ปีการศึกษา 2533

การออกแบบและพัฒนาเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น

โดย

นาย วุฒิกิจ ตังคุณากร 300415

นาย วุฒิสาส์น เขียวทอง 300416

นาย ศุภกิจ จิวะรังสินี 300418

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ยุพร จรรยงค์วรกุล

อาจารย์ พิมพ์เพ็ญ ถิรพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18 ก.ค. 2534

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น

ผู้จัดทำ

1. นาย วุฒิกิจ ตังคุณากร 300415

2. นาย วุฒิสาส์น เขียวทอง 300416

3. นาย ศุภกิจ จิวะรังสินี 300418

(ยุพา จรรยงค์วรกุล) อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. ยุพร จรรยงค์วรกุล

(พิมพ์เพ็ญ ถิรพร.) อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. พิมพ์เพ็ญ ถิรพร

เลขหมู่ T.33107

เลขทะเบียน 027940

วัน, เดือน, ปี 18 ก.ค. 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น

วุฒิกิจ ตังคุณากร
วุฒิสาส์น เขียวทอง
ศุภกิจ จิวะรังสินี
อ.ยุพร จรรยงค์วรกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.พิมพ์เพ็ญ ถิรพร
อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นผลงานการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์เครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้โดยใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน ดูดดึงความร้อนแฝง(Latent Heat)ที่สะสมอยู่ภายในผลผลิตออกมา เพื่อลดอุณหภูมิภายในลง ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น เครื่องลดอุณหภูมิที่ได้ออกแบบนี้ มีลักษณะเป็นตู้รูปทรงสี่เหลี่ยม ประกอบขึ้นด้วยแผ่นอลูมิเนียม 2 ชั้น ระหว่างกลางบุด้วยฉนวน มีชุดทำความเย็นและระบบปั๊มเพื่อให้ได้น้ำเย็นไหลหมุนเวียนสเปรย์ฉีดใส่ผลิตผลตลอด ผลผลิตจะถูกลดอุณหภูมิลง และทำความสะอาดขั้นตอนหนึ่งไปในตัว ในตัวเครื่องจะติดตั้งมิเตอร์น้ำและมาตรวัดไฟ เพื่อใช้ในการปรับอัตราการไหลและคำนวณค่าใช้จ่าย ผลที่ได้สามารถลดอุณหภูมิผลผลิตต่างๆด้วยค่าใช้จ่ายเพิ่มที่ไม่มากนัก แต่ได้ประสิทธิภาพในการเก็บรักษาที่ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ ไม่ว่ากรณีใดๆ โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A PRECOOLING SYSTEM FOR FRUITS AND VEGETABLES

WUTTIKIT TANGKUNAKORN
WUTTISAN KHIOTHONG
SUPAKIT JIVARUNGSINEE
YUPORN CHANYONGWORAKUL
ADVISER
PIMPEN THIRAPORN
ADVISER

ABSTRACT

This thesis is the research and development of a precooling system , refering to hydrocooling method that use cool water as heat transfer media , for absorb latent heat in product. This cause internal temperature decreasing and elongate the product life time.

This machine has water circulating system for spraying product thoroughly all the time. The product would have been decreased in temperature and cleaned in the same time.

So this machine is suitable with the argicultural product in Thailand,for increaing the product quality with the appropriate cost and could be used in the export-industrial with higher efficiency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญรูปภาพ	ง
สารบัญตาราง	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์	3
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ	4
บทที่ 4 การคำนาณและสร้างอุปกรณ์	17
บทที่ 5 การทดลอง	39
บทที่ 6 บันทึกและประมวณผลการทดลอง	40
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและบทวิจารณ์	49
ข้อเสนอแนะ	51
ภาคผนวก	52
กิตติกรรมประกาศ	59
เอกสารอ้างอิง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1	กราฟเปรียบเทียบการลดอุณหภูมิ	8
2	รูปความสัมพันธ์ระหว่างการดึงความร้อนและ Half cooling time	14
3	แสดงชิ้นส่วนประกอบของตัวตู้	28
4	แสดงแบบแผ่นคลี่ของด้านข้าง	29
5	แสดงแบบแผ่นคลี่ของด้านบน	30
6	แสดงแบบแผ่นคลี่ของฝาด้านหลัง	31
7	แสดงแบบแผ่นคลี่ของฝาด้านล่างส่วนบน	32
8	แสดงแบบแผ่นคลี่ของฝาด้านล่างส่วนล่าง	33
9	แสดงแบบการประกอบแผ่นพับฝาด้านล่าง	34
10	แสดงแบบแผ่นคลี่และแผ่นพับของประตู	35
11	แสดงการประกอบชิ้นส่วนเหล็กฉากและล้อเป็นฐาน	36
12	แสดงรายระเอียดของระบบท่อและระบบทำความเย็น	37
13	แสดงรายระเอียดของท่อและ Shower Spray น้ำ	38
14	แสดงภายใน Chamber	57
15	แสดงลักษณะตัวเครื่องลดอุณหภูมิ	57
16	แสดงชุดทำความเย็น	58
17	แสดงระบบท่อน้ำและระบบวงจรไฟฟ้า	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงความสำคัญของท่อ Evaporator กับการงอ	21
2	แสดงความสัมพันธ์ของขนาด ไดรเออร์ฟิลเตอร์	23
3	แสดงขนาดของระบบท่อ	26

ตารางภาคผนวกที่

1	แสดงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ	52
2	แสดงคุณสมบัติของสารความเย็น	53
3	แสดงคุณสมบัติของฉนวน	55
4	แสดงการหาขนาดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ผักและผลไม้เป็นอาหารที่สำคัญส่วนหนึ่งของมนุษย์ เพราะนอกจากคุณค่าทางสารอาหารแล้ว ผักและผลไม้บางชนิดยังเป็นตัวยาช่วยรักษาโรคต่างๆได้อีก เมื่อผักและผลไม้มีความจำเป็นในระดับหนึ่งต่อการดำรงชีวิต การเก็บรักษาผักและผลไม้ให้มีความสดสมบูรณ์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งรวมถึงการเก็บเกี่ยวและการแปรสภาพอาหาร เพื่อคงสภาพที่สมบูรณ์ของอาหารไว้มากที่สุด

ในแต่ละปีผักและผลไม้ที่ผลิตได้ในประเทศไทยจะเกิดความเน่าเสียต้องทิ้งไปเป็นจำนวนมาก เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศอยู่ในเขตร้อน ผักและผลไม้ เมื่อได้รับความร้อนจะสุกและเน่าเสียได้เร็วขึ้น อีกทั้งยังสูญเสียสารอาหารบางส่วนไปด้วย ผลที่เกิดขึ้นนี้ ยังความสูญเสียถึงรายได้ส่วนหนึ่ง ที่ต้องขาดหายไปตามสัดส่วนของผลิตผลที่ผลิตได้

ดังนั้นระบบการเก็บรักษาอาหารให้ได้อยู่ในสภาพที่มีความสดได้นานจึงมีการวิจัยค้นคว้ากันอย่างกว้างขวาง เพื่อประโยชน์ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้มีอายุการเก็บนานยิ่งขึ้น สามารถขนส่งไปจำหน่ายได้ในหนทางไกลๆ และยังสามารถเก็บไว้บริโภคในยามที่ขาดแคลนตามฤดูกาลได้ด้วย

ในระบบการเก็บรักษาผักและผลไม้สดให้มีไว้บริโภคได้นานนั้น มีผู้วิจัยค้นหาวิธี ต่างๆกันหลายๆวิธี โดยวิธีการส่วนใหญ่จะควบคุมบรรยากาศหรือองค์ประกอบของอากาศ รวมถึงอุณหภูมิที่เก็บรักษาผลิตผลเพื่อควบคุมขบวนการเมตาบอริซึม กล่าวคือ การควบคุมอัตราการหายใจ การสร้างเอทธิลีนการทำงานของเอนไซน์และฮอร์โมนของพืชต่างๆ วิธีการที่สำคัญได้แก่ Controlled Atmosphere Storage (CA) , Modified Atmos phere Storage (MA), Hypobaric Storage รวมถึงการแช่เย็นและการแช่แข็งจึงเห็นได้ว่าระบบทำความเย็นมีความสำคัญต่อการเก็บรักษาผักผลไม้สด โดยเฉพาะพืชในเขตร้อน เช่นในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดอุณหภูมิ (precooling) ผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจากแปลง นอกจากจะช่วยเก็บรักษาคุณภาพของผลผลิตก่อนการขนส่ง ยังช่วยลดกำลังของการทำความเย็น (Refrigeration capacity) ของเครื่องทำความเย็นในห้องเก็บรักษา การศึกษาและออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาระบบการเก็บผักผลไม้ดอกไม้สด ทำให้มีอายุการเก็บนานขึ้น เป็นการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมส่งออกผักผลไม้ของประเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วัตถุประสงค์

จุดมุ่งหมายของการออกแบบและพัฒนาเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็นในครั้งนี้ ก็เพื่อ

2.1 ออกแบบและสร้างเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ที่เหมาะสมกับผลผลิตของประเทศไทย

2.2 ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นผักและผลไม้

2.3 ศึกษาและคำนวณค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาต่างๆและเปรียบเทียบเพื่อหาความคุ้มทุนต่อระบบการเก็บรักษาด้วยวิธีนี้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการ

3.1 การลดอุณหภูมิผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

การลดอุณหภูมิ (Precooling) เป็นการดึงความร้อนที่สะสม (Field heat)ออกจากผลิตผลเกษตรอย่างรวดเร็ว มักจะทำทันทีหลังการเก็บเกี่ยวก่อนที่จะทำการขนส่งหรือเก็บรักษา มีความจำเป็นมากสำหรับผลิตผลที่เน่าเสียง่าย เช่นผักผลไม้หรือดอกไม้

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพ หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วผลิตผลทุกชนิดยังคงมีชีวิตอยู่ มีการหายใจ (Respiration) ซึ่งใช้พลังงานจากธาตุอาหารที่สะสมอยู่ภายในตัวผลิตผล มาเปลี่ยนเป็นความร้อน ความร้อนนี้เรียกว่าความร้อนจากการหายใจ (Heat of respiration)ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูง จะเสื่อมคุณภาพเร็ว เพราะใช้ธาตุอาหารภายในกับออกซิเจน เปลี่ยนเป็นพลังงานในอัตราที่สูง

ดังสมการการหายใจ

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \text{ ----------> } 6CO_2 + 6H_2O + 673 \text{ Kcal}$$

ดังนั้นหากต้องการเก็บผลิตผลให้มีคุณภาพสูง อยู่ได้นาน สิ่งที่สำคัญประการหนึ่งก็คือการลดอัตราการหายใจลงให้เหลือน้อยที่สุด

วิธีการลดอัตราการหายใจก็คือ การลดอุณหภูมิ อุณหภูมิที่ลดลงทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะลดอัตราการหายใจลง2ถึง4เท่า แต่ทั้งนี้อุณหภูมิต้องไม่ต่ำเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายเนื่องความเย็น (Cold injury) อุณหภูมิที่จะเกิด Clod injury นี้มีค่าแตกต่างกัน แล้วแต่ชนิดและพันธุ์ของผลิตผล ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นจึงควรลดอุณภูมิของผลิตผลให้ต่ำที่สุดแต่ไม่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เกิดCold injury

นอกจากนี้ การลดอุณภูมิของผลิตผลยังชลอการสุก (Ripening) ลดการสูญเสียน้ำ (Moisture Loss) และชลอการเสื่อมสภาพ (Decay)ซึ่งมีผลต่อคุณภาพ ณ.ที่ขายทั้งสิ้น โดยขบวนการเหล่านี้ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบางอย่างซึ่งผู้ซื้อไม่ยอมรับ เช่น การเหี่ยวของผิว การเปลี่ยนสี การลดความกรอบ และความแน่นเนื้อ

การลดอุณหภูมินี้ จะต้องทำให้เร็วที่สุดหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากผลิตผลจะเริ่มเสื่อมคุณภาพตั้งแต่ถูกเก็บเกี่ยว และความเร็วหรือช้าของกระบวนการนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล ในด้านการตลาด การลดอายุแม้เพียงวันเดียวหมายถึงผลที่กำไรหรือขาดทุนได้

3.2 วิธีการลดอุณภูมิ (Precooling Methods)

เนื่องจากปริมาณความร้อนสะสม (Field Heat) มีอยู่สูง ประกอบกับการดึงความร้อนออก ต้องกระทำอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการลดอุณหภูมิจึงต้องอาศัยอุปกรณ์ทำความเย็นเฉพาะที่มีกำลังทำความเย็นสูง เพื่อที่จะสามารถดึงเอาความร้อนสะสมในผลิตผลได้อย่างรวดเร็ว ระบบการลดอุณหภูมิผักและผลไม้นั้น มีผู้วิจัยค้นคว้าและพัฒนาถึงรูปแบบและวิธีการลดอุณหภูมิแบบต่างๆ แต่ละวิธีอาจจะเหมาะสมกับผลิตผลบางชนิด

วิธีการลดอุณหภูมิที่สามารถนำมาใช้งานได้มีอยู่หลายวิธีดังนี้

3.2.1 การใช้ห้องเย็น (Room Cooling)

เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยตั้งภาชนะที่บรรจุผลิตผลไว้ในห้องเย็นเท่านั้น อากาศเย็นจะไหลผ่านรอบภาชนะบรรจุสัมผัสกับผลิตผล ผลิตผลจะคายความร้อนลงแต่วิธีนี้การระบายความร้อนเป็นไปได้ช้ามากปกติต้องใช้เวลาเป็นวัน ผลิตผลจึงจะเย็นถึงจุดที่ต้องการและไม่เหมาะสมกับผักและผลไม้ที่เสื่อมเสียได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การใช้อากาศเย็น (Forced-air Cooling)

วิธีนี้ ผลิตผลจะถูกทำให้เย็นลง โดยการบังคับให้อากาศเย็นไหลผ่านผลิตผล โดย ความแตกต่างของความดันอากาศ 2 ข้างของผลิตผล เครื่องลดอุณหภูมิแบบนี้ จะต้องมีพัดลมดูดอากาศที่มีปริมาณไหลมากพอ วิธีการนี้จะลดอุณหภูมิได้เร็วกว่าการวางในห้องเย็นธรรมดา 6 ถึง 10 เท่า และสามารถใช้กับผลิตผลเกือบทุกชนิด

3.2.3 การใช้น้ำเย็น (Hydrocooling)

ระบบนี้จะต้องให้ความเย็นแก่น้ำในระดับหนึ่ง แล้วจึงผ่านความเย็นเข้าสู่ผลิตผลโดยการนำผลิตผลมาแช่ในน้ำ หรือ โดยการฉีดน้ำเย็นผ่านผลิตผลน้ำเย็นจะต้องมีอุณหภูมิและอัตราการไหลที่พอเหมาะ จะทำให้ผลิตผลเย็นลงได้เร็วมาก (2-3 เท่าของระบบอากาศเย็น) เพราะสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางจะสูงกว่าที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางแต่วิธีนี้มีข้อจำกัดที่สามารถใช้กับผลิตผลบางชนิดที่เปียกได้โดยไม่เกิดความเสียหายเท่านั้น หากใช้กับผลิตผลชนิดอื่น อาจทำให้เกิดการเน่าเสียภายในเวลาอันสั้น

3.2.4 การใช้น้ำแข็ง

วิธีนี้มีข้อจำกัดที่จะใช้ได้กับผลผลิตที่เปียกได้ และสัมผัสกับน้ำแข็งได้โดยไม่เสียหายอาจแยกได้ 2 วิธีย่อย คือ การบรรจุเกล็ดน้ำแข็งไว้ในภาชนะโดยตรง (package icing) และการอัดน้ำแข็งเกล็ดไว้ระหว่างชั้นภาชนะ (top icing) ซึ่งระบบนี้จะทำให้ผลผลิตเย็นลงได้เร็วมากหากทำให้ถูกวิธี แต่มีข้อเสียคือ สิ้นเปลืองพลังงาน ค่าใช้จ่ายสูงในระยะยาว ผลิตผลเย็นไม่สม่ำเสมอ และประสิทธิภาพต่ำ อาจใช้ร่วมกับการลดอุณหภูมิวิธีอื่น จะได้ผลดีขึ้น

3.2.5 การลดความดัน (Vacuum Cooling)

ผลิตผลที่จะทำการลดอุณหภูมิจะต้องบรรจุอยู่ภายในภาชนะถังแข็งปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนิท แล้วดูดอากาศออกจากถังเพื่อให้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศมากๆ น้ำที่อยู่ภายในผลิตผลจะระเหยออกมาที่ความดันต่ำ และจะพาความร้อนออกมาด้วยในรูปของความร้อนแฝง ความดันที่ใช้ประมาณ 6/1000 ของความดันบรรยากาศ วิธีนี้จะต้องใช้เทคโนโลยีสูงและราคาแพงมาก จะคุ้มทุนเมื่อมีผลผลิตมากพอและสม่ำเสมอตลอดปี เพื่อสามารถใช้เครื่องอย่างเต็มที่ตลอดเวลา

