิลล์และแทนนินออก พืชที่ผ่านการฟอกสีจะกลายเป็นสีขาว แล้วจึงนำมาทำการย้อมสี เพื่อทำการไล่ความชื้นในดอกไม้ออกไป นำมาเพิ่มกลิ่นและผ่านการออกแบบ และบรรจุภัณฑ์ส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ หรือจำหน่ายภายในประเทศต่อไป

นอกจากดอกไม้แห้งประเภทมีก้านแล้ว ปัจจุบันบุหงา ก็เป็นผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้งที่ได้รับความนิยมสูง ดอกไม้ ใบไม้ และผักที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบบุหงาได้แก่ ดอกบานไม่รู้รุ่ย ดอกหงอนไก่ ผักสะแก ผักชีหนอน ใบเฟิร์นตัด ใบก้ามปู จามจุรี ผักกระถินณรงค์ ดอกกระดาด เป็นต้น

บุหงาหรือบุหงารำไป (potpourri) เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วยพืชพันธุ์ไม้ทั้งดอกไม้ ใบไม้แห้ง เครื่องเทศ นำมาปรุงด้วยน้ำมันหอม และตัวตรึงกลิ่น (fixatives) หมักจนเข้าเนื้อบรรจุในภาชนะเพื่อให้กลิ่นหอมแก่สถานที่ต่าง ๆ ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ บุหงาสำเร็จปรุงกลิ่น เป็นส่วนของดอกหรือส่วนอื่นที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งแล้วย้อมสี จากนั้นจึงนำมาผสมกันตามสูตรที่คิดค้นขึ้น โดยในแต่ละสูตรจะมีพืชหลายชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน และนำไปปรุงแต่งกลิ่นกับน้ำมันหอมระเหย และตัวตรึงกลิ่น สำหรับส่งตลาดภายในประเทศและส่งออกบ้างเล็กน้อย อีกประเภทหนึ่งคือ บุหงาแยกประเภทไม่ปรุงกลิ่น สำหรับส่งออกทั้งหมด โดยจะแยกไปตามชนิดของพืช เพื่อให้ตลาดที่นำเข้าเป็นผู้ปรุงผสมกลิ่นเอง

ส่วนประกอบที่สำคัญที่บุหงาต้องมีคือ ตัวให้กลิ่นธรรมชาติ เช่น กลีบดาวเรือง จี๊กบไม้สน กลีบกุหลาบ ใบยูคาลิปตัส เป็นต้น ตัวเก็บกลิ่นคือ ตัวมันเองไม่มีกลิ่นแต่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหอมระเหยไว้ แล้วค่อย ๆ ปล่อยกลิ่นออกมา เช่น บานไม่รู้รุ่ย เฟิร์นกูดเกียะ บัวดิน ดอกคิ้ว บัวตอง เป็นต้น ตัวตรึงกลิ่นซึ่งเป็นสารประกอบซึ่งช่วยให้กลิ่นต่าง ๆ คงทน และหวนนำหอม

คุณสมบัติของดอกไม้แห้งที่นำมาประกอบทำบุหงาที่ดี คือ ดอกย่อยต้องไม่ร่วงหลุดหรือแยกกลีบออกจากกันเมื่อแห้ง ไม่มีละอองเกสรตัวผู้ปะปน ไม่มีแมลงศัตรูพืชรบกวน มีรูปร่างทรงตรงสวยงามสะอาดตา สามารถดูดน้ำมันหอมระเหยได้ในปริมาณมาก สามารถขยายพันธุ์ได้ง่าย และต้นทุนการผลิตไม่สูงเกินไป

1.2 ขั้นตอนในการผลิตดอกไม้แห้ง

การตากแห้ง ขั้นแรกโดยเกษตรกรนำดอกไม้มาตากแห้ง โดยจะนำดอกไม้ไปไม้ส้อมมาตากกับพื้นในที่ร่ม หรือแขวนห้อยหัวลง ใช้เวลา 2-3 วัน ส่วนผลและฝักนั้นใช้วิธีตากแดดวันละ 8 ชั่วโมง เป็นการไล่ความชื้นในดอกไม้ออกไป โดยที่สำคัญต้องทำการลดความชื้นเพื่อป้องกันเชื้อรา จากนั้นจึงบรรจุลงกล่อง หรือกระสอบป่านส่งมายังโรงงานแปรรูปต่อไป

การฟอกสีหรือการฟอกขาว (bleaching) เป็นขั้นตอนการนำดอกไม้สดหรือแห้งมาฟอกสีก่อนที่จะนำไปย้อมสี ซึ่งขั้นตอนนี้จะใช้สารเคมีหลายชนิด ซึ่งโดยปกติจะมีส่วนผสมของน้ำ กรดอะซิติก และโซเดียมคลอไรด์ มาทำการฟอกสีของดอกไม้ออกไป

การย้อมสีดอกไม้ เป็นการย้อมสีดอกไม้ เพื่อให้ดอกไม้มีสีสันสวยงามหลากหลายเพิ่มขึ้น สีที่ใช้มีทั้งสีร้อนและสีเย็น สีสังเคราะห์และสีจากพืชชนิดต่าง ๆ โดยส่วนใหญ่สารละลายสีประกอบไปด้วยผงสีและน้ำ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วแต่ประเภทของดอกไม้

การอบแห้ง โดยใช้กรรมวิธีต่าง ๆ เช่น การผึ่งลม (air drying) การตากแดด (sun drying) การอบไฟฟ้า (electric drying) การใช้ไมโครเวฟ การใช้สารเคมีดูดความชื้น การใช้ปั๊มความร้อน (heat pump) การอัดแห้ง เป็นต้น

อุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การแปรรูปบุหงาระดับอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมฟอก/ย้อม/อบแห้งผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้ง

กระบวนการแปรรูปขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห่งบางกลุ่ม

ใบไม้ (สด)	ใบเฟิน (สด)	ช่อดอกไม้ (สด)	ฝักหุ้มเมล็ด (สดหรือแห้ง)	กิ่งไม้ (สด)	ผลมะพร้าว (สดหรือแห้ง)	ผลไม้แห้งบางชนิด (แห้ง)
เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว	เก็บเกี่ยว
แช่น้ำ/หมัก/คั บบรรจุ	คัคบรรจุ	คัคบรรจุ/ผึ่งแห้ง ตากแห้ง	แยกเมล็ด	แช่น้ำ	แยกกาบ (dehushing)	ฟอก - ย้อมสี - พ่นสี
ลอกเยื่อผิวใบ	ฟอก - ย้อมสี	ฟอก - ย้อมสี	ฟอก - ย้อมสี	ลอกเปลือก	ตีป่นกาบ	ผึ่ง/อบแห้ง
ฟอกโครงสร้างใบ	ปรับคุณภาพความนุ่ม	ตาก - อบแห้ง	ตาก - อบแห้ง	ตากแห้ง	แยกใย	คัคบรรจุ
อบแห้ง	อบแห้ง	คัคบรรจุ	คัคบรรจุ	ฟอก - ย้อมสี - พ่นสี	อบแห้ง	
ย้อมสี	คัคบรรจุ			ตาก - อบแห้ง	ย้อมสี/ปรับ คุณภาพเส้นใย	
อบแห้ง				คัคบรรจุ	อบแห้ง	
คัคบรรจุ					คัคบรรจุ	

ภาพที่ 1 กระบวนการแปรรูปขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห่งบางกลุ่ม

ที่มา: จารุพันธ์ และคณะ (2541)

อุตสาหกรรมฟอก/ย้อม/อบแห้งผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้ง



หมายเหตุ * แรงงาน, ** แรงงานและเครื่องจักรกล

ภาพที่ 2 อุตสาหกรรมฟอก/ย้อม/อบแห้งผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้ง

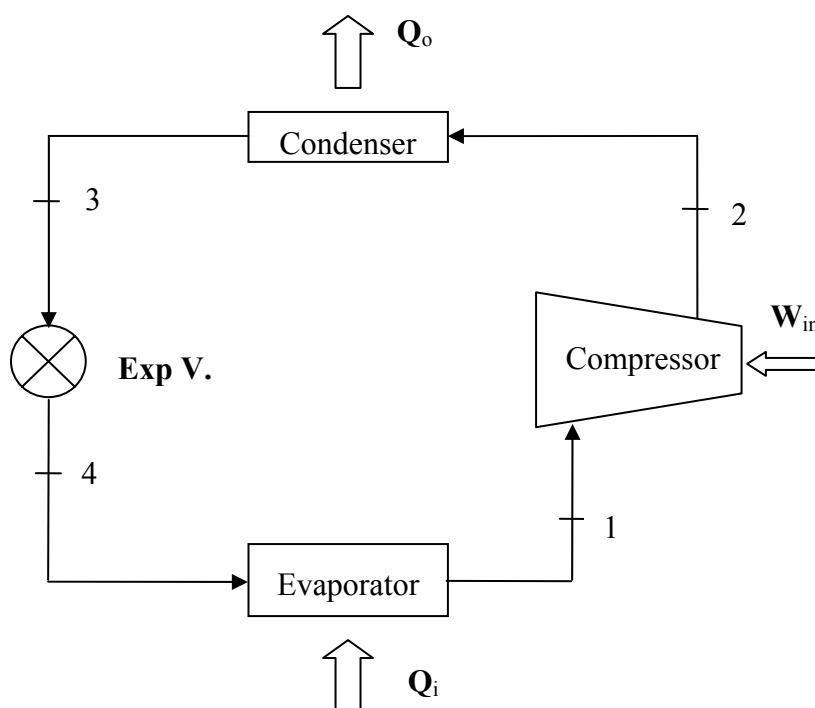
ที่มา: จารุพันธ์ และคณะ (2541)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

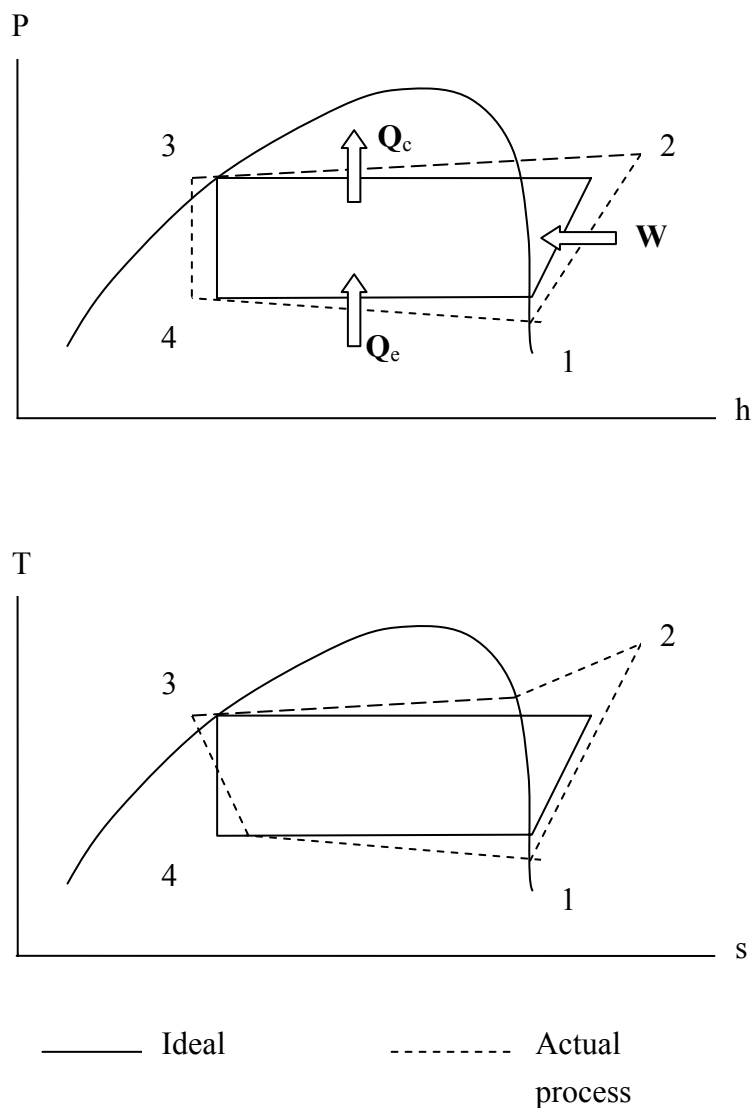
2.1 การทำความเย็น

การทำความเย็นคือ การที่ความร้อนถูกดูดออกจากห้องที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิทำให้ภายในห้องนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายนอก ไม่ว่าวิธีการใดๆ ที่ทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของสถานะแวดล้อม วิธีนั้นเกี่ยวกับการทำความเย็นทั้งสิ้น การทำความเย็นนั้นทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในระบบเครื่องทำความเย็นคือ วิธีระบบดูดอัดไอ (Vapor Compression System)

การทำความเย็นแบบดูดอัดไอมีระบบการทำงานดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4 ดังมีรายละเอียดดังนี้คือ



ภาพที่ 3 แผนภาพการทำงานของสารทำความเย็นในเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน (P) – เอนทัลปี (h) และ อุณหภูมิ (T) – เอนโทรปี (s) ใน สภาพปฏิบัติงานจริง

กระบวนการที่ 2-1 คือ กระบวนการอัดไอ (Compression Process) งานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอจะทำให้เอนทัลปี อุณหภูมิ และความดันของสารทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการเอนโทรปีคงที่ (Isentropic) สถานะของสารทำความเย็นที่เข้าสู่เครื่องอัดไอจะอยู่ในสภาพไออิ่มตัว

กระบวนการที่ 3-2 คือกระบวนการควบแน่น (Condensation) ในกระบวนการนี้สารทำความเย็นที่อยู่ในสภาพไอร้อนยิ่งยวด จะคายความร้อนออกให้กับอากาศแห้งเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศแห้ง สารทำความเย็นจะเย็นตัวลงและควบแน่นเป็นของเหลวในที่สุด ในทางอุดมคติกระบวนการนี้เป็นกระบวนการความดันคงที่ แต่ในสภาพจริงความดันจะลดลงตามขนาดของเครื่องควบแน่น สารทำความเย็นจะไหลเป็นสองเฟส (Two Phase Flow) และอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะลดต่ำลง จนกระทั่งมีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัว หรืออาจเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าของเหลวอิ่มตัวก็ได้ ซึ่งเรียกว่า ของเหลวเย็น (Subcooled Liquid)

กระบวนการที่ 4-3 คือกระบวนการลดความดัน (Throttling Process) สารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะของเหลวอิ่มตัวหรือของเหลวจะถูกลดความดันลง เมื่อไหลผ่านวาล์วลดความดันและจะมีสถานะเป็นสารผสมระหว่างของเหลวและไอ กระบวนการลดความดันแบบนี้เป็นกระบวนการแบบย้อนกลับไม่ได้ และถ้าไม่มีการถ่ายเทความร้อนแล้ว ค่าเอนทาลปีจะคงที่ ในขณะที่กระบวนการดำเนินต่อไป

กระบวนการที่ 1-4 คือกระบวนการที่สารทำความเย็นดูดซับความร้อน (Evaporation) ในกระบวนการอุดมคติจะอยู่ภายใต้ความดันคงที่ แต่ในสภาพจริงความดันของสารทำความเย็นจะลดลงตามระยะทางของท่อของเครื่องทำระเหย สารทำความเย็นจะดูดซับความร้อนแล้วเปลี่ยนสถานะจากสารผสมเป็นไออิ่มตัว หรือในทางปฏิบัติมักจะเปลี่ยนเป็นไอร้อนยิ่งยวด ก่อนเข้าสู่กระบวนการของเครื่องอัดไอ

2.2 ภาระการทำความเย็น

ภาระการทำความเย็น คือ จำนวนความร้อนทั้งหมดที่เครื่องทำความเย็นจะต้องเอาออกไป แหล่งความร้อนที่เป็นภาระในการทำความเย็นได้แก่

- (1) ความร้อนที่ผ่านเข้าไปในบริเวณทำความเย็นจากภายนอกไปภายในโดยการนำความร้อนผ่านฉนวนของผนัง
- (2) ความร้อนที่ผ่านเข้ามาในบริเวณทำความเย็นโดยการแผ่รังสีโดยตรงจากกระจกหรือวัสดุอื่นที่ผ่านได้
- (3) ความร้อนที่ผ่านเข้ามาในบริเวณทำความเย็นเนื่องจากอากาศร้อนจากภายนอกเข้า

มาในห้อง อาจจะโดยผ่านทางประตู หน้าต่าง หรือรอยรั่วอื่นๆ

- (4) ความร้อนที่เกิดจากการนำสิ่งของที่อุณหภูมิสูงกว่าเข้ามาในบริเวณทำความเย็น
- (5) ความร้อนที่ออกจากคนที่เข้าไปอยู่ในบริเวณทำความเย็น
- (6) ความร้อนที่เกิดจากเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ที่อยู่ในบริเวณทำความเย็นเช่น ไฟแสงสว่าง ,มอเตอร์ไฟฟ้า ,เตาหุงอาหาร เป็นต้น

ความสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดความร้อนที่จะต้องคำนึงถึงจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับงานไม่ว่าทุกหัวข้อจะมีความสำคัญที่จะต้องรวมอยู่ในงานทุกอย่าง อย่างไรก็ตาม ในงานที่ได้กำหนดไว้แต่ละงานจำเป็นจะต้องพิจารณาความร้อนจากแหล่งที่ให้ความร้อนทุกอย่างในงานนั้นๆ

2.3 การคำนวณภาระการทำความเย็น

เพื่อที่จะให้ง่ายต่อการคำนวณภาระการทำความเย็น ภาระทั้งหมดของการทำความเย็นจะแบ่งออกในแต่ละชนิดของแหล่งความร้อนที่จะต้องเอาออกไป ผลรวมของภาระแต่ละชนิดเหล่านี้จะเป็นภาระการทำความเย็นทั้งหมดของเครื่อง

การทำความเย็นในอุตสาหกรรม ภาระทั้งหมดของการทำความเย็นแบ่งออกได้เป็น 4 อย่างดังนี้

- (1) ภาระที่ผ่านผนังเข้ามา (Wall gain load)
- (2) ภาระจากอากาศที่รั่วเข้ามา (Infiltration load)
- (3) ภาระจากผลิตภัณฑ์ (Product load)
- (4) ภาระจากคนและอุปกรณ์ต่างๆ (Miscellaneous load)

2.4 ภาระที่ผ่านผนังเข้ามา (Wall gain load)

ภาระที่ผ่านผนังเข้ามา คือความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็นโดยการนำความร้อนจากภายนอกเข้ามายังภายใน เนื่องจากไม่ฉนวนที่สมบูรณ์ในการป้องกันการนำความร้อนจากภายนอกเข้ามายังภายในห้อง เมื่ออุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ภาระของความร้อนที่ผ่านผนังห้องเข้ามาจะเป็นภาระส่วนใหญ่ของภาระทั้งหมด โดยเฉพาะในระบบการปรับอากาศให้สบาย และ

อุตสาหกรรมห้องเย็น ยกเว้นในการทำความเย็นแบบ liquid chilling ซึ่งผนังได้บุฉนวนไว้อย่างดี ภาระความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามามีเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับภาระทั้งหมด ในบางครั้งอาจตัดทิ้งได้

การคำนวณหาตัวประกอบของความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามา

ปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังของบริเวณทำความเย็นเข้ามาต่อหน่วยเวลา เป็นฟังก์ชันของตัวประกอบ 3 ตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการดังต่อไปนี้

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (1)$$

โดยที่	Q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังห้องเข้ามา
	U	=	สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด
	A	=	พื้นที่ผิวภายนอกของผนัง
	ΔT	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน

สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนตัวประกอบ “U” เป็นการวัดอัตราความร้อนผ่านพื้นที่ผิวของผนัง 1 m² จากภายนอกไปยังภายใน สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 °K ที่ผ่านผนัง ค่าของตัวประกอบ “U” ขึ้นกับความหนาของผนัง และวัสดุที่ใช้ในการทำผนัง เพราะว่าการออกแบบก็ได้ป้องกันความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามาเท่าที่จะทำได้ และความร้อนที่จะเป็นการเพิ่มภาระให้กับอุปกรณ์ทำความเย็น

วัสดุที่ใช้ในการสร้างผนังห้องเย็น ควรจะเป็นฉนวนที่ป้องกันความร้อนที่ดี ดังนั้นในทางปฏิบัติจะพยายามให้ค่า “U” น้อยที่สุด

ตามสมการ) 2 (ตัวประกอบ U หาได้จากอัตราการไหลของความร้อนผ่านผนังโดยตรงกับพื้นที่ผิวของผนังและกับความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผ่านผนัง เพราะว่าค่าของ U กำหนดในหน่วย W/m²°K อัตราการไหลของความร้อนที่ผ่านผนังสามารถทำได้โดยการคูณตัวประกอบ U กับพื้นที่ผิวของผนัง และกับความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก

การคำนวณตัวประกอบ “U”

ตัวประกอบ U ของวัสดุชนิดใดๆ ที่ใช้ทำผนังประกอบด้วยค่าของ Conductivity หรือ Conductance ดังตารางผนวกที่ ก1 เป็นค่าของ Conductivity หรือ Conductance ของวัสดุที่ใช้บ่อยๆ ในการก่อสร้างผนังห้องเย็น

Thermal Conductivity หรือตัวประกอบ “k” ของวัสดุกำหนดในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรต่อองศาเคลวิน ($\text{W/m}^2\text{K}$) และตัวประกอบ “k” เป็นวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งหมด และกำหนดค่าความหนาของวัสดุ 1 เมตร ส่วน Thermal Conductance หรือตัวประกอบ “c” ใช้ได้กับวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน และวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีหน่วยเป็น $\text{W/m}^2\text{K}$

สำหรับวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน Thermal conductance คำนวณได้โดยเอาความหนาของวัสดุดังกล่าวไปหารตัวประกอบ k เพราะฉะนั้น

$$C = \frac{k}{x} \quad (2)$$

โดยที่ x = ความหนาของวัสดุ (m)

ความต้านทานของผนัง หรือวัสดุในการให้ความร้อนไหลผ่านเป็นส่วนกลับกับความสามารถของผนังหรือวัสดุในการให้ความร้อนผ่าน ดังนั้นความต้านทานความร้อนทั้งหมดของผนังสามารถที่จะแสดงจำนวนตัวเลขตรงกันข้ามกับสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านความร้อนทั้งหมด ส่วนความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดสามารถที่จะแสดงตัวเลขกลับกับ conductivity หรือ conductance ด้วย

$$\text{ความต้านทานความร้อนทั้งหมด, } R = \frac{1}{u}$$

$$\text{ความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด } r = \frac{1}{k} \text{ หรือ } \frac{1}{c} \text{ หรือ } \frac{x}{k}$$

เทอม $\frac{1}{k}$ หรือ $\frac{1}{c}$ แสดงถึงความต้านทานการไหลของความร้อนที่ผ่านวัสดุชนิดเดียว

จากผิวด้านหนึ่งไปยังผิวด้านหนึ่งเท่านั้น และไม่ได้รวมถึงชั้นของอากาศบางๆ ในการคำนวณหาความต้านทานความร้อนทั้งหมดที่ไหลผ่านผนังจากอากาศด้านหนึ่งไปยังอากาศด้านอื่น ความต้านทานเนื่องจากอากาศทั้ง 2 ด้านควรจะพิจารณาประสิทธิภาพของชั้นอากาศบางๆ หรือผิวของ conductance สำหรับค่าเฉลี่ยของความเร็วลมกำหนดในตารางผนวกที่ ก1

เมื่อผนังที่ใช้ทำห้องเย็นประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น และแตกต่างกันความต้านทานความร้อนทั้งหมดของผนังเป็นผลรวมของความต้านทานของวัสดุแต่ละชนิดใน โครงสร้างของผนังรวมทั้งชั้นบางๆ ของอากาศด้วย ดังนี้

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{f_i} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \dots + \frac{x}{k_n} + \frac{1}{f_o}$$

เพราะฉะนั้น

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \dots + \frac{x}{k_n} + \frac{1}{f_o}} \quad (3)$$

โดยที่ f_i = สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน (หรือ surface conductance) ของผนัง พื้น และเพดานด้านใน
 f_o = สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน (หรือ surface conductance) ของผนัง พื้น และเพดานด้านนอก

