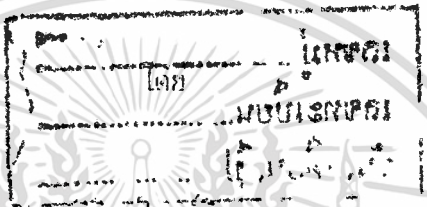
ปีการศึกษา 2534

การพัฒนาและออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น



อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์พิมพ์เพ็ญ ถิรพร

อาจารย์สาทิป รุ่งนภาสกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

007700

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2534

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาและออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น

ผู้จัดทำ

นายกิติ โรจน์วิมลการ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์พิมพ์เพ็ญ ถิรพร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สาทิป รัตนภาสุกร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HYDROCOOLING DEVELOPMENT AND DESIGN

Kiti Rojwimonkarn

Pimpen Thiraporn, Advisor

Satip Rattanapasakorn, Advisor

Abstract

New hydrocooler is designed to improve the existing prototype hydrocooler. It is designed for pre-cooling 35 kg of fruit and vegetable paked in a 0.380 x 0.465 x 0.285 cubicmetre plastic basket. The hydrocooler cabinet consists of 0.620 x 0.500 x 1.200 cubicmetre cooling product chamber and a 150 liters water reciever 0.5 ton refrigerater is used for refrigerating water in the water reciever where a pump is use to accelerate water flowing through evaporater Clean cooling (maximum flow rate 10.185×10^{-3} cubicmetre per second per squaremetre) is circulated by 0.75 Hp pump and spreyed through products in the chamber.to reduce product temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาและออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น

ภิติ โรจน์วิมลการ

พิมพ์เพ็ญ ศิริพร อาจารย์ที่ปรึกษา

สาทิป วัฒนาสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2534

บทคัดย่อ

การออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของเครื่องต้นแบบ ตัวเครื่องซึ่งเป็นตู้สแตนเลส 2 ชั้น หุ้มด้วยฉนวน (โฟลีสไตนลีน) ภายในตู้มีขนาด 0.620 x 0.500 x 1.200 ลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยช่องลดอุณหภูมิขนาด 0.620 x 0.500 x 0.600 ลูกบาศก์เมตร และที่สำรองน้ำเย็น สำรองน้ำได้สูงสุด 150 ลิตร มีขนาด 0.620 x 0.500 x 0.500 ลูกบาศก์เมตร มีระบบฉีดน้ำผ่านหัวฉีดให้เป็นฝอยไหลเวียนเพื่อลดอุณหภูมิผลผลิต โดยใช้ปั๊มขนาด 0.75 แรงม้า และอัตราการไหลของน้ำต่อพื้นที่ 10.185×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ใช้เครื่องทำความเย็นขนาด 1.5 ตัน ทำความเย็นน้ำในที่สำรองน้ำเย็น โดยมีปั๊มอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่ดูดน้ำให้ผ่านคอยล์เย็นอย่างรวดเร็ว สามารถลดอุณหภูมิผลิตผลโดยบรรจุในตะกร้ามาตรฐานขนาด 0.380 x 0.465 x 0.285 ลูกบาศก์เมตร ได้ 1 ตะกร้า ซึ่งใส่แตงกวาหนักประมาณ 35 กิโลกรัม นอกจากนี้ยังใส่ผลิตผลอื่น ๆ เพื่อการทดลองได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(ก)
สารบัญรูปภาพ	(ข)
สารบัญตาราง	(ค)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์	3
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ	4
บทที่ 4 การทดลอง	36
บทที่ 5 การคำนวณเพื่อการออกแบบ	40
บทที่ 6 การออกแบบ	47
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์	59
ภาคผนวก	61
กิตติกรรมประกาศ	86
เอกสารอ้างอิง	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญภาพ

รูปที่		หน้า
1	การลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นแบบสายพาน	4
2	การประมาณค่าการทำความเย็นสำหรับการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น	7
3	ความสัมพันธ์ระหว่างการดึงความร้อนและ half cooling time	9
4	อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของแอ๊ปเปิลในน้ำเย็น (Fréchette, 1964)	14
5	แสดง nomograph ในการทำไฮโดรคูลลิ่งสำหรับข้าวโพดหวาน	15
6	อีแวปโปเรเตอร์แบบท่อคู่	22
7	อีแวปโปเรเตอร์แบบ baudelot	23
8	การติดตั้งอีแวปโปเรเตอร์แบบถัง	24
9	Flood raceway coil	25
10	อีแวปโปเรเตอร์แบบเปลือกและคอล์ย	25
11	อีแวปโปเรเตอร์แบบเปลือกและท่อ	26
12	รูปตัดขวางแสดงรายละเอียดโครงสร้างของ dry expansion chiller	28
13	การจัดท่อและการกระจายสารความเย็นของ dry expansion chiller	28
14	(a) แผ่นกั้นใน dry expansion chiller (b) แผ่นปิดด้านหัวสารความเย็นสำหรับ dry expension chiller	29
15	ความสัมพันธ์ของ half cooling time และอัตราการไหลของน้ำ	38
16	ภาพด้านข้างขณะสเปรย์	53
17	ภาพด้านบนขณะสเปรย์	53
18	ภาพตัดขวางของเครื่องต้นแบบ	55
19	ลักษณะของท่อในแบบ	56
20	ภาพตัดขวางของเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น	57
21	เครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น	58
ผนวก ข.		76
ผนวก ค.		85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตาราง liquid cooler จากคาต้าหนังสือ ASHRAE	21
2	ความสัมพันธ์ของไดเฮอร์ฟิลเตอร์และคอมเพรสเซอร์	27
3	สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของท่อ, c	31
4	สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของแมนนิ่ง, n	32
5	ค่า k สำหรับพื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลงทันทีทันใด	33
6	ค่า k และ Le/D สำหรับประตูน้ำและข้อต่อ	34
ภาคผนวก ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง		62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันผลิตผลทางการเกษตรจำพวกผัก และผลไม้ มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก ซึ่งนอกจากจะใช้ในการอุปโภคบริโภคของประชาชนภายในประเทศแล้ว ยังสามารถที่จะส่งผักสดและผลไม้เป็นสินค้าออก และนำมาแปรรูปเป็นสินค้าอุตสาหกรรมได้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะมีส่วนที่ทำให้ประชากรภายในประเทศมีงานทำ ส่งผลถึงรายได้ของเกษตรกร จนถึงตนงานที่ทำงานภายในโรงงานอุตสาหกรรมได้ ซึ่งจะยังผลทำให้ประชากรภายในประเทศมีการอยู่ดีกินดีมากขึ้น