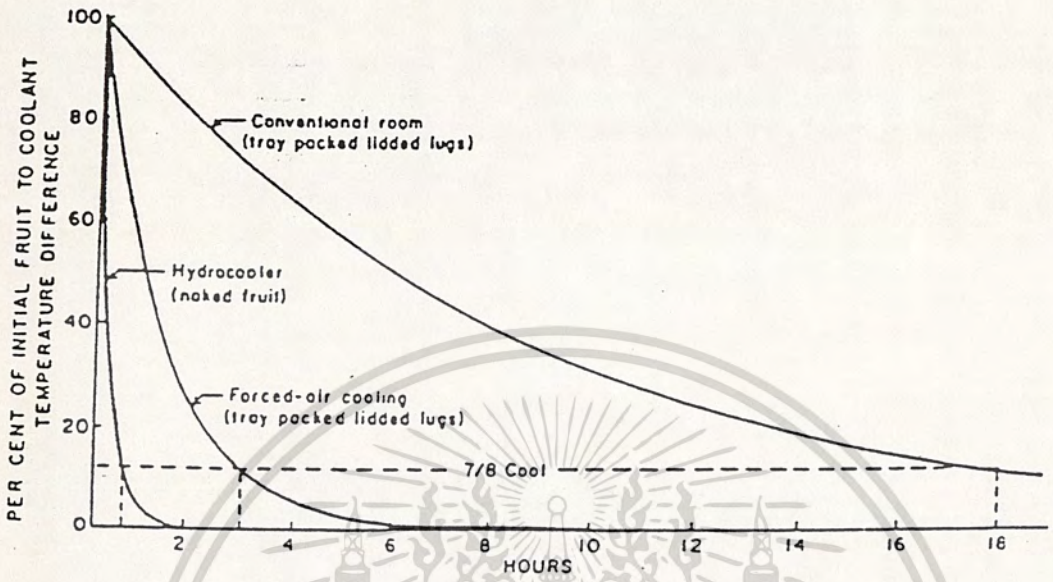
3.2.6 การระเหยน้ำภายในผลิตผล (Evaporative Cooling)

เป็นวิธีที่ง่ายและราคาถูก โดยใช้หลักการให้อากาศไหลผ่านวัสดุที่อิ่มน้ำ เช่น กระสอบเปียก การลดอุณหภูมิแบบนี้จะได้ความชื้นสูง แต่อุณหภูมิลดได้ไม่ต่ำนัก (เท่ากับอุณหภูมิของกระเปาะเปียกในขณะนั้น) และขึ้นอยู่กับระดับความชื้นของอากาศ ในบริเวณที่ห่างไกล และไม่มีแหล่งพลังงานที่เหมาะสม การใช้วิธีลดอุณหภูมิแบบระเหยนี้ จะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตผลได้โดยการลงทุนต่ำมาก

3.2.7 การใช้สารความเย็น

สารความเย็นที่เลือกใช้ได้แก่ ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลวและคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง(น้ำแข็งแห้ง)วิธีนี้มีราคาแพงมาก จึงใช้เฉพาะกรณีพิเศษเท่านั้น การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (ทั้งเหลวและแข็ง) เพื่อทำเย็นมีผลพลอยได้อีกประการคือเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในห้อง ทำให้เกิดสภาพบรรยากาศเปลี่ยนแปลง (Modified atmosphere หรือ MA) ขึ้น ซึ่งช่วยชลอการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 กราฟเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของวิธีการทั้ง 3 ชนิด คือการเก็บในห้องเย็น (room cooling) การใช้อากาศเย็น (force-air cooling) และการใช้น้ำเย็น(hydrocooling)

การเลือกใช้วิธีการลดอุณหภูมิ ในการที่จะเลือกว่าจะใช้วิธีการใดเพื่อลดอุณหภูมิผลิตผลที่ต้องการนั้น จำเป็นจะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆดังนี้ คือ

1.ลักษณะของผลิตผล เช่น เสียหายง่ายหรือไม่ ทนต่อการเปียกน้ำหรือไม่ มีลักษณะเป็นใบหรือเป็นหัว ความร้อนถ่ายเทออกได้ดีหรือเลว เป็นต้น

2.ลักษณะของภาชนะที่ใช้ และการบรรจุ ภาชนะมีช่องระบายอากาศเหมาะสมหรือไม่ ทนน้ำได้หรือไม่ การบรรจุมีฟิลม์พลาสติก หรือมีกระดาษหุ้มหรือไม่ เป็นต้น

3.เวลาที่มีอยู่ จำเป็นจะต้องลดอุณหภูมิเร็วหรือช้าเพียงใด เพื่อให้จัดจำหน่ายได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.สภาพอากาศแวดล้อม อาจเหมาะสมที่จะใช้การลดอุณหภูมิแบบต่างๆ หรือวิธีทางธรรมชาติอื่นๆช่วย

5.จะเริ่มลดอุณหภูมิเมื่อใด เช่น ทันทีหลังจากขนส่งจากไร่ หรือหลังจากคัดและตัด แต่งก่อนบรรจุในภาชนะ หรือหลังจากบรรจุในภาชนะแล้ว

6.วิธีการที่ใช้ประกอบอื่นๆ เช่น การรมควัน หรือการจุ่มน้ำยาฆ่าเชื้อ การใช้บรรยากาศเปลี่ยนแปลง (MA)

7.การตลาด ผู้บริโภคพอใจการบรรจุและวิธีการแบบใด

3.3 การลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น (Hydrocooling)

ระบบ Hydrocooling เป็นระบบลดอุณหภูมิผักและผลไม้ โดยใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะพบได้ 2 วิธีคือ การนำเอาผลิตผลจุ่มแช่ในน้ำเย็น แล้วรอเวลาจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด อีกวิธีหนึ่งคือ การฉีดน้ำที่ผ่านการทำความเย็นใส่ลงสู่ผักและผลไม้

ในวิธีการนำเอาผักผลไม้แช่ลงในน้ำเย็นนั้น น้ำที่ใช้แช่แล้วอาจมีสิ่งสกปรกเจือปนหรือมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนจากการผ่านผักและผลไม้ ในแต่ละเที่ยว ซึ่งเป็นสาเหตุให้ผักและผลไม้ที่ต้องการลดอุณหภูมิในเที่ยวต่อไป สกปรกปนเปื้อนตามไปด้วย

ดังนั้น จึงได้ใช้วิธีสเปรย์น้ำเย็นใส่ผักและผลไม้ น้ำเย็นที่ฉีดใส่ จะทำการลดอุณหภูมิผลผลิตและทำความสะอาดไปพร้อมกัน น้ำที่ถูกผ่านออกมาจะถูกทำความสะอาดโดยการกรองในชั้นหนึ่ง ก่อนที่จะมารับความเย็นจากแหล่งพลังงาน ฉะนั้นผลิตผลที่ออกมาจะมีความสะอาดกว่า ซึ่งจะมีผลต่อการเก็บรักษาในระยะต่อไป

3.4 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น

ลักษณะโครงสร้างที่สำคัญในระบบ Hydrocooling ประกอบด้วย

3.4.1 Product Chamber เป็นส่วนบรรจุผลิตผลที่ต้องการลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น นอกจากนี้ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ ขนาดของ product chamber จะถูกกำหนดด้วยปริมาณที่สัมพัทธ์กับผลิตผล โดยจะต้องไม่บรรจุจนแน่นเกินไป และให้มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างทั่วถึง

3.4.2 Water Reservior เป็นแหล่งสำรองน้ำ และเป็นที่แลกเปลี่ยนความร้อน น้ำที่พักไว้จะถูกทำให้เย็นลงโดยชุดทำความเย็นจนอุณหภูมิของน้ำได้ระดับที่สามารถลดอุณหภูมิผลิตผล โดยไม่ทำให้เกิดการเสียหายที่ผิวหน้าของผลิตผล น้ำที่เย็นแล้วจะถูกปั๊มดูดขึ้นไปสเปรย์ใส่ผักผลไม้

3.4.3 Refrigeration System เป็นส่วนประกอบหลักของระบบทำหน้าที่ให้ความเย็นแก่น้ำ ประกอบด้วย ตัวคอมเพรสเซอร์ ตัวคอนเดนเซอร์ ตัวควบคุมน้ำยา ตัวคอยล์เย็น และอุปกรณีช่วยต่างๆในระบบ เช่น ถังพักน้ำยา ตัวกรองความชื้นและสิ่งสกปรก ตัวระเหยน้ำยา ชุดความเย็นนี้จะต้องมีกำลังพอที่จะให้ความเย็นแก่ น้ำได้ตามปริมาณภาระที่ต้องการ

3.4.4 Pump and Pipe เป็นชุดลำเลียงน้ำไปฉีดพ่นใส่ผักผลไม้ ขนาดของ pump และเส้นผ่าศูนย์กลางท่อน้ำต้องมีความสัมพันธ์กันจึงจะได้กำลังที่เหมาะสม

3.4.5 Spraying System ระบบนี้ใช้ shower เป็นตัว spray น้ำเย็นที่ส่งมาจาก pump

3.4.6 Electric and Control Circuit เป็นระบบควบคุมระบบการทำงานของระบบอื่นๆ

3.5 <u>ทฤษฎีการวิเคราะห์ระบบ</u>

ผักและผลไม้ที่ทำการลดอุณหภูมิ จะมีอัตราการลดอุณหภูมิที่แตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์ของผลิตผล การวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของผลิตผลแต่ละชนิดสามารถคำนวณได้จากพารามิเตอร์ต่างๆเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

3.5.1 Temperature Ratio (TR)

อุณหภูมิภายในผลิตผลในระหว่างการลดอุณหภูมิที่ช่วงเวลาต่างๆ สามารถเขียนในรูปของสมการ exponential ดังสมการ 3.1

$$TR = \exp(-ct^{d}) \qquad \ldots 3.1$$

เมื่อ $TR = \dfrac{T - T_{\infty}}{T_{i} - T_{\infty}}$

t = exposure time , min

T = product temperature , °c

T_{∞} = water temperature , °c

T_{i} = initial product temperature , °c

c,d = regression coefficients

3.5.2 Cooling Rate (CR)

จากกฎของนิวตัน การไหลของความร้อนเป็นไปดังสมการที่ 3.2

$$\frac{dQ}{dt} = -hA(T-T_{\infty}) \qquad \ldots 3.2$$

และ $$C = \frac{Q}{(\rho.V)\Delta T} \qquad \ldots 3.3$$

เมื่อ Q = Heat removed from product , w

t = exposure time , min

hA = surface conductance , w/°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T = product temperature , °c

T_o = water temperature , °c

C = specific heat , w/kg°c

ρ = product density , kg/m^3

V = product volume , m^3

A = surface area , m^2

แทนค่า Q ลงในสมการที่ 3.2

$$\frac{dQ}{d\theta} = C\rho.v\frac{dT}{dt} = -hA(T-T_o) \quad \ldots 3.4$$

อินทิเกรตสมการที่ 3.4 จากเวลาเริ่มต้น $T=T_i$ จนถึงเวลาใดๆ (t)

$$\int_{T_i}^{T} \frac{dT}{(T-T_o)} = \frac{-hA}{C\rho.v}\int_0^t dt$$

$$\text{Ln}\left|\frac{T_i-T_o}{T-T_o}\right| = \left|\frac{h.A}{C\rho.v}\right|t$$

หรือ $$\frac{T-T_o}{T_i-T_o} = \exp\left(\frac{-h.A}{C\rho.v}\right).t \quad \ldots 3.5$$

เมื่ออัตราการแผ่ความเย็น (cooling rate หรือ cooling coefficient) มีค่าเท่ากับ $hA/C\rho.V$

ค่า CR มีประโยชน์ใช้ตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น ถ้ามีค่าสูง แสดงว่า อัตราการดึงความร้อนออกจากผลิตผลทำได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า CR สามารถคำนวณหาได้เมื่อทราบค่า h และคุณลักษณะของผลผลิต (A,C,ρ และ V)หรือ CR มีค่าเท่ากับความชันของกราฟลดอุณหภูมิ (cooling curve) ถ้าเขียนกราฟระหว่าง $(T_1-T_0)/(T-T_0)$ บนแกน Y และเวลาบนแกน X บนกระดาษกราฟ semi-logจะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งมีค่า CR เท่ากับความชัน ถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแบบเอ็กโปแนนเชียล ดังสมการที่ 3.5

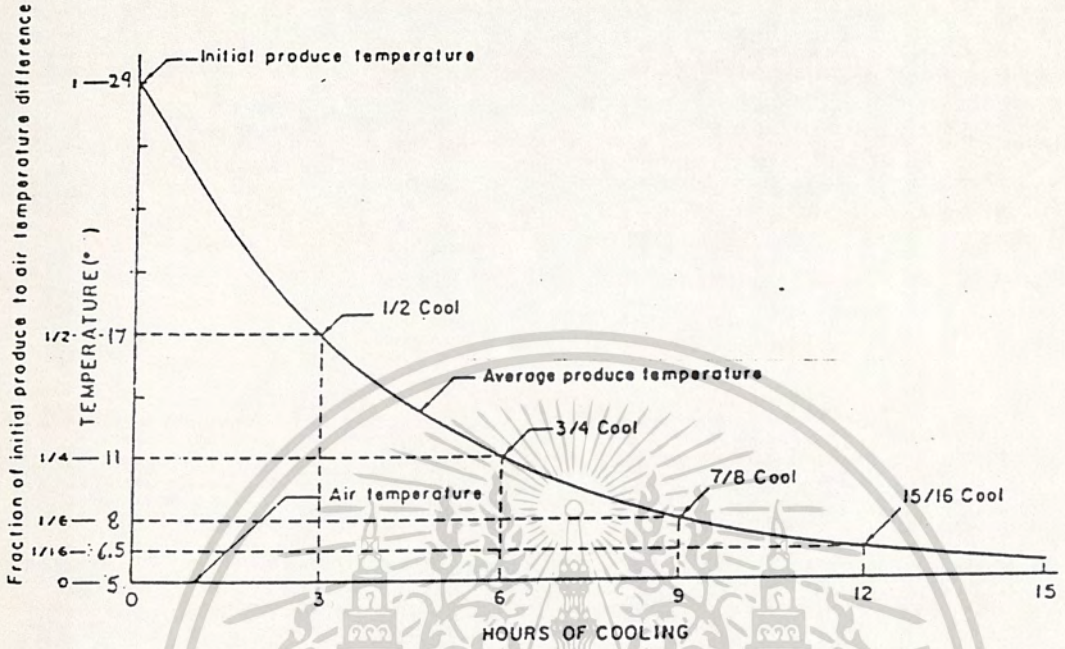
3.5.3 Half Cooling Time ($t_{1/2}$)

หมายถึงช่วงเวลาที่ทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลและตัวนำ ความเย็น (อากาศ น้ำ หรือน้ำแข็ง) มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผลและตัวนำความเย็น ตัวอย่างเช่น ถ้าแคนตาลูป (Cantaloup)มีอุณหภูมิ 92 F และน้ำเย็นมีอุณหภูมิ 32 F ความแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 60 F เวลาที่ใช้ทำให้อุณหภูมิลดลง 30 F เรียกว่า $t_{1/2}$

การคำนวณหาค่า Half-cooling time เป็นที่นิยมในขบวนการลดอุณหภูมิ เนื่องจากเป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ และมีค่าคงที่ตลอดการแช่เย็น ดังนั้น ถ้าทราบค่า $t_{1/2}$ ของวัสดุเกษตรภายใต้สภาวะหนึ่งๆ ก็สามารถทำนายการแช่เย็นที่ช่วงเวลาใดๆได้ เมื่อทราบอุณหภูมิของผลิตผลและตัวนำความเย็น แต่การทำนายจะไม่สามารถทำได้ ถ้ารู้เพียงอัตราการแช่เย็น (cooling rate) เนื่องจากมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เมื่อความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวนำความเย็นเปลี่ยนไป

ความร้อนจะถูกดึงออกไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆของ Half cooling time เมื่อความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวนำความเย็นมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นความร้อนจะถูกดึงออกช้าลงในช่วง $t_{1/2}$ ต่อๆมา และมีค่าใกล้เคียงศูนย์ เมื่ออุณหภูมิของผลิตผลใกล้เคียงกับตัวนำความเย็น ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากระยะที่ 3 ของ $t_{1/2}$ ผ่านไป ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 รูปความสัมพันธ์ระหว่างการดึงความร้อนและค่า Half cooling time

จากสมการที่ 3.5 $\frac{T - T_o}{T_i - T_o} = \exp\left(\frac{-hA}{C\rho . V}\right)\theta$

แทนค่า CR จะได้ $\theta = \frac{1}{CR} \ln \frac{T_i - T_o}{T - T_o}$

ที่ Half cooling time ($t_{1/2}$) จะได้ $T - T_o = 1/2\ (T_i - T_o)$

ดังนั้น $t_{1/2} = \frac{1}{CR} \ln \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{2}(T_i - T_o)}$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{CR} \quad \ldots 3.6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Number of half cooling time

ถ้าจำนวนเท่าของ half-cooling time เพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการทำความเย็นหรือการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดลง และเข้าใกล้อุณหภูมิของตัวนำความเย็นมากขึ้น โดยความแตกต่างของอุณหภูมิของผลิตผลกับตัวนำความเย็นจะลดลงไปเป็นจำนวนเท่าของครึ่งหนึ่งของความแตกต่างอุณหภูมิ

การคำนวณหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างผลิตผลกับตัวนำความเย็น $(T-T_o)$ เมื่อทราบค่า No.of half cooling time โดยสมมติเวลาที่ใช้เป็น 2 เท่าของ Half Cooling Time ($\theta = 2T_{1/2}$)

แทนค่า

$$CR = \frac{1}{\theta} \ln [(t_i-t_o)/(t-t_o)]$$

ลงในสมการ

$$t_{1/2} = \frac{\theta . \ln 2}{\ln[(t_i-t_o)/(t-t_o)]}$$

$$t_{1/2} = \frac{2t_{1/2} . \ln 2}{\ln[(t_i-t_o)/(t-t_o)]}$$

$$\ln \frac{t_i-t_o}{t-t_o} = 2\ln 2$$

$$t - t_o = \frac{1}{4}(t_i-t_o)$$

แสดงว่าที่ $2t_{1/2}$ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 1/4ของความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อเริ่มต้น นั่นคืออุณหภูมิลดลงในทำนองเดียวกันที่ Number of half cooling time อื่นๆจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t - t_o = (1/2)^n(t_i - t_o)$$

เมื่อ n = 1,2,3...