หมายเหตุ สำหรับวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Nonhomogeneous) ใช้ $\frac{1}{c}$ หรือ $\frac{x}{k}$ แทน

2.4 การคำนวณภาระจากอากาศที่รั่วเข้ามา (Infiltration load)

การคำนวณหาความร้อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการถ่ายเทอากาศในห้องทำได้แน่นอนยาก เพราะการวัดจำนวนอากาศที่ถ่ายเททำได้ไม่ละเอียดถ้าจำนวนอากาศถ่ายเททำได้ไม่แน่นอน ความร้อนที่เพิ่มขึ้นหาได้จากความแตกต่างของเอนทาลปีของอากาศภายนอกและภายในห้อง

$$Q = \dot{m}(h_o - h_i) \quad (4)$$

โดยที่	Q	=	จำนวนภาระจากอากาศที่รั่วเข้ามาในห้อง (kW)
	$\dot{m}$	=	จำนวนมวลของอากาศที่เข้ามาในห้อง (kg/s)
	h_o	=	เอนทาลปีของอากาศภายนอก (kJ/kg)
	h_i	=	เอนทาลปีของอากาศภายใน (kJ/kg)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากจำนวนอากาศโดยปกติจะวัดเป็นหน่วยปริมาตรมากกว่าในหน่วยมวล ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณความร้อนที่เพิ่มขึ้นต่อลิตรของอากาศภายนอก ที่เข้ามาในห้องเย็นดังแสดงในตารางผนวกที่ ก2 สำหรับการปรับอากาศการเปลี่ยนแปลงภายในและภายนอก เพื่อคำนวณหาจำนวนภาระจากอากาศที่รั่วเข้ามาในหน่วย kW โดยการคูณด้วยอัตราการไหลของอากาศที่เข้าไปในหน่วยลิตรต่อวินาที (L/s) คัดค่าตัวประกอบเอนทาลปีโดยประมาณจากตารางผนวกที่ ก3

ในกรณีไม่ได้เป็นการระบายอากาศในบริเวณทำความเย็น แต่เป็นการเข้าทางประตูที่เปิดเข้าออก ปริมาณของอากาศจากภายนอกที่เข้ามาทางประตูในเวลา 24 ชม. จะขึ้นอยู่กับขนาดและที่ตั้งของประตูและความถี่ในการเปิดประตู เนื่องจากผลรวมของตัวประกอบเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงกับสถานที่แต่ละแห่งและมีความยุ่งยากมากในการประเมินให้ได้ค่าละเอียด ในทางปฏิบัติการประมาณปริมาณอากาศที่รั่วเข้ามาคิดจากปริมาตรภายในห้องเย็นโดยใช้ตารางผนวกที่ ก3 เป็นค่าโดยประมาณของอัตราการไหลของอากาศที่เข้าไปภายในห้องเย็น

2.5 การคำนวณภาระจากผลิตภัณฑ์ (Product load)

เมื่อนำภาระจากผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเข้าไปเก็บไว้ในห้องเย็น ผลิตภัณฑ์จะคายความร้อนออก เพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของห้องเย็นความร้อนที่เป็นภาระแก่ห้องเย็นสามารถคำนวณได้ดังนี้

(1) เมื่ออุณหภูมิของห้องเย็นอยู่เหนือจุดเยือกแข็ง (0°C) การคำนวณความร้อนของผลิตภัณฑ์ทำได้ดังนี้

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (5)$$

โดยที่	Q	=	ปริมาณความร้อนที่คายออกจากผลิตภัณฑ์ (kJ/kg)
	m	=	มวลของผลิตภัณฑ์ (kg)
	c	=	ความร้อนจำเพาะของของผลิตภัณฑ์ (kJ/kg °K)
	ΔT	=	อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไป (°K)

(2) เมื่ออุณหภูมิของห้อง และผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกทำให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง จำนวนความร้อนที่คำนวณอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

- (ก) จำนวนความร้อนผลิตภัณฑ์ที่ต้องเอาออกไปจากอุณหภูมิเดิมถึงจุดเยือกแข็ง ใช้สมการที่ (6)
- (ข) จำนวนความร้อนแฝงที่ต้องนำออกไปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัว

$$Q = m \times L \quad (6)$$

โดยที่ L = ความร้อนแฝงของผลิตภัณฑ์ (kJ/kg)

- (ค) ความร้อนที่ต้องนำออกไปจากจุดเยือกแข็งถึงอุณหภูมิห้องเย็น ใช้สมการที่ (5)

ผลรวมของจำนวนความร้อนทั้ง 3 หารด้วยเวลาในการทำความเย็นก็จะได้ภาระของผลิตภัณฑ์ในหน่วย kW

2.6 การคำนวณภาระจากคนและอุปกรณ์ต่างๆ (Miscellaneous load)

คนที่ทำงานอยู่ในห้องเย็นก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดความร้อนจากการหายใจ ดังนั้นภาระที่เกิดจากคนทำงานคำนวณได้ดังนี้

$$Q = n \times Q_p \times \frac{t}{24} \quad (7)$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนจากคนทำงาน (kW)

n	=	จำนวนคนทำงาน
Q_p	=	ความร้อนต่อคน (kW)
t	=	จำนวนชั่วโมงทำงาน (Hr)

ความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่

ความร้อนจากไฟฟ้าแสงสว่าง, $Q = \frac{P \times t}{24}$ (8)

โดยที่ Q	=	ความร้อนจากไฟฟ้าแสงสว่าง (kW)
P	=	กำลังไฟฟ้า (kW)
t	=	จำนวนชั่วโมงทำงาน (Hr)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มโน (2546) ได้ทำการออกแบบและพัฒนาปั๊มความร้อนซึ่งใช้ในระบบอบแห้งสำหรับการผลิตไม้ประดับแห้ง โดยใช้ใบบัวที่ผ่านการฟอก ย้อม ทำนึ่งในการทดสอบ พบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าเฉลี่ย 3.486 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการระเหยน้ำเฉลี่ย 3.732 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการระเหยน้ำจำเพาะเฉลี่ย 0.931 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง และค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ย 3.868 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และคุณภาพของใบบัวอบแห้งจากการทดลองมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลที่ได้จากเครื่องอบแห้งที่ใช้ขดลวดความร้อน ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งกิโลกรัมละ 9.31 บาท หรือ 0.72 บาทต่อใบบัว หรือคิดเป็น 12.47 บาท/กิโลกรัมน้ำระเหย

จารุพันธ์ และคณะ (2541) ศึกษาผลของการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดแมลงที่มีต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้ง โดยทำการศึกษากับดอกไม้แห้งประเภทธัญพืช 3 ชนิด คือ ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี และ โอ๊ต ซึ่งสารเคมีที่ใช้คือสารรวมฟอสฟิน (PH_3) และใช้วิธีการเก็บรักษา 4 วิธี คือ เก็บรักษาปกติ ,เก็บในถุงพลาสติกและใส่ phosphine ป้องกันอากาศถ่ายเท ,เก็บในถุงพลาสติกผนึกปากถุงป้องกันอากาศถ่ายเท และเก็บในถุงพลาสติกอัดก๊าซไนโตรเจนก่อนผนึกกันอากาศถ่ายเท ระยะเวลาในการเก็บรักษา 4 ระยะ คือ 3, 6, 9 และ 12 เดือน จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่ทำให้จำนวนแมลงที่ศัตรูพืชที่พบ มีความแตกต่างจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และวิธีการเก็บรักษา ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษาทั้ง 4 ระยะจะไม่มีผลต่อจำนวนแมลงเลย โดยทั้งข้าวฟ่าง ข้าวสาลี และ โอ๊ต จะถูกแมลงศัตรูพืชทำลายในทุกกรณียกเว้นการเก็บรักษาโดยใช้ phosphine จึงจะสามารถควบคุมแมลงได้ 6 เดือนสำหรับข้าวฟ่าง และ 9 เดือน ในข้าวสาลีและโอ๊ต

ศิริชัย (2539) ทำการศึกษาเรื่องการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนในห้องเย็นโดยการปรับสภาพบรรยากาศ โดยทำการศึกษาผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.03, 0.5, 1, 8 และ 10 ต่อคุณภาพการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิระดับต่างๆ คือ 1, 5, 10, 13 และ 20°C พบว่าการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้น 1, 5, 8 และ 10 สามารถลดการสูญเสียของน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ความแน่นเนื้อ และการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของข้าวโพดฝักอ่อนในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิระดับ 5, 10, 13 ได้ดี ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนให้มีคุณภาพคืออยู่ในช่วงของความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 และที่อุณหภูมิ 5 และ 10°C สามารถเก็บรักษาได้ดีถึง 4 สัปดาห์ และ 5 สัปดาห์ ตามลำดับ

Donahaye et al. (1995) ศึกษาผลกระทบของการใช้อุณหภูมิ 0, -5, -10 และ -18 °C ในการเก็บรักษาผลไม้แห้งจากแมลง 3 ชนิด ได้แก่ *Tribolium castaneum*, *Oryzaephilus surinamensis* และ *Ephestia cautella* พบว่าจากแมลงทั้ง 3 ชนิด *Ephestia cautella* จะมีเวลาประมาณในการฆ่า 99 % นานที่สุดของการทดลองในแต่ละอุณหภูมิ โดยใช้เวลา 625 ชั่วโมงในระหว่างเป็นดักแด้ที่อุณหภูมิ 0 °C, 55 ชั่วโมงในระหว่างเป็นดักแด้ที่อุณหภูมิ -5 °C, 6.1 ชั่วโมงในระหว่างเป็นไข่ที่อุณหภูมิ -10 °C, 2.6 ชั่วโมงในระหว่างเป็นไข่ที่อุณหภูมิ -18 °C การเปรียบเทียบอัตราการตายจะทำให้ระดับการตาย 50% (LT₅₀) สำหรับ *T. castaneum* จะมีผลน้อยที่สุดกับตัวเต็มวัยที่ 0 และ -5 °C และกับดักแด้ที่ -10 และ -18 °C สำหรับ *E. cautella* จะมีผลน้อยที่สุดกับดักแด้ที่ 0 และ -5 °C และกับไข่ที่ -10 และ -18 °C สำหรับ *O. surinamensis* จะมีผลน้อยที่สุดกับตัวอ่อนที่ 0 °C กับตัวเต็มวัยที่ -5 และ -18 °C และกับดักแด้ที่ -10 °C

Donahaye et al. (1996) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและการควบคุมบรรยากาศที่มีผลต่อมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) จากการทดลองเกี่ยวกับมอดแป้ง ทั้งในระยะไข่ ตัวอ่อน ดักแด้ และ ตัวเต็มวัย ในห้องที่มีการควบคุมออกซิเจนที่มีความเข้มข้นต่ำ 3 ระดับ ที่อุณหภูมิ 26, 30 และ 35 °C โดยความเข้มข้นของก๊าซในห้องทดลองมีดังนี้ : 1 % O₂ , 85% N₂ , 14% CO₂ ; 2% O₂ , 84.7% N₂ , 13.3% CO₂ ; 3% O₂ , 85% N₂ , 12% CO₂ (ทั้งหมดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70.5 %) จากการทดลองพบว่า ที่ 3 % O₂ อุณหภูมิ 26 °C ตัวเต็มวัยจะมีความทนทานมากที่สุด โดยมีอัตราการตาย 70.5% เมื่อทำการทดลองเป็นเวลา 10 วัน สำหรับอัตราการตายที่มากที่สุดคือดักแด้ 99% ที่อุณหภูมิ 35 °C และสภาวะบรรยากาศ 1% O₂ โดยสามารถทนทานได้นานที่สุด 44 ชั่วโมง สำหรับการเปรียบเทียบระยะเวลาในการตาย 50% (LT₅₀) เพื่อแสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการตายพบว่า ทุกๆระยะของมอดแป้ง ค่า LT₅₀ ที่อุณหภูมิ 35 °C อยู่ในช่วงระหว่าง 0.16 ถึง 0.5 เท่าของค่า LT₅₀ ที่อุณหภูมิ 26 °C และที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปที่สภาวะบรรยากาศ 1 % O₂ , 85% N₂ , 14% CO₂ อัตราการตายจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ 26 °C อัตราการตายของมอดแป้งจะต่ำลงโดยเฉพาะที่ระยะไข่ และตัวเต็มวัย

Nakakita and Ikenaga (1997) กล่าวว่าในการเก็บรักษาข้าวซึ่งการเก็บรักษาข้าวโดยใช้อุณหภูมิต่ำนี้มีการใช้กันแพร่หลายในประเทศญี่ปุ่นเพื่อป้องกันการทำลายจากแมลงศัตรูพืช และเพื่อช่วยลดการใช้สารเคมีตั้งแต่ปี 1991 จึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ำต่อสรีรวิทยาของด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) และ *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) พบว่าอัตราการบริโภคออกซิเจน และอัตราการหายใจของแมลงทั้งสองชนิดจะลดลง

เมื่ออุณหภูมิลดลง โดยอัตราการหายใจจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 20 ถึง 30 °C และลดลงปานกลางในช่วงอุณหภูมิ 5 ถึง 15 °C และการเคลื่อนที่ของ *S. oryzae* จะลดลงมากกว่า *S. zeamais* เมื่ออุณหภูมิลดลง และตัวอ่อนของแมลงทั้งสองชนิดจะลดลงอย่างมากที่อุณหภูมิ 15 °C ซึ่งทั้งตัวอ่อนและเจริญเติบโตของแมลงทั้งสองชนิดจะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์แบบที่อุณหภูมิ 10 °C และที่อุณหภูมิ 15 °C จะสามารถหยุดการเพิ่มจำนวน *S. oryzae* ในขณะที่ *S. zeamais* มีการเพิ่มจำนวนเล็กน้อย สำหรับการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ในการเก็บรักษาข้าวโดยใช้อุณหภูมิดำเนินแนะนำให้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ประกอบด้วย วัสดุที่ใช้ในการสร้างห้องเย็น และเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการสร้าง ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและวิเคราะห์ผลการทดสอบห้องเย็นดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการสร้างห้องเย็น

- 1.1 เหล็กสำหรับทำโครงสร้าง
- 1.2 แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม
- 1.3 ฉนวนโพลียูรีเทน (Polyurethane)
- 1.4 ส่วนประกอบต่างๆในระบบทำความเย็น
- 1.5 ท่อทองแดงสำหรับทำท่อสารทำความเย็น
- 1.6 ชุดวงจรควบคุมอุณหภูมิ และอื่น ๆ

2. เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างห้องเย็น

- 2.1 เครื่องเชื่อมก๊าซ
- 2.2 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า
- 2.3 เครื่องมือตัดท่อ
- 2.4 ชุดเครื่องมือขยายท่อ
- 2.5 เครื่องเจาะ
- 2.6 เครื่องตัดเหล็ก
- 2.7 ค้อน คีม ตลับเมตร และอื่น ๆ

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบห้องเย็น

- 3.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ Digital ความละเอียด 0.01 g ของ Sartorius Model CP3202S
- 3.2 เครื่องวัดความชื้นแบบ Infrared ของ AND Model AD 4712

- 3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ Testo Model 601
- 3.4 ตู้อบลมร้อน Binder Model WTB
- 3.5 เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า

วิธีการ

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ

- 1.1 ศึกษา สํารวจ และรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ของดอกไม้แห้งที่จะนำมาใช้ทำการทดสอบ
- 1.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่างๆ ในการออกแบบห้องเย็น รวมถึงสภาวะอากาศที่เหมาะสมในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

2. ออกแบบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

จากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่ได้ในข้อ 1 ทำการออกแบบห้องเย็น โดยกำหนดเกณฑ์ในการออกแบบ (Design Considerations) ดังต่อไปนี้

- 2.1 ห้องเย็นที่ทำการออกแบบ จะต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้ตามข้อมูลสภาวะของอากาศในข้อ 1
- 2.2 อุปกรณ์ประกอบในระบบทำความเย็น จะพิจารณาเลือกจากที่มีจำหน่ายทางการค้าเป็นอันดับแรก

3. ดำเนินการสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

นำผลที่ได้จากการออกแบบในข้อ 2 มาดำเนินการสร้างห้องเย็น

4. ทดสอบและประเมินผลเบื้องต้น

หลังจากได้ดำเนินการสร้างห้องเย็นแล้ว ทำการทดสอบการทำงานของห้องเย็น โดยทดสอบความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็น และทำการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องในการทำงานของห้องเย็น

ในการทดสอบความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเย็น จะทำการทดสอบห้องเย็นในลักษณะที่เป็นห้องเปล่า ไม่มีการทำความเย็นจากดอกไม้แห้ง และตั้งอุณหภูมิของห้องเย็นไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นที่ตำแหน่งกลางห้อง ตั้งแต่เริ่มเปิดการทำงานของระบบทำความเย็นของห้องเย็น จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

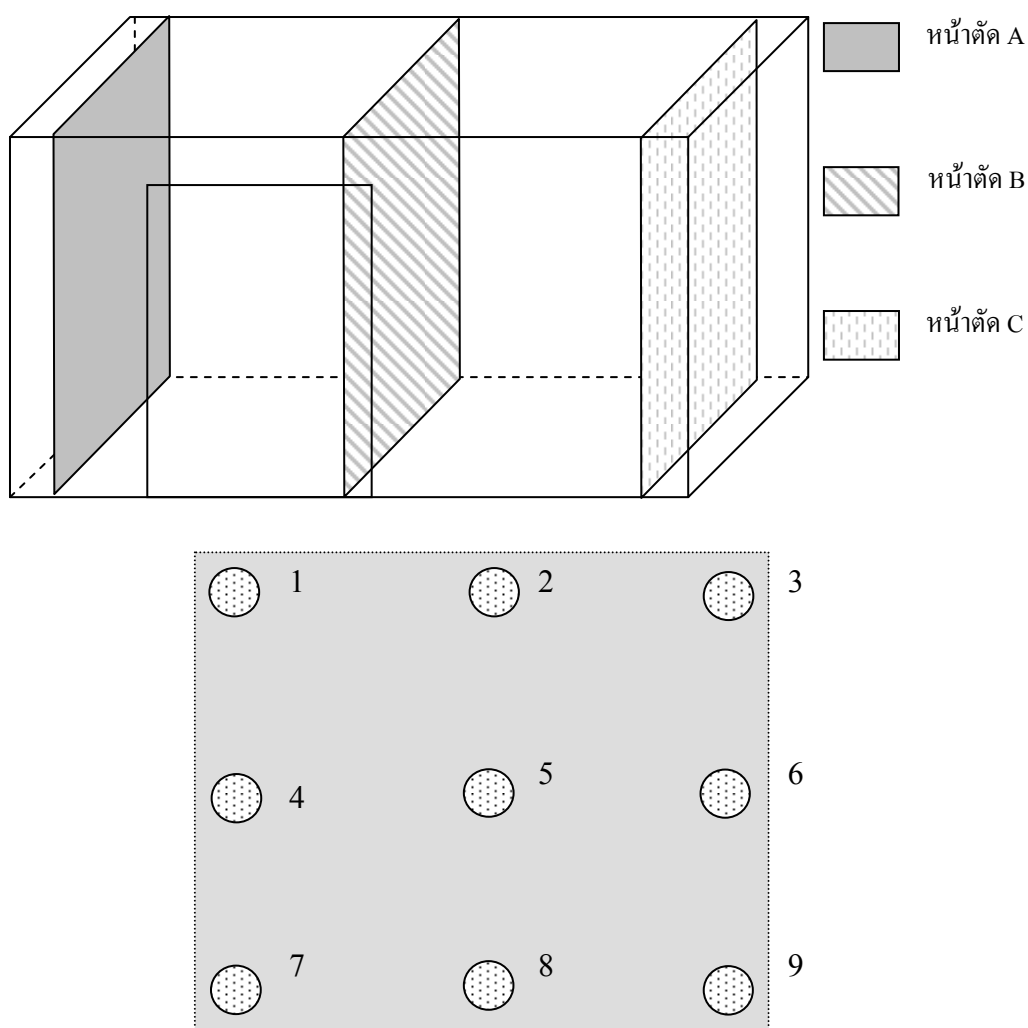
5. ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

ทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น จากผลของการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องในการทำงานของห้องเย็น ในข้อ 4

6. ทดสอบและประเมินผลขั้นสุดท้าย

6.1 ทดสอบการกระจายอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็น

ทำการทดสอบการกระจายอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องเย็น โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จำนวนทั้งหมด 27 จุด (3 หน้าตัด หน้าตัดละ 9 จุด) ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 จุดวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเย็น

6.2 ทดสอบหาสมรรถนะการทำความเย็นของห้องเย็น โดยหาค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (Chilling Performance, Chp) ทำการบันทึกค่าเพื่อใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้

1. อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านอีวาโปเรเตอร์
2. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าอีวาโปเรเตอร์
3. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังออกจากอีวาโปเรเตอร์
4. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าคอยล์ร้อน
5. ค่าพลังงานไฟฟ้า

6.3 ทดสอบและประเมินความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง ทำการทดสอบที่ ปริมาณการเก็บรักษาไม่เกิน 60% ของปริมาตรภายในห้องเย็น โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ปริมาณ ความชื้น (moisture content) ของดอกไม้แห้ง เป็นดัชนีที่ใช้ในการพิจารณา

ในการทดสอบและประเมินความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งจะทำโดย ทำ การสุ่มเก็บตัวอย่างของดอกไม้แห้งทุกๆ 2 ชั่วโมง เป็นจำนวนซ้ำ 3 ครั้ง และนำตัวอย่างที่ได้ไป วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น กับระยะเวลาที่ใช้ใน การเก็บรักษา

7. วิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ หาค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง (บาทต่อกิโลกรัม ดอกไม้แห้ง)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ

1.1 ผลการศึกษาข้อมูลของดอกไม้แห้งที่จะนำมาใช้ทำการทดสอบ

ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของดอกไม้แห้ง ในการเลือกดอกไม้แห้งที่จะนำมาใช้ในการทดสอบจะทำการเลือกจากดอกไม้แห้งที่มีการผลิตตลอดปี และมีการถูกทำลายจากแมลงสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณากระจ๊อ และเฟิร์น จากมูลนิธิโครงการหลวง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน มาใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 6



ก) ภาพตัวอย่างกระจ๊อที่ใช้ในการทดสอบ

ข) ภาพตัวอย่างเฟิร์นที่ใช้ในการทดสอบ

ภาพที่ 6 ภาพตัวอย่างกระจ๊อและเฟิร์นที่ใช้ในการทดสอบ

ข้อมูลพื้นฐานและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระจ๊อและเฟิร์น ดังแสดงในตารางที่

1 และ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระเจี๊ยบ

ชื่อวิทยาศาสตร์	Hibiscus Macrophyllus
ชื่อวงศ์	Malvaceae
ลำต้น	เปลือกต้นบางสีครีมอ่อน ผิวเรียบหรือมีรอยแตกตื้นๆ และมีรูอากาศขนาดใหญ่ เปลือกชั้นในสีน้ำตาลอมชมพูเป็นเยื่อใยแน่น
ใบ	ขนาด 15-35 ซม. เกือบจะกลมรูปหัวใจ ขอบใบเรียบหรือมีหยักตื้นๆ ใบอ่อนมีขนรูปดาวหนาแน่น ใบแก่ขนน้อยลง เส้นใบ 7-9 จากรากฐาน
ดอก	ขนาด 5-7.5 ซม. สีเหลืองสดมีแต้มสีม่วงตรงกลาง เปลี่ยนเป็นดอกสีแดงเมื่อแก่ กลีบดอกบิดคล้ายกรวย
ผล	ผล 2.5-3.5 ซม. รูปไข่มีกลีบเลี้ยงและรีวประดับที่ฐาน มีขนแข็งๆยาวสีทองปกคลุมด้านนอก ผลแตกได้ 10 พู เมล็ดมาก รูปร่างคล้ายไต มีขนปกคลุม
แหล่งที่พบ	กระจายกว้างขวางในภาคเหนือ ชอบขึ้นตามช่องเปิดป่าขึ้น มักพบในไร่ชา

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของเฟิร์น

ชื่อวิทยาศาสตร์	Nephrolepis cordifolia Presl.
ชื่อวงศ์	OLEANDRACEAE
ลำต้น	ลำต้นขนาดเล็กคล้ายเส้นเชือก มีบางส่วนของลำต้นสามารถเลื้อยไปตามพื้นดินและแตกเป็นต้นใหม่ได้ ที่เรียกว่าไหล (Stolons)
ใบ	ใบประกอบ ก้านใบแข็ง ถ้าแก่ก้านใบมีสีน้ำตาลเข้ม ใบย่อยยาวแคบปลายใบทู่ ขอบใบเป็นจักเล็กน้อย ใบย่อยมีขนาดกว้าง 0.5-1 เซนติเมตร ยาว 1-2 เซนติเมตร เรียงกันแบบสลับถี่ๆ มองดูเหมือนขนนก
ดอก	เป็นพืชไม่มีดอก ผลและเมล็ด สร้างสปอร์ (spores) ด้านใต้ใบใกล้ๆ ขอบใบ
แหล่งที่พบ	ที่มีแดดรำไรและชอบที่ชื้นแฉะแต่ไม่ท่วมขัง

1.2 ผลการศึกษาข้อมูลในการออกแบบห้องเย็น

1.2.1 รูปแบบของห้องเย็น

รูปแบบของห้องเย็นที่ใช้ในการเก็บรักษาสินค้าในเชิงพาณิชย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) Built-in-place cold storage.