แต่ผัก หรือผลไม้นั้นมีอายุใช้งานสั้น จะมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น ผักและผลไม้จำนวนมากที่ผลิตได้เกิดการเน่าเสียง่าย ซึ่งทำให้เกิดการเสียหายไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งสาเหตุที่สำคัญนั้นเกิดจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยนั้นอยู่ในเขตร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงตลอดปี ผักและผลไม้เมื่อได้รับความร้อน จะทำให้เกิดการหายใจที่เร็วขึ้น ซึ่งมีผลทำให้มีการใช้สารอาหารที่ถูกสะสมภายในผักหรือผลไม้มากขึ้น ยังผลทำให้ผักและผลไม้นั้น มีสูญเสียองค์ประกอบไป ซึ่งทำให้คุณภาพของผักหรือผลไม้นั้นเปลี่ยนไปในทางที่ไม่ต้องการ เช่น เกิดการเน่าเสีย สูญเสียความสด ฯลฯ

การเก็บรักษาผักและผลไม้ หลังการเก็บเกี่ยวมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะยืดอายุของการเน่าเสียออกไปให้นานที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งจะทำให้สามารถลดการสูญเสียของผลิตผลได้ นอกจากนี้ยังจะสามารถเคลื่อนย้ายผลิตผลไปในที่ที่ไกลออกไป และยังจะนำมาบริโภคกันในช่วงฤดูที่ขาดแคลนผลิตผลชนิดนั้นอีกด้วย

สำหรับประเทศที่อยู่ในเขตร้อน เช่น ประเทศไทยนี้ การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำนี้มีความสำคัญมากเพราะอุณหภูมิที่ต่ำ จะทำให้ผลผลิตมีอัตราการหายใจที่ต่ำลงซึ่งอัตราการเผาผลาญส่วนประกอบของผลิตผลนั้นก็ต่ำลงด้วย การสูญเสียจึงลดลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้ห้องทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาผักหรือผลไม้นั้น กำลังของเครื่องทำความเย็นจะต้องมีค่ามากพอที่จะดึงเอาความร้อนสะสมออกให้หมดในช่วงแรก เพื่อลดอุณหภูมิของผลผลิตให้มีค่าตามต้องการ หลังจากนั้นก็จะใช้กำลังทำความเย็นเพียงเล็กน้อยที่ดึงความร้อนที่เกิดจากการหายใจของผลิตผล ซึ่งเกิดขึ้นน้อยมาก ตลอดการทำความเย็น

ดังนั้น ก่อนที่จะนำผลิตผลไปเก็บรักษาภายในห้องเย็น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะใช้ห้องนำเอาผลิตผลมาลดอุณหภูมิ (Precooling) ลงเสียก่อน ซึ่งการลดอุณหภูมินี้ จะมีผลทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิที่ต่ำลงอย่างรวดเร็วง ก่อนนำเข้าไปเก็บรักษาภายในห้องทำความเย็น ซึ่งจะเป็นการรักษาคุณภาพของผลิตผล และนอกจากนี้ยังช่วยลดขนาดของเครื่องทำความเย็นในห้องทำความเย็น ในส่วนที่ไม่จำเป็นออกไปอีกด้วย

ซึ่งการลดอุณหภูมินี้มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน และการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นนี้เป็นวิธีหนึ่งซึ่งมีข้อได้เปรียบในแง่ของความเร็วในการลดอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังประหยัดเนื้อที่ในการลดอุณหภูมิอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วัตถุประสงค์

มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบ และพัฒนาเครื่องจลอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น ดังนี้

1. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจลอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็นต้นแบบ เพื่อหาข้อบกพร่องสำหรับการแก้ไข

2. ออกแบบเครื่องจลอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็นใหม่ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

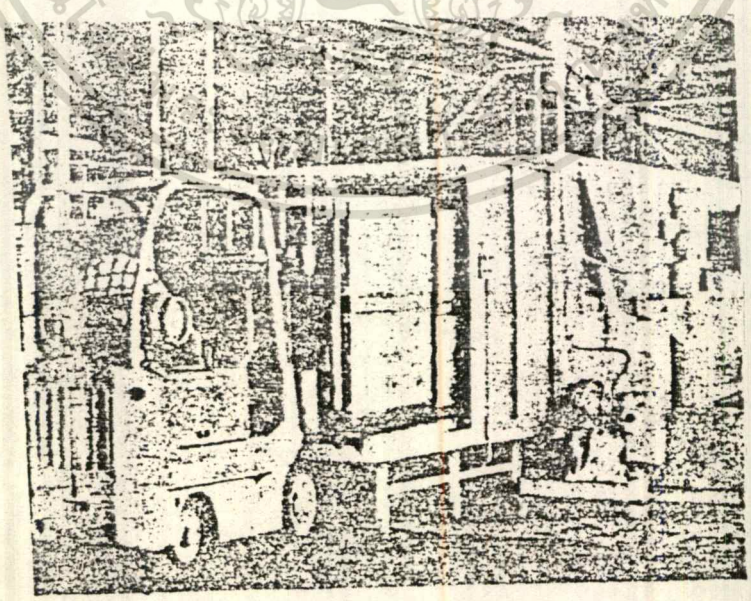
ทฤษฎีและหลักการ

ผักและผลไม้สามารถถูกทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว โดยวิธีการใช้น้ำเย็นเคลื่อนที่ผ่านตัวของมันเอง และการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นนี้ ยังสามารถลดการเหี่ยวของผลิตผลทางการเกษตรได้ ประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นขึ้นอยู่กับ

- น้ำเย็นควรที่จะเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวของผลิตผล
- น้ำเย็นควรจะสัมผัสกับพื้นที่ของแต่ละผลหรือแต่ละชิ้นของผักให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- น้ำเย็นควรที่จะมีอุณหภูมิที่ไม่ต่ำกว่า การสูญเสียของผักหรือผลไม้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำเกินไป (chilling injury)