= Number of half cooling time

3.5.4 Effect of different part on product

เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของการลดอุณหภูมิที่บริเวณสัมผัสต่างๆ เปรียบเทียบถึงอุณหภูมิที่ลดทางด้านบน ด้านล่าง และลึกเข้าไปในศูนย์กลางของผลิตผล โดยทั่วๆไปผลิตผลจะมีการลดอุณหภูมิจากภายนอกก่อน ด้านบนที่สัมผัสความเย็นโดยตรงจะมีการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วทันทีแล้วอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดเข้าไปภายในผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้จะแตกต่างกันตามความหนาแน่นของผลผลิตและความสามารถในการซึมผ่านของตัวนำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การคำนวณและการสร้างอุปกรณ์

โครงสร้างของอุปกรณ์ในเครื่องลดอุณหภูมินี้ได้แก่

4.1 โครงสร้างตู้

ตัวตู้ประกอบขึ้นจากแผ่นอลูมิเนียมต่อประกบกัน มี 2 ชั้น ระหว่างชั้นมีฉนวนกันความร้อนจากภายนอก โดยใช้ Polyestylene Foam ความหนาขนาด 2 นิ้วเป็นฉนวนตัวตู้ปิดสนิททั้ง 5 ด้าน มีประตูเปิดด้านหน้า ตู้มีขนาดกว้าง 1เมตร ยาว 1เมตร สูง 1.1 เมตร ภายในมีชั้นบรรจุผลิตภัณฑ์ 2 ชั้น ด้านล่างมี wire mesh ตาถี่ เป็นตะแกรงรองรับเศษผงที่ตกตอนชำระล้าง สามารถบรรจุน้ำได้สูงถึง 200 ลิตร

4.2 อุปกรณ์ชุดทำความเย็น

ชุดทำความเย็นใช้ compressor แบบ rotary ขนาด 1/2 tons และcondensorแบบ air cooled direct expension ตั้งอยู่ด้านล่างของตัวตู้ ซึ่งเป็นโครงเหล็กฉากบนฐานล้อ ส่วนของ evaperator จะขดอยู่ภายในตู้ เพื่อให้ความเย็นแก่น้ำ มี Thermostat คอยควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในระดับที่ต้องการ

4.3 อุปกรณ์ปั๊มน้ำและท่อ

ตัวปั๊มเป็นแบบ centrifugal pump มีขนาด 0.4 Hp สามารถส่งน้ำได้ในอัตรา 20-60 ลิตร/นาที ต่อจากด้านล้างตัวตู้เพื่อดูดน้ำที่เย็นขึ้นไปพ่นทางด้านบน มีวาวล์ปรับระดับและมิเตอร์วัดอัตราไหลของน้ำ มี shower สเปรย์น้ำอยู่ 4 หัวเพื่อให้การกระจายที่ทั่วถึง ท่อน้ำเป็นท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีฉนวนหุ้มตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ระบบวงจรไฟฟ้า

แผงควบคุมสวิทช์ไฟทั้งหมดติดอยู่ที่ข้างตัวตู้ มี breaker ควบคุมปริมาณกระแสไฟ และติด watt-hour meter วัดอัตราการใช้กระแสไฟฟ้า

4.1 โครงสร้างตู้

การหาขนาดความหนาฉนวนเพื่อป้องกันการกลั่นตัวของไอน้ำ

การกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศสัมผัสกับพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (dew point temperature) ของอากาศ

วิธีป้องกันการกลั่นตัวของไอน้ำบนหน้าสัมผัสที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ผนังห้องเย็น กระทำได้โดยการใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาพอเพียงหุ้มโดยรอบเพื่อที่จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้ยาก อุณหภูมิของฉนวนที่ผิวหน้าสัมผัสกับอากาศ ก็จะสูงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ จึงไม่เกิดการกลั่นตัวขึ้น

สมการคำนวณหาความหนาของฉนวน Polystylene

$$Q = -\frac{K.A}{U_f}(T_2-T_1)$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท ,Btu/Ft

K = ค่าการนำความร้อนของฉนวน (conductivity),

BTU/Hr.Ft^2.°F.inch

จากภาคผนวก Polystylene K = 0.26 BTU/Hr.Ft^2.F.inch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A = พื้นผิวสัมผัส ,ตารางฟุต

T_1 = อุณหภูมิอากาศภายนอก 77 °F

T_2 = อุณหภูมิของผนังที่เย็น 41 °F

U_f = ความหนาของแผ่นฉนวน

พื้นผิวสัมผัสภายใน Water chamber ทั้งหมดขนาด 6*1*1 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ = 64.58 ตารางฟุต

ปริมาณความร้อนถ่ายเท 6000 บีทียู ต่อ ชั่วโมง

Q = 6000 BTU/Hr

U_f = [-0.26 * 64.58 * (41-77)] /6000

= 0.1007 Ft หรือ 1.20 นิ้ว

ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ Polystylene ขนาดความหนามากกว่า 1.20 นิ้วเป็นอย่างต่ำ ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดขนาดความหนาฉนวน 2 นิ้ว

4.2 ชุดอุปกรณ์ทำความเย็น (Refrigeration Unit)

ในชุดอุปกรณ์ทำความเย็นจะประกอบด้วย มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบปิดเชื่อม (Hermetic) คอนเด็นเซอร์แบบใช้พัดลมเป่า (Fan Condenser) ตัวควบคุมน้ำยา (Refrigeration Control) คอยล์เย็นหรืออีแวปปอเรเตอร์ (Evaporator) และเทอร์โมสแตทส์ (thermostst)

4.2.1)Motor Comperssor

มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ คืออุปกรณ์ความเย็นที่รวมเอามอเตอร์ และคอมเพรสเซอร์เข้าด้วยกัน มอเตอร์คอมเพรสเซอร์จะเป็นมอเตอร์แบบสปิทเฟส ปกติมอเตอร์คอมเพรสเซอร์จะมี 2 ขั้วแม่เหล็กเพื่อให้จำนวนรอบสูงประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2900 RPM ทำหน้าที่ดูดและอัดน้ำยาที่เป็นก๊าซ เพื่อส่งต่อไปยังส่วนอื่นๆของระบบ

หลักการคำนวณหาขนาดของ Motor Compressor

ต้องคำนวณจากค่าภาระทั้งหมด (Loading)

กำหนด condition

อุณหภูมิของน้ำที่บรรยากาศปกติ 25°C (77 °F)

อุณหภูมิของน้ำหลังจากให้ความเย็น 5°C (41°F)

ค่า Specific Thermal ที่อุณหภูมิของน้ำ (41°F) มีค่าประมาณ 1 Btu/lb°F

ปริมาตรน้ำทั้งหมดภายใน Water chamber ขนาด 0.85 * 0.85 * 0.1เมตร

น้ำมีปริมาณ 72.25 ลิตร

น้ำหนักจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ 0 C เท่ากับ 1 กิโลกรัม/ลิตร

เป็นน้ำหนักน้ำ 72.25 กิโลกรัม หรือ 158.95 ปอนด์ (M)

สมการหาปริมาณ Loading

$$Q = M.C_p.\Delta T$$

$$= 158.95 * 1 * (77-41)$$

$$= 5722.2 \text{ Btu}$$

ดังนั้นจึงกำหนดใช้ขนาด Motor Compressor ขนาด 1/2 ตัน (6000 Btu/Hr)

4.2.2)Condenser

เป็นอุปกรณ์เครื่องเย็นที่ประกอบด้วยท่อทองแดงขดขนานไปมา มีหน้าที่รับเอาน้ำยาที่เป็นก๊าซมีความดันสูงและร้อนเข้ามาในคอนเดนเซอร์ และจะระบายความร้อน โดยถ่ายเทความร้อนของน้ำยาออกไป น้ำยาที่เป็นก๊าซนี้เมื่อถูกดึงหรือระบายความร้อนออกจะกลายสภาพเป็นของเหลวทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของ condenser ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำ condenser

-จำนวนพื้นผิวที่จะถ่ายเทความร้อนเป็นตารางฟุต

-กำลังของลมที่ผ่าน (กำลังลมมาตรฐานสำหรับเครื่อง 1/2-2 ตัน ประมาณ 500 C.F.M.

คอนเดนเซอร์แบบใช้ลมเป่า ส่วนมากจะใช้กับเครื่องที่มีขนาดความเย็นต่ำกว่า 5 ตันโดยออกแบบให้คอนเดนเซอร์อยู่รวมในแท่นเดียวกับคอมเพรสเซอร์ และมีพัดลมสำหรับระบายอากาศรวมอยู่ด้วยเรียกว่า condensing Unit

น้ำยาที่ใช้เป็นฟรีออน R-12 ไดโคลโรไดฟลูออโรมีเทน (CCl_2F_2) มีจุดเดือดที่บรรยากาศ -21.62 F

4.2.3)Evaporator

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับน้ำยาที่เป็นของเหลวซึ่งฉีดเข้ามาจากตัวควบคุมน้ำยาเข้ามาใน Evaporator แล้วน้ำยาจะเดือด การที่น้ำยาจะเดือดต้องใช้ความร้อน ดังนั้นจึงมีการดึงความร้อนจากแวดล้อมภายนอก ทำให้อุณหภูมิของแวดล้อมภายนอกลดลง

การสร้าง Evaporator โดยทั่วไปใช้โลหะพวกทองแดงเพราะมีค่าการนำความร้อนสูง ขดงอกลับไปกลับมา โดยที่ความยาวของการงอกลับขึ้นอยู่กับขนาดของท่อเป็นนิ้ว ตามตารางต่อไปนี้

ขนาดของท่อเป็นนิ้ว	ความยาวต่อการงอ (ฟุต)
1/8	1.25
1/2	1.50
5/8	1.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของท่อเป็นนิ้ว	ความยาวต่อการงอ (ฟุต)
3/4	1.75
7/8	1.75
1	2.50
1 1/8	2.50
1 1/4	3.00
1 1/2	4.00
2	7.00

4.2.4)Drier Filter

ในระบบเครื่องเย็นโดยทั่วไป จะต้องรักษาให้น้ำยาภายในระบบสะอาดและปราศจากความชื้นเท่าที่สามารถจะทำได้ วิธีที่จะรักษาให้ระบบสะอาดและปราศจากความชื้น ทำได้โดยการต่อไดรเออร์ฟิลเตอร์เข้าไปในระบบโดยต่อจากทางออกของคอนเดนเซอร์ ไดรเออร์ฟิลเตอร์จะประกอบด้วยตะแกรงสำหรับกรองเศษผงและมีผงสำหรับดูดความชื้น ผงที่จะใช้ส่วน มากเป็น ซิลิกาเยล (Silica gel) ผงซิลิกาจะดูดความชื้นที่มีอยู่ในน้ำยาไว้เพราะว่าความชื้นเป็นอุปสรรคต่อการทำความเย็นมาก ถ้าตันท่อแคป.ทิ้วน้ำยาอาจไม่ฉีดเข้าevaporator ทำให้เครื่องไม่เย็น

สารที่ใช้ดูดความชื้นนอกจาก Siliga gal แล้วยังมีสารหลายชนิดที่ใช้ดูดความชื้นคือ แคลเซี่ยมซัลเฟต, แอคติเวทเตทอลูมินัม, แคลเซี่ยมคลอไรด์

การเลือกขนาดของ drier filter ในระบบเครื่องเย็นต้องคำนึงปริมาตร (ลูกบาศก์นิ้ว) ของสารดูดความชื้นที่บรรจุให้สัมพันธ์กับขนาดของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ขนาดของไดรเออร์ฟิลเตอร์ที่ใช้ได้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดรเออร์ฟิลเตอร์ (ลูกบาศก์นิ้ว)	คอมเพรสเซอร์ (H.P.)
2	1/8
3	1/6-1/4
6	1/4-1/2
9	1/2-3/4
12	3/4-1
18	1-1 1/2

4.3 <u>อุปกรณ์ปั๊มน้ำและท่อ</u>

ปั๊มเป็นตัวจักรสำคัญที่ทำให้ของไหลในขบวนการผลิตไหลไปตามขั้นตอนที่วางไว้ได้การที่จะพาของไหลขึ้นสู่ที่สูง ต้องอาศัยปั๊มที่มีกำลังมากพอ ซึ่งการหาขนาดกำลังของปั๊มกำหนดได้ด้วยตัวแปรต่างๆดังสมการนี้

$$H.P. = \frac{Head * Capacity * SpGr * 100}{3960 * Head\ Efficiency}$$

โดยที่ H.P. = ค่าแรงม้าที่ป้อนเข้าไปยังแกนเพลาของปั๊ม

Head = ปริมาณแรงดันในรูปความดัน เป็นความสูงของของเหลวที่ปั๊มสามารถทำได้ หน่วยฟุต

SpGr = specific gravity ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่ปั๊ม

capacity = ค่าปริมาณการสูบส่งของของเหลว หน่วยแกลลอนต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Head Efficiency = ประสิทธิภาพของปั๊ม

จากการออกแบบ

ค่าความสูง Head = 5 ฟุต

SpGr ของน้ำ = 1 กรัม/ลบ.ซม.

ออกแบบให้มีปริมาณการสูบส่งเท่ากับ 2 แกลลอนต่อนาที capacity เท่ากับ 2 gal/min

ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มเท่ากับ 80 %

$$H.P. = \frac{5 * 2 * 1 * 100}{3960 * 0.70}$$

$$= 0.36$$

ดังนั้นจึงเลือกกำลังของปั๊ม = 0.4 แรงม้า

สรุป Spect ของอุปกรณ์ต่างๆที่เลือกใช้

อุปกรณ์	แบบและขนาด
Compressor	Rotary type แบบ Hermetic ขนาด 1/2 ตัน (6000 BTU/hr)
Condensor	Fan type ขนาด 400 CFM
Refrigerant	R-12 (ไดโครโรไดฟลูออโรมีเทน)
Capillary Tube	ขนาดความยาว 12 ฟุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์	แบบและขนาด
Evaporator	ท่อทองแดง ขนาดท่อ 1/2 นิ้ว ความยาว 12 เมตร
Dryer Filter	6 ลูกบากศ์นิ้ว
Thermostat	0 – 40 องศาเซลเซียส
Pump	KP type 30/16 M 2850 rpm 0.4 Hp 430 Watt

วิธีการประกอบตัวเครื่องลดอุณหภูมิ

เมื่อได้ออกแบบลักษณะตัวเครื่องลดอุณหภูมิไว้แล้ว ก็ต้องทำการตัดชิ้นส่วนต่างๆตามแบบที่วางไว้ ชิ้นส่วนต่างๆแสดงไว้ในรูปที่ 3-10 ประกอบโครงอลูมิเนียมให้มีลักษณะเป็นตัวตู้ ดังรูปที่ 11 นำแผ่นชิ้นส่วนอลูมิเนียมที่ได้เตรียมไว้ บุฉนวน Polystyrene ขนาดความหนา 2 นิ้วไว้ระหว่างชั้นกลาง ประกอบเข้ากับโครงโดยยึดด้วยหมุด rivet หมดทุกด้าน นำโครงสร้างตู้ที่ได้ ต่อเข้ากับฐานที่ได้ทำไว้ตามรูปที่ 12 ซึ่งทำจากเหล็กฉาก 1.5 * 1.5 นิ้ว ภายในตัวตู้จะทำชั้นวางตะแกรงซึ่งทำด้วยเหล็กเส้นสแตนเลส และมีชั้นตาข่ายรับเศษผงทำจากมุ้งลวด หลังจากนั้นประกอบชุดทำความเย็นเข้ากับตัวเครื่องตามขนาดต่างๆที่ได้ระบุมา และต่ออุปกรณ์ปั๊มและท่อน้ำ พร้อมต่อ shower สุดท้ายจึงเดินอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ควบคุมชุดทำความเย็นและปั๊ม พร้อมตัวจัดกระแสไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