ห้องเย็นแบบ Built-in-place เป็นห้องเย็นที่สามารถก่อสร้างได้โดยใช้เสาไม้ เหล็ก และคอนกรีต เป็นวัสดุในการก่อสร้าง ค่าก่อสร้างขึ้นอยู่กับค่าแรง และค่าวัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้สำหรับทำโครงสร้าง ผนัง พื้น เพดาน และฉนวนกันความร้อนของห้องเย็น การออกแบบห้องเย็นแบบ Built-in-place cold storage ต้องคำนึงตำแหน่งในการจัดวางอุปกรณ์ ความสะดวกในการจัดการขนสินค้าเข้าออกภายในห้องเย็น และการต่อเติมเพื่อขยายขนาดของห้องเย็นในอนาคต ตัวอย่างของห้องเย็นแบบ Built-in-place cold storage ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 Built-in-place cold storage

2) Adapted cold storage

ห้องเย็นแบบ Adapted cold storage เป็นห้องเย็นที่ใช้สำหรับเก็บรักษาสินค้าที่ต้องใช้ความเย็นในการเก็บรักษาในระหว่างการขนส่ง ตัวอย่างเช่น ice cream trucks, refrigerated railway cars และ refrigerated semi-tractor trailers ดังแสดงในภาพที่ 8

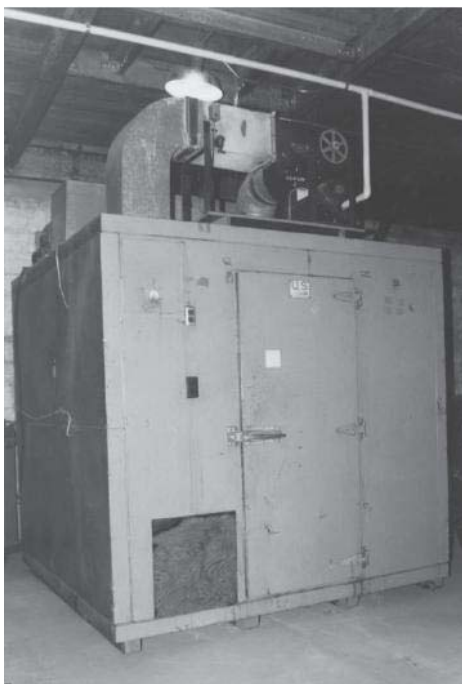
สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเมื่อมีการเลือกใช้ห้องเย็นแบบ Adapted cold storage ได้แก่ ผนวกกันความร้อนของห้องเย็น การกันรั่วของอากาศที่ขอบประตู การระบายน้ำ การหมุนเวียนของอากาศ และอุปกรณ์ทำความเย็น สิ่งที่ต้องพิจารณาต่อไปคือ การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบทำความเย็น ชนิดของสารทำความเย็น และชนิดของสินค้าที่ต้องการขนส่ง



ภาพที่ 8 Refrigerated semi-tractor trailers

3) Prefabricated cold storage

ห้องเย็นแบบ Prefabricated cold storage อาจถือได้ว่าเป็นห้องเย็นแบบที่เป็นที่นิยมมากที่สุด แต่ห้องเย็นแบบ Prefabricated นี้เป็นห้องเย็นที่มีราคาต่อปริมาตรสูงที่สุดในบรรดาห้องเย็นทั้ง 3 ชนิด สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบห้องเย็นแบบ Prefabricated จะเหมือนกับห้องเย็นแบบ Adapted cold storage แต่ข้อดีของห้องเย็นแบบ Prefabricated คือสะดวกในการขนส่ง ประกอบ สะดวกในการเคลื่อนย้าย และบำรุงรักษา ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างของห้องเย็นแบบ Prefabricated



ภาพที่ 9 Prefabricated cold storage

การเลือกใช้ชนิดของห้องเย็นแบบใดนั้น ขึ้นอยู่กับความสะดวกในการใช้งาน และเงินลงทุนของผู้ประกอบการ

1.2.2 สภาวะอากาศที่เหมาะสมในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

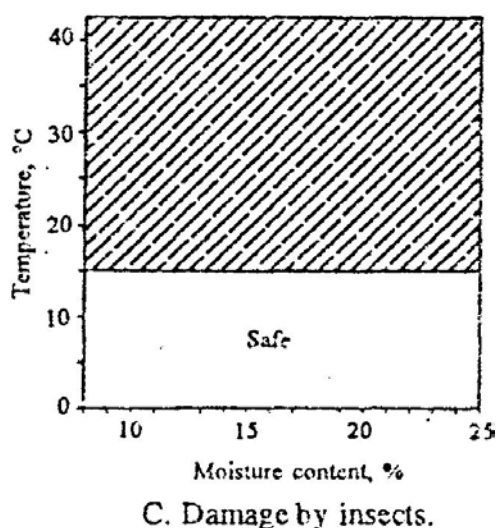
สำหรับสภาวะอากาศที่เหมาะสมในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งนั้น จะพิจารณาจากการป้องกันการทำลายจากแมลงและเชื้อรา โดยจะพิจารณาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เหมาะสมที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของแมลงและเชื้อรา ซึ่งในการป้องกันการเติบโตของแมลงและเชื้อรานั้นสามารถควบคุมได้โดยการใช้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

จารุพันธ์ และคณะ (2541) ได้ตรวจสอบชนิดแมลงที่พบในดอกไม้แห้ง โดยเก็บตัวอย่างนำไปตรวจสอบกับเอกสารวิชาการ พบจำนวนแมลงรวมทั้งสิ้น 8 ชนิด ดังนี้

1. คิววงงข้าวโพด *Sitophilus zeamais* (Motschusky) วงศ์ CURCULIONIDAE
2. มอดยาสือบ *Lasioderma serricorne* (Fabricius) วงศ์ ANOBIIDAE

- | | | |
|----------------------|---|-------------------|
| 3. ผีเสื้อข้าวเปลือก | <i>Sitotroga cecealella</i> (Olivier) | วงศ์ GELECHIIDAE |
| 4. ผีเสื้อข้าวสาร | <i>Corcyra cephalonica</i> (Stainton) | วงศ์ GALLERIIDAE |
| 5. มอดพื้นเลื้อยใหญ่ | <i>Oryzaphilus mercator</i> (Fauvel) | วงศ์ SILYANIDAE |
| 6. มอดข้าวเปลือก | <i>Phyzopertha dominica</i> (Fabricius) | วงศ์ OSTRYCHEDAE |
| 7. มอดแป้ง | <i>Tribolium castaneum</i> (Herbst) | วงศ์ TEREBRIONDAE |
| 8. มอดสยาม | <i>Lophocateres pusillus</i> (Klug) | วงศ์ TROGOSITIDAE |

Sakda (1994) ได้แสดงค่าของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเพื่อป้องกันการทำลายจากแมลง ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมคืออุณหภูมิที่ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 อุณหภูมิและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษา

ASHRAE (2002) กล่าวว่า แม้อุณหภูมิที่ต่ำของห้องเย็นจะไม่สามารถฆ่าแมลงให้ตายได้ แต่สามารถทำให้แมลงทั่วไปไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ (Inactive) ที่อุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส

Chuwit (1995) กล่าวว่า แมลงทั่วไปจะดำรงชีวิตอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 17 ถึง 35 องศาเซลเซียส และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75% และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาคืออุณหภูมิที่ต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส

Gast et al. (1994) กล่าวว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตผลที่ทำแห้งแล้วคือความชื้นสัมพัทธ์ 50 ถึง 65%

Randy (1993) กล่าวว่าในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งนั้นควรทำการเก็บรักษาในความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 75 % เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา และควรเก็บรักษาไว้ในที่มีดเนื่องจากแสงสว่างจะมีผลทำให้สีของดอกไม้ซีดลง

จากการตรวจเอกสารเกี่ยวกับอุณหภูมิและความชื้นที่ใช้เก็บรักษาเพื่อป้องกันการทำลายจากแมลง และเชื้อราดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงสรุปได้ว่า สภาพอากาศที่เหมาะสมในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งเพื่อป้องกันการทำลายจาก แมลงและเชื้อราคือ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 50- 65 %

2. ผลการออกแบบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

2.1 การออกแบบห้องเย็น

จากข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับรูปแบบของห้องเย็นที่เหมาะสมในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น จึงได้ทำการออกแบบห้องเย็นให้มีลักษณะเป็นแบบตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อให้สะดวกสำหรับการขนส่ง การควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องเย็นจะใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor compression system) โดยมีอีวาโปเรเตอร์ติดตั้งอยู่ที่เพดานในห้องเย็น และมีคอนเดนซิงยูนิติดติดตั้งอยู่บนหลังคาของห้องเย็น

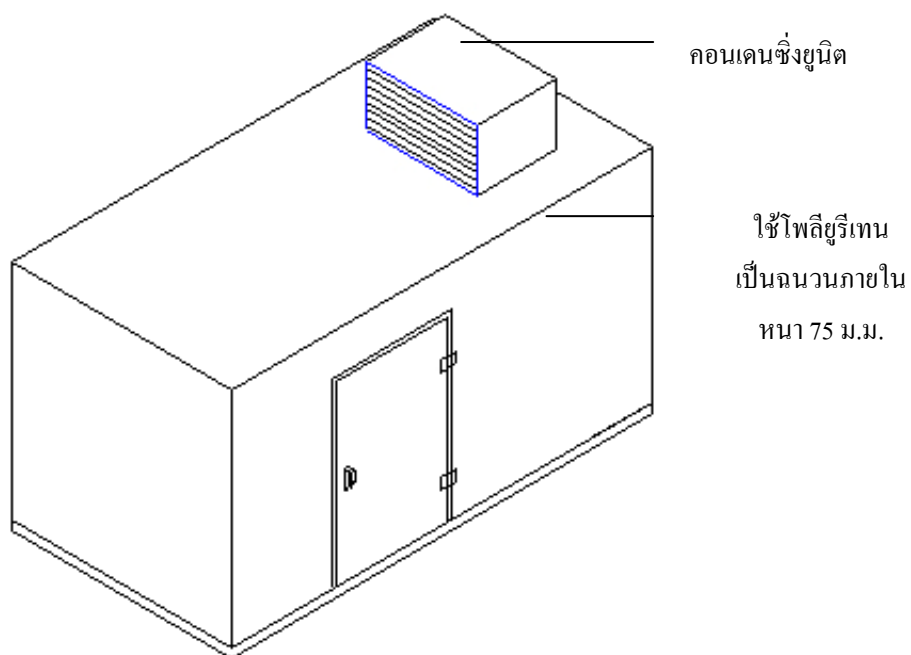
การหาขนาดที่เหมาะสมของห้องเย็นนั้น พิจารณาจากปริมาณการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง ซึ่งในเบื้องต้นจะออกแบบให้ห้องเย็นสามารถเก็บรักษาดอกไม้แห้งได้ 400 กิโลกรัม โดยในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งในห้องเย็นนั้นจะทำการบรรจุลงในกล่องกระดาษแข็งขนาด $0.5 \times 1 \times 0.5$ เมตร หรือ 0.25 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งกล่องหนึ่งใบสามารถบรรจุดอกไม้แห้งได้ 10 กิโลกรัม ดังนั้นห้องเย็นต้องสามารถเก็บรักษาดอกไม้แห้งได้ ทั้งหมด 40 กล่อง ซึ่งคิดเป็นปริมาตร

$$40 \text{ กล่อง} \times 0.25 \text{ ลูกบาศก์เมตร/กล่อง} = 10 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

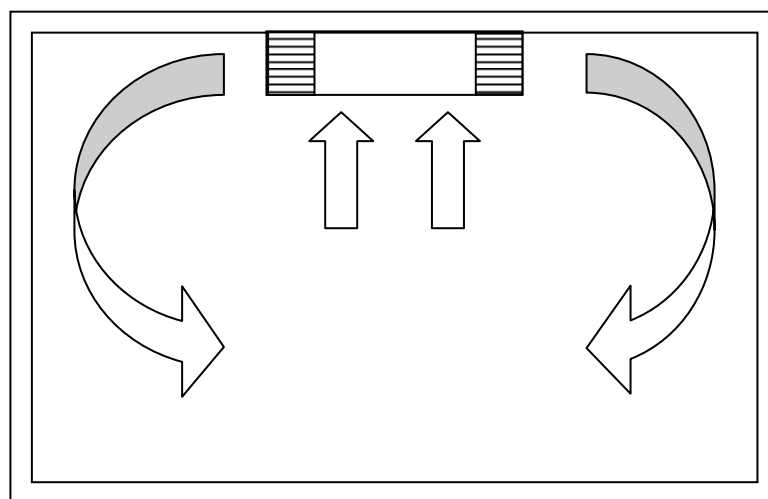
ASHRAE (2002) ปริมาณที่เหมาะสมในการเก็บรักษาสินค้าในห้องเย็นนั้นไม่ควรเกิน 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรของห้องเย็น (สำหรับกรณีพิเศษสามารถเก็บรักษาได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรของห้องเย็น) ขนาดที่เหมาะสมของห้องเย็น คือ

$$10 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times \frac{100}{60} = 16.67 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

ดังนั้นจึงออกแบบห้องเย็นให้มีความกว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร และสูง 2 เมตร โดยใช้โพลียูรีเทนหนา 3 นิ้ว (0.075 เมตร) เป็นฉนวนกันความร้อน ดังภาพที่ 11 และออกแบบให้มีกรหมุนเวียนของอากาศภายในห้องเย็นดังภาพที่ 12



ภาพที่ 11 ภาพลายเส้น (Schematic Diagram) ของห้องเย็นที่จะทำการออกแบบ



ภาพที่ 12 แสดงลักษณะการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องเย็น

2.2 การออกแบบระบบทำความเย็น

ในการออกแบบระบบทำความเย็น ขั้นตอนในการออกแบบประกอบไปด้วย

- 1) การหาขนาดของระบบทำความเย็น
- 2) การหาอุณหภูมิผิวคอยล์เย็น
- 3) การเลือกอีวาโปเรเตอร์
- 4) การเลือกคอนเดนซิ่งยูนิต
- 5) การหาขนาดของท่อสารทำความเย็น

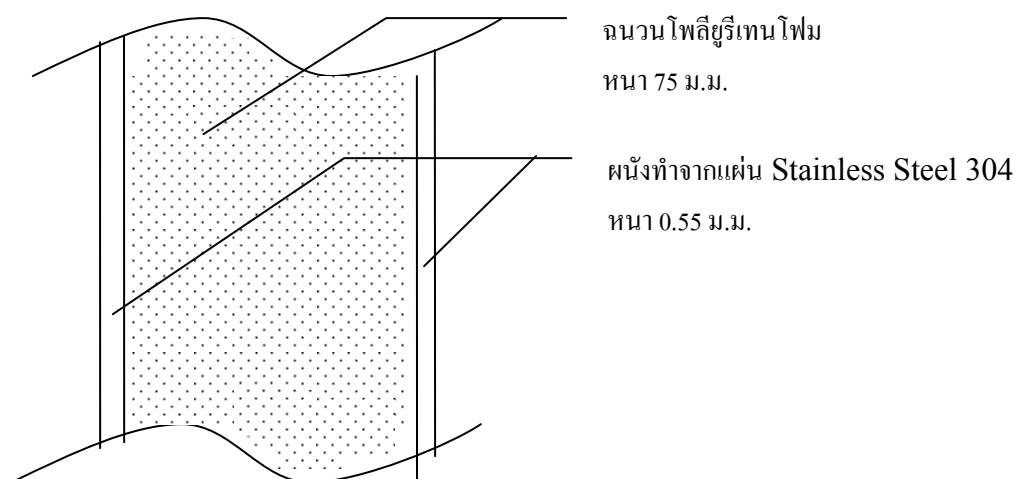
1) การหาขนาดของระบบทำความเย็น

ในการเลือกขนาดของระบบทำความเย็น จะทำการคำนวณภาระการทำความเย็นทั้งหมด โดยมีข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบ ดังต่อไปนี้

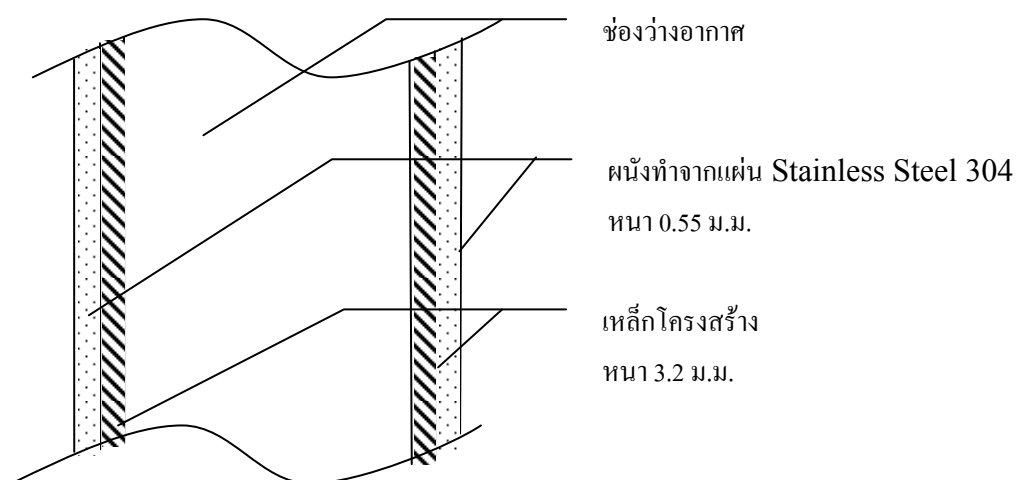
สินค้า	:	ดอกไม้แห้ง
ปริมาณ	:	400 กิโลกรัม
ขนาดห้องเย็น	:	$2 \times 4 \times 2$ เมตร
สภาวะอากาศในห้องเย็น	:	อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50%
สภาวะอากาศนอกห้องเย็น	:	อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60%
อุณหภูมิพื้น	:	อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

1.1) ภาระที่ผ่านผนังเข้ามา (Wall gain load)

การหาค่าความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามาในห้องเย็น เพื่อความสะดวกจะทำการคำนวณแบ่งตามโครงสร้างผนังห้องเย็นซึ่งมี 2 แบบ ดังภาพที่ 13 และ 14



ภาพที่ 13 โครงสร้างของผนังห้องเย็น แบบที่ 1



ภาพที่ 14 โครงสร้างของผนังห้องเย็น แบบที่ 2

สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน ได้ดังนี้

$$\text{จาก} \quad U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \dots + \frac{x}{k_n} + \frac{1}{f_o}}$$

จากตารางผนวกที่ ก1 กำหนดอากาศที่ผิวด้านในและด้านนอกเป็นอากาศนิ่ง

ผนังแบบที่ 1 ;

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{9.37} + \frac{0.00055}{16} + \frac{0.075}{0.025} + \frac{0.00055}{16} + \frac{1}{9.37}} = 0.311 \text{ W/m}^2\text{K}$$

ผนังแบบที่ 2 ;

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{9.37} + \frac{0.00055}{16} + \frac{0.0032}{59} + \frac{1}{9.37} + \frac{0.0032}{59} + \frac{0.00055}{16} + \frac{1}{9.37}} = 0.311 \text{ W/m}^2\text{K}$$

นำค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน (U) มาคำนวณค่าความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็นได้ดังตารางที่ 3

$$\text{จาก} \quad Q = U \times A \times \Delta T$$

ตารางที่ 3 ตารางคำนวณค่าความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็น

	ค่าความร้อน (W)		
	ผนังแบบที่ 1	ผนังแบบที่ 2	รวม
ด้านหน้า	(0.311)(6.749)(35-10) = 52.473	(3.122)(1.251)(35-10) = 97.641	150.114
ด้านบน	(0.311)(7.267)(35-10)	(3.122)(0.733)(35-10)	
	= 56.501	= 57.211	113.712

ตารางที่ 3 (ต่อ)

	ค่าความร้อน (W)		
	ผนังแบบที่ 1	ผนังแบบที่ 2	รวม
ด้านหลัง	(0.311)(7.267)(35-10) = 56.501	(3.122)(0.733)(35-10) = 57.211	113.712
ด้านซ้าย	(0.311)(3.706)(35-10) = 28.814	(3.122)(0.294)(35-10) = 22.947	51.761
ด้านขวา	(0.311)(3.706)(35-10) = 28.814	(3.122)(0.294)(35-10) = 22.947	51.761
พื้น	(0.311)(7.267)(28-10) = 40.681	(3.122)(0.733)(28-10) = 41.192	81.873
รวม			562.933

∴ ความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามามีค่าเท่ากับ 0.563 kW

1.2) ภาระจากอากาศที่รั่วเข้ามา (Infiltration load)

การหาค่าความร้อนจากอากาศที่รั่วเข้ามาสามารถคำนวณได้จาก

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

จากตารางผนวกที่ ก2 ที่อุณหภูมิห้องเย็น 10 °C และสภาวะอากาศภายนอก อุณหภูมิ 35°C ความชื้นสัมพัทธ์ 60% จะได้ค่าเอนทัลปีที่เปลี่ยนแปลงเท่ากับ 0.0694 kJ/L

จากตารางผนวกที่ ก3 ที่ปริมาตรของห้อง 16 m³ จะได้ค่าอัตราอากาศที่เข้ามา เท่ากับ 4.52 L/s

∴ ความร้อนจากอากาศที่รั่วเข้ามา = $4.52 \times 0.0694 = 0.314 \text{ kW}$

หาค่าอัตราส่วนความร้อนสัมผัสได้จาก, $R_s = \frac{Q_s}{Q_t}$

โดยที่ R_s = อัตราส่วนความร้อนสัมผัส
 Q_s = ความร้อนสัมผัส
 Q_t = ความร้อนรวม

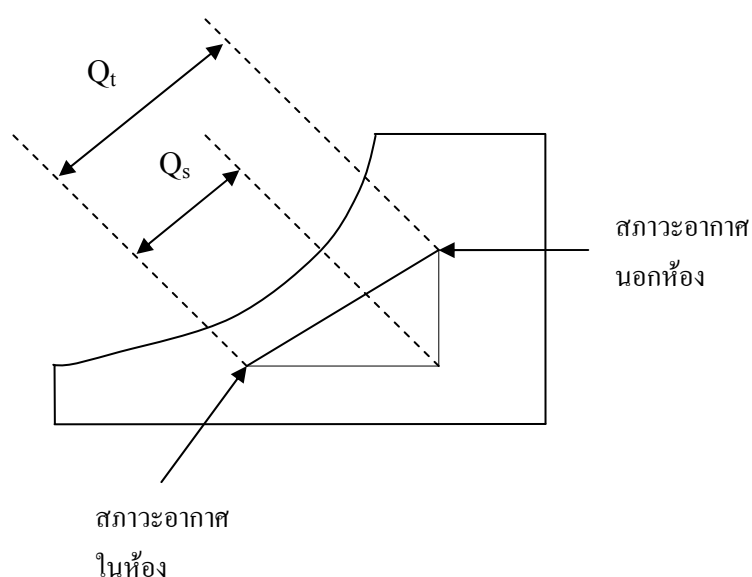
พิจารณาจากแผนภาพไซโครเมตริกซ์ ดังภาพที่ 15