แบ่งวิธีการในการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น ดังนี้

1. แบบสายพาน (Conveyor hydrocooler) เป็นวิธีการที่ผลิตผลที่ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในภาชนะถูกวางบนสายพานลำเลียง ซึ่งสายพานลำเลียง จะลำเลียงผลิตไปตามสายพานโดยมีหัวฉีดน้ำทำการฉีดน้ำลงมาจากด้านบนตลอดการลำเลียง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นแบบสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งถ้าความหนาของผลิตผลมีความหนาเกิน 1 ฟุต น้ำเย็นที่ไหลผ่านของผลิตผลจะเกิดปรากฏการณ์เรียกว่า channel (ซึ่งเป็นการต้านทานการไหลจากการที่ขนาดบรรจุผลิตผลมีขนาดใหญ่เกินไป) จะทำให้การสัมผัสของน้ำเย็นที่มีต่อพื้นที่ผิวนั้นมีค่าน้อยลงไป การเกิด channaling อาจจะแก้ไขโดยการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำเย็น โดยการเพิ่มความหนาแน่นของหัวฉีดให้เพิ่มขึ้น และทำให้น้ำเย็นไหลผ่านส่วนล่างสุดของภาชนะบรรจุ ซึ่งน้ำเย็นจะถูกขังในภาชนะและจะไหลออกจากภาชนะจนหมดก่อนที่ภาชนะจะเคลื่อนที่ออกจากเครื่องลดอุณหภูมิ

จากการทดสอบในการบรรจุผลพีทไว้ในถังขนาด 4 x 4 ตารางฟุต ใช้น้ำไหลในอัตรา 10 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุตของพื้นที่กับผลพีทถูกทำให้เย็นลงในเวลา 24 นาที เมื่อถังเต็มไปด้วยน้ำ และผลพีทถูกแช่ในน้ำ และใช้เวลา 20 นาที ในการนำน้ำออกจากถัง และเปลี่ยนอัตราการไหลเป็น 2 แกลลอนต่อตารางฟุต จุดลงบนผลไม้ที่แช่ในน้ำ การทำความเย็นมีค่าเท่ากับใช้การไหล 5 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุตไหลผ่านผลไม้

ถ้าภายในถังเต็มไปด้วยน้ำ ช่องสำหรับปล่อยน้ำส่วนใหญ่ของถังจะถูกปิดกั้น จากการทดสอบตามตัวอย่างดังนี้ ถังซึ่งมีน้ำไหลลงมา 10 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต ต้องการรูเปิดเพียง 1/10 นิ้ว ที่กันถัง เนื่องจากความยากลำบากในการปรับรูเปิดเพื่อให้น้ำไหลผ่าน มันจะเป็นการง่ายกว่าในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านผลิตผล

2. แบบไม่มีสายพาน (The room type or "bacth" hydrocooler) ซึ่งแบบนี้จะไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ภายในห้องลดอุณหภูมิ และยังสามารถป้องกันการรั่วไหลของความเย็นได้ง่ายกว่า และพื้นที่ที่ใช้สำหรับวางผลิตผลมีราคาที่ถูกกว่าแบบใช้สายพานลำเลียง และยังสามารถใช้พื้นที่ที่ประหยัดกว่า เครื่องลดอุณหภูมิแบบนี้ จะไม่ได้นำไปใช้งานตามปกติ ระบบของเครื่องลดอุณหภูมิ จะใช้ขนาดการทำความเย็นอย่างมากในเวลาสั้นๆ ขณะที่เครื่องทำงานอยู่ แต่ไม่มีการทำความเย็นในเวลาอื่นๆ ขนาดของการทำงานช่วงสั้นๆ สัมพันธ์กับฤดูของผลผลิตแล้วการใช้น้ำแข็งทำความเย็นจะเป็นวิธีการที่ดีที่สุด ซึ่งน้ำถูกทำให้เย็นโดยการไหลผ่านน้ำแข็งที่ถูกย่อยเป็นก้อนเล็กๆ ภายในถังเก็บ ซึ่งมีความกว้าง และความลึกที่ทำให้น้ำไหลระหว่างชั้นของก้อนน้ำแข็งผ่านลงไปด้านใต้ของถัง แต่น้ำจะไม่ถูกทำให้เย็นเมื่อน้ำไหลผ่านน้ำแข็งในขณะที่น้ำแข็งลอยอยู่ด้านบน และน้ำไหลผ่านไปใต้น้ำแข็งดังกล่าว เครื่องกรองที่ใช้จะทำความสะอาดของน้ำ ซึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องถอดนำมาทำความสะอาดได้ง่าย และมีขนาดที่ใหญ่เพียงพอที่จะไม่ต้องถอดนำออกมาก้างบ่อยๆ ขนาดของรูเครื่องกรองจะไม่ไปขัดขวางการไหลของน้ำมาก

เนื่องจากสิ่งเจือปนในน้ำประกอบด้วยสิ่งสกปรก และจุลินทรีย์ จึงควรจะมีการเปลี่ยนน้ำใหม่บ่อยๆ ด้วยเหตุนี้แบบทั้งหมดควรจะสามารถปล่อยน้ำทิ้ง และทำความสะอาดได้ง่าย

การตรวจเช็ค การทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น

ผลของน้ำเย็น (H) ของเครื่อง hydrocooler สามารถคำนวณ ค่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้า (te) และออก (to) จาก

$$H = \frac{(to - 32)}{(te - to)}$$

ซึ่งถ้า H มีค่ามากกว่า 4 แสดงว่าน้ำสัมผัสกับผิวของผลิตผลไม่ดีพอ เนื่องมาจาก

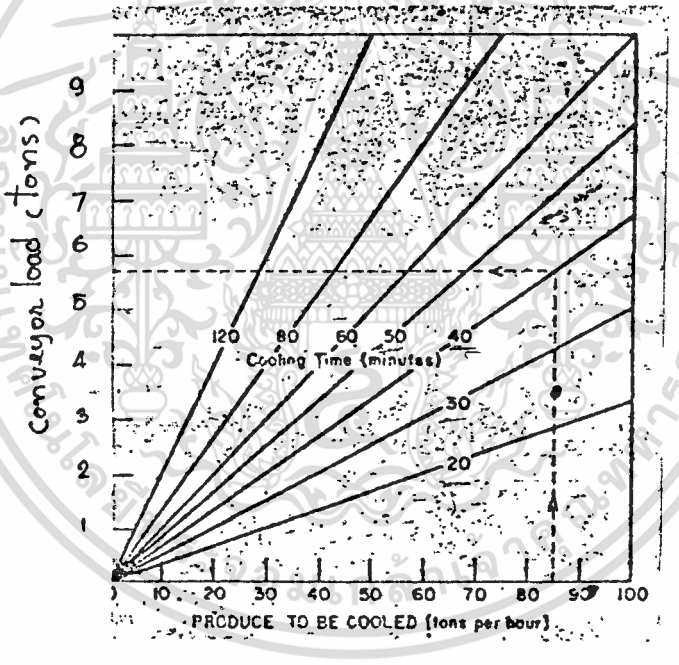
- น้ำแข็งเกิดการลอยตัวขึ้น ทำให้น้ำไม่ได้ไหลผ่านน้ำแข็ง
- ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านคอยล์เย็นหรือน้ำแข็งช้าเกินไป ดังนั้นควรติดใบพัดกวนเพื่อการทำความเย็นที่ดีกว่า
- พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำและคอยล์เย็นหรือน้ำแข็งไม่เพียงพอ