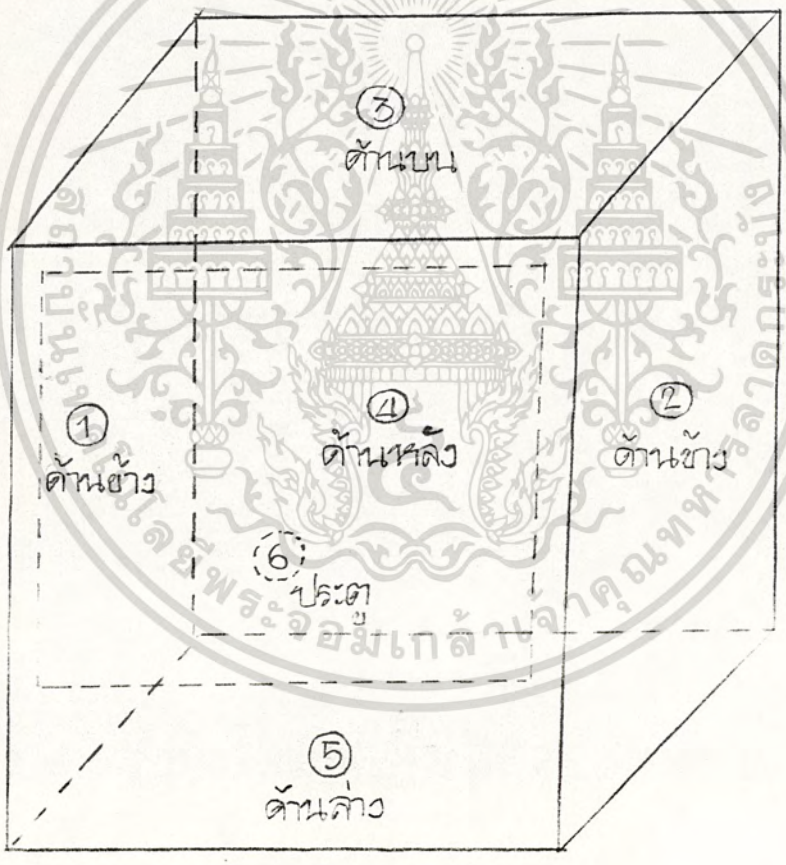
ชิ้นส่วนประกอบของท่อ

ชิ้นส่วนประกอบ		shower	ท่อทางดูด	ท่อส่ง
elbow 90	1/2"	4	-	-
(ชิ้น)	3/4"	1	-	4
เกลียวนอก	1"	-	2	1
	3/4"	-	-	2
(ชิ้น)	1/2"	4	-	-
T-joint	3/4"	1	1	-
(ชิ้น)	1/2"	2	-	-
ลดกลม	1" to3/4"	-	2	1
(ชิ้น)	3/4"to1/2"	2	-	2
เกลียวใน	1"	-	-	-
(ชิ้น)	1/2"	-	-	-
	3/4"	-	-	2
ท่อตรงแนวนวน	1"	-	-	-
(mm)	1/2"	1100	-	-
	3/4"	50	320	350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นส่วนประกอบ		shower	ท่อทางดูด	ท่อส่ง
ท่อตรงแนวตั้ง	1"	-	50	-
(mm)	1/2"	320	-	-
	3/4"	-	150	1100
Gate-Valve		-	-	1
Metor		-	-	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 แสดงชิ้นส่วนประกอบของตู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4 แสดงแบบแผ่นคลี่ของด้านข้าง (1) และ (2) scale 1:20

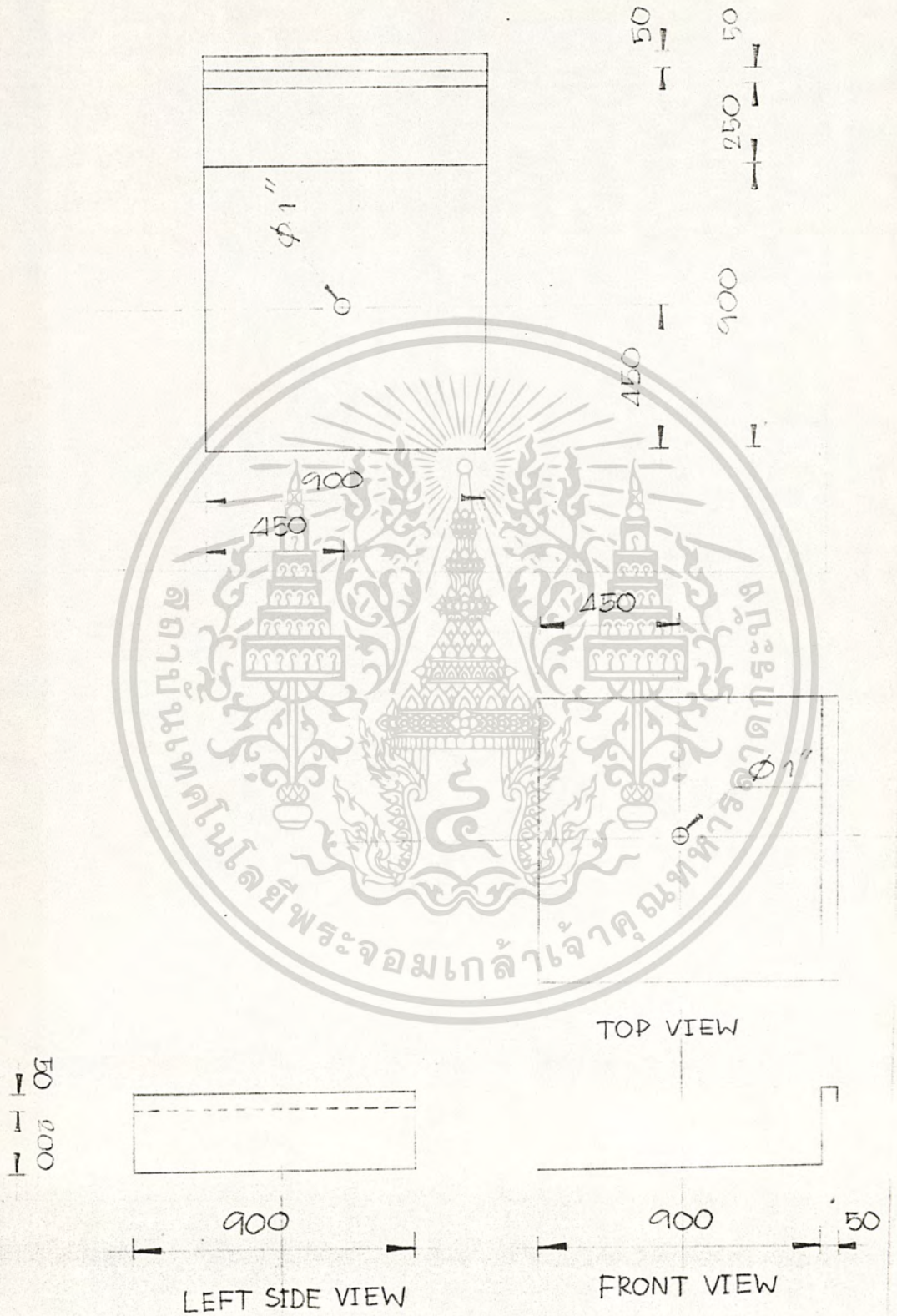
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5 แสดงแบบแผ่นคลี่ของด้านบน (3) scale 1:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

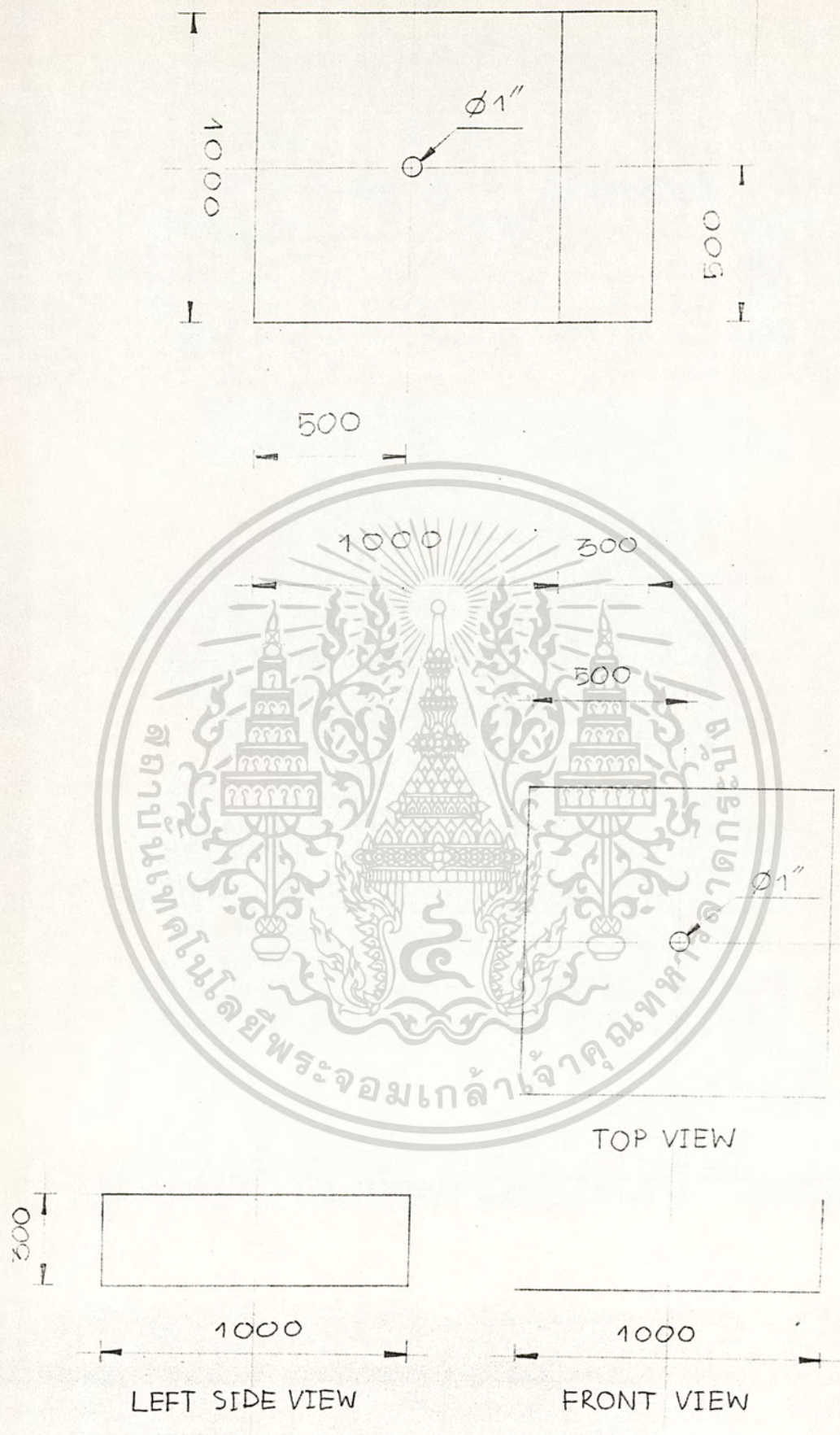
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 6 แสดงแบบแผ่นคลี่ของผ้าด้านหลัง scale 1:20



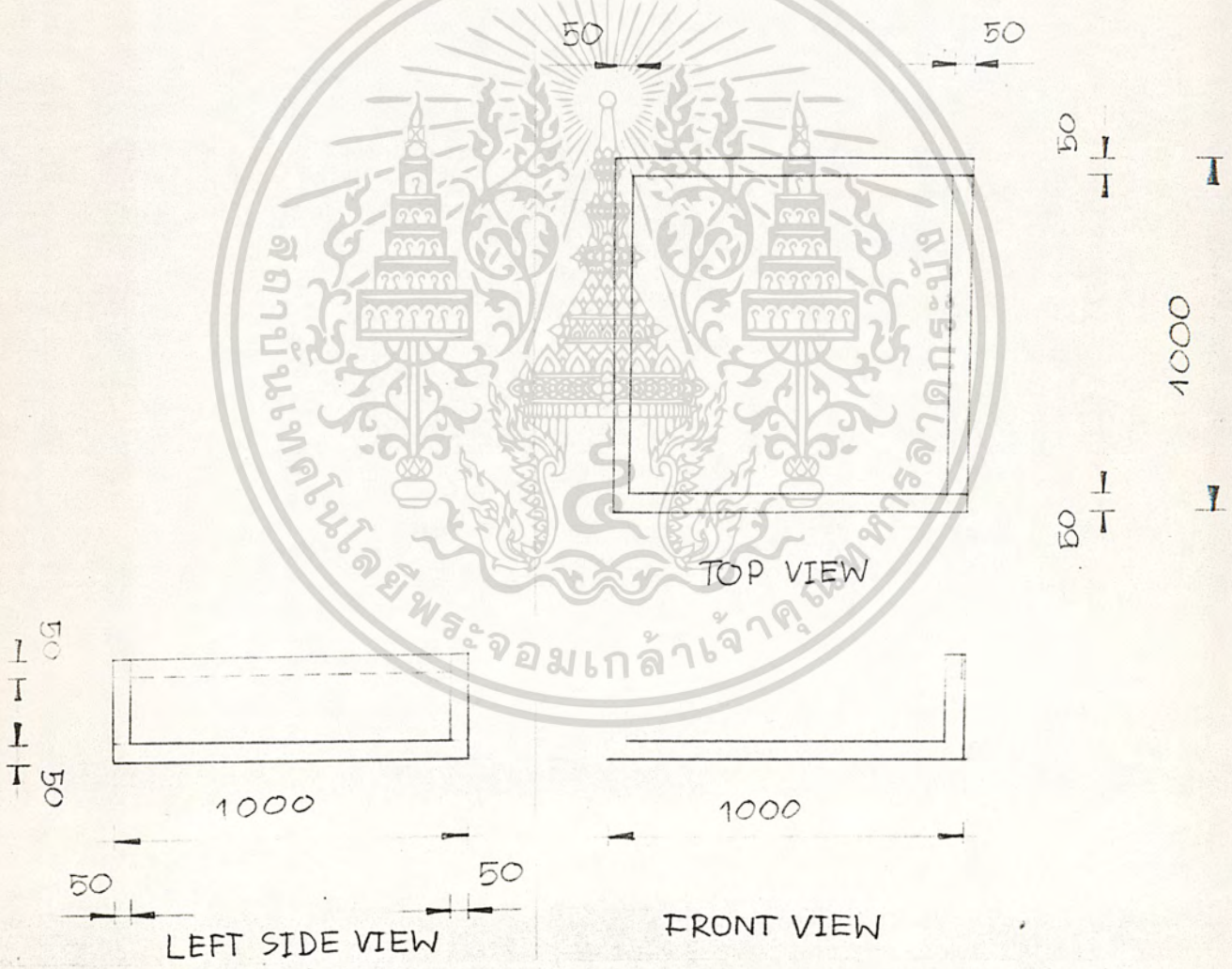
ภาพที่ 7 แสดงแบบแผ่นคลื่นของผาต้านล่างส่วนบน scale 1:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 แสดงแบบแผ่นคลี่ของผ้าด้านล่างส่วนล่าง scale 1:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

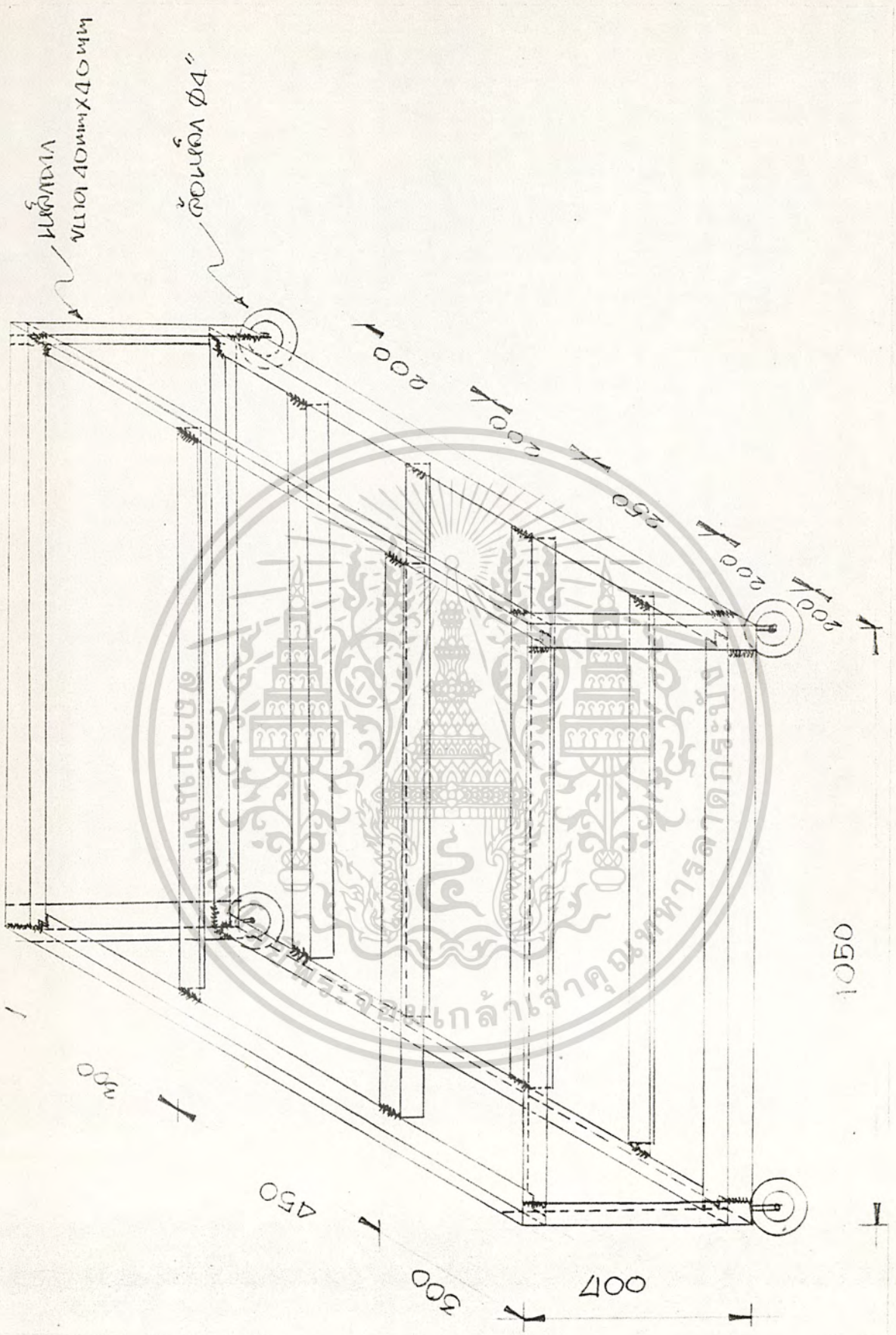


ภาพที่ 9 แสดงแบบการประกอบแผ่นพับของผ้าด้านล่าง scale 1:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