จะได้ $R_s = \frac{44.899 - 19.604}{90.300 - 9.604} = 0.358$

ดังนั้นสามารถแบ่งภาระจากอากาศที่เข้ามาใหม่เป็นความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงได้ดังนี้

ความร้อนสัมผัส, $Q_s = R_s \times Q_t = 0.358 \times 0.314 = 0.112 \text{ kW}$

ความร้อนแฝง, $Q_l = Q_t - Q_s = 0.314 - 0.112 = 0.202 \text{ kW}$



ภาพที่ 15 แผนภาพไซโครเมตริกซ์แสดงการหาค่าอัตราส่วนความร้อนสัมผัส

1.3) ภาระจากผลิตภัณฑ์ (Product load)

เนื่องจากห้องเย็นมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (0°C) ภาระจากผลิตภัณฑ์จะเกิดจากความร้อนที่ผลิตภัณฑ์จะคายออก เพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของห้องเย็นซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$Q = \frac{m \times c \times \Delta T}{\text{เวลาในการทำความเย็น}}$$

สำหรับค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ ในที่นี้คือดอกไม้แห้ง ซึ่งยังไม่มีผู้ใดทำการวิจัยหาเอาไว้ จึงได้ใช้ค่าความร้อนของเมล็ดพืชซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงแทน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.21 kJ/kg.K และกำหนดเวลาในการทำความเย็น 8 ชั่วโมง จะได้

$$Q = \frac{400 \times 1.21 \times (35 - 10)}{8 \times 3600} = 0.42 \text{ kW}$$

∴ ความร้อนจากผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.42 kW

1.4) ภาระจากคนและอุปกรณ์ต่างๆ (Miscellaneous load)

ภาระอื่นๆ ภายในห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง ได้แก่ ความร้อนจากคน และความร้อนจากหลอดไฟ

ในการคำนวณความร้อนจากคนจะกำหนดให้มีคนทำงานในห้องเย็น 1 คน จำนวนชั่วโมงในการทำงาน 8 ชั่วโมง ซึ่งคำนวณได้จาก

$$Q = n \times Q_p \times \frac{t}{24}$$

จากตารางผนวกที่ ก4 ความร้อนที่คายออกจากร่างกายคนของคนที่ยกของ จะได้ความร้อนสัมผัส 165 W และความร้อนแฝง 300 W จะได้

$$\text{ความร้อนสัมผัสจากคน} = 1 \times 0.165 \times \frac{8}{24} = 0.055 \text{ kW}$$

$$\text{ความร้อนแฝงจากคน} = 1 \times 0.300 \times \frac{8}{24} = 0.1 \text{ kW}$$

ภายในห้องเย็นจะมีหลอดไฟขนาด 23 W จำนวน 1 หลอด ซึ่งสามารถคำนวณความร้อนจากไฟแสงสว่างได้จาก

$$\begin{aligned} Q &= \frac{P \times t}{24} \\ &= \frac{0.023 \times 8}{24} \\ &= 0.008 \text{ kW} \end{aligned}$$

ภาระการทำความเย็นทั้งหมดที่ได้คำนวณมาข้างต้นแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ภาระการทำความเย็นทั้งหมดของห้องเย็น

	ความร้อนสัมผัส	ความร้อนแฝง	ความร้อนรวม
ความร้อนผ่านผนัง	0.563	-	0.563
ความร้อนจากอากาศที่รั่วเข้ามา	0.112	0.202	0.314
ความร้อนจากผลิตภัณฑ์	0.420	-	0.420
ความร้อนจากคน	0.055	0.100	0.155
ความร้อนจากหลอดไฟ	0.008	-	0.008
รวม	1.158	0.302	1.460

จากภาระการทำความเย็นทั้งหมด 1.460 kW และกำหนดค่า Safety Factor 20%

$$\text{จะได้ขนาดของระบบทำความเย็น} = 1.460 \times 1.2 = 1.752 \text{ kW}$$

2) การหาอุณหภูมิผิวคอยล์เย็น

ในการหาอุณหภูมิผิวคอยล์เย็นทำได้โดยการเขียนเส้นสภาวะอากาศลงในแผนภาพไซโครเมตริกซ์ โดยเริ่มต้นจากสภาวะอากาศในห้อง ลากเส้นผ่านสภาวะอากาศที่ส่งเข้าห้อง จนไปตัดเส้นอิ่มตัว ซึ่งอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งบนเส้นอิ่มตัวนั้นคืออุณหภูมิผิวคอยล์

เราสามารถคำนวณหาปริมาณอากาศส่งเข้าห้องได้จากสมการความร้อนสัมผัส

$$Q_s = m_a c_p (T_l - T_s)$$

โดยที่	Q_s	=	ความร้อนสัมผัส จากตารางที่ มีค่าเท่ากับ 1.158 kW
	m_a	=	อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)
	c_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศมีค่าเท่ากับ 1 kJ/kg K
	T_l	=	อุณหภูมิของอากาศในห้อง มีค่าเท่ากับ 10 °C
	T_s	=	อุณหภูมิของอากาศที่ส่งเข้าห้อง กำหนดให้เท่ากับ 3 °C

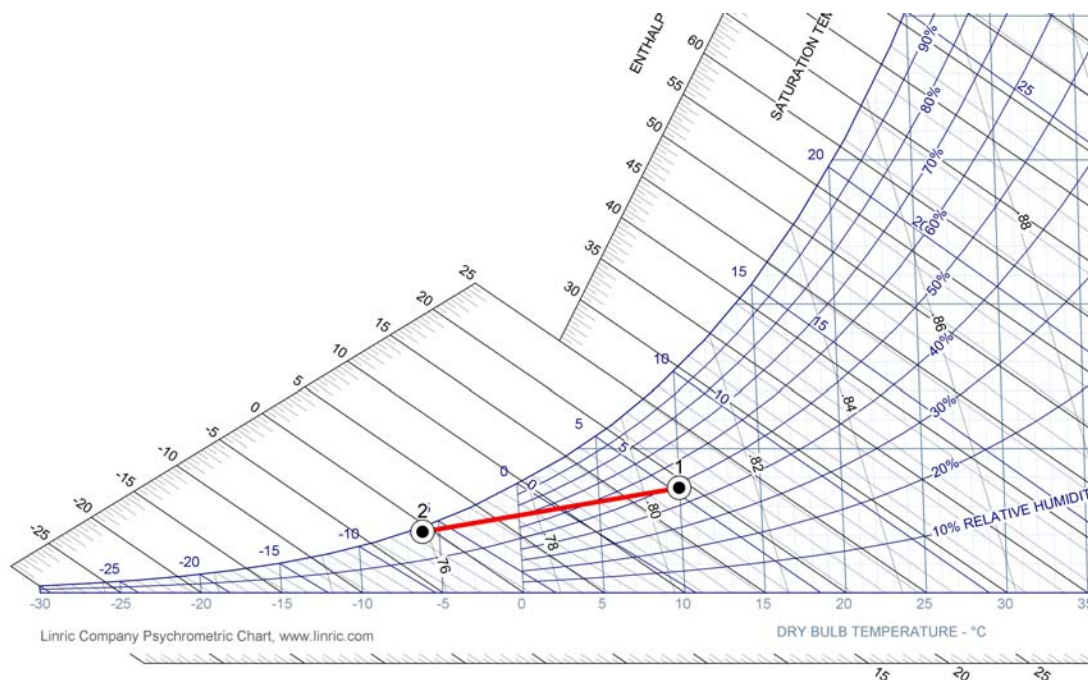
จะได้
$$m_a = \frac{1.158}{1 \times (10 - 3)} = 0.165 \text{ kg/s}$$

ทำค่าความร้อนสัมผัสและค่าความร้อนแฝงให้อยู่ในหน่วย kJ/kg

จะได้
$$Q_s = \frac{1.158}{0.165} = 7.018 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_l = \frac{0.302}{0.165} = 1.830 \text{ kJ/kg}$$

เขียนเส้นสภาวะอากาศลงในแผนภาพไซโครเมตริกซ์ ได้ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 เส้นสภาวะอากาศผ่านคอยล์เย็นในแผนภาพไซโครเมตริกซ์

∴ อุณหภูมิผิวคอยล์เท่ากับ -6°C

3) การเลือกอีวาโปเรเตอร์

ข้อมูลพื้นฐานในการเลือกอีวาโปเรเตอร์มีดังนี้

- ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ
- สารทำความเย็น R22
- ขนาดการทำความเย็น 1.752 kW
- อุณหภูมิของผิวคอยล์ -6°C
- ระยะส่งลมเย็น 2 เมตร

จากตารางผนวกที่ ก6 เลือกคอยล์เย็นรุ่น MIC 400 ซึ่งมีขนาดการทำความเย็น 2.20 kW และอุณหภูมิผิวคอยล์ -8°C

4) การเลือกคอนเดนซิ่งยูนิต

คอนเดนซิ่งยูนิต ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ คอยล์ร้อน และถังพักความดันสูง

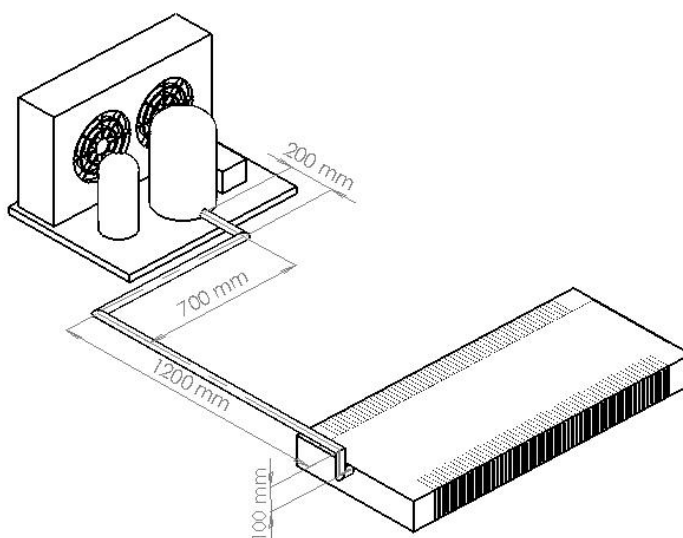
ข้อมูลพื้นฐานในการเลือกคอนเดนซิ่งยูนิต มีดังนี้

- ขนาดการทำความเย็น 2.20 kW
- อุณหภูมิคอยล์เย็น -8°C
- อุณหภูมิคอยล์ร้อน 35°C

จากตารางทาบที่ ก7 เลือกคอนเดนซิ่งยูนิต รุ่น MGM 022 ซึ่งมีขนาดการทำความเย็น 2.24 kW และอุณหภูมิคอยล์ร้อน 38°C

5) การหาขนาดของท่อสารทำความเย็น

ในการหาขนาดของท่อสารทำความเย็นจะทำการหาขนาดของท่อดูด (Suction Line) และท่อของเหลว (Liquid Line) โดยที่ท่อดูดและท่อของเหลวจะวางคู่กันอยู่ในตำแหน่งดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ตำแหน่งและความยาวของท่อสารทำความเย็น

5.1) ขนาดของท่อดูด

โดยปกติการหาขนาดของท่อดูดต้องระมัดระวังมากกว่าสารทำความเย็นอื่น ขนาดท่อดูดถ้าเล็กไปจะทำให้ความดันของสารทำความเย็นในท่อดูดลดลงเป็นผลทำให้ความสามารถและประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นลดลง ในทำนองเดียวกัน ขนาดของท่อดูดใหญ่ไปจะมีผลทำให้ความเร็วของสารทำความเย็นลดลงมากเกินไปที่จะพาเอาน้ำมันหล่อลื่น จากอีวาโปเรเตอร์ไปยังคอมเพรสเซอร์

จากตารางผนวกที่ ก8 เลือกท่อทองแดงขนาด 15 mm ขนาดการทำความเย็น 1.14 kW ที่อุณหภูมิคอยล์ร้อน 41 °C และความดันลดลงเทียบเท่า 1 °C ต่อความยาวท่อ 30 m

ความยาวเทียบเท่าของข้อมาตรฐานขนาด 15 mm มีค่าเท่ากับ 0.46 m

ท่อดูดยาว 2 m

ข้อมาตรฐาน 4 ตัว ความยาวเทียบเท่า = $4 \times 0.46 = 1.84$ m

∴ ความยาวเทียบเท่าทั้งหมด = $2 + 1.84 = 3.84$ m

จากตารางผนวกที่ ก9 ตัวประกอบเปลี่ยนแปลงขนาดการทำความเย็นที่ถูกต้องของระบบสำหรับอุณหภูมิคอยล์ร้อน 38 °C เท่ากับ 0.95

ขนาดการทำความเย็นที่ถูกต้อง = $1.41 \times 0.95 = 1.34$ kW

$$\begin{aligned} \text{อุณหภูมิสูญเสียในท่อดูด} &= \Delta T \times \frac{L_e}{30} \times \frac{kW}{kW_{table}}^{1.8} \\ &= 1 \times \frac{3.84}{30} \times \frac{2.2}{1.34}^{1.8} \\ &= 0.31 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

จากตารางผนวกที่ ก9 ความดันสูญเสียที่อุณหภูมิสูญเสีย 1 °C มีค่าเท่ากับ 15.31 kPa

$$\therefore \text{ความดันสูญเสียของท่อที่ออกแบบ} = \frac{0.31}{1} \times 15.31 = 4.75 \text{ kPa}$$

ดังนั้นสามารถใช้ท่อขนาด 15 mm ได้ เนื่องจากความเร็วของไอสารทำความเย็นจะสูงเพียงพอที่จะพาน้ำมันหล่อลื่นกลับไปยังคอมเพรสเซอร์

5.2) ขนาดของท่อของเหลว

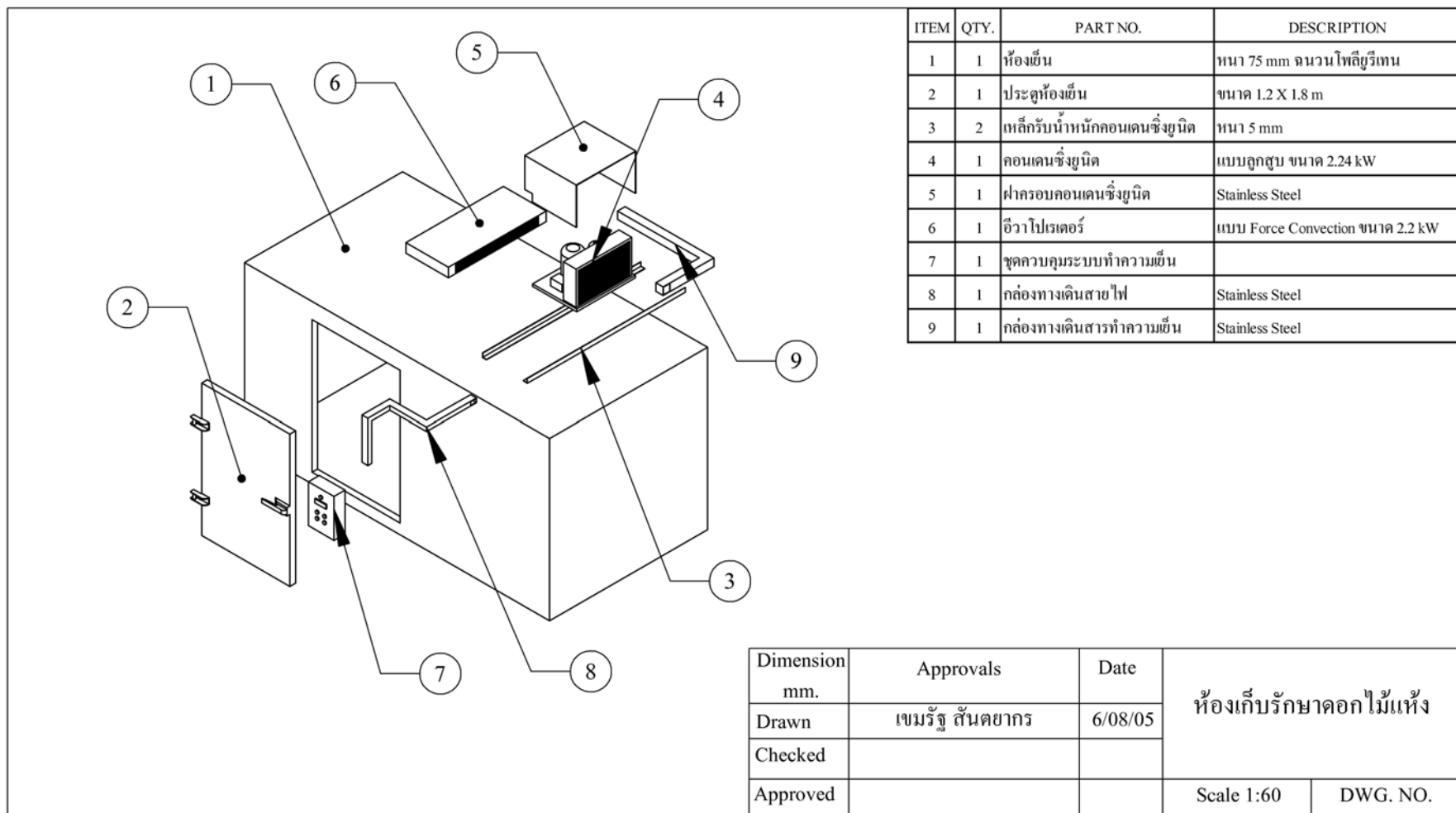
ท่อของเหลวมีหน้าที่พาสารทำความเย็นเหลวจากถังเก็บไปยังเครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็นที่ความดันสูงเพียงพอที่จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพ

จากตารางผนวกที่ ก8 เลือกขนาดท่อทองแดง 15 mm ขนาดการทำความเย็น 12.3 kW ความดันสูญเสีย 21.03 kPa ต่อความยาวท่อเทียบเท่า 30 เมตร

ความยาวเทียบเท่าของท่อของเหลวเท่ากับ 3.84 m

$$\therefore \text{ความดันสูญเสียในท่อของเหลว} = \frac{3.84}{30} \times 21.03 = 2.69 \text{ kPa}$$

หลังจากได้ทำการออกแบบห้องเย็น และระบบทำความเย็นแล้ว เมื่อนำส่วนประกอบของห้องเย็น และระบบทำความเย็นทั้งหมดมาติดตั้งเข้าด้วยกัน จะได้ห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ภาพแสดงรายละเอียดส่วนประกอบของห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

3. ผลการสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

หลังจากได้ดำเนินการออกแบบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งแล้ว จึงได้ดำเนินการสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งตามแบบในภาคผนวก ค. ดังแสดงในภาพที่ 19



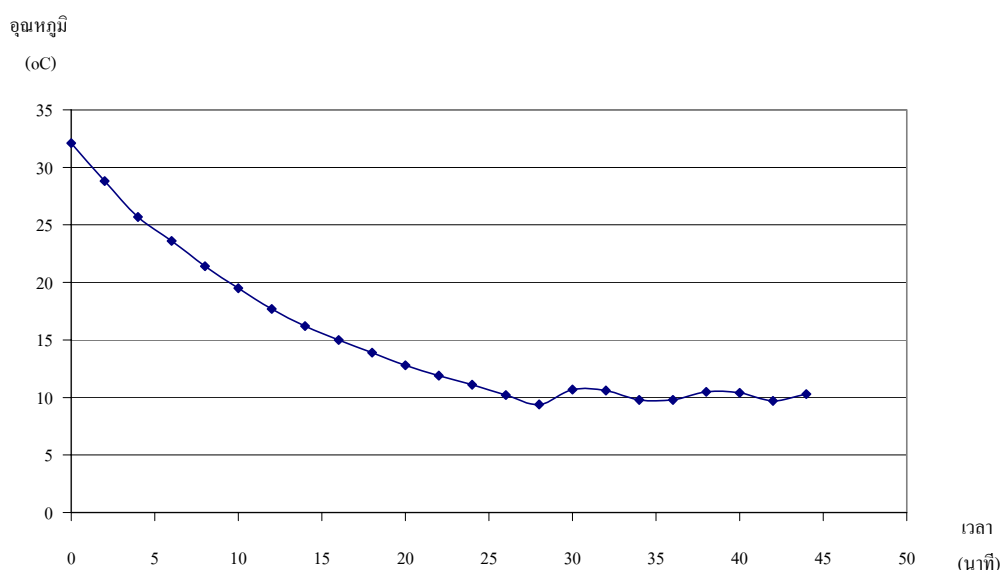
ภาพที่ 19 ห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

4. ผลการทดสอบและประเมินผลเบื้องต้น

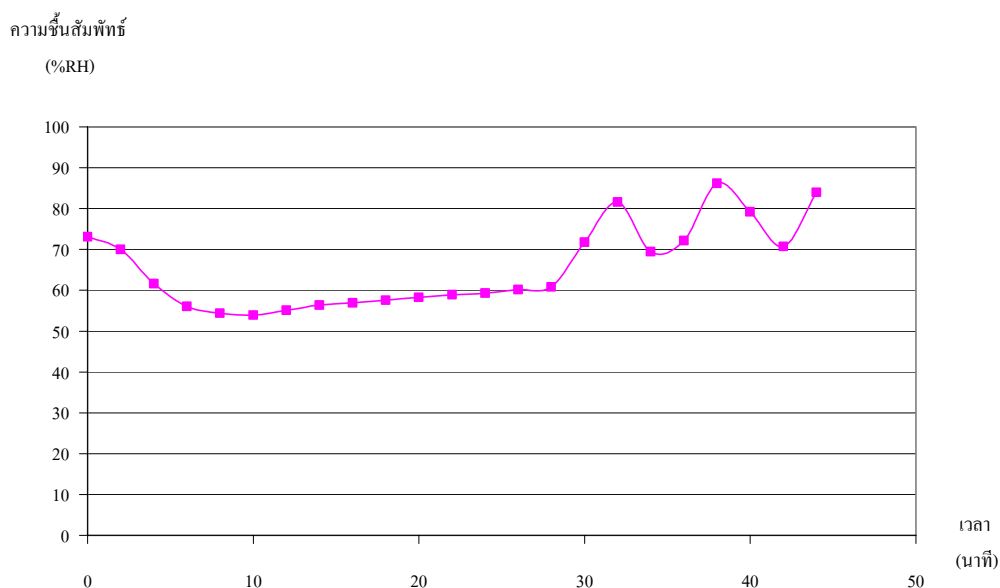
หลังจากดำเนินการสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งเสร็จแล้ว ทำการทดสอบเบื้องต้นเพื่อทำการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องในการทำงานของห้องเย็น

โดยในการทดสอบเบื้องต้น จะทำการทดสอบทดสอบความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็น โดยทำการทดสอบห้องเย็นในลักษณะที่เป็นห้องเปล่า ไม่มีภาระการทำความเย็นจากดอกไม้แห้ง และตั้งอุณหภูมิของห้องเย็นไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นที่ตำแหน่งกลางห้อง ตั้งแต่เริ่มเปิดการทำงานของระบบทำความเย็นของห้องเย็นจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต้องการ

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นแสดงในภาพที่ 20 และ 21 ตามลำดับ



ภาพที่ 20 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในห้องเย็นกับระยะเวลา



ภาพที่ 21 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นกับระยะเวลา

ผลการทดสอบเบื้องต้นของห้องเย็น ดังแสดงในภาพที่ 20 และ 21 พบว่าระบบทำความเย็นสามารถทำงานได้ สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องเย็นให้ถึง 10°C ได้ในเวลาประมาณ 30 นาที และสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเย็นตามที่ต้องการได้เป็นอย่างดี แต่ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 70 ถึง 85 %RH ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้ทำการออกแบบไว้