ถ้า H น้อยกว่า 4 การสัมผัสของน้ำ และคอยล์เย็นหรือน้ำแข็งน่าพอใจ และการลดอุณหภูมิของผลิตผลที่น้อยเกินไปเกิดจากเหตุดังนี้

- ขนาดเครื่องทำความเย็นไม่เพียงพอ จากรูปที่ 2 สามารถประมาณขนาดของการทำความเย็นที่ต้องการในการลดอุณหภูมิกับปริมาณของผลิตผล
- น้ำที่ไหลวนไม่เพียงพอ ; ถ้าน้ำถูกลดอุณหภูมิลงน้อยกว่า 2 °F ในการผ่านพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน อัตราการไหลของน้ำไม่เพียงพอ (สำหรับ hydrocooler แบบใช้สเปรย์ แล้วอัตราไหลของน้ำน้อยที่สุด ควรจะมีค่าอย่างน้อย 10-15 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต ของพื้นที่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเร็วของเครื่องลำเลียงเร็วเกินไป จะทำให้เวลาในการทำความเย็นของผลิตผลน้อยเกินไป
- เกิดการ channeling ขณะที่น้ำไหลผ่านผลิตผล (แก้ไขโดยการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ)
- การสูญเสียการทำความเย็นที่มากเกินไป เป็นผลจากการรั่วไหลของเครื่อง hydrocooling



รูปที่ 2 การประมาณค่าการทำความเย็นสำหรับการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การคำนวณเวลา และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิ

ในการลดอุณหภูมิผลิตผลไม่มีสภาวะใดเลยที่ทำให้อัตราการลดอุณหภูมิ เป็นไปตามกฎของนิวตัน (Newton's low) เนื่องจากวัสดุเกษตรมีค่าทางความร้อนต่ำ เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในผลิตผล (Temperature gradient) และการถ่ายเทความร้อน ซึ่งมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสี เนื่องจากมีสภาวะไม่เป็นไปตามกฎของนิวตัน การรายงานผลของประสิทธิภาพการแช่เย็น จึงนิยมคำนวณหา cooling Rate (CR) และค่า Half Cooling time ($t_{\frac{1}{2}}$, z)

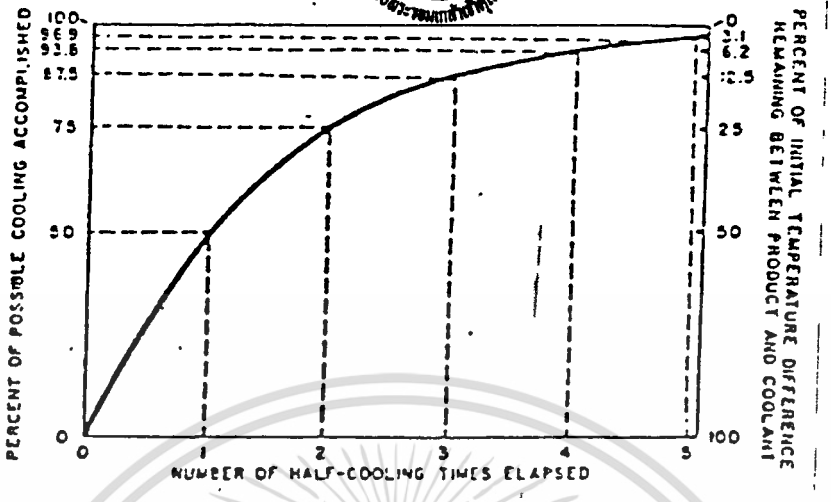
Half cooling time ($t_{\frac{1}{2}}$, z) หมายถึงช่วงเวลาที่ทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตผลและตัวนำความเย็น (อากาศ, น้ำ หรือน้ำแข็ง) ซึ่งมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความแตกต่าง ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผลและตัวนำความเย็น

การคำนวณหาค่า Half-cooling time เป็นที่นิยมในขบวนการลดอุณหภูมิ เนื่องจากเป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ และมีค่าคงที่ตลอดการแช่เย็น

ดังนั้น ถ้าทราบค่า $t_{\frac{1}{2}}$ ของวัสดุเกษตรภายใต้สภาวะหนึ่งๆ ก็สามารถทำนายการแช่เย็นที่ช่วงเวลาใดๆ เมื่อทราบอุณหภูมิของผลิตผล และตัวนำความเย็น แต่การทำนายจะไม่สามารถทำได้ถ้ารู้เพียงแต่อัตราการแช่เย็น (Cooling Rate) เนื่องจากมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเพื่อความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ และตัวนำความเย็นเปลี่ยนไป

ความร้อนจะถูกดึงออกไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆ ของ Half cooling time เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ และตัวทำความเย็นมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นความร้อนจะถูกดึงออกช้าลงไปช่วง $t_{\frac{1}{2}}$ ต่อๆ มา และมีค่าใกล้เคียงศูนย์ เมื่ออุณหภูมิของผลิตผลใกล้เคียงกับตัวนำความเย็น ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากระยะที่ 3 ของ $t_{1/2}$ ผ่านไป ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างการดึงความร้อน และค่า Half cooling time

ตัวอย่างของค่า $t_{1/2}$ ของผักผลไม้เมื่อใช้วิธีการลดอุณหภูมิต่างๆ แสดงในตารางที่ อย่างไรก็ตามค่า $t_{1/2}$ ไม่สามารถนำมาใช้กับ Vacuum Cooling เนื่องจากการดึงความร้อนไม่ได้ขึ้นกับตัวนำความเย็น แต่ขึ้นกับการระเหยของน้ำจากเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นไปตามกฎของการดึงความร้อนจากผิวหน้า

Newtonian law of Heating and Cooling

จากกฎของนิวตัน การไหลของความร้อนเป็นไปดังสมการ

$$= hA\ (t - ta)$$

และ $$C = \frac{Q}{(WV)\ st}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
007700