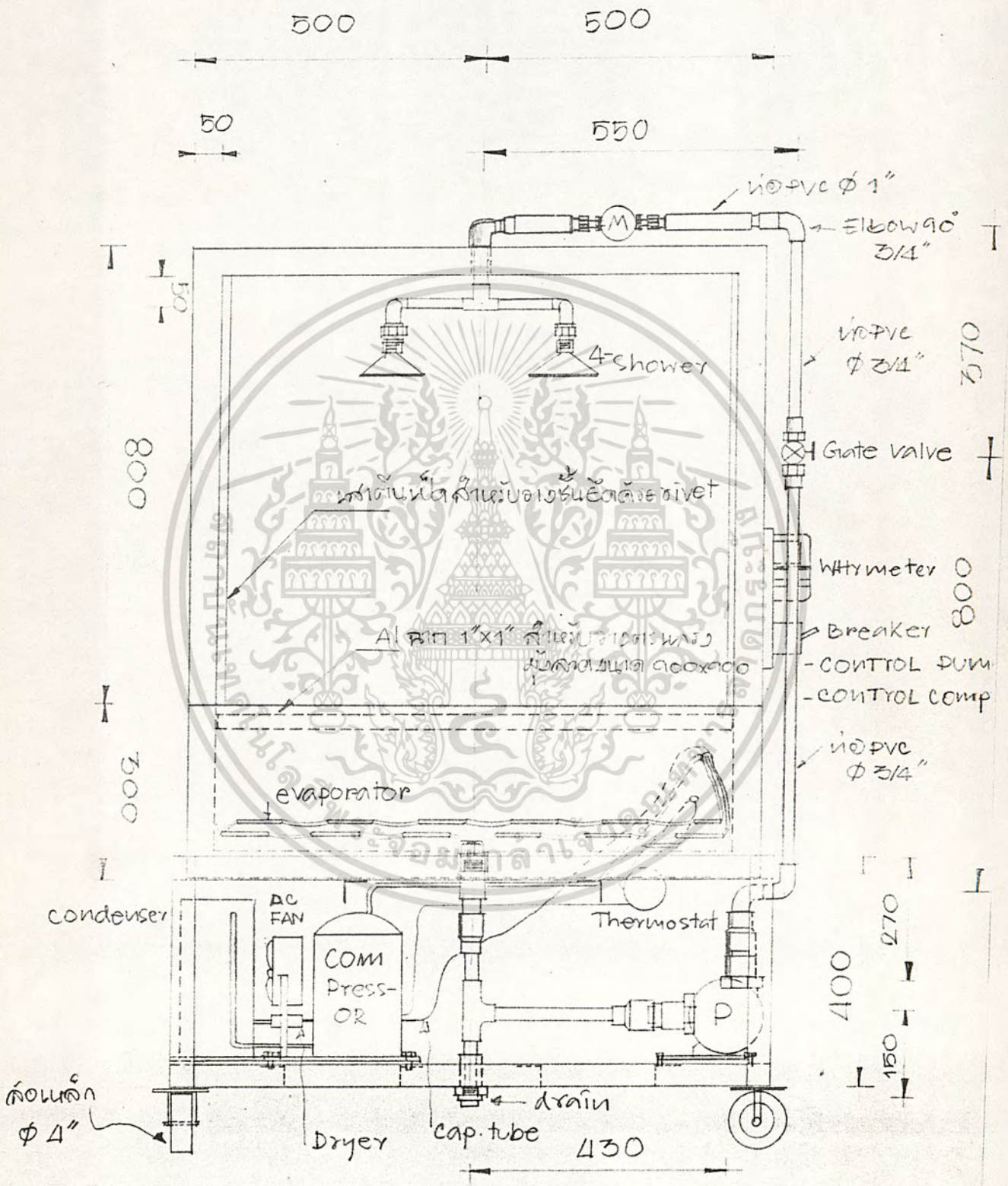
ภาพที่ 10 แสดงแบบแผ่นคลี่และแผ่นพับของประตู scale 1:20

เอกสารนี้เป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้เพื่อประโยชน์ด้านการศึกษาเท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



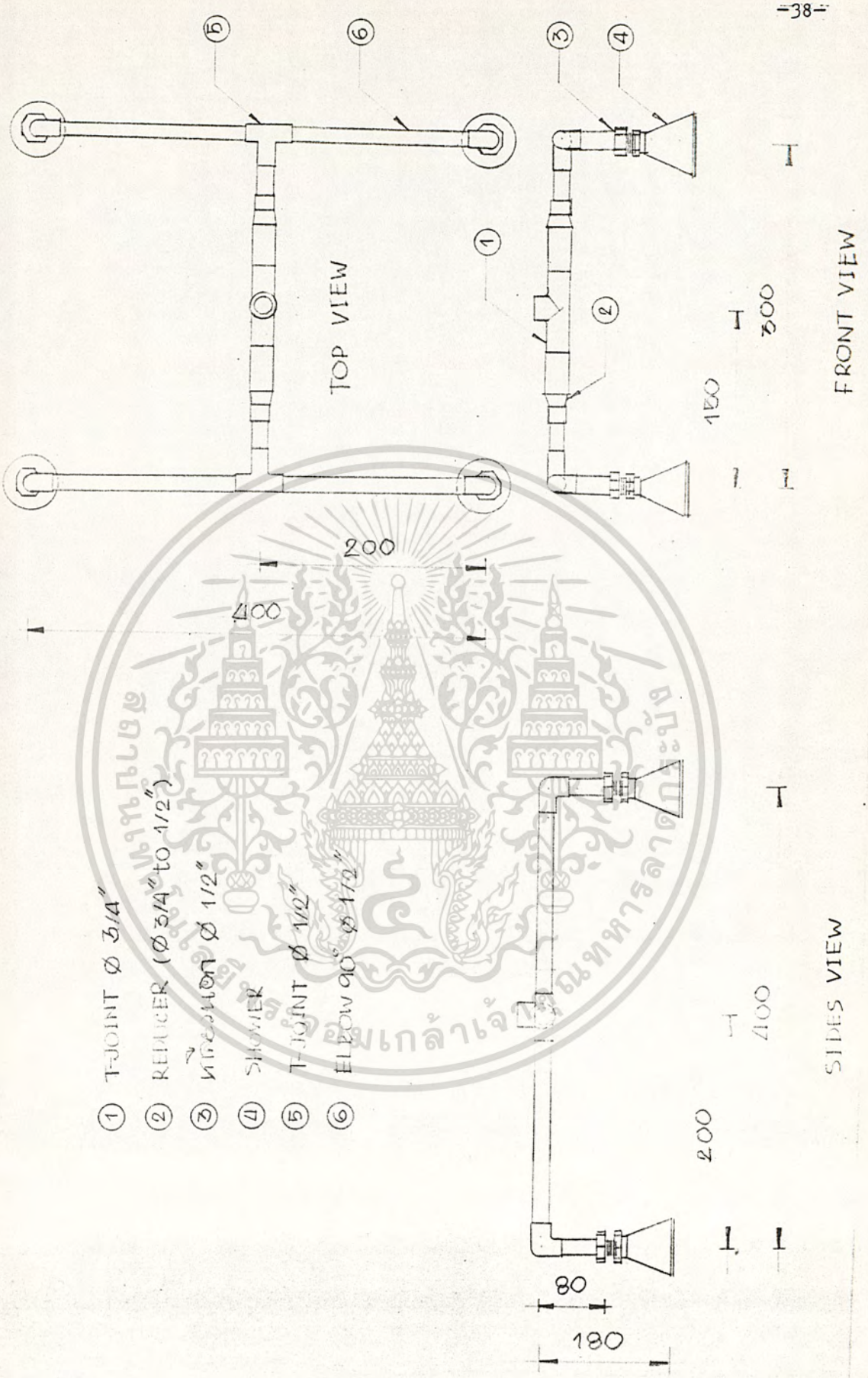
ภาพที่ 11 แสดงการประกอบชิ้นส่วนเหล็กฉากและล้อเป็นฐาน scale 1:10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 12 แสดงรายระเอียดของระบบท่อและระบบทำความเย็น scale 1:10



ภาพที่ 13 แสดงรายละเอียดของท่อส่งและ shower spray น้ำ scale 1:5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลอง

ในการทดลองนี้ จะใช้ผักและผลไม้ที่หาได้ตามฤดูกาล โดยผลิตผลนั้นจะต้องไม่ได้รับความเสียหายจากการสัมผัสน้ำ

เมื่อมีผลิตผลที่จะทำการทดลองแล้ว จึงเริ่มทำการทดลองดังนี้

5.1 ใช้ thermocouple วัดอุณหภูมิ โดยต่อเข้ากับไม้ปลายแหลมแล้วเสียบจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิในผลิตผล

5.2 ต่อสาย thermocouple อีกข้างเข้ากับเครื่อง digital temperature measure

5.3 บรรจุน้ำในเครื่องลดอุณหภูมิ โดยใส่ไว้ประมาณ 70 ลิตร

5.4 เปิดสวิทช์ compressor เดินเครื่องลดอุณหภูมิน้ำให้ถึงในอุณหภูมิที่ต้องการ (ปกติอุณหภูมิ Chilling ประมาณ 5 C)

5.5 ใส่ผลิตผลที่ทำการทดลองเข้าเครื่องลดอุณหภูมิ ผลิตผลที่ใส่เข้าไปจะต้องไม่อัดแน่นจนเกินไป เพราะจะทำให้การกระจายของความเย็นเป็นไปอย่างไม่ทั่วถึง

5.6 วัดอุณหภูมิและจับเวลา โดยบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที

5.7 ตรวจสอบอุณหภูมิที่จุดศูนย์กลาง เมื่อสามารถลดได้หรือต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส

5.8 นำผลิตผลที่ผ่านการลดอุณหภูมิมาทดสอบคุณภาพ

5.9 ตรวจปริมาณกระแสไฟที่ใช้จากมาตรวัดไฟ

5.10 นำผลที่ได้ต่างๆมาทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบและแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่6

บันทึกและประมวลผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่ 1

ตารางผลการทดลองของผลฝรั่งที่บรรจุใน chamber ชั้นบน

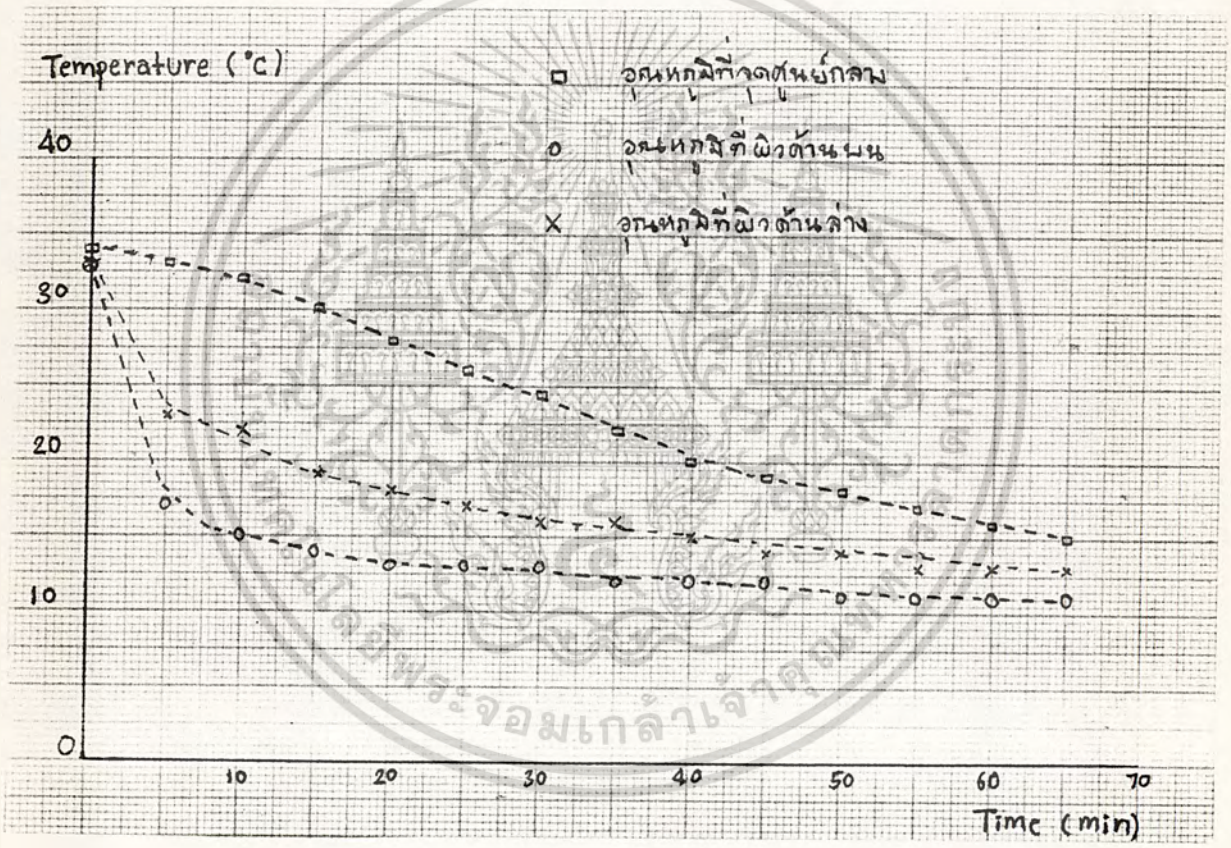
เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่วัดได้ในผลฝรั่ง (องศาเซลเซียส)		
	ผิวด้านบน	ศูนย์กลาง	ผิวด้านล่าง
0	33	34	33
5	17	33	23
10	15	32	22
15	14	30	19
20	13	28	18
25	13	26	17
30	13	24	16
35	12	22	16
40	12	20	15
45	12	19	14
50	11	18	14
55	11	17	13
60	11	16	13
65	11	15	13
70	11	15	12
75	11	14	12
80	11	14	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองผลฝรั่งที่บรรจุใน chamber ชั้นล่าง

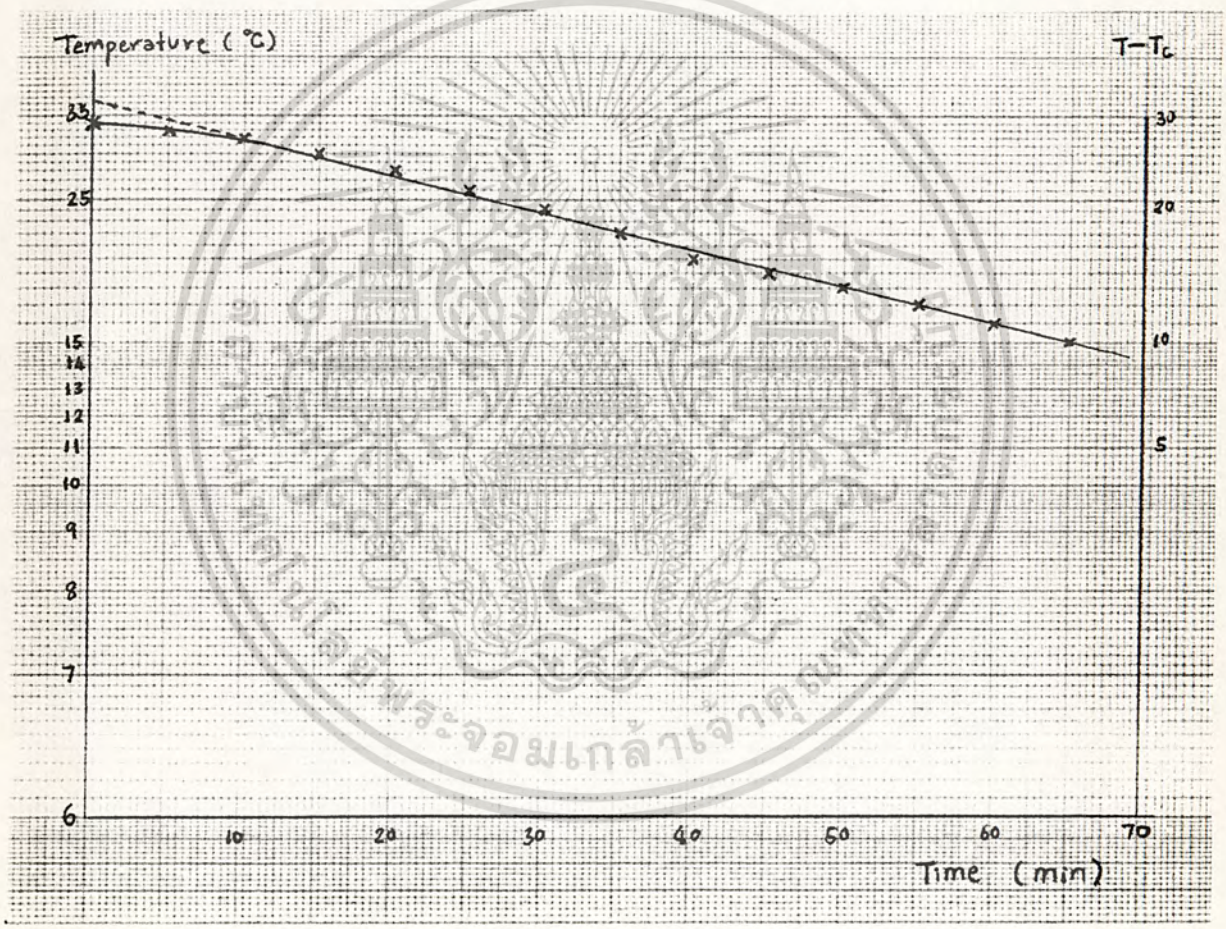
เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่วัดได้ในผลฝรั่ง (องศาเซลเซียส)		
	ผิวด้านบน	ศูนย์กลาง	ผิวด้านล่าง
0	33	36	32
5	15	35	23
10	14	33	21
15	14	32	20
20	14	30	18
25	14	28	17
30	14	26	16
35	14	24	16
40	14	22	15
45	14	21	15
50	14	20	15
55	14	19	15
60	13	19	14
65	13	18	14
70	13	17	13
75	13	17	13
80	13	17	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