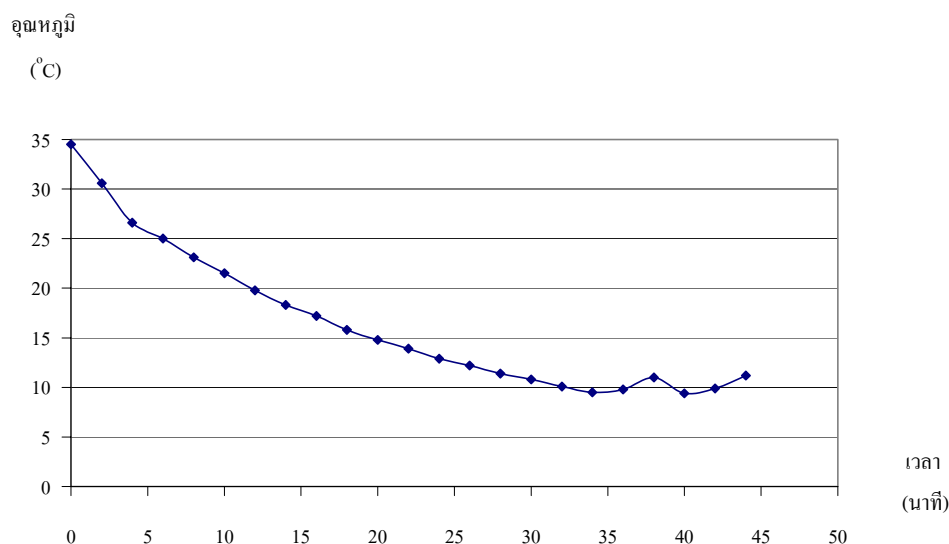
จากภาพที่ 21 เมื่อสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์หลังจากเวลาผ่านไป 30 นาทีแล้วจะพบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามจังหวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยในขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องจะมีค่าลดลง แต่เมื่อคอมเพรสเซอร์หยุดการทำงานความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ห้องเย็นมีความชื้นสัมพัทธ์สูง เนื่องจากฝวคอยล์เย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ทำให้หยดน้ำที่กลั่นตัวที่คอยล์เย็นเกิดการแข็งตัวเป็นน้ำแข็งเกาะที่ฝวคอยล์ และมีการพัดเอาความชื้นออกมาในขณะที่คอมเพรสเซอร์หยุดการทำงาน

การปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องคือ ทำการแก้ไขวงจรควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นของห้องเย็นให้พัดลมคอยล์เย็นทำงาน และหยุดการทำงานพร้อมกับจังหวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ดังภาพผนวกที่ ค10

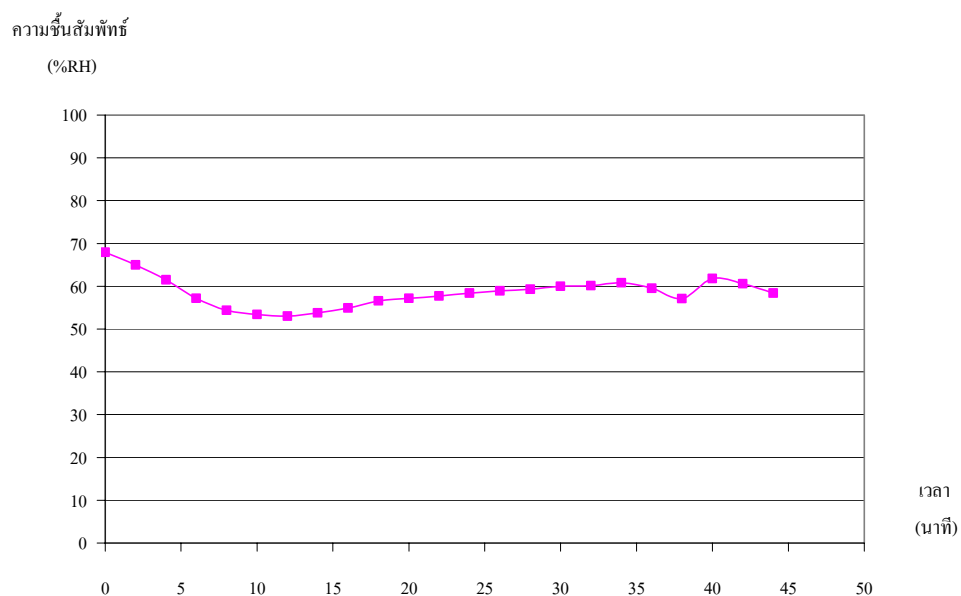
5. ผลการปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่อง

จากผลการทดสอบและประเมินผลเบื้องต้น พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเย็นมีค่าสูงเกินไป ซึ่งเป็นผลจากการพัดเอาความชื้นออกมาจากคอยล์เย็นเนื่องจากน้ำแข็งที่เกาะที่ผิวคอยล์เย็น จึงทำการแก้ไขวงจรควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นของห้องเย็น ให้พัดลมคอยล์เย็นทำงาน และหยุดการทำงาน พร้อมกับจังหวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์

จากการแก้ไขวงจรระบบทำความเย็น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นแสดงในภาพที่ 22 และ 23 ตามลำดับ



ภาพที่ 22 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในห้องเย็นกับระยะเวลา
หลังแก้ไขวงจรควบคุมระบบทำความเย็น



ภาพที่ 23 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นกับระยะเวลา
หลังแก้ไขวงจรควบคุมระบบทำความเย็น

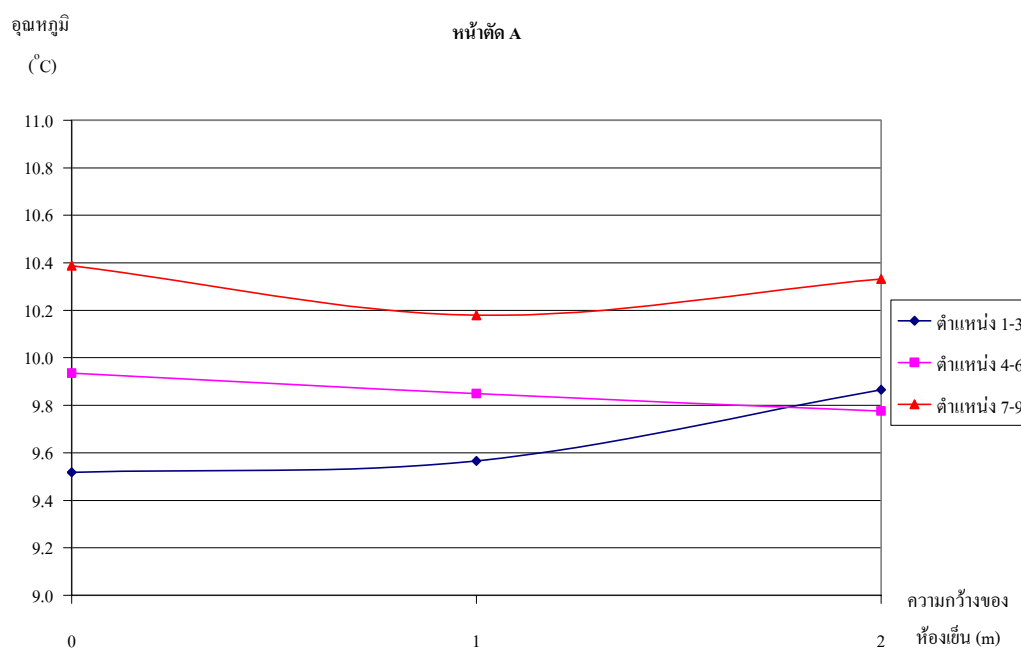
จากผลการปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่อง โดยการทำการแก้ไขวงจรควบคุมการทำงาน
ของระบบทำความเย็น พบว่าห้องเย็นยังสามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างดีเหมือนเดิม และสามารถ
ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นให้มีค่าอยู่ในช่วง 50 - 65 %RH ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่
ต้องการได้

6. ผลการทดสอบและประเมินผลขั้นสุดท้าย

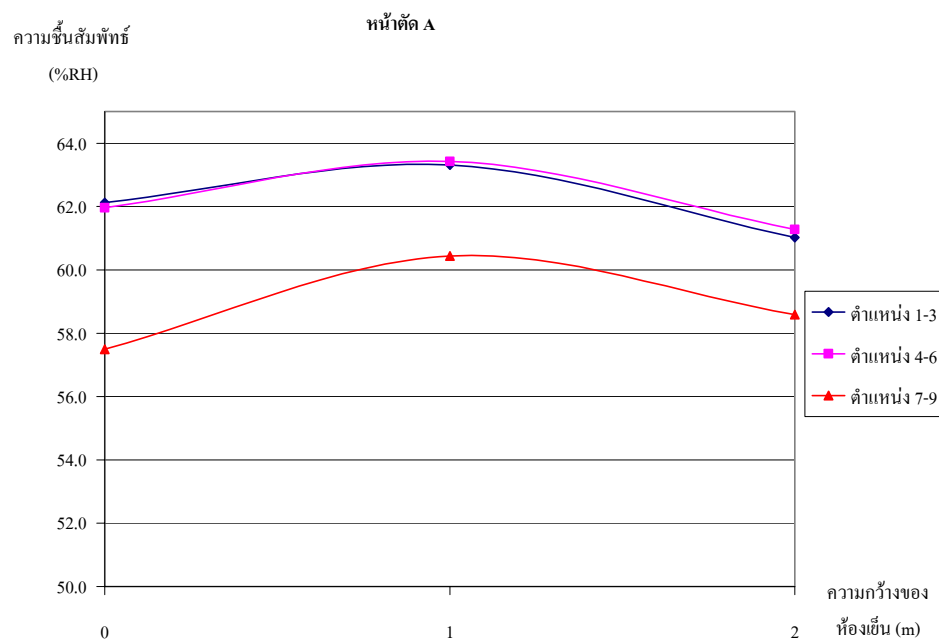
หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องเรื่องความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นแล้ว จึงทำการทดสอบและประเมินผลขั้นสุดท้าย ซึ่งประกอบไปด้วย การทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็น การทดสอบหาประสิทธิภาพการทำความเย็นของห้องเย็น และการทดสอบและประเมินความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง ซึ่งได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

6.1 ผลการทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็น

ในการทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็น จะทำการทดสอบกับห้องเปล่า ซึ่งตั้งอุณหภูมิของห้องเย็นไว้ที่ 10°C โดยตำแหน่งวัดอุณหภูมิอ้างอิงจากภาพที่ 5 ทำการทดลอง 3 ชั่วโมง และนำค่าเฉลี่ยมาสร้างเป็นกราฟ ดังภาพต่อไปนี้

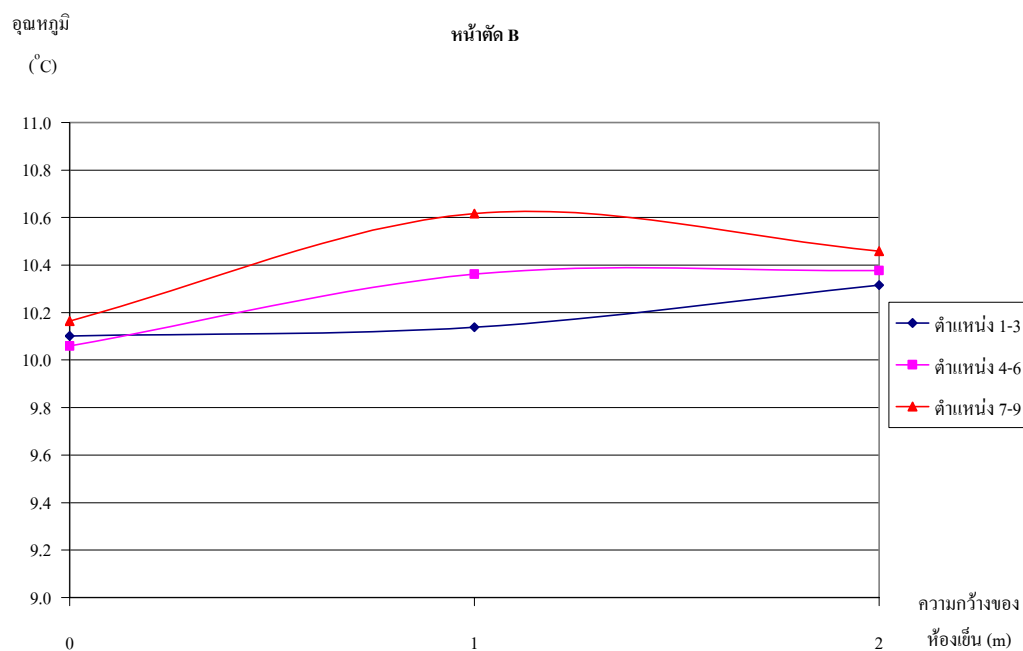


ภาพที่ 24 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด A

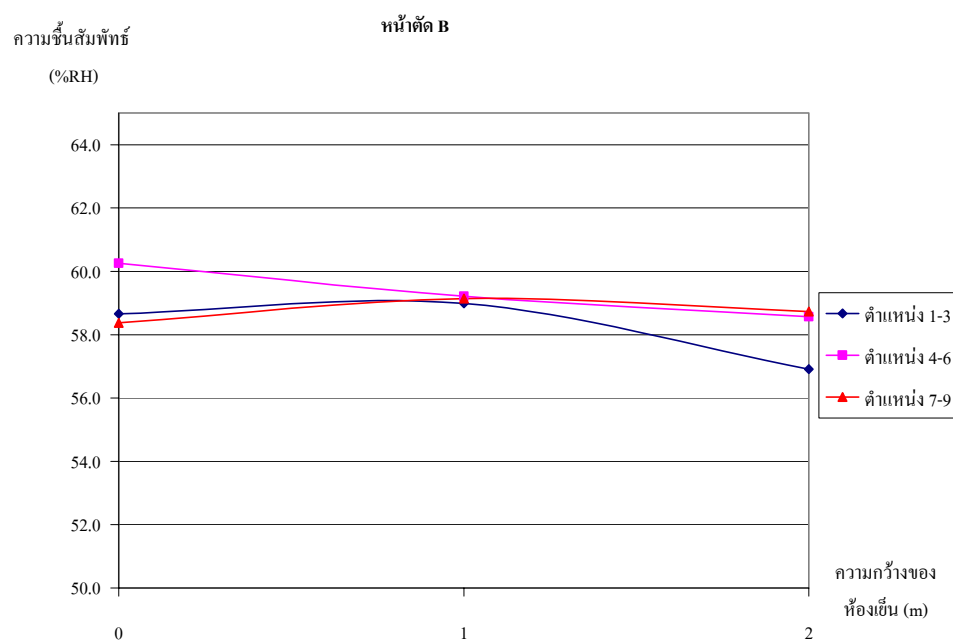


ภาพที่ 25 แสดงการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็น ที่หน้าตัด A

จากภาพที่ 24 และ 25 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด A พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมินั้นอยู่ในช่วง 9.5 ถึง 10.4 °C และการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 57.5 ถึง 63.4 %RH

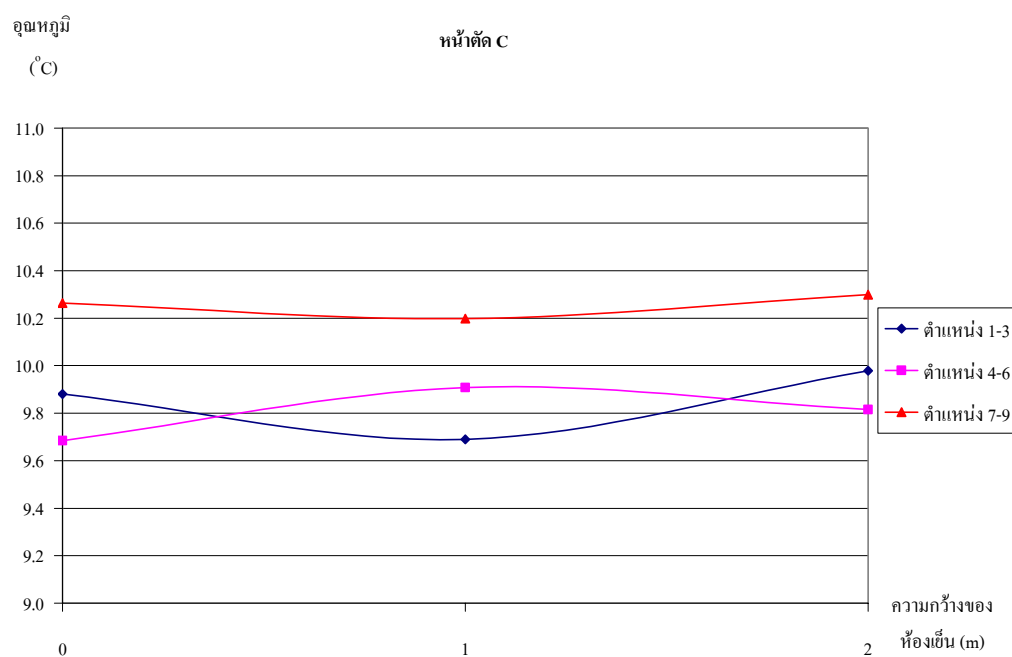


ภาพที่ 26 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด B

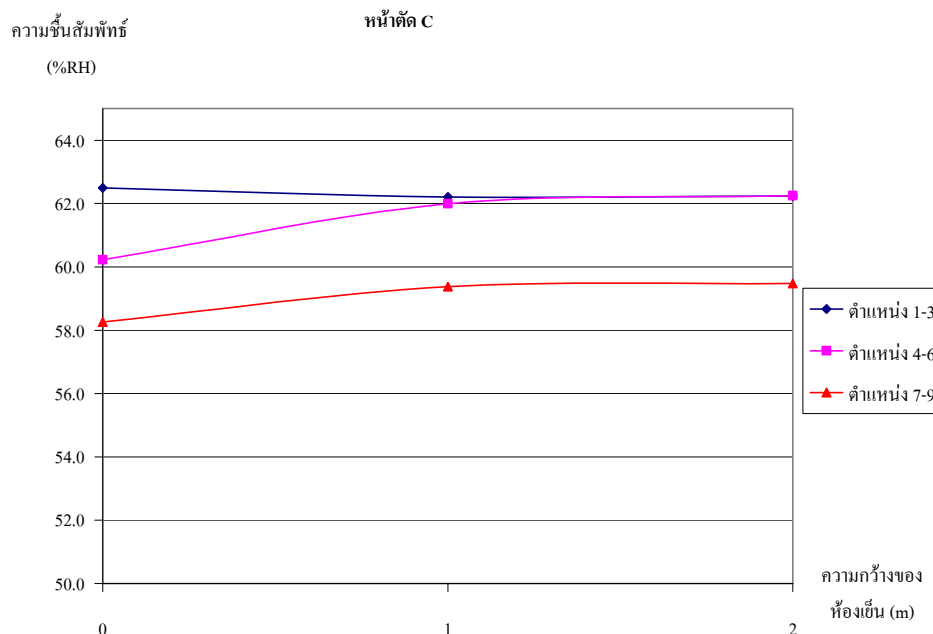


ภาพที่ 27 แสดงการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด B

จากภาพที่ 26 และ 27 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด B พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมินั้นอยู่ในช่วง 10.1 ถึง 10.6 °C และการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 56.9 ถึง 60.3 %RH



ภาพที่ 28 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด C



ภาพที่ 29 แสดงการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด C

จากภาพที่ 28 และ 29 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็นที่หน้าตัด C พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมินั้นอยู่ในช่วง 9.7 ถึง 10.3 °C และการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 58.3 ถึง 62.5 %RH

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยในหน้าตัด A และหน้าตัด C จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในหน้าตัด B และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในหน้าตัด A และหน้าตัด C จะมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในหน้าตัด B โดยเฉพาะจากตำแหน่งที่ 1 2 และ 3 ของหน้าตัด A และหน้าตัด C จะมีอุณหภูมิต่ำ และมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าตำแหน่งอื่น เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับด้านจ่ายลมเย็นของคอยล์เย็น

6.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำความเย็นของห้องเย็น

ทำการทดสอบหาสมรรถนะการทำความเย็นของห้องเย็น โดยหาค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (Chilling Performance, Chp)

ผลการตรวจวัดค่าต่างๆ สำหรับใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดด้านคอยล์เย็น

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็น ($^{\circ}\text{C}$)	10.2	10.0	10.3	10.2
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็น (%RH)	57.1	60.7	58.2	58.7
อุณหภูมิของอากาศออกจากคอยล์เย็น ($^{\circ}\text{C}$)	5.2	3.4	4.7	4.4
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศออกจากคอยล์เย็น (%RH)	82.5	89.2	87.5	86.4
อัตราการไหล (m/s)	3.2	3.3	3.1	3.2

ตารางที่ 6 ผลการตรวจวัดด้านคอยล์ร้อน

ค่าการตรวจวัดทางไฟฟ้า	r	s	t	รวม
P (kW)	0.43	0.46	0.58	1.47
I (A)	2.1	2.4	3.3	
V (v)	223	228	231	
P.F.	0.91	0.84	0.76	

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)} &= \text{อัตราการไหล (m/s)} \times \text{พื้นที่หน้าตัด (m}^2\text{)} \\
 &\quad \times \text{ความหนาแน่นอากาศ (kg/m}^3\text{)} \\
 &= 3.2 \times 0.192 \times 1.24 \\
 &= 0.76 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

$$\text{เอนทาลปีของอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็น} = 21.64 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{เอนทาลปีของอากาศหลังออกคอยล์เย็น} = 15.62 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned}
 Chp &= \frac{\text{กำลังไฟฟ้า}}{\text{ต้นความเย็น}} \\
 &= \frac{1.47}{0.76(21.64 - 15.62) \times \frac{1}{3.513}} \\
 &= 1.13 \quad \text{kW/ton}
 \end{aligned}$$

จากผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของห้องเย็น มีค่าเท่ากับ 1.13 kW/ton

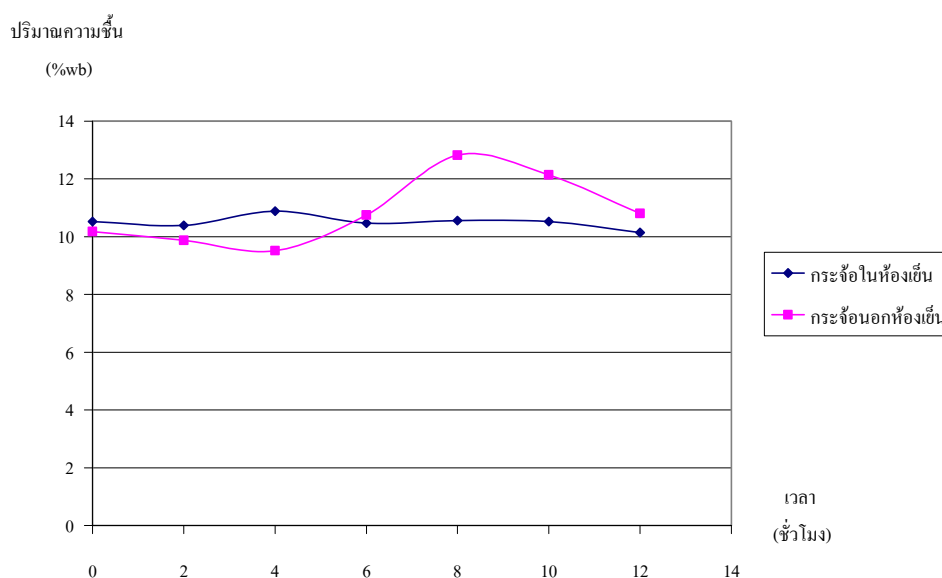
6.3 ผลการทดสอบและประเมินความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

ในการทดสอบและประเมินความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง จะทำการทดสอบกับดอกไม้แห้งจริงโดยใช้กระจ๊อ และเฟิร์นในการทดสอบ โดยตั้งอุณหภูมิของห้องเย็นไว้ที่ 10 °C ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของกระจ๊อ และเฟิร์นทั้งในห้องเย็นและนอกห้องเย็นที่เวลาทุก 2 ชั่วโมง

หลังจากสุ่มเก็บตัวอย่างของดอกไม้แห้งแล้ว นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณความชื้น (Moisture content) โดยการหาค่าปริมาณความชื้นนั้น จะใช้วิธีการอบแห้งโดยใช้เตาอบ (Oven drying method) โดยใช้อุณหภูมิในการอบ 105 °C และระยะเวลาในการอบ 18 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักของดอกไม้แห้งทั้งก่อนอบและหลังอบ แล้ววิเคราะห์ออกมาเป็นค่าปริมาณความชื้น (%wet basis) จาก