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากวัสดุ

θ = เวลา

h = surface conductance

t = อุณหภูมิที่เวลาใดๆ

t_a = อุณหภูมิของบรรยากาศ

C = ความร้อนจำเพาะของวัสดุ

W = ความหนาแน่น

V = ปริมาตรของวัสดุ

A = พื้นที่ผิว

ดังนั้น $$\frac{dQ}{d\theta} = CWV\frac{dt}{d\theta} = -hA(t - t_a) \quad (1)$$

(t_i = อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ)

$$\ln\left(\frac{t_i - t_a}{t - t_a}\right) = \left[\frac{hA}{CWV}\right] \quad (2)$$

3.1.1 อัตราการทำความเย็น (Cooling Rate)

เมื่ออัตราการทำความเย็น Cooling Rate (CR) หรือ Cooling Coefficient มีค่า = hA/CWV ค่าของ CR มีประโยชน์ในการตรวจสอบคุณสมบัติของระบบทำความเย็น ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าอัตราการถ่ายความร้อนออกจากระบบทำได้รวดเร็ว ค่า CR สามารถหาได้จากวิธีการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ค่า CR มีค่าเท่ากับความชันของกราฟลดอุณหภูมิ (Cooling Curve) ถ้าเขียนกราฟระหว่าง $(t_1 - t_a)/(t_s - t_a)$ บนแกน y และเวลาบนแกน x บนกระดาษกราฟ semi-log ถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังสมการที่ 2 จะได้กราฟเส้นตรงโดยมีค่า CR เท่ากับความชัน

$$CR = \frac{\ln[(t_1 - t_a)/(t - t_a)]}{\Delta\theta}$$

2. ค่า CR คำนวรหาจากอุณหภูมิเฉลี่ย (logarithmic mean temperature difference) ระหว่างวัสดุและอุณหภูมิบรรยากาศ

$$\text{log mean temperature difference (LMTD)} = \frac{(t_1 - t_a) - (t - t_a)}{\ln (t_a - t_a)/(t - t_a)}$$

$$\text{ค่า CR} = \frac{(t_1 - t)/\theta}{\text{LMTD}}$$

$$CR = \frac{(t_1 - t)/\theta}{\left[\frac{TTD - FTD}{\ln TTD/FTD}\right]} \qquad (3)$$

เมื่อ TTD = ความแตกต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นระหว่างผลิตผล และบรรยากาศ

FTD = ความแตกต่างของอุณหภูมิสุดท้ายระหว่างผลิตผล และบรรยากาศ

3. ถ้าสมการของการทำความเย็นเป็นแบบ Exponintial ดังสมการ

$$(t - t_a)/(t_1 - t_a) = Ae^{-B\theta}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าอุณหภูมิของบรรยากาศหรือตัวนำความเย็น (t_a) คงที่ ค่าอุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ยระหว่างบรรยากาศ และวัสดุมีค่าเท่ากับ log mean temperature difference ระหว่างวัสดุ และบรรยากาศ เพื่อพิสูจน์ความจริงนี้ ใช้พิจารณาจากค่าอุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ย (Average temperature difference) (Ave TD) ระหว่างบรรยากาศและวัสดุ ซึ่งหาได้จากสมการอินทีเกรต

$$\text{Ave TD} = \frac{(t_o - t_a)^{A\theta}}{O_2 - O_1}$$

ซึ่งหมายถึง พื้นที่ใต้กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา หารด้วยเวลาของการแช่เย็น ที่อุณหภูมิคงที่จากสมการ exponential ด้านบน

$$(t_o - t_a) = (t_i - t_a)A_e^{-B\theta}$$

แทนค่าลงในสมการอินทิกรัล และทำการอินทิเกรตได้ผลดังสมการ

$$\text{Ave TD} = \frac{A(t_i - t_a)e^{-B\theta} - A(t_i - t_a)e^{-B\theta}}{\ln \frac{A(t_i - t_a)e^{-B\theta}}{A(t_i - t_a)e^{-B\theta}}}$$

$$\text{Ave TD} = \frac{\text{TTD} - \text{FTD}}{\ln \frac{\text{TTD}}{\text{FTD}}}$$

ซึ่งคล้ายกับสมการที่ 3 ถ้าภายใต้สภาวะที่การแช่เย็นเป็นแบบ Exponential และอุณหภูมิบรรยากาศคงที่ ค่า LMTD จะเท่ากับอุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ย แทนค่าลงในสมการที่ 3 ได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$CR = \frac{(t_1 - t)/\theta}{(t - t_a)_{ave}} \quad (4)$$

เมื่อ $(t - t_a)_{ave}$ มีค่าเท่ากับอุณหภูมิผลต่างเฉลี่ยที่เวลา θ ซึ่งหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา หารด้วยเวลา สมการ 4 จึงใช้เป็นวิธีที่ 3 ในการหาค่า CR

การคำนวณค่า Half-Cooling time (z)

จาก $\frac{t - t_a}{t_1 - t_a} = \exp(-\frac{hA}{CkV})\theta$

แทนค่า CR จะได้ $\theta = \frac{1}{CR} \ln(\frac{t_1 - t_a}{t - t_a})$

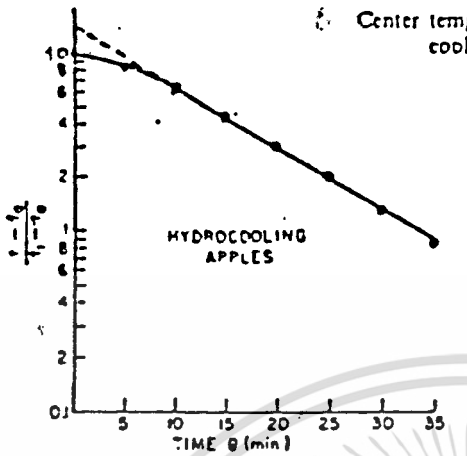
ที่ Half Cooling $(t_{1/2})$ จะได้ $t - t_a = 1/2 (t_1 - t_a)$

ดังนั้น $t_{1/2} = \frac{1}{CR} \ln \frac{(t_1 - t_a)}{1/2(t_1 - t_a)}$

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

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\frac{t - t_a}{t_1 - t_a}$ กับเวลาบนกราฟ Semilog จะได้กราฟดังรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



t. Center temperature of McIntosh apples in ice water cooling (Frechette, 1964)

รูปที่ 4 อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของแอ๊ปเปิ้ลในน้ำเย็น (Frechette, 1964)