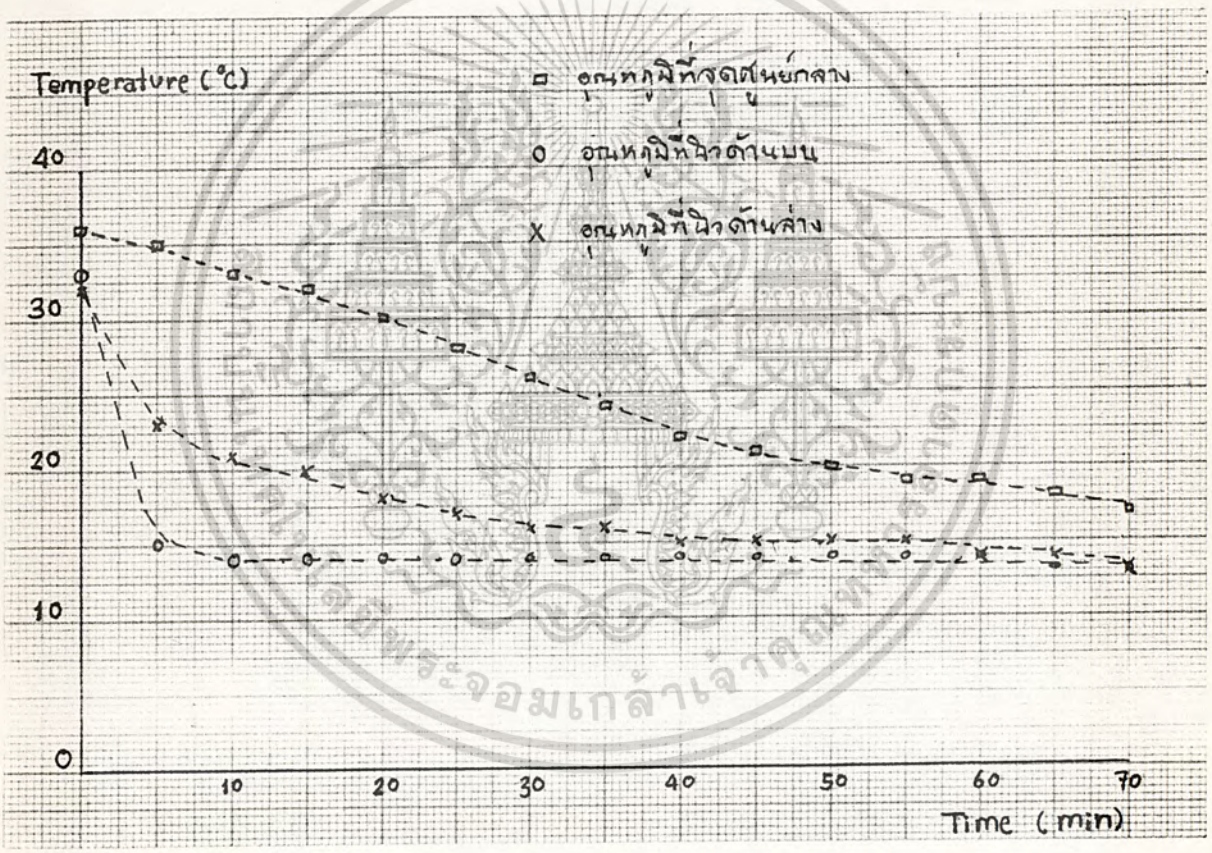
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของผรั่งในตะแกรงชั้นบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



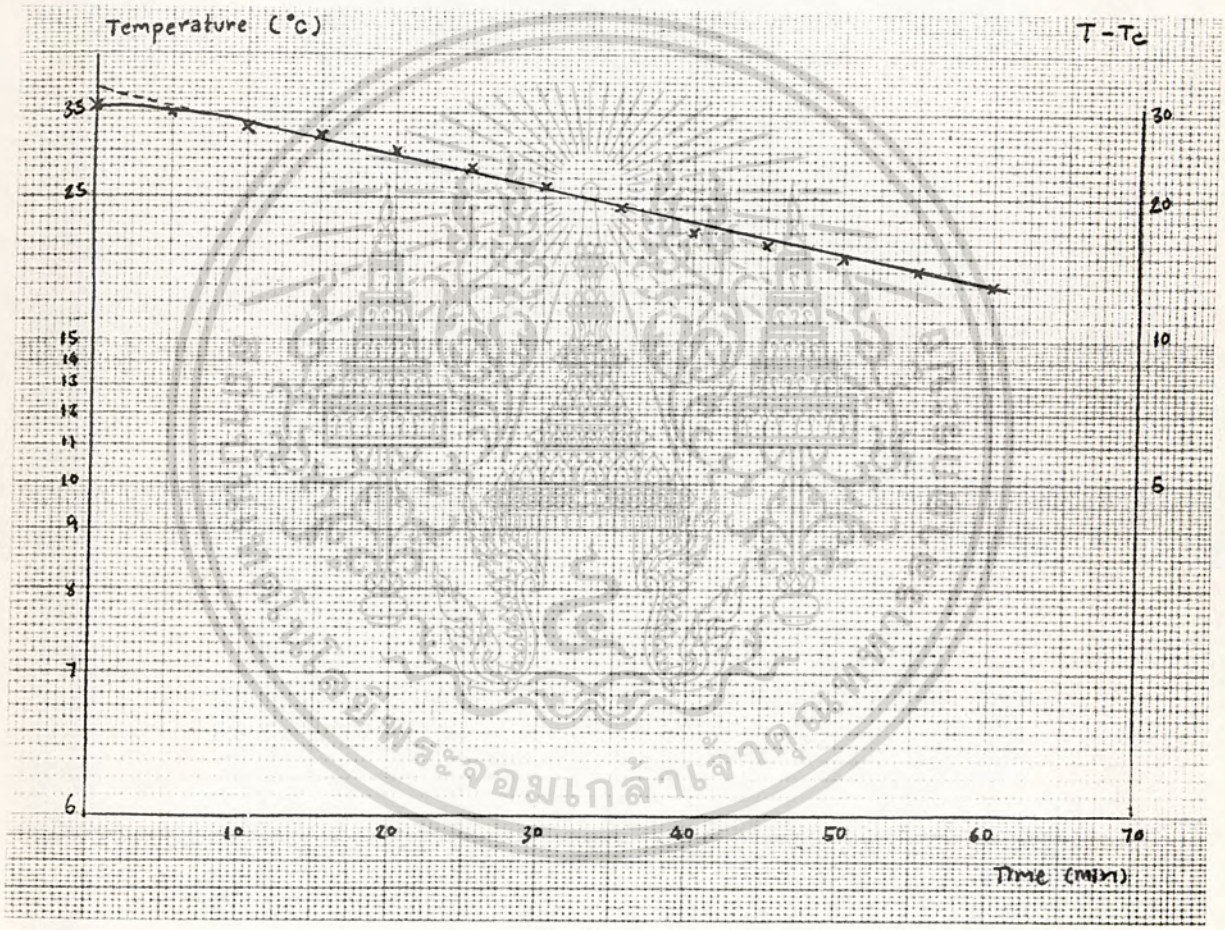
กราฟ semi-log ของอุณหภูมิและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของฝรั่งในตะแกรงชั้นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟ semi-log ของอุณหภูมิและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่า Lag-factor (J-factor)

จากกราฟ semi-log ค่า J-factor เท่ากับ ความแตกต่างของอุณหภูมิสมมติกับอุณหภูมิตัวกลางที่เวลาศูนย์ หารด้วย ความแตกต่างของอุณหภูมิจริงกับอุณหภูมิตัวกลางที่เวลาศูนย์

จากตัวอย่างที่จุดศูนย์กลางใน Chamber ชั้นบน

$$J = (37-5)/(34-5)$$

$$= 1.103$$

การคำนวณหาค่า Cooling Rate (CR)

$$TR = J.\exp(-CR.t)$$

เมื่อ TR = Temperature ratio

J = Lag-factor

t = Time

ตารางแสดงอัตราการทำความเย็น (CR)

ชั้นภายใน Chamber	J	CR
จุดศูนย์กลางชั้นบน	1.103	0.016
จุดศูนย์กลางชั้นล่าง	1.063	0.014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศานวณหาศา Half Cooling Time

จากสมการที่ 3.6 $t_{1/2} = \frac{Ln2}{CR}$

ตารางค่า Half Cooling Time

ชั้นภายใน Chamber	Half Cooling Time
จุดศูนย์กลางชั้นบน	43.322
จุดศูนย์กลางชั้นล่าง	49.511

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2

ตารางบันทึกผลการทดลองของมะม่วงอกร่อง

เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลาง (องศาเซลเซียส)		
	ชั้นบนสัมผัสน้ำ	ชั้นบนไม่สัมผัสน้ำ	ชั้นล่าง
0	35	35	35
5	19	33	31
10	14	27	23
15	11	21	16
20	9	17	12
25	7	12	11
30	6	11	9
35	6	9	8
40	5	8	7
45	5	7	6
50	5	6	6
55	5	6	6
60	5	6	6

ปริมาณไฟที่ใช้ในการ Warm เครื่อง 2.1 Unit

ปริมาณไฟที่ใช้ในการลดอุณหภูมิเป็นเวลา 60 นาที 0.85 Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและบทวิจารณ์

สรุปผล

จากผลการทดลองในครั้งที่ 1 จะเปรียบเทียบได้ว่า ค่า Cooling Rate ของการลดอุณหภูมิผลิตผลใน chamber ชั้นบนมีค่ามากกว่าชั้นล่างนั่นแสดงว่า อัตราการลดอุณหภูมิของผลิตผลในชั้นบนลดได้เร็วกว่าชั้นล่าง และจะได้ค่า Half Cooling Time คือเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิให้ลงเหลือครึ่งหนึ่ง ก็จะใช้น้อยกว่าชั้นล่างด้วย

ที่ผิวด้านบนของผลิตผลซึ่งสัมผัสกับน้ำโดยตรงจะมีการลดอุณหภูมิลงได้อย่างรวดเร็วที่สุด และถัดมาเป็นผิวด้านล่างซึ่งสัมผัสน้ำได้น้อยกว่า ส่วนที่จุดศูนย์กลางจะใช้เวลานานที่สุด

อุณหภูมิจะค่อยๆลดลงจากภายนอกกระจายเข้าสู่ศูนย์กลางของผลิตผล โดยอุณหภูมิจะลดลงจนมีค่าคงที่อยู่ระดับหนึ่ง (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิตัวกลาง) และเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาได้จากค่าอัตราการทำความเย็น Cooling Rate

จากผลการทดลองในครั้งที่ 2 จะเปรียบเทียบได้ว่า อุณหภูมิที่ลดลงของผลิตผลที่สัมผัสน้ำโดยตรงกับที่ไม่สัมผัสน้ำ(มีน้ำกระเซ็นถูกบ้าง)จะมีความแตกต่างของการลดอุณหภูมิในช่วงแรกๆ ส่วนที่สัมผัสน้ำโดยตรงนั้นจะมีอุณหภูมิเข้าสู่จุดสมดุลย์ได้ดีกว่าที่ไม่สัมผัสน้ำเล็กน้อย

บทวิจารณ์

โดยส่วนใหญ่ เราจะไม่ลดอุณหภูมิจนภายในผลิตผลมีอุณหภูมิเท่ากันทั้งหมด เพราะต้องใช้เวลามาก เราจะใช้ช่วงเวลาการลดอุณหภูมิประมาณ 3 Half Cooling Time หรือเท่ากับ 7/8 Cooling Time ซึ่งอุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางก็มีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าใช้จ่ายต่างๆ

ข้อกำหนดในการวิเคราะห์หาต้นทุนและค่าใช้จ่าย

1. กำหนดให้เครื่องทำงานวันละ 10 ชั่วโมง 200 วันต่อปี

2. อายุตลอดการใช้งานของเครื่องเป็นเวลา 10 ปี

3. ราคาเครื่องลดอุณหภูมิประมาณ 20000 บาท

4. เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิผลิต 60 นาทีต่อครั้ง ครั้งละ 25 กิโลกรัม

5. ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ ประมาณชั่วโมงละ 0.85 ยูนิตๆละ 1.8 บาทโดยเฉลี่ย

6. ค่าน้ำประปาที่ใช้ ถ่ายวันละครั้งๆละ 300 CC. ราคาลูกบาศก์เมตรละ 3 บาท

ต้นทุนคงที่

-มูลค่าเครื่องลดอุณหภูมิ (คิดต่อปี) 2000 บาท

ต้นทุนแปรผัน

-ค่ากระแสไฟที่ใช้ (คิดต่อปี) 3060 บาท

-ค่าน้ำประปาที่ใช้ (คิดต่อปี) 180 บาท

เวลาที่ใช้ในการ warm เครื่องวันละ 2 ชั่วโมง

เวลาที่ใช้ลดอุณหภูมิผลิตผลได้วันละ 8 ชั่วโมง

รวมผลิตผลที่ลดอุณหภูมิตลอดทั้งปี 40000 กิโลกรัม

คิดเป็นราคาต้นทุนเพิ่มเท่ากับ 0.131 บาท ต่อ กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. ในการประกอบเครื่องลดอุณหภูมิชุดนี้ อุณหภูมิของผลิตผลภายใน Chamberจะต้องมีการกระจายอย่างทั่วถึง ซึ่งเครื่องที่ได้สร้างขึ้นนี้ใช้ Shower เพียง 4 ตัว การกระจายของน้ำยังไม่ทั่วถึงนัก ทางแก้ไข อาจเปลี่ยนเป็นใช้หัวฉีด (Nozzle)แทน ซึ่งจะกระจายได้ในวงกว้างกว่า หรือจะใช้ท่อ PVC เจาะรูละเอียด แล้วต่อให้มีการกระจายที่ทั่วถึง
2. น้ำที่ใช้ หลังจากผ่านการลดอุณหภูมิแล้ว จะมีความเปรอะเปื้อนจากสิ่งสกปรกที่ติดมาผลิตผล ดังนั้นเพื่อความสะอาดของน้ำ ควรจะเพิ่มชุดกรองน้ำ โดยต่อเข้ากับท่อก่อนเข้า Pump อีกชุด น้ำจะมีความสะอาดและใช้ได้นาน ทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนน้ำบ่อย และไม่ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการ Warm เครื่อง
3. ระบบลดอุณหภูมิผักและผลไม้ที่ใช้วิธี Hydrocooling นี้ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้เพิ่มขึ้นถ้านำระบบลดความเย็นแบบอื่นๆเข้ามาผนวกกัน อันได้แก่ระบบ Hydraair โดยวิธีติดพัดลมเพิ่ม ลมที่ได้จะช่วยกระจายน้ำได้ดียิ่งขึ้น หรือวิธีลดความดัน โดยการดูดอากาศภายใน Chamber ออก ความดันเมื่อลดลง การแพร่ของอุณหภูมิจะกระจายได้รวดเร็วยิ่งขึ้นทำให้ลดอุณหภูมิได้เร็วยิ่งขึ้น
4. ในการลดอุณหภูมิในระบบนี้อุณหภูมิที่ทำการลดนั้น ยังไม่สามารถลดได้รวดเร็วนัก ทางแก้ไขเบื้องต้น อาจใช้วิธีนำน้ำแข็งมาทำความเย็นของน้ำ ก่อนจะนำไปใช้ในการลดอุณหภูมิต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางแสดงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่ำ