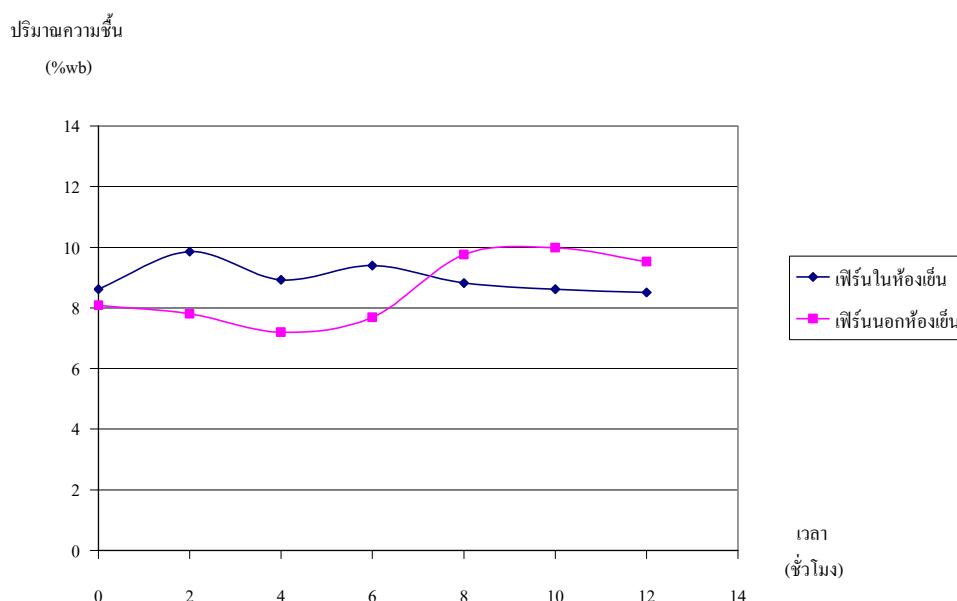
$$\text{ปริมาณความชื้น (\%wb)} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักเปียก}} \times 100$$

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นของกระจ๊อและเฟิร์นกับระยะเวลา ดังแสดงในภาพที่ 30 และ 31



ภาพที่ 30 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นของกระจอบกับระยะเวลา

จากภาพที่ 30 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยเริ่มของกระจอบที่เก็บรักษาในหึ่งเย็น และนอกหึ่งเย็น มีค่าเท่ากับ 10.53 และ 10.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป ความชื้นของกระจอบที่เก็บรักษาในหึ่งเย็น จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่ากระจอบที่เก็บรักษาไว้นอกหึ่งเย็น โดยกระจอบที่เก็บรักษาในหึ่งเย็นนั้นมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 10.88 และ 10.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกระจอบที่เก็บรักษานอกหึ่งเย็นนั้นมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 12.82 และ 9.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 31 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นของเฟิร์นกับระยะเวลา

จากภาพที่ 31 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยเริ่มของเฟิร์นที่เก็บรักษาในห้องเย็น และนอกห้องเย็น มีค่าเท่ากับ 8.62 และ 8.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป ความชื้นของเฟิร์นที่เก็บรักษาในห้องเย็น จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเฟิร์นที่เก็บรักษาไว้นอกห้องเย็น โดยกระช่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นนั้นมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 9.86 และ 8.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกระช่อที่เก็บรักษานอกห้องเย็นนั้นมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 9.98 และ 7.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการทดสอบและประเมินความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง แสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นของกระช่อและเฟิร์นที่เก็บรักษาในห้องเย็นจะมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาผ่านไป ในขณะที่ปริมาณความชื้นของกระช่อและเฟิร์นที่เก็บรักษาไว้นอกห้องเย็น ที่สภาวะบรรยากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้น การเก็บรักษาดอกไม้แห้งในห้องเย็นสามารถรักษาคูณภาพของดอกไม้แห้งได้เป็นอย่างดี

7. ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

หลังจากที่ได้ดำเนินการสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งแล้ว สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (บาทต่อกิโลกรัมดอกไม้แห้ง) และระยะเวลาคืนทุนของห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งได้ (Hunt, 1979)

7.1 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา

ในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง 1 ครั้ง จะใช้ระยะเวลาประมาณ 1 เดือน ดังนั้นในระยะเวลา 1 ปี จะสามารถใช้ห้องเย็นในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งได้ 12 ครั้ง ซึ่งจะสามารถเก็บรักษาดอกไม้แห้งได้รวมทั้งสิ้น 4,800 กิโลกรัม

ค่าใช้จ่ายในการทำงานคำนวณได้จากต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนแปรผัน (Variable cost) ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

7.1.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed cost)

1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคา (DP) แบบ Straight-line method $DP = (P-S)/L$ โดยที่ P คือ ราคาของห้องเย็น (บาท) S คือ ราคาขายหรือคงเหลือเมื่อห้องเย็นหมดอายุการใช้งาน (บาท) และ L คือ อายุการใช้งานของห้องเย็น (ปี)

ราคาห้องเย็นที่ทำการประเมินไว้ ตารางผนวกที่ ข11 เท่ากับ 200,000 บาท มูลค่าซากของห้องเย็นเมื่อสิ้นปีที่ 10 มีมูลค่าซากคงเหลือ 10% ของราคาเครื่อง

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad \text{ราคาซากห้องเย็น} &= 0.1 \times 200,000 = 20,000 \text{ บาท} \\ \text{ค่าเสื่อมราคา} &= (200,000 - 20,000) / 10 = 18,000 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

2) ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest on Investment) คิดค่าเสียโอกาส (I) = $(P+S)/2 \times i/100$ โดยที่ i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (%)

กำหนดอัตราดอกเบี้ยต่อปี เท่ากับ 6.25 %*

* อัตราดอกเบี้ยและส่วนลดประเภท MLR ธนาคารกรุงไทย จำกัด (มหาชน)
ณ วันที่ 10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548

$$\text{ค่าเสียโอกาสต่อปี} = (200,000 + 20,000) / 2 \times 6.25 / 100 = 6,875 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{ราคาค่าต้นทุนคงที่ต่อปี (Fixed cost)} = 18,000 + 6,875 = 24,875 \text{ บาทต่อปี}$$

7.1.2 ต้นทุนแปรผัน (Variable cost)

1) ค่าบำรุงรักษา (Repair and Maintenance) คิดเป็น 5% ของราคาเครื่องต่อปี
ดังนั้นค่าบำรุงรักษามีค่าเท่ากับ $200,000 \times (5/100) = 10,000$ บาทต่อปี

2) ค่าไฟฟ้า (Power Cost) จากการทดสอบจะใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 270 หน่วย
ต่อเดือน ราคาไฟฟ้าหน่วยละ 2.8 บาท คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $270 \times 12 \times 2.8 = 9,072$ บาทต่อปี

3) ค่าจ้างแรงงาน (Labor Cost) อัตราค่าจ้างแรงงาน 181 บาทต่อคนต่อวัน โดย
ใน 1 ปีจะมีการขนถ่ายสินค้าเข้าออก 12 ครั้ง คิดเป็นค่าจ้างแรงงานต่อปีเท่ากับ $181 \times 12 = 2,172$
บาทต่อปี

$$\text{รวมต้นทุนแปรผัน} = 10,000 + 9,072 + 2,172 = 21,244 \text{ บาทต่อปี}$$

คิดต้นทุนในการใช้งานห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง โดยรวมต้นทุน
คงที่กับต้นทุนแปรผันเท่ากับ $24,875 + 21,244 = 46,119$ บาทต่อปี

เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมของดอกไม้แห้ง ซึ่งมีต้นทุนในการเก็บรักษา
46,119 บาทต่อปี และสามารถเก็บรักษาดอกไม้แห้งได้ 4,800 กิโลกรัมต่อปี จะได้เท่ากับ
 $46,119 / 4,800 = 9.6$ บาทต่อกิโลกรัมดอกไม้แห้ง

7.2 ผลการวิเคราะห์และประเมินระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned}
 \text{ต้นทุนรวม} &= \text{ต้นทุนผันแปร} + \text{ดอกเบี้ย} \\
 &= 21,244 + 6,875 \\
 &= 28,119 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

โดยผลประโยชน์ที่ได้รับคือสามารถเก็บรักษาดอกไม้แห้งไว้ในส่วนที่อาจจะถูกทำลายจากแมลงและเชื้อรา ซึ่งในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งแบบเดิม 1 ครั้ง (ระยะเวลา 1 เดือน) จะมีการสูญเสียของดอกไม้แห้งประมาณ 10% คิดเป็นปริมาณดอกไม้แห้งที่สูญเสียเท่ากับ $400 \times 0.1 = 40$ กิโลกรัมต่อการเก็บรักษา 1 ครั้ง ดังนั้นใน 1 ปีจะมีปริมาณการสูญเสียของดอกไม้แห้งเท่ากับ $40 \times 12 = 480$ กิโลกรัมต่อปี

ราคาขายของดอกไม้แห้งราคา กิโลกรัมละ 250 บาท

$$\text{ผลประโยชน์ที่ได้รับ} = 480 \times 250 = 120,000 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ผลประโยชน์สุทธิ} &= \text{ผลประโยชน์ที่ได้รับ} - \text{ต้นทุนรวม} \\
 &= 120,000 - 28,119 \\
 &= 91,881 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{ราคาซื้อเครื่อง} / \text{ผลประโยชน์สุทธิ} \\
 &= 200,000 / 91,881 \\
 &= 2.2 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

สรุป

การเก็บรักษาดอกไม้แห้ง ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการแปรรูปดอกไม้แห้งในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากการเก็บรักษาแบบเดิมโดยการเก็บไว้ที่สภาวะอากาศที่ไม่สามารถควบคุมได้นั้นดอกไม้แห้งจะได้รับความเสียหายจากการทำลายจากแมลงและเชื้อรา เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของดอกไม้แห้ง จึงควรมีการเก็บรักษาดอกไม้แห้งโดยการออกแบบห้องเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศให้เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง ซึ่งจากการตรวจเอกสารพบว่าอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง คือที่ อุณหภูมิ 10 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50 ถึง 65 %

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบ และสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง ซึ่งผลการออกแบบประกอบไปด้วย ห้องเย็นขนาด $2 \times 4 \times 2 \text{ m}^3$ ภายในสามารถบรรจุดอกไม้แห้งได้ปริมาณ 400 kg ใช้ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอขนาดการทำความเย็น 2.2 kW โดยออกแบบให้มีลักษณะเหมือนกับตู้คอนเทนเนอร์เพื่อให้สะดวกในการขนส่งและขนถ่ายสินค้า

จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าห้องเย็นที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 10 °C ได้เป็นอย่างดี แต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องเย็นนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 70 ถึง 85 % ซึ่งยังสูงกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับเก็บรักษา ซึ่งเกิดจากการที่มีการพัดเอาความชื้นออกมาจากฝวคอยล์เย็นในขณะที่คอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน จึงทำการแก้ไขโดยการแก้ไขวงจรควบคุมระบบทำความเย็นให้พัดลมของคอยล์เย็นหยุดการทำงานและทำงานพร้อมกับการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ผลคือสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเย็นให้อยู่ในช่วง 50 ถึง 65 % ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เหมาะสมในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

จากนั้นจึงทำการทดสอบขั้นสุดท้ายโดยแบ่งการทดสอบออกเป็นสามส่วน คือ ทดสอบการกระจายอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็น ทดสอบหาประสิทธิภาพการทำความเย็นของห้องเย็น และทดสอบและประเมินความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

ในการทดสอบการกระจายอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเย็น มีตำแหน่งในการวัดค่าทั้งหมด 27 จุด โดยแบ่งห้องเย็นออกเป็น 3 หน้าตัด หน้าตัดละ 9 จุด พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมินั้นอยู่ในช่วง 9.5 ถึง 10.6 °C และการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 56.9 ถึง

63.4 %RH และตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับด้านจ่ายลมเย็นของห้องเย็นจะมีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าตำแหน่งอื่น ในการทดสอบหาสมรรถนะการทำความเย็นของห้องเย็น จะทำการหาค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (Chilling performance, Chp) ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นมีค่าเท่ากับ 1.13 kW/tom และในการทดสอบและประเมินความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง โดยการทดสอบเก็บรักษากระช่อและเฟิร์น จะใช้ปริมาณความชื้น (Moisture content) ของดอกไม้แห้ง เป็นดัชนีที่ใช้ในการพิจารณา โดยในการทดสอบนี้จะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของกระช่อและเฟิร์นที่เก็บรักษาในห้องเย็นและนอกห้องเย็นทุก 2 ชั่วโมง จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณความชื้นของกระช่อและเฟิร์นที่เก็บรักษาในห้องเย็นจะมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาผ่านไป ในขณะที่ปริมาณความชื้นของกระช่อและเฟิร์นที่เก็บรักษาไว้นอกห้องเย็นจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเมื่อเวลาผ่านไป

เมื่อทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งในห้องเย็นมีค่าประมาณ 9.6 บาท/กิโลกรัม และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.2 ปี

ข้อเสนอแนะ

1. แนวทางที่จะพัฒนาห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้ประดับแห้งต่อไปคือ การติดตั้งระบบควบคุมความชื้น (Dehumidifier) ของอากาศภายในห้องเย็น เพื่อให้สามารถควบคุมปริมาณความชื้นตามที่ต้องการได้ เพื่อใช้ในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งชนิดอื่นๆต่อไป
2. สามารถทำการติดตั้งถ่อเพื่อให้ห้องเย็นสามารถใช้รถลากได้ เพื่อความสะดวกในการขนส่งทางบก
3. ควรทำการทดสอบความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้งที่ปริมาณเต็มความจุของห้องเย็น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จารุพันธ์ ทองแถม, ม.ล., ชาญะ เตชะศีลพิทักษ์, กวิศร์ วานิชกุล, เจริญ ชาญวิศนุรักษ์, ศักดา อินทวิชัย, ชุติ ม่วงประเสริฐ, สุธาสยสิน แก้วเรือง, บัญญัติ เศรษฐธิดิ, ชาญะ เกียรติวัฒน์, วีรชัย เตชะเทศ, สมหวัง บุญคุ้ม และ วิทยาแทนขำ. 2541. รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้ง เพื่ออุตสาหกรรมส่งออกของประเทศไทย. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ชัชวาล ตันทกิตติ. 2544. คู่มือระบบทำความเย็น. สยามรัตน์ พรินต์ติ้ง, เชียงใหม่.

มโน สุวรรณคำ. 2546. การออกแบบและพัฒนาปั๊มความร้อน เพื่อใช้ในระบบอบแห้งสำหรับการผลิตไม้ประดับแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2539. รายงานผลการวิจัยเรื่องการศึกษาอายุการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนในห้องเย็นโดยการปรับสภาพบรรยากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

สุรพล พุกขพานิช. 2529. การปรับอากาศ. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์, กรุงเทพฯ. 555 น.

อัศรเดช สีนุรักษ์. 2544. การทำความเย็น. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. 2002. **ASHRAE HANDBOOK 2002 : Refrigeration**. ASHRAE, Inc., Atlanta.

Chuwit, S. 1990. **Insect Pest of Stored Products. Mycotoxin Prevention and Control in Foodgrains**. Bangkok.

- Donahaye, E.J., S. Navarro and M. Rindner. 1995. Low Temperature as an Alternative to Fumigation for Disinfecting Dried Fruit from Three Insect Species. **Journal of Stored Products Research**. 31: 63-70.
- Donahaye, E.J., S. Navarro, M. Rindner and A. Azrieli. 1996. The Combined Influence of Temperature and Modified Atmospheres on *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Stored Products Research**. 31: 63-70.
- Dossat, R.J. 1981. **Principle of Refrigeration**. 2nd ed., Prentice Hall International, Inc., New Jersey.
- Hunt, D. 1979. **Farm Power and Machinery Management**. 7th ed., Iowa State University, New York.
- Gast, K. 1994. Cold Storage for Specialty Cut Flower and Plant Material, **Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service**, Kansas.
- Nakakita, H. and H. Ikenaga. 1997. Action of Low Temperature on Physiology of *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Sitophilus Oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) in Rice Storage. **Journal of Stored Products Research**. 33: 31-38.
- Randy, S. 1993. Dried and Fresh Cut-Flowers. **NDSU Extension Service**. Department of Agricultural Economics, North Dakota State University.
- Sakda, I. 1994. **Optimum Operation Parameters of The Combination of a Mixed-Flow Dryer and Continuous In-Bin Aeration for Paddy Under Malaysian Condition**. The Degree of Doctor of Philosophy in The Faculty of Engineering, Pertanian University, Malaysia.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางผนวกที่ ก1 ค่า Thermal conductivity และ Thermal conductance ของวัสดุ

Material	Description	Thermal Conductivity (k) W/m K	Thermal Conductance (C) W/m ² K
Masonry	Brick, common	0.72	
	Brick, face	1.30	
	Concrete, mortar or plaster	0.72	
	Concrete, sand aggregate	1.73	
	Concrete block		
	Sand aggregate 100 mm		7.95
	Sand aggregate 200 mm		5.11
	Sand aggregate 300 mm		4.43
	Cinder aggregate 100 mm		5.11
	Cinder aggregate 200 mm		3.29
	Cinder aggregate 300 mm		3.01
	Gypsum plaster 13 mm		17.72
	Tile, hollow clay 100 mm		5.11
	Tile, hollow clay 150 mm		3.75
	Tile, hollow clay 200 mm		3.07
Woods	Maple, oak, similar hard woods	0.16	
	Fir, pine, similar soft woods	0.12	
	Plywood 13 mm		9.09
	Plywood 19 mm		6.08
Roofing	Asphalt roll roofing		36.91
	Built-up roofing 9 mm		17.03
Insulating material	Blanket or batt, mineral or glass fiber	0.039	
	Board or slab		
	Cellular glass	0.058	
	Cork board	0.043	
	Glass fiber	0.036	
	Expanded polystyrene (smooth)	0.029	
	Expanded polystyrene (cut cell)	0.036	
	Expanded polyurethane	0.025	
	Loose fill		
	Milled Paper or wood pulp	0.039	
	Sawdust or shavings	0.065	
	Mineral wool (rock, glass, slag)	0.039	
	Red wood bark	0.037	
	Wood fiber (soft woods)	0.043	
Surface conductance (convection coefficient	Still air		9.37
	Moving air (3.35 m/s or 12 km/h)		22.70
	Moving air (6.7 m/s or 24 km/h)		34.10

ที่มา : Dossat (1981)

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นต่อลิตร (kJ/L) ของอากาศภายนอกที่เข้ามาในห้องเย็น

Storage Room Temp. °C	Inlet Air Temperature, °C and Inlet Air RH, %									
	25°			30°			35°		40°	
	50	60	70	50	60	70	50	60	50	60
15°	0.0128	0.0186	0.0246	0.0281	0.0357	0.0441	0.0500	0.0563	0.0663	0.0795
10°	0.0266	0.0323	0.0382	0.0332	0.0491	0.0574	0.0591	0.0694	0.0792	0.0992
5°	0.0388	0.0445	0.0502	0.0536	0.0610	0.0693	0.0708	0.0810	0.0906	0.1036
0°	0.0493	0.0550	0.0606	0.0639	0.0713	0.0794	0.0808	0.0910	0.1003	0.1141

ที่มา : Dossat (1981)

ตารางผนวกที่ ก3 ค่าโดยประมาณอัตราการไหลของอากาศใหม่ที่เข้าในห้องเย็น

Room Volume(m ³)	Infiltration Rate (L/s)	
	Rooms Above 0°C	Rooms Below 0°C
7	3.1	2.3
8.5	3.4	2.6
10	3.7	2.8
15	4.4	3.3
20	5.0	3.8
25	5.5	4.2
30	5.9	4.6
40	6.8	5.4
50	7.5	5.8
75	9.0	6.9
100	10.2	7.9
150	12.2	9.4
200	13.9	10.9
250	15.3	11.9
300	16.7	12.9
400	19.0	14.9
500	21.4	16.8
600	23.6	18.1
700	24.3	18.6
800	25.9	20.4
900	27.1	21.9
1000	28.9	23.1

ที่มา : Dossat (1981)

ตารางผนวกที่ ก4 ปริมาณความร้อนที่คายออกจากร่างกายคน

ประเภทกิจกรรม	ตัวอย่างสถานที่	ความร้อนรวม (W)	ความร้อนสัมผัส (W)	ความร้อนแผ่ (W)
นั่งนิ่ง	โรงหนัง	115	60	40
นั่ง, ทำงานเบา, เขียนหนังสือ	สำนักงาน, โรงแรม, อพาร์ทเมนต์	140	65	55
นั่ง, กินอาหาร	ภัตตาคาร	150	75	95
นั่ง, ทำงานเบา, พิมพ์ดีด	สำนักงาน, โรงแรม, อพาร์ทเมนต์	185	75	75
ยืน, ทำงานเบาหรือเดินช้าๆ	ร้านขายปลีก, ธนาคาร	235	90	95
งานโต๊ะช่างขนาดเบา	โรงงาน	255	100	130
เดิน 3 mph, งานช่างขนาดเบา	โรงงาน	305	100	205
โบว์ลิ่ง	เลนโบว์ลิ่ง	350	100	180
เดินรำปานกลาง	ห้องเดินรำ	400	120	255
งานหนัก, งานช่างขนาดหนัก, ยกของ	โรงงาน	470	165	300
งานหนัก, กีฬา	ห้องพละ, ยิมเนเซียม	585	185	340

ที่มา : สุรพล (2529)

ตารางผนวกที่ ๕ ค่าตัวประกอบในการคำนวณค่าความร้อนจากมอเตอร์

Motor Rating Kilowatt Output	Motor Efficiency %	Multiplying Factor		
		Connected Load in Refr. Space	Motor Losses Outside Refr. Space	Connected Load Outside Refr. Space
0.1-0.5	33.3	1.67	1.0	0.67
0.5-2.0	55.0	1.45	1.0	0.45
2.0-15.0	85.0	1.15	1.0	0.15

ที่มา : Dossat (1981)

ตารางผนวกที่ 6 คอยล์เย็น ECO รุ่น MIC

Model	MIC	80	100	160	200	300	400	500
Capacity	kW	0.49	0.55	0.97	1.10	1.65	2.20	2.75
Air flow	m ³ /h	540	460	1080	920	1380	1840	2300
Air throw	m	2 × 3	2 × 2.5	2 × 3	2 × 2.5	2 × 2.5	2 × 2.5	2 × 2.5
Air surface	m ²	2.6	3.9	5.2	7.9	11.8	15.7	19.7
		1 ×	1 ×	2 ×	2 ×	3 ×	4 ×	5 ×
Fan motors	N × mm	230	230	230	230	230	230	230
Fan motor absorbtion	A	0.35	0.35	0.7	0.7	1.05	1.4	1.75
	W	53	53	106	106	159	212	265
Curcuit capacity	dm ³	0.7	1	1.4	1.92	3	4	5
Electric defrost	W	800	800	1600	1600	2400	3000	3600
Coil connection	In (SAE)	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
	Out (SAE)	12	16	16	16	22	22	22
Drain connection	in	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1
Net weight	kg	7.3	8	12.2	13.4	19	24.4	29.9