ดังนั้น สมการที่ 2 จึงควรเขียนเป็น

$$\frac{t - t_a}{t_1 - t_a} = je^{-CR.\theta.}$$

$$\ln \frac{(t - t_a)}{(t_1 - t_a)} = \ln j - CR.\theta. \qquad (6)$$

เมื่อ j = lag factor

= ค่าตัดแกน y เมื่อ x หรือเวลาเท่ากับศูนย์

จากสมการที่ 5 ที่ Half-Cooling time ($t_{1/2}$ จะได้ $t - t_a = 1/2(t_1 - t_a)$

ดังนั้น $$t_{1/2} = \frac{\ln 2j}{CR} \qquad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

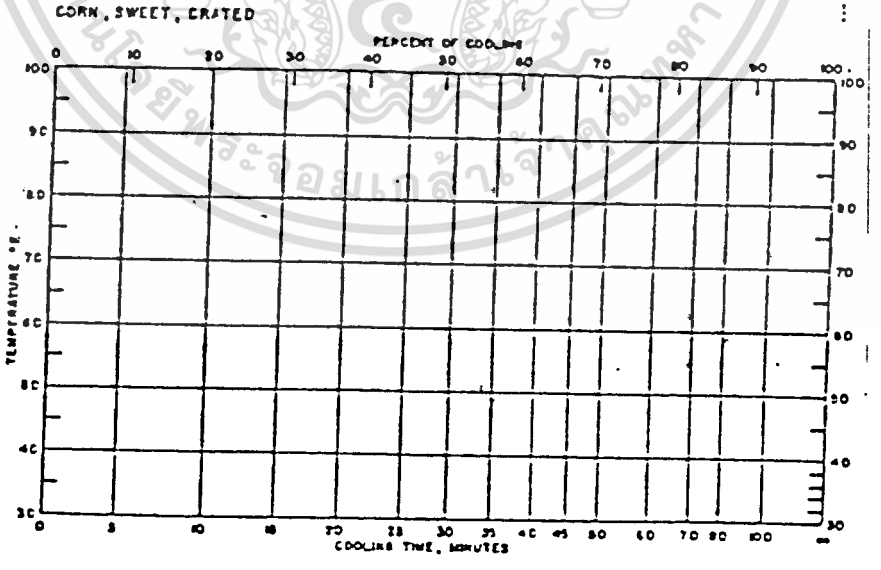
3.1.2 Number of half cooling time

จากรูปที่ 3 ถ้าจำนวนเท่าของ Half cooling time เพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการทำความเย็น หรือการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดลง และเข้าใกล้อุณหภูมิของตัวทำความเย็นมากขึ้น

3.1.3 7/8 - cooling time

การศึกษาประสิทธิภาพของการแช่เย็น หรือลดอุณหภูมิ นอกจากแสดงในรูปของค่าเวลาที่เป็นครึ่งหนึ่ง ($t_{1/2}$) นักวิทยาศาสตร์บางท่านจะแสดงอยู่ในรูปของเวลาที่ (7/8 - cooling time) หรือเวลาที่ (3/4 - cooling time)

นอกจากวิธี half-cooling time Stewant และ Coney (1963) ได้พัฒนาระบบการใช้ nomograph เพื่อประมาณค่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ โดยการอ่านค่าน้อยที่สุด monograph ของข้าวโพดหวาน แสดงดังรูปที่ 5



From Stewart and Couey 1963

รูปที่ 5 แสดง nomograph ในการทำไฮโดรคูลลิ่งสำหรับข้าวโพดหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น

ส่วนประกอบที่สำคัญภายในเครื่อง Hydrocooling ประกอบด้วย

1. Product Chamber เป็นส่วนที่บรรจุผลิตผลที่ต้องการนำมาลดอุณหภูมิ ขนาดของ Product chambers นี้จะถูกกำหนดโดยปริมาณของผลผลิต ในด้านกว้างและด้านยาว ส่วนในด้านความสูงนั้นจะขึ้นอยู่กับ รัศมีของหัวฉีด จำนวนหัวฉีด และระยะห่างของหัวฉีดที่จะนำมาใช้เย็นน้ำเพื่อลดผลิตผล

2. Water Reservior เป็นแหล่งน้ำที่เก็บสำรองน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งสำหรับผลักเปลี่ยน ซึ่งน้ำจะถูกผักเพื่อทำการลดอุณหภูมิ โดยชุดสำหรับทำความเย็นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วใช้เครื่องปั๊มน้ำ ดูดน้ำ เพื่อไปรดผลผลิต ก่อนที่น้ำจะไหลเข้ามาใน Water Reservior นี้ น้ำจะถูกทำให้สะอาด โดยผ่านตะแกรงสำหรับกรองน้ำ ซึ่งมีรูที่เล็กพอที่จะสามารถกักเศษผลหรือสิ่งสกปรกที่จะสามารถไปอุดตัน ที่รูฉีดน้ำของหัวฉีดได้

3. Refregeration System เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ใช้ความเย็นแก่น้ำ ซึ่งจะประกอบด้วยตัวคอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ ตัวควบคุมน้ำยา คอยล์เย็น และอุปกรณ์ช่วยต่าง ๆ ในระบบ ซึ่งชุดทำความเย็นนี้ จะต้องมีกำลังเพียงพอที่จะให้ความเย็นแก่น้ำได้ตามปริมาณภาระที่ต้องการได้ ส่วนของคอยล์เย็นเป็นส่วนซึ่งอยู่ใน Water Reservior จะถูกออกแบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ในการทำให้น้ำเย็นได้อย่างเพียงพอ และสามารถถูกปั๊มไปรดผลผลิตได้ทัน