	ชื่อ	อุณหภูมิ (° C)	ความชื้น (%)	ระยะเวลาการเก็บรักษา	ปริมาณน้ำ (%)	จุดเยือกแข็ง (° C)	ความร้อนจำเพาะ เหนือจุดเยือกแข็ง	ความร้อนจำเพาะ ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง	ความร้อนแฝงของจุดเยือกแข็ง
ผักและผลไม้	Apple	−1~0	85~88	4 month	84.1	−2	0.87	0.45	67
	Banana	13~22	85~95	2 week	75.5	−1.7	0.81	0.43	60
	Cherry	−0.5~0	85~90	10~14 day	83.0	−2.2	0.87	0.45	67
	Grapefruit	10	85~90	6~8 week	88.8	−2	0.91	0.46	70
	Honey melon	7.2~10	85~90	2~4 week	92.6	−1.7	0.94	0.48	73
	Muskmelon	0~1	75~78	7~10 day	92.7	−1.7	0.94	0.48	73
	Watermelon	2~4.5	85~90	2~3 week	92.1	−1.6	0.97	0.48	73
	Lemon	13~14	85~90	1~4 month	89.3	−2.2	0.92	0.46	71
	Orange	0~1	85~90	8~10 week	87.2	−2.2	0.90	0.46	68
	Mandarin orange	1~10	–	–	–	–	0.92	–	–
	Peach	−0.5~0	85~90	2~4 week	86.9	−1.4	0.90	0.46	69
	Pear	−1.5~0.5	85~90	1 month	83.5	−2.2	0.86	0.45	66
	Grape	−0.5~0	85~90	3~8 week	81.9	−2.5	0.86	0.44	64
	Strawberry	−0.5~0	85~90	7~10 day	90.0	−1.2	0.92	0.47	72
	Pineapple	4.5~7.0	85~90	2~4 week	85.3	−1.2	0.88	0.45	68
	Persimmon	−0.5~0	85~90	2 month	78.2	−2.1	0.84	0.43	62
	Fig	−2~0	85~90	5~7 day	78.0	−2.7	0.82	0.43	62
	Dry fruits	0	50~60	9~12 month	–	–	0.32~0.3	–	9~12
	Asparagus	0	90~95	3~4 week	93.0	−1.2	0.94	0.48	74
	Beans (fresh)	0~4.5	85~90	2~4 week	88.9	−1.0	0.91	0.47	71
	Beans (dry)	2~4.5	70	6 month	12.0	–	0.30	0.24	10
	Beet	0	90~95	10~14 day	87.6	−2.8	0.90	0.46	70
	Cabbage	0	90~95	3~4 month	92.4	−0.4	0.94	0.47	74
	Carrot	0	90~95	4~5 month	88.2	−1.3	0.90	0.46	70
	Celery	−0.5~0	90~95	2~4 month	93.7	−1.3	0.95	0.48	75
	Cucumber	7~10	90~95	10~14 day	96.1	−0.8	0.97	0.49	76
	Egg apple	7~10	85~90	2~10 day	92.7	−0.9	0.94	0.48	73
	Lettuce	0	90~95	1~3 week	94.8	−0.4	0.96	0.48	76
	Leek	0	85~90	1~3 month	88.2	−1.6	0.90	0.46	70
	Onion	0	70~75	6~8 month	87.5	−1.1	0.90	0.46	69
	Mushroom	0~1.5	80~85	1~3 day	91.1	−1.0	0.93	0.47	72
	Green peas (fresh)	0	85~90	1~2 week	74.3	−1.1	0.79	0.42	59
	Green peas (dry)	1.5~4.5	–	6 month	–	–	0.28	0.22	8
	Pepper	0~10	85~90	8~10 day	92.4	−1.1	0.94	0.47	73
	Potato	3.5~10	85~90	2 month	77.8	−1.7	0.82	0.43	62
	Pumpkin (winter)	10~13	70~75	2~6 month	90.5	−1.0	0.92	0.47	72
	Radish (winter)	0	90~95	2~4 month	93.6	−5.0	0.95	0.48	74
	Spinach	0	90~95	10~14 day	92.7	−0.9	0.94	0.48	73
	Tomato	0	85~90	7~10 day	94.1	−0.9	0.95	0.48	74
	Turnip	0	90~95	4~5 month	90.9	−0.8	0.93	0.47	72
	Yeast	−0.5~0	75	2 week	–	–	–	–	–
	Sweet potato	13~15.5	90~95	4~6 month	68.5	−1.9	0.75	0.40	54
	Wasabi	0	90~95	10~12 week	73.4	−3.1	0.78	0.42	58
	Rice	1.5	65	6 month	10.0	−1.1	0.25	–	–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dichlorodifluoromethane (Refrigerant-12) Properties of Saturated Vapor

Temp.	Pressure		Volume		Density		Heat content from − 40°			Entropy from − 40°		Temp.
0°F t	Abs. lb./in.² P	Gage lb./in.² Pd	Liquid ft.³/lb. v_f	Vapor ft.³/lb. v_g	Liquid lb./ft.³ $1/v_f$	Vapor lb./ft.³ $1/v_g$	Liquid Btu./lb. h_f	Latent Btu./lb. h	Vapor Btu./lb. h_g	Liquid Btu./lb. °F. s_f	Vapor Btu./lb. °F s_g	°F t
-155	0.1163	29.68*	0.00954	232.29	104.86	0.004305	-24.61	84.61	60.00	-0.0686	0.2092	-155
-150	0.1527	29.61*	0.00957	179.79	104.46	0.005562	-23.50	84.07	60.57	-0.0650	0.2065	-150
-145	.1985	29.52*	.00961	140.52	104.05	.007117	-22.39	83.53	61.14	- .0615	.2040	-145
-140	.2554	29.40*	.00965	110.92	103.64	.009016	-21.29	83.01	61.72	- .0580	.2017	-140
-135	.3256	29.26*	.00969	88.34	103.22	.01132	-20.19	82.49	62.30	- .0546	.1995	-135
-130	.4116	29.08*	.00973	70.94	102.80	.01410	-19.10	81.98	62.88	- .0512	.1975	-130
-125	0.5160	28.87*	0.00977	57.42	102.38	0.01742	-18.02	81.48	63.46	-0.0480	0.1955	-125
-120	.6417	28.61*	.00981	46.84	101.95	.02125	-16.94	80.98	64.04	- .0448	.1937	-120
-115	.7921	28.31*	.00985	38.49	101.52	.02598	-15.85	80.48	64.63	- .0416	.1919	-115
-110	.9709	27.94*	.00989	31.84	101.08	.03141	-14.78	80.00	65.22	- .0385	.1903	-110
-105	1.182	27.51*	.00994	26.51	100.64	.03773	-13.71	79.52	65.81	- .0355	.1888	-105
-100	1.430	27.01*	0.00998	22.20	100.20	0.04504	-12.64	79.04	66.40	-0.0325	0.1873	-100
- 95	1.719	26.42*	.01003	18.71	99.75	.05344	-11.58	78.57	66.99	- .0295	.1860	- 95
- 90	2.054	25.74*	.01007	15.86	99.30	.06305	-10.51	78.10	67.59	- .0266	.1847	- 90
- 85	2.441	24.95*	.01012	13.51	98.85	.07400	- 9.46	77.64	68.18	- .0238	.1835	- 85
- 80	2.885	24.05*	.01016	11.57	98.39	.08640	- 8.40	77.17	68.77	- .0210	.1823	- 80
- 75	3.393	23.01*	0.01021	9.958	97.92	0.1004	- 7.35	76.71	69.36	-0.0182	0.1813	- 75
- 70	3.971	21.84*	.01026	8.608	97.46	.1162	- 6.30	76.25	69.95	- .0155	.1802	- 70
- 65	4.626	20.50*	.01031	7.474	96.99	.1338	- 5.25	75.79	70.54	- .0128	.1793	- 65
- 60	5.365	19.00*	.01036	6.516	96.51	.1535	- 4.20	75.33	71.13	- .0102	.1783	- 60
- 55	6.195	17.31*	.01041	5.704	96.04	.1753	- 3.15	74.87	71.72	- .0076	.1774	- 55
- 50	7.125	15.42*	.01047	5.012	95.55	0.1995	- 2.11	74.42	72.31	-0.0050	0.1767	50
- 45	8.163	13.31*	.01052	4.420	95.07	.2263	- 1.06	73.97	72.91	- .0025	.1759	- 45
−40	9.32	10.92*	0.0106	3.911	94.58	0.2557	0	73.50	73.50	0	0.17517	−40
−38	9.82	9.91*	.0106	3.727	94.39	.2683	0.40	73.34	73.74	0.00094	.17490	−38
−36	10.34	8.87*	.0106	3.553	94.20	.2815	0.81	73.17	73.98	.00188	.17463	−36
−34	10.87	7.80*	.0106	3.389	93.99	.2951	1.21	73.01	74.22	.00282	.17438	−34
−32	11.43	6.66*	.0107	3.234	93.79	.3092	1.62	72.84	74.46	.00376	.17412	−32
−30	12.02	5.45*	0.0107	3.088	93.59	0.3238	2.03	72.67	74.70	0.00471	0.17387	−30
−28	12.62	4.23*	.0107	2.950	93.39	.3390	2.44	72.50	74.94	.00565	.17364	−28
−26	13.26	2.93*	.0107	2.820	93.18	.3546	2.85	72.33	75.18	.00659	.17340	26
−24	13.90	1.63*	.0108	2.698	92.98	.3706	3.25	72.16	75.41	.00753	.17317	−24
−22	14.58	0.24*	.0108	2.583	92.78	.3871	3.66	71.98	75.64	.00846	.17296	−22
−20	15.28	0.58	0.0108	2.474	92.58	0.4042	4.07	71.80	75.87	0.00940	0.17275	−20
−18	16.01	1.31	.0108	2.370	92.38	.4219	4.48	71.63	76.11	.01033	.17253	−18
−16	16.77	2.07	.0108	2.271	92.18	.4403	4.89	71.45	76.34	.01126	.17232	−16
−14	17.55	2.85	.0109	2.177	91.97	.4593	5.30	71.27	76.57	.01218	.17212	−14
−12	18.37	3.67	.0109	2.088	91.77	.4789	5.72	71.09	76.81	.01310	.17194	−12
−10	19.20	4.50	0.0109	2.003	91.57	0.4993	6.14	70.91	77.05	0.01403	0.17175	−10
- 8	20.08	5.38	.0109	1.922	91.35	.5203	6.57	70.72	77.29	.01496	.17158	- 8
- 6	20.98	6.28	.0110	1.845	91.14	.5420	6.99	70.53	77.52	.01589	.17140	- 6
- 4	21.91	7.21	.0110	1.772	90.93	.5644	7.41	70.34	77.75	.01682	.17123	- 4
- 2	22.37	8.17	.0110	1.703	90.72	.5872	7.83	70.15	77.98	.01775	.17107	- 2
0	23.87	9.17	0.0110	1.637	90.52	0.6109	8.25	69.96	78.21	0.01869	0.17091	0
2	24.89	10.19	.0110	1.574	90.31	.6352	8.67	69.77	78.44	.01961	.17075	2
4	25.96	11.26	.0111	1.514	90.11	.6606	9.10	69.57	87.67	.02052	.17060	4
5†	26.51	11.81	.0111	1.485	90.00	.6735	9.32	69.47	78.79	.02097	.17052	5†
6	27.05	12.35	.0111	1.457	89.88	.6864	9.53	69.37	78.90	.02143	.17045	6
8	28.18	13.48	.0111	1.403	89.68	.7129	9.96	69.17	79.13	.02235	.17030	8

* *Inches of meroury below one atmosphere.* † *Standard ton temperatures.*

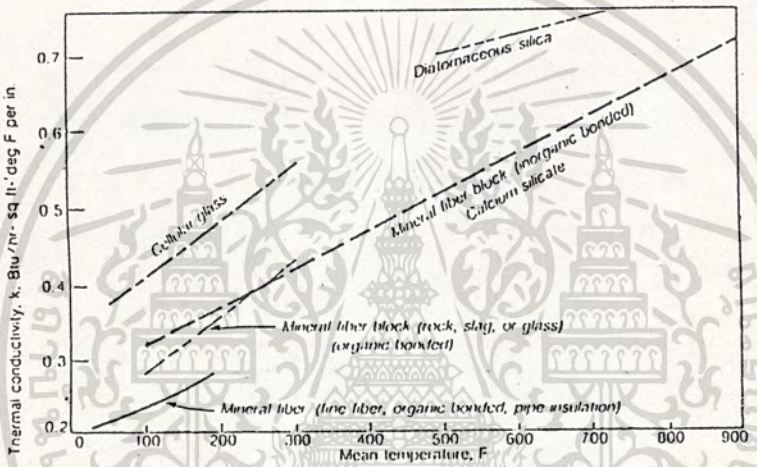
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temp.	Pressure		Volume		Density		Heat content from − 40°			Entropy from − 40		Temp.
0°F	Abs. lb./in.^{2}	Gage lb./in.^{2}	Liquid ft.^{3}/lb.	Vapor ft.^{3}/lb.	Liquid lb./ft.^{3}	Vapor lb./ft.^{3}	Liquid Btu./lb.	Latent Btu./lb.	Vapor Btu./lb.	Liquid Btu./lb. F	Vapor Btu./lb. F	F
t	P	Pd	v_f	v_g	$1/v_f$	$1/v_g$	h_f	h	h_g	s_f	s_g	t
10	29.35	14.65	0.0112	1.351	89.45	0.7402	10.39	68.97	79.36	0.02328	0.17015	10
12	30.56	15.86	.0112	1.301	89.24	.7687	10.82	68.77	79.59	.02419	.17001	12
14	31.80	17.10	.0112	1.253	89.03	.7981	11.26	68.56	79.82	.02510	.16987	14
16	33.08	18.38	.0112	1.207	88.81	.8288	11.70	68.35	80.05	.02601	.16974	16
18	34.40	19.70	.0113	1.163	88.58	.8598	12.12	68.15	80.27	.02692	.16961	18
20	35.75	21.05	0.0113	1.121	88.37	0.8921	12.55	67.94	80.49	0.02783	0.16949	20
22	37.15	22.45	.0113	1.081	88.13	.9251	13.00	67.72	80.72	.02873	.16938	22
24	38.58	23.88	.0113	1.043	87.91	.9588	13.44	67.51	80.95	.02963	.16926	24
26	40.07	25.37	.0114	1.007	87.68	.9930	13.88	67.29	81.17	.03053	.16913	26
28	41.59	26.89	.0114	0.973	87.47	1.028	14.32	67.07	81.39	.03143	.16900	28
30	43.16	28.46	0.0115	0.939	87.24	1.065	14.76	66.85	81.61	0.03233	0.16887	30
32	44.77	30.07	.0115	.908	87.02	1.102	15.21	66.62	81.83	.03323	.16876	32
34	46.42	31.72	.0115	.877	86.78	1.140	15.65	66.40	82.05	.03413	.16865	34
36	48.13	33.43	.0116	.848	86.55	1.180	16.10	66.17	82.27	.03502	.16854	36
38	49.88	35.18	.0116	.819	86.33	1.221	16.55	65.94	82.49	.03591	.16843	38
40	51.68	36.98	0.0116	0.792	86.10	1.263	17.00	65.71	82.71	0.03680	0.16833	40
42	53.51	38.81	.0116	.767	85.88	1.304	17.46	65.47	82.93	.03770	.16823	42
44	55.40	40.70	.0117	.742	85.66	1.349	17.91	65.24	83.15	.03859	.16813	44
46	57.35	42.65	.0117	.718	85.43	1.393	18.36	65.00	83.36	.03948	.16803	46
48	59.35	44.65	.0117	.695	85.19	1.438	18.82	64.74	83.57	.04037	.16794	48
50	61.39	46.69	0.0118	0.673	84.94	1.485	19.27	64.51	83.78	0.04126	0.16785	50
52	63.49	48.79	.0118	.652	84.71	1.534	19.72	64.27	83.99	.04215	.16776	52
54	65.63	50.93	.0118	.632	84.50	1.583	20.18	64.02	84.20	.04304	.16767	54
56	67.84	53.14	.0119	.612	84.28	1.633	20.64	63.77	84.41	.04392	.16758	56
58	70.10	55.40	.0119	.593	84.04	1.686	21.11	63.51	84.62	.04480	.16749	58
60	72.41	57.71	0.0119	0.575	83.78	1.740	21.57	63.25	84.82	0.04568	0.16741	60
62	74.77	60.07	.0120	.557	83.57	1.795	22.03	62.99	85.02	.04657	.16733	62
64	77.20	62.50	.0120	.540	83.34	1.851	22.49	62.73	85.22	.04745	.16725	64
66	79.67	64.97	.0120	.524	83.10	1.909	22.95	62.47	85.42	.04833	.16717	66
68	82.20	67.54	.0121	.508	82.86	1.968	23.42	62.20	85.62	.04921	.16709	68
70	84.82	70.12	0.0121	0.493	82.60	2.028	23.90	61.92	85.82	0.05009	0.16701	70
72	87.50	72.80	.0121	.479	82.37	2.090	24.37	61.65	86.02	.05097	.16693	72
74	90.20	75.50	.0122	.464	82.12	2.153	24.84	61.38	86.22	.05185	.16685	74
76	93.00	78.30	.0122	.451	81.87	2.218	25.32	61.10	86.42	.05272	.16677	76
78	95.85	81.15	.0123	.438	81.62	2.284	25.80	60.81	86.61	.05359	.16669	78
80	98.76	84.06	0.0123	0.425	81.39	2.353	26.28	60.52	86.80	0.05446	0.16662	80
82	101.7	87.00	.0123	.413	81.12	2.423	26.76	60.23	86.99	.05534	.16655	82
84	104.8	90.1	.0124	.401	80.87	2.495	27.24	59.94	87.18	.05621	.16648	84
86†	107.9	93.2	.0124	.389	80.63	2.569	27.72	59.65	87.37	.05708	.16640	86†
88	111.1	96.4	.0124	.378	80.37	2.645	28.21	59.35	87.56	.05795	.16632	88
90	114.3	99.6	0.0125	0.368	80.11	2.721	28.70	59.04	87.74	0.05882	0.16624	90
92	117.7	103.0	.0125	.357	79.86	2.799	29.19	58.73	87.92	.05969	.16616	92
94	121.0	106.3	.0126	.347	79.60	2.880	29.68	58.42	88.10	.06056	.16608	94
96	124.5	109.8	.0126	.338	79.32	2.963	30.18	58.10	88.28	.06143	.16600	96
98	128.0	113.3	.0126	.328	79.06	3.048	30.67	57.78	88.45	.06230	.16592	98
100	131.6	116.9	0.0127	0.319	78.80	3.135	31.16	57.46	88.62	0.06316	0.16584	100
102	135.3	120.6	.0127	.310	78.54	3.224	31.65	57.14	88.79	.06403	.16576	102
104	139.0	124.3	.0128	.302	78.27	3.316	32.15	56.80	88.95	.06490	.16568	104
106	142.8	128.1	.0128	.293	78.00	3.411	32.65	56.46	89.11	.06577	.16560	106
108	146.8	132.1	.0129	.285	77.73	3.509	33.15	56.12	89.27	.06663	.16551	108
110	150.7	136.0	0.0129	0.277	77.46	3.610	33.65	55.78	89.43	0.06749	0.16542	110
112	154.8	140.1	.0130	.269	77.18	3.714	34.15	55.43	89.58	.06836	.16533	112
114	158.9	144.2	.0130	.262	76.89	3.823	34.65	55.08	89.73	.06922	.16524	114
116	163.1	148.4	.0130	.254	76.60	3.934	35.15	54.72	89.87	.07008	.16515	116
118	167.4	152.7	.0131	.247	76.32	4.049	35.65	54.36	90.01	.07094	.16505	118
120	171.8	157.1	0.0132	0.240	76.02	4.167	36.16	53.99	90.15	0.07180	0.16495	120
122	176.2	161.5	.0132	.233	75.72	4.288	36.66	53.62	90.28	.07266	.16484	122
124	180.8	166.1	.0133	.277	75.40	4.413	37.16	53.24	90.40	.07352	.16473	124
126	185.4	170.7	.0133	.220	75.10	4.541	37.67	52.85	90.52	.07437	.16462	126
128	190.1	175.4	.0134	.214	74.78	4.673	38.18	52.46	90.64	.07522	.16450	128
130	194.9	180.2	0.0134	0.208	74.46	4.808	38.69	52.07	90.76	0.07607	0.16438	130
132	199.8	185.1	.0135	.202	74.13	4.948	39.19	51.67	90.86	.07691	.16425	132
134	204.8	190.1	.0135	.196	73.81	5.094	39.70	51.26	90.96	.07775	.16411	134
136	209.9	195.2	.0136	.191	73.46	5.247	40.21	50.85	91.06	.07858	.16396	136
138	215.0	200.3	.0137	.185	73.10	5.405	40.72	50.43	91.15	.07941	.16380	138
140	220.2	205.5	0.0138	0.180	72.73	5.571	41.24	50.00	91.24	0.08024	0.16363	140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉนวนสำหรับใช้กับอุณหภูมิต่ำ