Evap. Temperature -8 °C

ที่มา : ECO Co., Ltd

ตารางผนวกที่ ก7 คอนเดนซิ่งยูนิต Danfoss Bluestar

Models	TE	+5 °C		0 °C		-5 °C		-10 °C		-15 °C		-20 °C	
	TA	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.
MGM 016	27	3490	1.3	2890	1.2	2330	1.1	1840	0.9	1410	0.8	1040	0.7
	32	3210	1.4	2660	1.2	2140	1.1	1680	1.0	1280	0.8	930	0.7
	38	2890	1.5	2390	1.3	1920	1.2	1500	1.0	1140	0.9	-	-
MGM 018	27	3940	1.2	3200	1.1	2550	1.0	1990	0.9	1500	0.8	1090	0.7
	32	3650	1.3	2960	1.2	2360	1.0	1830	0.9	1370	0.8	990	0.7
	38	3290	1.4	2670	1.2	2120	1.1	1630	1.0	1210	0.9	870	0.7
MGM 022	27	5030	1.7	4210	1.5	3460	1.4	2760	1.2	2150	1.0	1590	0.9
	32	4660	1.8	3900	1.6	3180	1.4	2530	1.3	1940	1.1	1420	0.9
	38	4220	1.9	3410	1.7	2850	1.5	2240	1.3	1700	1.1	1200	0.9
MGM 028	27	6550	2.4	5600	2.2	4710	2.0	3870	1.8	3100	1.6	2410	1.4
	32	6120	2.5	5220	2.3	4380	2.0	3580	1.8	2850	1.6	2190	1.4
	38	5580	2.7	4760	2.4	3980	2.1	3230	1.9	2550	1.6	-	-
MGM 032	27	7610	2.7	6410	2.4	5320	2.2	4330	2.0	3460	1.8	2690	1.6
	32	7130	2.8	6000	2.6	4950	2.3	4010	2.1	3170	1.9	2430	1.6
	38	6560	3.0	5510	2.7	4530	2.4	3640	2.2	2840	1.9	-	-
MGM 036	27	8480	3.1	7270	2.8	6130	2.5	5070	2.3	4100	2.0	3220	1.8
	32	7950	3.3	6800	3.0	5720	2.6	4700	2.4	3770	2.1	2930	1.9
	38	7300	3.4	6230	3.3	5200	2.8	4250	2.5	3370	2.2	-	-
MGM 040	27	9670	3.5	8200	3.1	6850	2.8	5630	2.5	4540	2.2	3560	1.8
	32	9170	3.7	7740	3.3	6430	3.0	5240	2.7	4180	2.3	3220	2.0
	38	8550	3.9	7190	3.5	5930	3.1	4770	2.8	3740	2.4	-	-
MGM 050	27	11680	3.9	9710	3.5	7980	3.1	6460	2.8	5160	2.4	4080	2.1
	32	10940	4.1	9090	3.7	7430	3.3	5990	2.9	4760	2.5	3720	2.2
	38	10060	4.3	8320	3.8	6780	3.4	5430	3.0	4270	2.7	3300	2.3

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

Models	TE	+5 °C		0 °C		-5 °C		-10 °C		-15 °C		-20 °C	
	TA	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.
MGM 064	27	15110	5.0	12670	4.5	10450	4.1	8460	3.6	6700	3.2	5160	2.7
	32	14180	5.3	11880	4.8	9770	4.3	7870	3.8	6180	3.3	4710	2.9
	38	13080	5.6	10940	5.1	8970	4.5	7190	4.0	5600	3.5	4220	3.0
MGM 080	27	18890	6.2	15950	5.6	13220	5.1	10750	4.5	8530	4.0	6560	3.5
	32	17760	6.6	14970	5.9	12380	5.3	10030	4.7	7900	4.2	6020	3.7
	38	16420	7.0	13840	6.3	11420	5.7	9210	5.0	7200	4.5	5420	3.9
MGM 100	27	23330	6.9	19520	6.5	16110	6.0	13080	5.5	10460	5.0	8190	4.5
	32	21770	7.3	18150	6.8	14880	6.2	12000	5.7	9470	5.1	7310	4.6
	38	19940	7.8	16560	7.1	13490	6.5	10760	5.9	8390	5.3	6340	4.7
MGM 125	27	29610	9.4	24950	8.6	20710	7.9	16910	7.1	13550	6.4	10630	5.7
	32	27620	9.9	23280	9.1	19280	8.2	15680	7.5	12490	6.7	9720	5.9
	38	25260	10.6	21240	9.6	17560	8.7	14230	7.8	11280	7.0	8690	6.2
MGM 144	27	32480	10.8	27480	9.9	22900	9.0	18770	8.1	15120	7.3	11930	6.5
	32	30180	11.4	25530	10.4	21250	9.4	17360	8.5	13910	7.6	10900	6.7
	38	27480	12.1	23230	10.9	19300	9.8	15710	8.8	12520	7.9	9720	7.0
MGM 160	27	25950	12.2	30440	11.1	25350	10.1	20780	9.1	16740	8.2	13240	7.3
	32	33520	12.8	28330	11.6	23560	10.5	19250	9.5	15450	8.5	12120	7.6
	38	30550	13.6	25810	12.3	21440	11.0	17480	9.9	13950	8.9	10850	7.9

ที่มา : Danfoss (Thailand) Co., Ltd (1996)

ตารางผนวกที่ 8 ขนาดท่อสารทำความเย็น R22 สำหรับอุณหภูมิคอยล์ร้อน 41 องศาเซลเซียส

Line Size Type L Copper OD		Suction Line					Discharge Line T = 1 °F (0.5 K) p = 31.03 kPa		Liquid Lines Line Size Type L Copper OD		Condenser To Receiver Velocity = 100 fpm (0.5 m/s)	Reservier To System T= 1 °F (0.5 K) p = 21.03 kPa
		Saturated Suction Temperature					Sat. Suction Temp					
in	mm	-40 °C p = 5.45 kPa	-29 °C p = 7.93 kPa	-18 °C p = 11.03 kPa	-7 °C p = 15.31 kPa	4 °C p = 20.2 kPa	-40 °C	4 °C	in	mm		
1/2	15				1.41	2.08	2.67	3.02	1/2	15	7.88	12.3
5/8	16		1.13	1.72	2.64	3.87	5.06	5.73	5/8	16	12.56	22.5
7/8	20	1.27	3.06	4.61	7.03	6.65	13.43	15.19	7/8	20	26.06	59.8
1 1/8	28	3.80	6.12	9.32	14.17	20.47	26.83	30.39	1 1/8	28	44.70	121.0
1 3/8	34	5.61	10.59	16.21	24.72	35.10	46.80	53.70	1 3/8	34	67.50	211.0
1 5/8	41	10.20	16.81	25.43	36.08	56.10	70.00	83.00	1 5/8	41	95.70	334.0
2 1/8	53	21.84	35.06	53.50	81.60	116.80	154.70	175.10	2 1/8	53	166.40	703.0
2 5/8	66	38.00	61.50	93.20	141.70	204.30	270.50	306.00	2 5/8	66	257.40	1175.0
3 1/8	78	60.80	95.30	152.30	226.80	327.40	422.00	478.00	3 1/8	78	366.10	2012.0
3 5/8	91	91.10	147.40	224.70	340.40	490.60	630.00	714.00	3 5/8	91	496.20	3025.0
4 1/8	103	129.80	208.20	315.50	478.30	689.30	904.00	1023.00	4 1/8	103	643.60	4220.0
5 1/8	128	232.50	375.30	569.80	861.70	1248.50	1621.00	1836.00				

ที่มา : Dossat (1981)

ตารางผนวกที่ ก9 ค่าแก้ kW สำหรับตารางผนวกที่ ก8 สำหรับอุณหภูมิคอยล์ร้อนอื่นๆ

Condensing Temperature oC	Suction Line	Hot gas Line
27	1.11	0.79
32	1.07	0.88
38	1.03	0.95
43	0.97	1.04
49	0.90	1.10
54	0.86	1.18
60	0.80	1.26

ที่มา : Dossat (1981)

ภาคผนวก ข

ตารางผนวกที่ ข1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็นในการทดสอบเบื้องต้น

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
0	32.1	73.1
2	28.8	70
4	25.7	61.6
6	23.6	56.1
8	21.4	54.4
10	19.5	53.9
12	17.7	55.1
14	16.2	56.4
16	15	56.9
18	13.9	57.6
20	12.8	58.3
22	11.9	58.9
24	11.1	59.3
26	10.2	60.2
28	9.4	60.8
30	10.7	71.8
32	10.6	81.6
34	9.8	69.5
36	9.8	72.2
38	10.5	86.2
40	10.4	79.2
42	9.7	70.7
44	10.3	84

ตารางผนวกที่ ข2 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็นหลังการแก้ไขวงจรควบคุมของระบบ
ทำความเย็น

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
0	34.5	67.9
2	30.6	65
4	26.6	61.5
6	25	57.2
8	23.1	54.4
10	21.5	53.4
12	19.8	53
14	18.3	53.8
16	17.2	54.9
18	15.8	56.6
20	14.8	57.2
22	13.9	57.7
24	12.9	58.4
26	12.2	58.9
28	11.4	59.3
30	10.8	60
32	10.1	60.1
34	9.5	60.8
36	9.8	59.5
38	11	57.1
40	9.4	61.8
42	9.9	60.6
44	11.2	58.4

ตารางผนวกที่ ๓ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็น ที่หน้าตัด A

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย	
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
1	9.6	62.8	9.8	61.7	9.2	61.9	9.5	62.1
2	10.1	64.7	9.1	63.2	9.5	62.1	9.6	63.3
3	9.7	60.8	10.2	61.0	9.8	61.2	9.9	61.0
4	9.7	62.5	10.0	59.8	10.1	63.6	9.9	62.0
5	9.5	64.6	10.0	62.0	10.1	63.7	9.8	63.4
6	10.0	63.4	9.6	61.0	9.7	59.4	9.8	61.3
7	10.3	56.6	10.6	59.1	10.2	56.8	10.4	57.5
8	10.3	58.8	10.1	60.9	10.1	61.6	10.2	60.4
9	10.1	58.0	10.3	56.8	10.5	61.0	10.3	58.6

ตารางผนวกที่ ข4 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็น ที่หน้าตัด B

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย	
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
1	10.2	57.1	10.0	60.7	10.1	58.2	10.1	58.7
2	10.3	60.4	10.0	56.1	10.2	60.5	10.1	59.0
3	10.1	57.6	10.4	56.3	10.4	56.8	10.3	56.9
4	10.2	61.6	10.0	59.9	9.9	59.3	10.1	60.3
5	10.0	59.9	10.5	58.6	10.6	59.1	10.4	59.2
6	10.1	57.9	10.5	57.7	10.6	60.1	10.4	58.6
7	10.1	56.2	10.4	62.0	10.0	57.0	10.2	58.4
8	10.6	61.4	10.7	57.1	10.6	58.9	10.6	59.1
9	10.2	59.3	10.7	56.8	10.5	60.1	10.5	58.7

ตารางผนวกที่ ๕ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็น ที่หน้าตัด C

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย	
	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์
	(°C)	(%RH)	(°C)	(%RH)	(°C)	(%RH)	(°C)	(%RH)
1	10.0	61.0	9.8	62.2	9.8	64.3	9.9	62.5
2	9.5	60.6	9.6	63.2	9.9	62.8	9.7	62.2
3	10.0	63.9	10.1	63.2	9.8	59.7	10.0	62.2
4	9.6	59.3	9.9	60.6	9.5	60.7	9.7	60.2
5	9.8	61.0	10.0	61.0	10.0	64.1	9.9	62.0
6	9.7	63.7	10.1	62.7	9.6	60.4	9.8	62.3
7	10.4	61.5	10.1	56.6	10.3	56.7	10.3	58.3
8	10.0	59.4	10.1	59.9	10.5	58.8	10.2	59.4
9	10.2	61.2	10.3	60.2	10.4	57.0	10.3	59.5

ตารางผนวกที่ ๖ ปริมาณความชื้นของกระโจมที่เก็บรักษาในห้องเย็น

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (%wb)			ปริมาณความชื้นเฉลี่ย (%wb)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	10.49	10.69	10.40	10.53
2	10.20	10.57	10.39	10.39
4	10.79	10.63	11.23	10.88
6	10.72	10.62	10.07	10.47
8	10.41	10.86	10.40	10.56
10	10.49	10.69	10.40	10.53
12	10.34	10.27	9.84	10.15

ตารางผนวกที่ ๗ ปริมาณความชื้นของกระโจมที่เก็บรักษานอกห้องเย็น

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (%wb)			ปริมาณความชื้นเฉลี่ย (%wb)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	10.14	9.95	10.43	10.17
2	10.25	10.36	9.00	9.87
4	9.62	9.75	9.18	9.52
6	9.41	9.40	13.44	10.75
8	12.88	12.91	12.66	12.82
10	12.63	13.06	10.73	12.14
12	10.71	11.06	10.63	10.80

ตารางผนวกที่ ๘ ปริมาณความชื้นของเฟิร์นที่เก็บรักษาในห้องเย็น

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (%wb)			ปริมาณความชื้นเฉลี่ย (%wb)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	8.57	8.75	8.54	8.62
2	9.51	9.30	10.77	9.86
4	9.14	9.17	8.48	8.93
6	9.62	9.32	9.25	9.40
8	8.59	9.50	8.38	8.82
10	8.57	8.75	8.54	8.62
12	9.01	8.63	7.88	8.51

ตารางผนวกที่ ๙ ปริมาณความชื้นของเฟิร์นที่เก็บรักษานอกห้องเย็น

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (%wb)			ปริมาณความชื้นเฉลี่ย (%wb)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	7.85	8.00	8.41	8.09
2	7.95	7.98	7.47	7.80
4	7.45	7.03	7.10	7.19
6	7.61	7.93	7.53	7.69
8	9.84	9.65	9.78	9.76
10	8.26	8.22	13.47	9.98
12	9.82	9.52	9.23	9.52

ตารางผนวกที่ ข10 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเย็นและนอกห้องเย็นในขณะ
ทำการทดสอบความสามารถในการเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

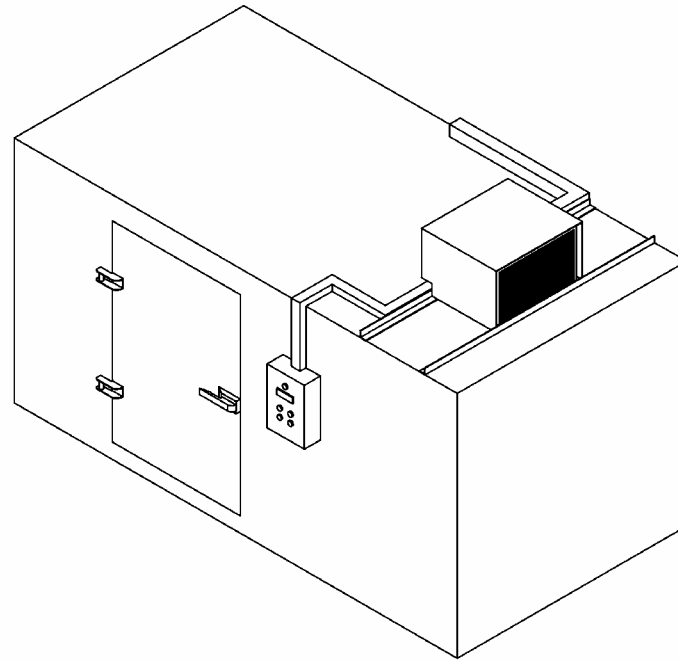
เวลา	อุณหภูมิ ในห้องเย็น (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ ในห้องเย็น (%RH)	อุณหภูมิ นอกห้องเย็น (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ นอกห้องเย็น (%RH)
0	9.9	62.7	33.8	63.5
2	10.1	61.9	34	60.2
4	10.3	58.6	35.1	57.7
6	10.1	60.8	35.5	62.1
8	9.9	59.1	29.2	74.6
10	9.7	61.2	28.5	80.3
12	10	63.3	28.9	67.5

ตารางผนวกที่ ข11 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้ง

รายการ		จำนวนเงิน (บาท)
1	ระบบทำความเย็น	
	1) อีวาโปเรเตอร์	17,000
	2) ชุดคอนเดนซิ่งยูนิต	35,000
	3) ชุดควบคุมอุณหภูมิและการทำงานของระบบทำความเย็น	8,000
2	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง หลอดไฟ และ โคมไฟ	500
3	วัสดุที่ใช้สร้างตัวห้องเย็น	
	1) แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 304	34,000
	2) เหล็กโครงสร้าง	48,000
	3) ฉนวนโพลียูรีเทน	12,880
	4) อื่นๆ	5,000
	รวมค่าวัสดุตัวห้องเย็น	99,880
4	ค่าแรงงานประกอบสร้างและอื่นๆ	39,952
5	รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างห้องเย็น	200,000

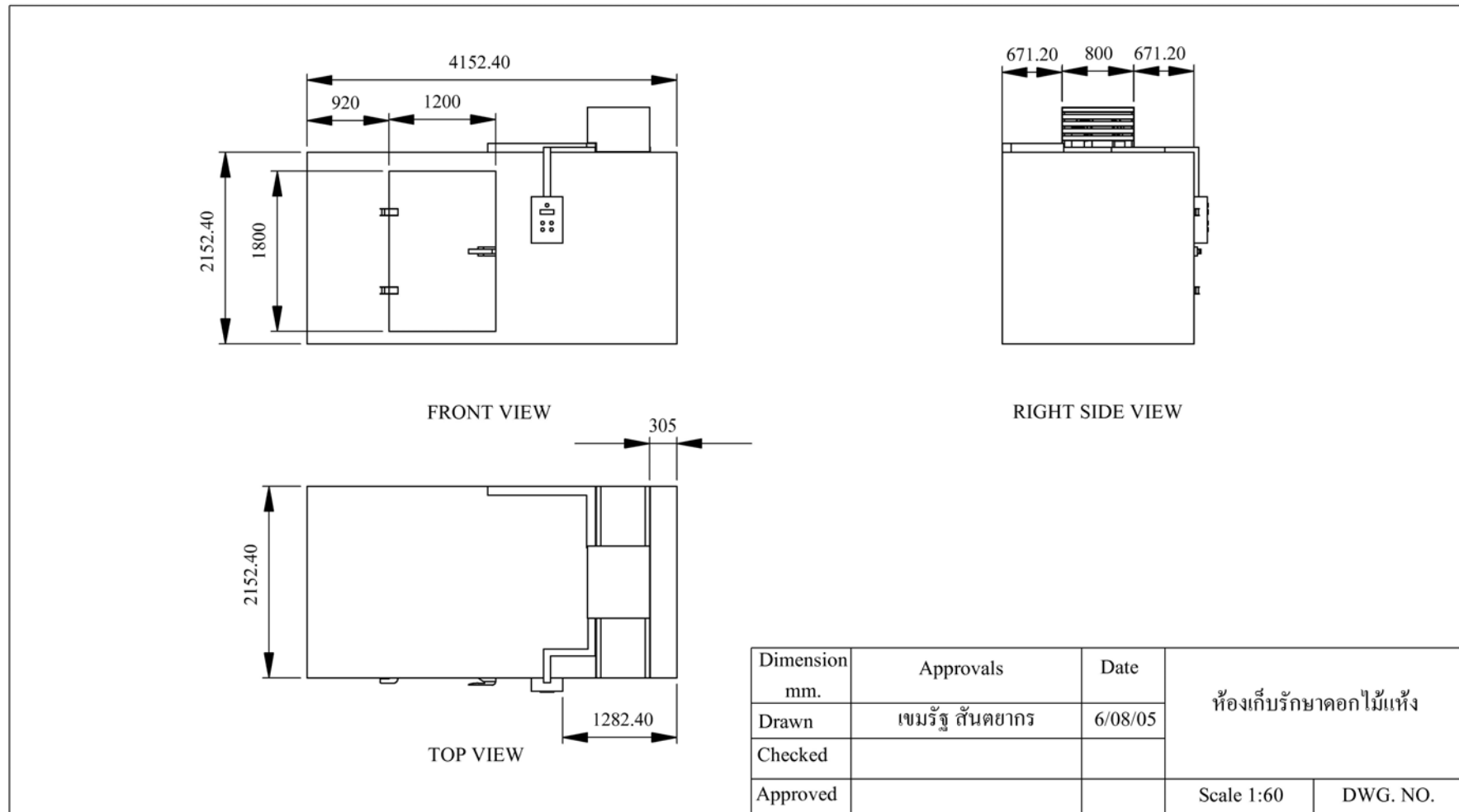
หมายเหตุ : ค่าแรงงานประกอบสร้างและอื่นๆ คิด 40% ของค่าวัสดุฯ

ภาคผนวก ค

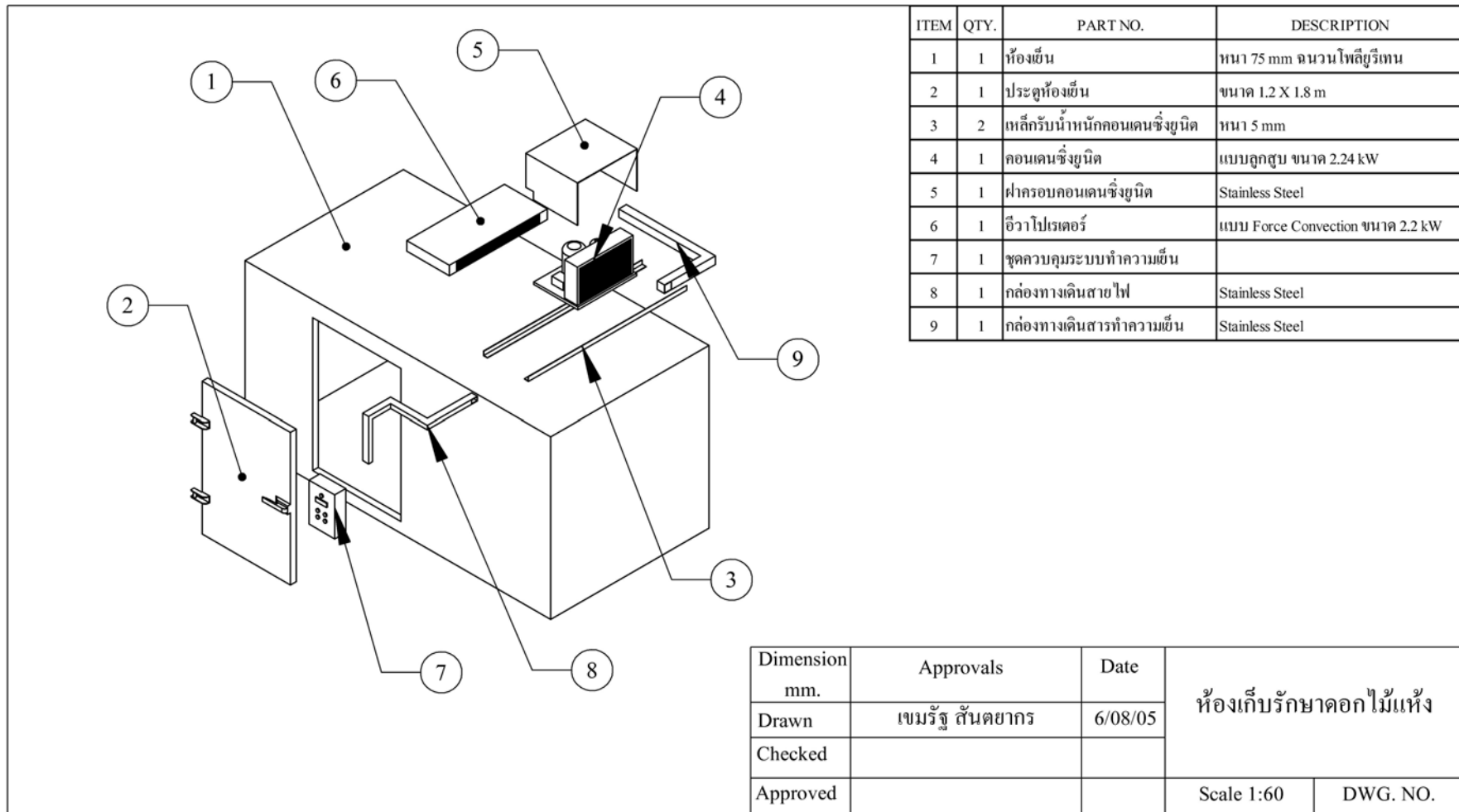


Dimension mm.	Approvals	Date	ห้องเก็บรักษาดอกไม้แห้ง	
Drawn	เขมรัฐ สันตยากร	6/08/05		
Checked				
Approved			Scale 1:50	DWG. NO.