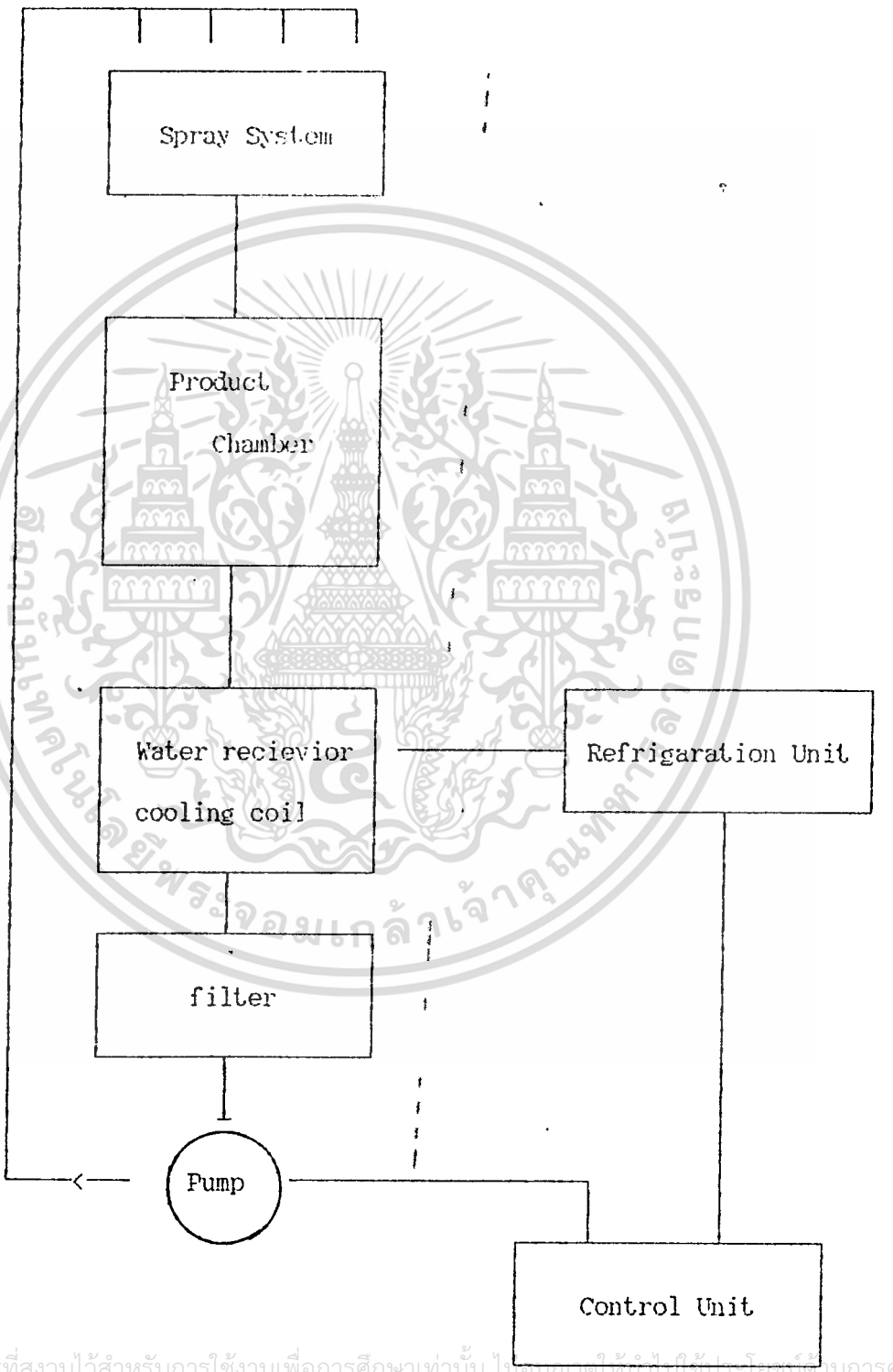
4. Pump and Pipe เป็นชุดสำหรับกรุลำเลียงน้ำไปฉีดพ่น แก่ผลผลิตซึ่งขนาดของ pump และเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อน้ำจะต้องมีความสัมพันธ์กัน จึงจะได้กำลังที่เหมาะสม

5. Spray System เป็นระบบซึ่งใช้หัวฉีด ซึ่งจะใช้แรงดันจากปั๊ม เพื่อช่วยในการสเปรย์น้ำเย็น รดลงบนผลผลิต ระบบสเปรย์นี้จะถูกออกแบบให้มีการฉีดน้ำลงบนผลิตผลใช้น้ำสามารถคลุมลงบนพื้นผิวด้านบนของผลิตผลโดยทั่วถึง

6. Electric and Contral Circuit เป็นระบบควบคุมระบบการทำงานและระบบอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อคไดอะแกรมของไฮโดรคูลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ชุดอุปกรณ์ทำความเย็นและการคำนวณ

อุปกรณ์ทำความเย็นจะประกอบด้วยมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ แบบปิดเชื่อม (Hermetic) คอนเดนเซอร์ แบบใช้พัดลมเป่า (Fan Condenser) ตัวควบคุมน้ำยา (Refrigeration Control) คอยล์เย็น (Cooling coil) หรือ อีแวปปอเรเตอร์ (Evaporator)

3.3.1 มอเตอร์คอมเพรสเซอร์

เป็นอุปกรณ์ที่รวมเอามอเตอร์ และคอมเพรสเซอร์เข้าด้วยกัน ซึ่งมอเตอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขับคอมเพรสเซอร์ให้ทำงาน ซึ่งคอมเพรสเซอร์นี้จะทำหน้าที่ดูด และอัดน้ำยาที่เป็นก๊าซเพื่อส่งต่อไปยังส่วนต่างๆ ของระบบทำความเย็น

สำหรับการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์นี้ จะคิดจากภาระในการลดอุณหภูมิ ตามสูตร ดังนี้ ซึ่ง

$$\text{ภาระของเครื่องทำความเย็น} = 1800\ P\ \frac{(t_1 - t_2)}{E}$$

P = น้ำหนักสูงสุดของผลิตผลที่ต้องการลดอุณหภูมิต่อชั่วโมง (ton/hour)

t_1 = อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผล องศาฟาเรนไฮท์

t_2 = อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล องศาฟาเรนไฮท์

E = ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของเครื่อง ดังนี้

0.5 สำหรับระบบเปิด

0.75 สำหรับแบบปิด

ต้องการใช้อุณหภูมิในหน่วยองศาเซนเซียส

จาก $F = \frac{9}{5} C + 32$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F = อุณหภูมิในหน่วยของฟาเรนไฮต์

C = อุณหภูมิในหน่วยของเซนเซียส

จะได้สูตรสำหรับอุณหภูมิในหน่วยของเซนเซียส คือ

ภาระของเครื่องทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) = $\frac{3240\ P\ (t_1 - t_2)}{E}$

หารด้วย 12,000 จะได้ตันของการทำความเย็น

ดังนั้น ตันของการทำความเย็น = $\frac{P\ (t_1 - t_2)}{3.704\ E}$

- หมายเหตุ 1 ตันของการทำความเย็น มีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งบริสุทธิ์ 1 ตัน กลายเป็นน้ำบริสุทธิ์ที่ 0 องศาเซนเซียส ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.5 กิโลจูลต่อวินาทีในระบบ SI

3.3.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

เป็นอุปกรณ์เครื่องทำความเย็นที่มีลักษณะประกอบด้วยท่อทองแดงขดขนานไปมา มีหน้าที่รับเอาน้ำยาที่เป็นก๊าซ และมีความดันสูง และร้อนเข้ามาในตัวของมัน และทำหน้าที่ระบายความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนออกโดยวิธีใช้น้ำ หรือใช้พัดลมเป่า ซึ่งเมื่อน้ำยาที่เป็นก๊าซเมื่อถูกดึงเอาความร้อนออกก็จะกลายสภาพเป็นของเหลวทันที