Temperature range, F	Material classification	Density lb/cu ft	Thermal conductivity (k factor). Btu/hr-sq ft-deg F per in.
−275 to 210	Urethane	1.8-2.2	0.09 @ −200F; 0.18 @ 100F
−200 to 175	Polystyrene	1.0-4.0	0.26 @ 40F; 0.28 @ 75F
− 40 to 160	Polyvinyl chloride	4.5-26	0.26 @ 75F
− 40 to 200	Cellular rubber	3.5-20	0.24 @ 25F; 0.30 @ 100F
− 50 to 1600	Expanded silica (perlite)	4.0-10	0.33 @ 0F; 0.38 @ 5F
−400 to 800	Cellular glass	7.5-9	0.34 @ 25F; 0.39 @ 100F
−250 to 1800	Mineral fibers (rock, glass, or slag)	0.5-10	0.27 @ 25F; 0.30 @ 100F



ฉนวนโพลียูรีเทน POLYURETHANE

ความหนาที่ให้ค่าฉนวนเท่ากัน Equivalent Insulation Thicknesses		ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน Thermal Conductivity (k)*	
		k cal. /m.h °C	Btu.in./ft^2 h °F
25 mm	โพลียูรีเทนโฟม Rigid Polyurethane Foam	0.019	0.15
40 mm	โพลีสไตรีนโฟม Expanded Polystyrene	0.030	0.24
42 mm	ฉนวนใยแก้ว Mineral Wool, Glass Fibre	0.031	0.25
48 mm	ไม้ก๊อก Cork	0.036	0.29
63 mm	ไฟเบอร์บอร์ด Fibreboard	0.047	0.38

10 20 30 40 50 60 70 80 mm.

*ณ อุณหภูมิ เฉลี่ย 0 °C (32 °F)

Mean Temperature of 0 °C (32 °F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาขนาดมอเตอร์ขับปั๊มน้ำ

กำลังที่ปั๊มใช้ในการส่งน้ำออกจากปั๊มก็คือกำลังที่ใช้ขับเพลาของปั๊ม มีหน่วยเป็นแรงม้า (BHP)

งานซึ่งได้จากการขับของเพลาที่อยู่ในรูปของความดันและความเร็วของน้ำที่ถูกส่งออกเรียกว่า Liquid horsepower (WHP)

$$\text{และ WHP} = \frac{\text{U.S.GPM} \times \text{head} \times \text{Sp.Gr.}}{3960}$$

U.S.GPM = ปริมาณของน้ำ, ยู.เอส.แกลลอนต่อนาที

head = ความสูงของน้ำ, ฟุต

Sp.Gr. = ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่ 60 °F, เท่ากับ 1

ประสิทธิภาพของปั๊มก็คือ งานที่ได้ (WHP) หารด้วยงานที่ใส่เข้าไปเพื่อขับเพลา (BHP)

ดังนั้น ประสิทธิภาพของปั๊ม $= \frac{\text{WHP}}{\text{BHP}} \times 100$, (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)

ตัวอย่าง ปั๊มมีประสิทธิภาพ 70% ส่งน้ำได้ 200 ยู.เอส. แกลลอนต่อนาที ที่ความสูง 45 ฟุต ต้องใช้กำลังขับกี่แรงม้า ?

วิธีที่ 1 จากการคำนวณ WHP $= \frac{200 \times 45 \times 1}{3960} = 2.27$

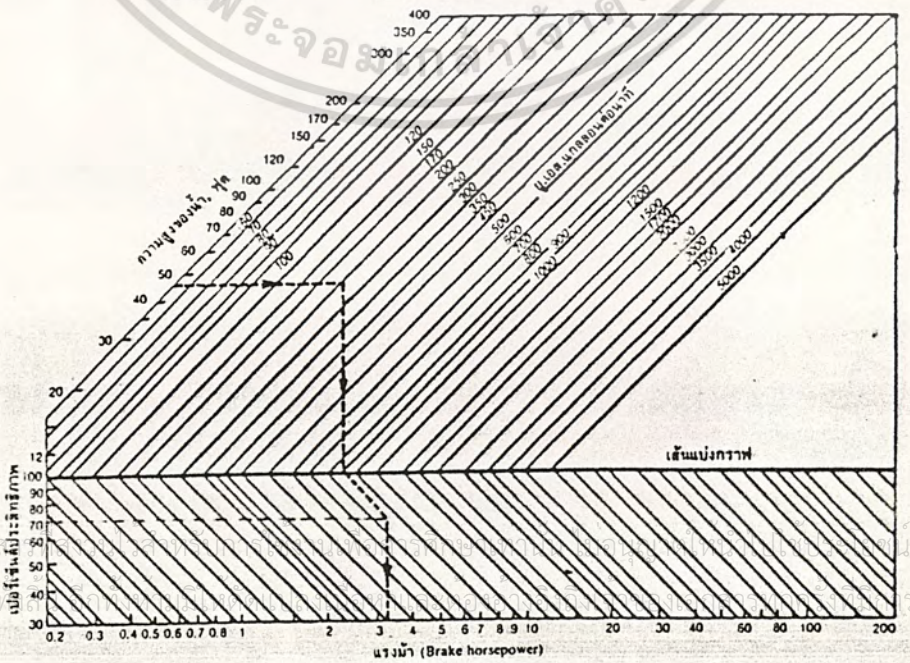
$$70 = \frac{2.27}{\text{BHP}} \times 100$$

BHP = 3.25 แรงม้า

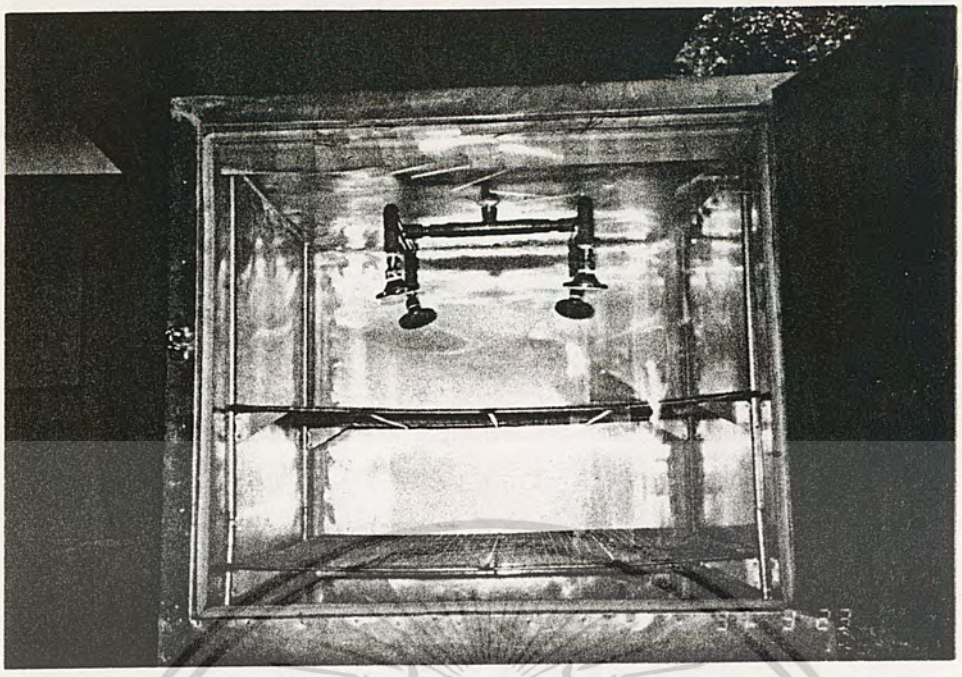
วิธีที่ 2 จากกราฟ

1. ลากเส้นในแนวนอนจากแกนความสูงของน้ำที่ 45 ฟุต ไปตัดกับแกนปริมาณน้ำที่ 200 ยู.เอส.แกลลอนต่อนาที
2. ลากเส้นดิ่งจากจุดตัดลงมาพบเส้นแบ่งกราฟด้านล่าง
3. จากเส้นแบ่งกราฟลากเส้นขนานกับเส้นเอียงไปทางขวาพบกับเส้นประสิทธิภาพของปั๊ม (70%) ในแนวนอน
4. ที่จุดตัดลากเส้นดิ่งลงมา อ่านค่าได้ 3.25 แรงม้า (BHP)

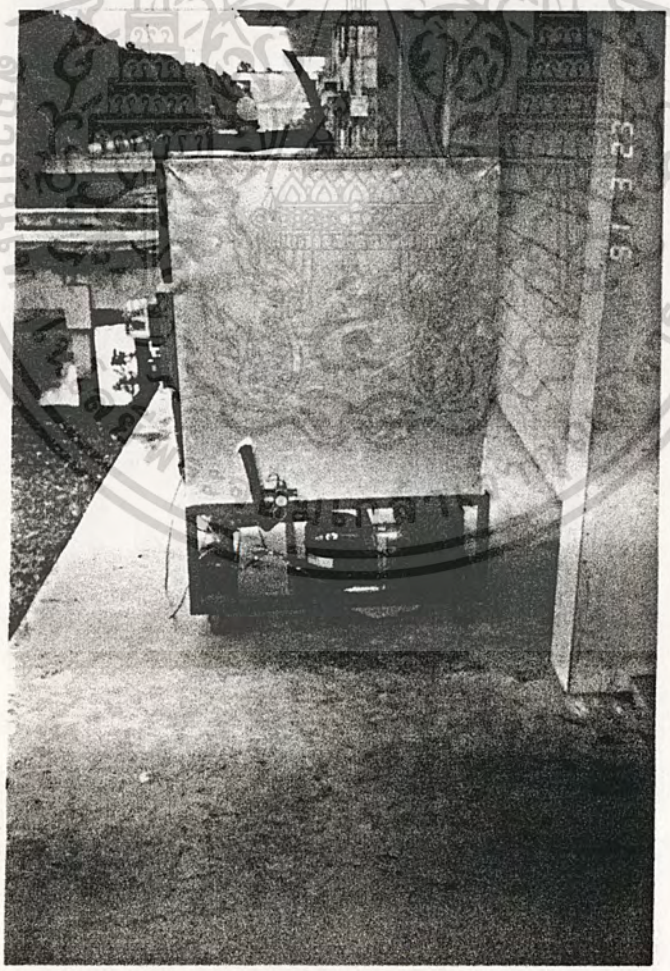
ในทำนองเดียวกันหากทราบ 3 ค่า ก็จะหาค่าตัวที่เหลือได้



เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆ ... นำไปใช้

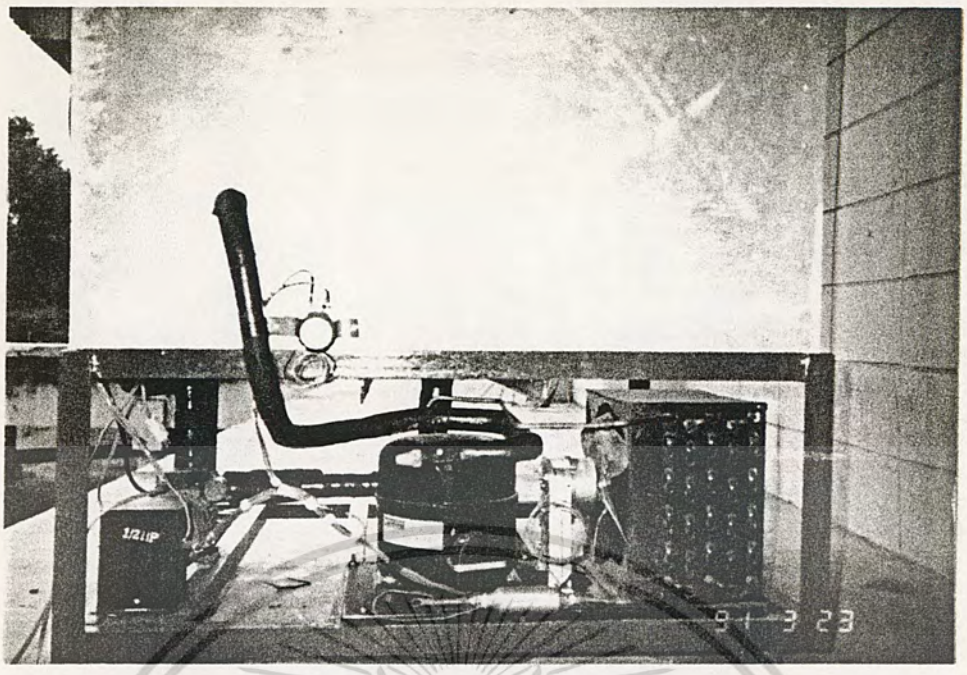


รูปที่ 14 แสดงภายใน Chamber

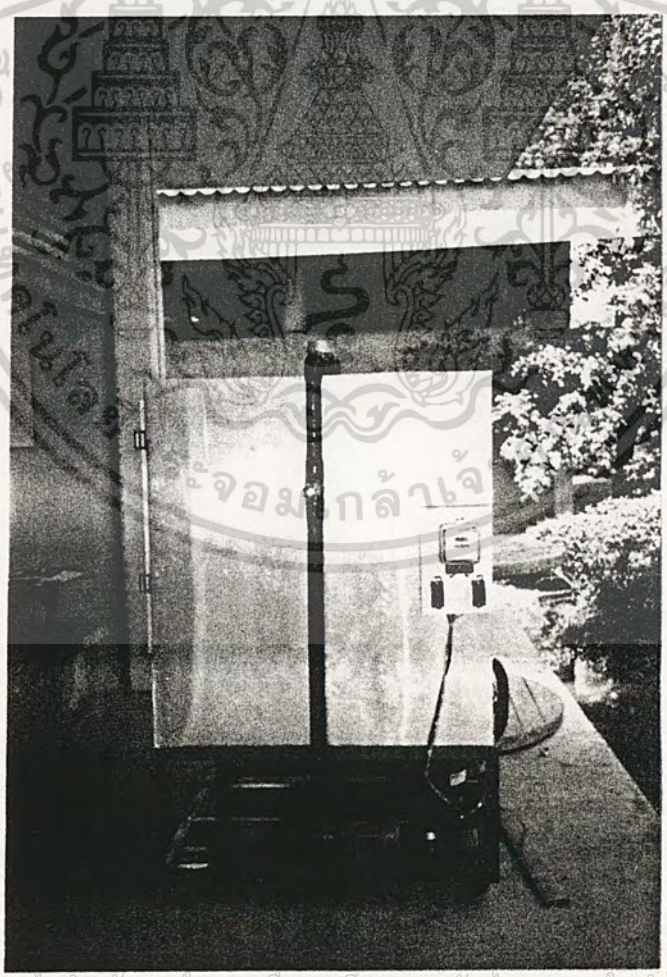


รูปที่ 15 แสดงลักษณะตัวเครื่องลดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 แสดงชุดทำความเย็น



รูปที่ 17 แสดงระบบท่อน้ำและวงจรไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยคำแนะนำของอาจารย์ ยุพร จรรยงค์วรกุล และ อาจารย์ พิมพ์เพ็ญ ถิรพร ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกๆท่าน และเพื่อนๆผู้สนับสนุนทุกคน จึงขอขอบคุณมา ณ. โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ หวังว่าในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะคงมีประโยชน์ต่อผู้มีความสนใจในงานด้านการถนอมรักษาอาหาร เพื่อทำการศึกษาและพัฒนาถึงรูปแบบการเก็บรักษาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นไป

5 เมษายน 2534

นาย วุฒิกิจ ตังคุณากร

นาย วุฒิสาส์น เชียวทอง

นาย ศุภกิจ จิวะรังสินี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. A.H. Bennet. "Pre-cooling Fruits and Vegetables",Trans. ASAE. 1964

2. A.H. Bennet, R.E. Smith. "Average Temperature of Fruits and Vegetables During Transient Cooling", Trans. ASAE. 1965

3. G.F. Sainsburry. "Improved Fruits Cooling Method", Refrigeration Engineering, ASRA. May 1951

4. I.J. Pflug. "Methods of Analysis of Pre-cooling Data", ASHRAE Journal 5:(11) 33-40 , 1963

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้