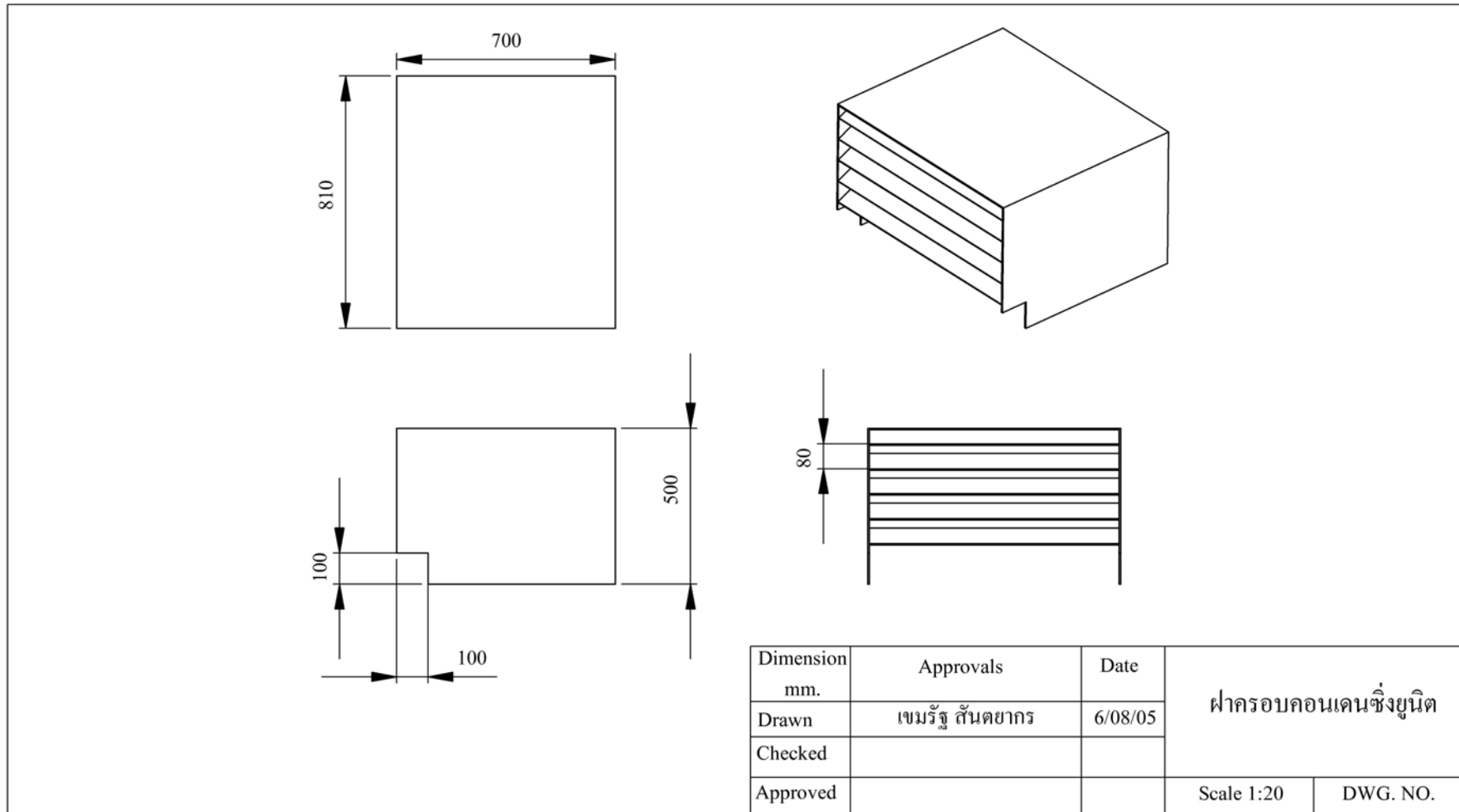
ภาพผนวกที่ ค1 แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งหน้าที่ 1



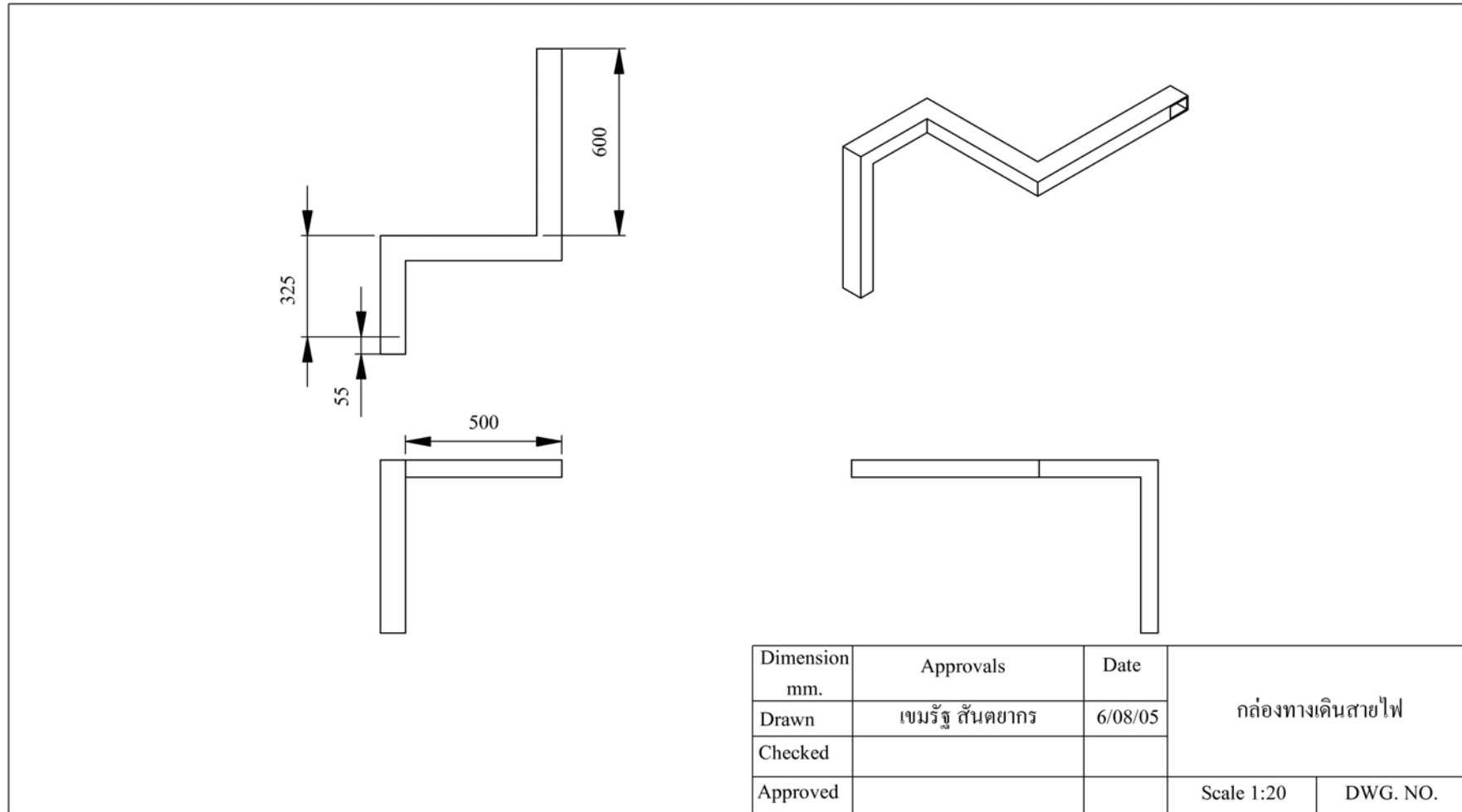
ภาพผนวกที่ ค2 แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งหน้าที่ 2



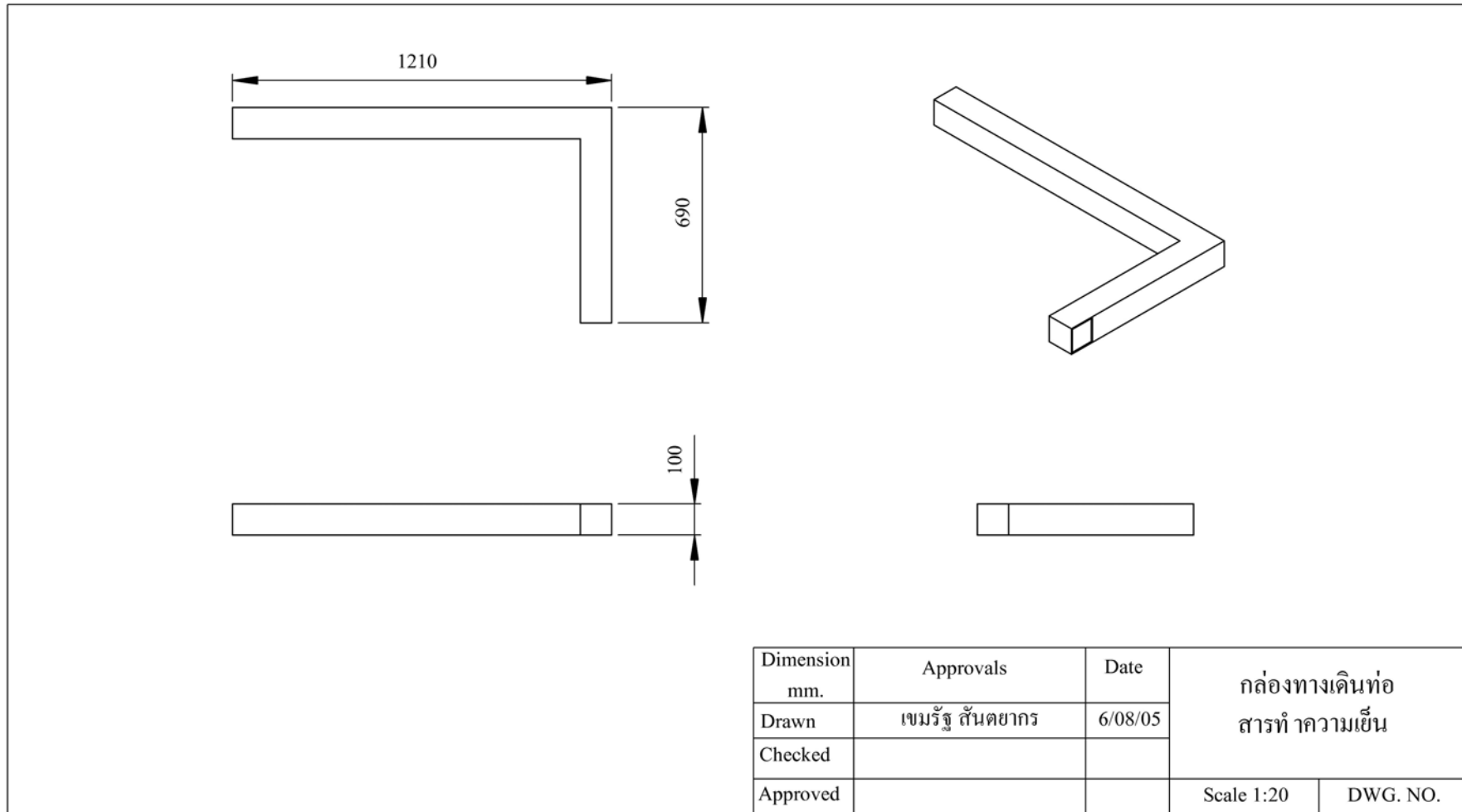
ภาพผนวกที่ ค3 แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งหน้าที่ 3



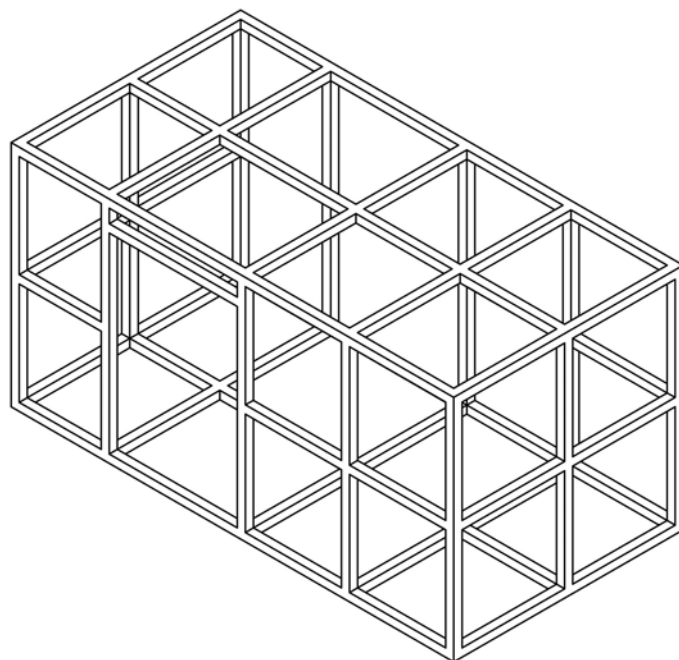
ภาพผนวกที่ ค4 แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งหน้าที 4



ภาพผนวกที่ ค5 แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งหน้าที 5

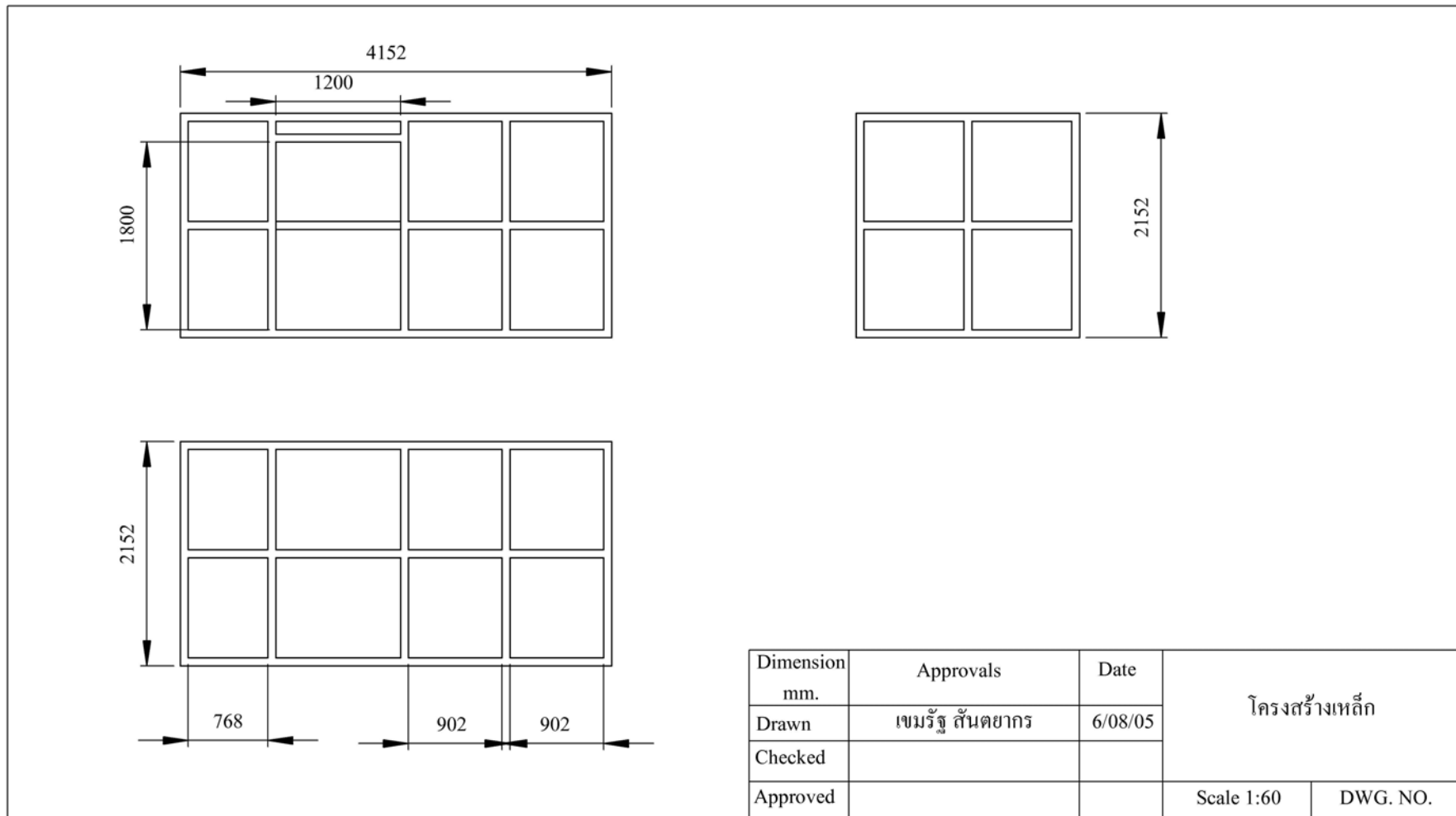


ภาพผนวกที่ ค6 แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งหน้าที่ 6

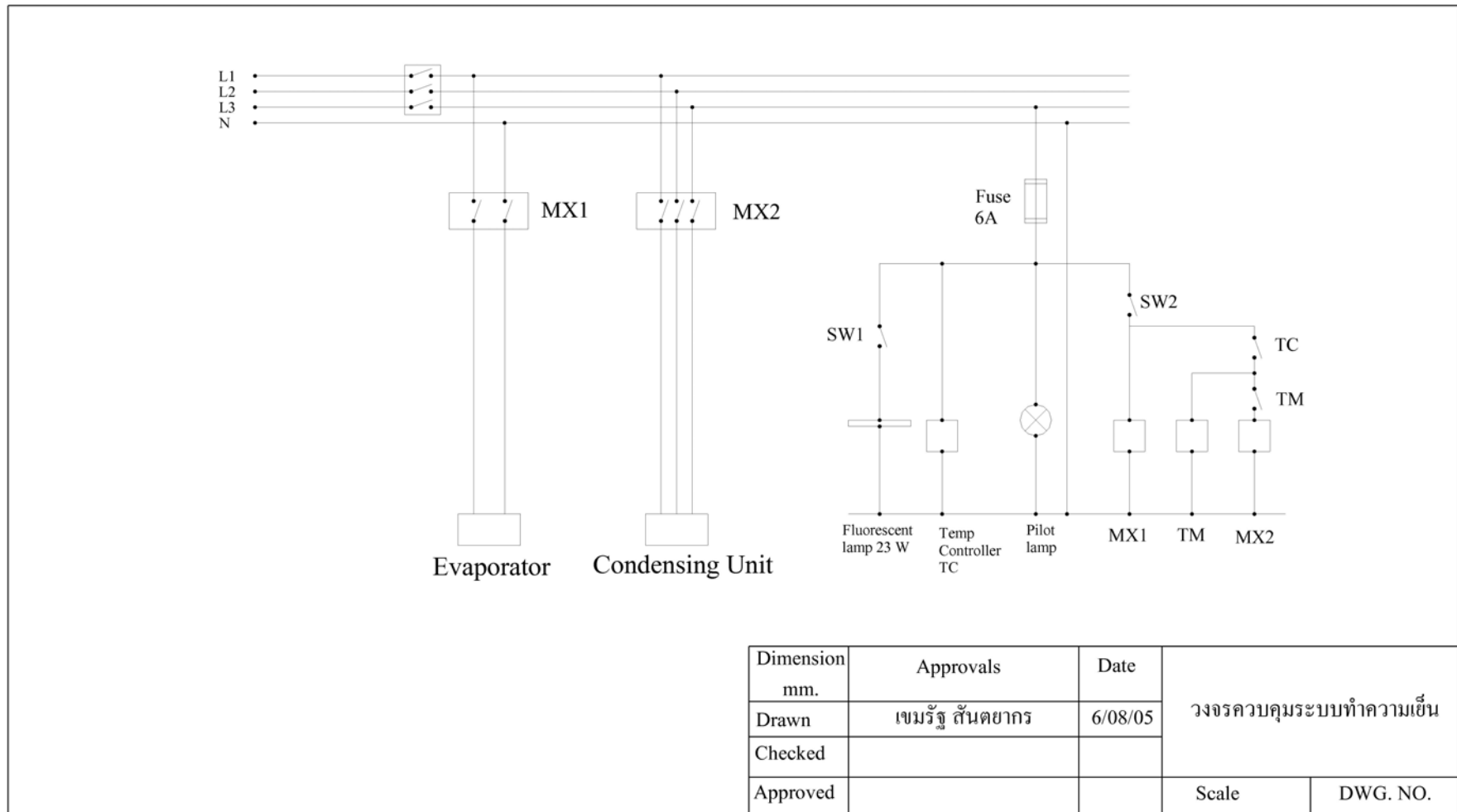


Dimension mm.	Approvals	Date	โครงสร้างเหล็ก	
Drawn	เขมรัฐ สันตยากร	6/08/05		
Checked				
Approved			Scale 1:50	DWG. NO.

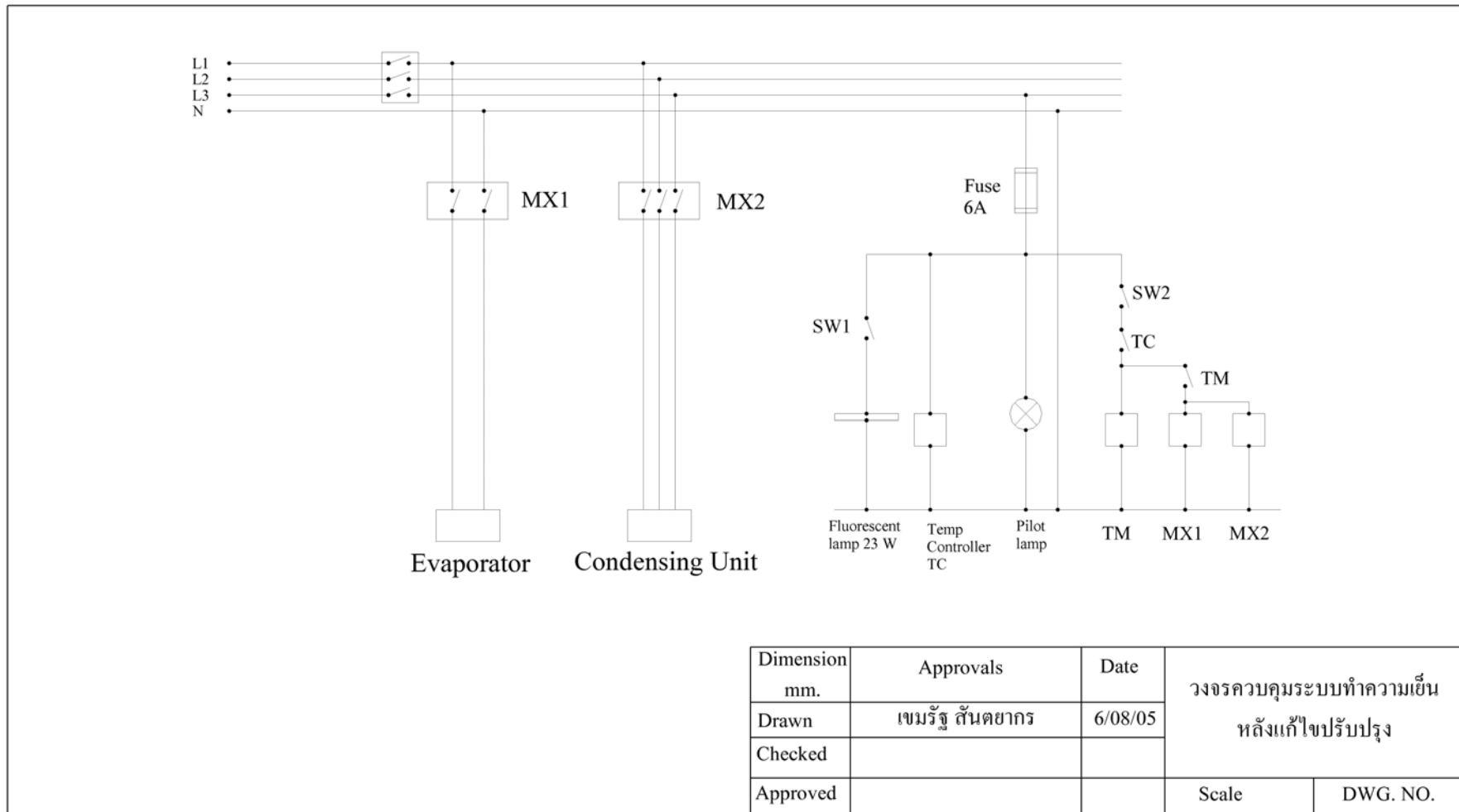
ภาพผนวกที่ ค7 แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห่งหน้าที่ 7



ภาพผนวกที่ ค8 แบบ Drawing แสดงรายละเอียดส่วนประกอบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาดอกไม้แห้งหน้าที 8



ภาพผนวกที่ ค9 แบบ Drawing แสดงรายละเอียดวงจรควบคุมระบบทำความเย็น



ภาพผนวกที่ ค10 แบบ Drawing แสดงรายละเอียดวงจรควบคุมระบบทำความเย็นหลังแก้ไขปรับปรุง