ซึ่งความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ขึ้นอยู่กับ

- วัสดุที่ใช้ทำคอนเดนเซอร์
- จำนวนพื้นผิวที่ถ่ายเทความร้อน
- ความเร็ว และชนิดของของไหลที่ใช้ระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 คอยล์เย็น (Cooling Coil) หรืออีแวปโพเรเตอร์ (Evaporator)

เป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ในการรับน้ำยา ซึ่งเป็นของเหลว ซึ่งฉีดมาจากตัวควบคุมน้ำยาเข้ามาใน คอยล์เย็น และน้ำยาก็จะเดือด และจะดึงความร้อนจะสิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอกลดลง และอีแวปโพเรเตอร์แบบใช้ของเหลวพาความเย็นได้แก่

1. แบบท่อคู่ (double pipe cooler)
2. แบบ baudelot cooler
3. แบบถัง (tank-type cooler)
4. แบบเปลือกและคอยล์ (shell-and-coil-cooler)
5. แบบเปลือกและท่อ (shell and tube cooler)

ในทุกแบบ ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานเหมือนกันกับแบบใช้อากาศพาความเย็นในรูปแสดงรายการหลายๆ แบบ และแสดงถึงการควบคุมการไหลของสารความเย็น ช่วงของสมรรถนะ และสารความเย็นที่ใช้

1. แบบท่อคู่ (double pipe coolers)

ประกอบด้วยท่อ 2 ท่อ โดยจัดให้ท่อหนึ่งสอดอยู่ข้างในอีกท่อหนึ่ง ของไหลที่ใช้เป็นพาความเย็น จะไหลอยู่ในท่อใน ส่วนสารความเย็นจะไหลสวนทางในท่อนอก แบบหนึ่งของท่อคู่แสดงในรูป ท่อนอกจะเชื่อมติดด้วย header ในแนวตั้ง ส่วนท่อในจะสอดทะลุ header แล้วงอมาเชื่อมกัน ซึ่งจะทำให้เกิดความแข็งแรง อันเป็นข้อดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

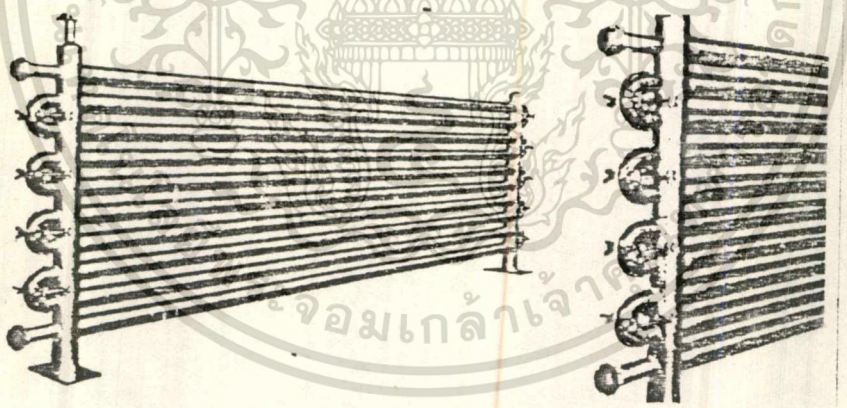
Type of Cooler	Usual Refrigerant Feed Device	Usual Range of Capacity kW	Commonly Used with Refrigerant Nos.
Flooded shell-and-bare-tube	Low pressure float	175-1750	717 (Ammonia)
Flooded shell-and-finned-tube	Low pressure float	175-35 000	11, 12, 22, 113
	High pressure float, fixed orifice(s), wier(s)		114, 500, 502
Spray-type shell-and-tube	Low pressure float	350-1750	
	High Pressure float		11, 12, 13 B1, 22, 113, 114
Direct expansion shell-and-tube	Thermal expansion valve	17.5-1250	12, 22, 500, 502, 717
Flooded Baudelot cooler	Low pressure float	35-350	717
Direct expansion Baudelot cooler	Thermal expansion valve	17.5-85	12, 22, 717
Flooded double-pipe cooler	Low pressure float	35-85	717
Direct expansion double-pipe cooler	Thermal expansion valve	17.5-85	12, 22, 717
Shell-and-coil cooler	Thermal expansion valve	7-35	12, 22, 717
Flooded tank-and-agitator	Low pressure float	175-700	717

<u>ตารางที่ 1</u> ตาราง liquid cooler จากตาต้าหนังสือ ASHRAE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

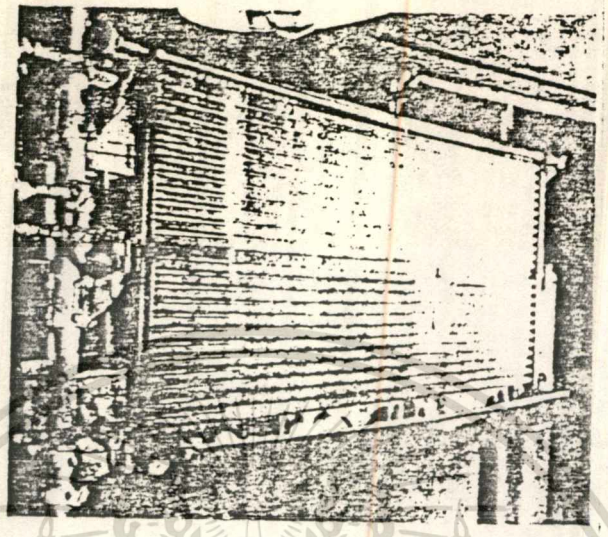
2. แบบ baudelot coolers

ดังแสดงในรูปที่ 6 ประกอบด้วยท่อในแนวนอนวางอนุกรมกัน โดยแต่ละอันจะวางอยู่ใต้กันและต่อเข้าด้วยกันเป็นวงจร โดยสารความเย็นจะไหลอยู่ภายในท่อ และของเหลวจะไหลภายนอกจากบนลงล่างโดยแรงโน้มถ่วง ไหลมาจากตัวจ่าย (distributor) ที่วางอยู่ด้านบน เนื่องจากของเหลวไหลภายนอก ดังนั้นการทำอุณหภูมิให้ใกล้จุดแข็งตัวจึงไม่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ต่างๆ และข้อดีของแบบนี้คือ วงจรของสารความเย็นแยกออกเป็นหลายทาง ซึ่งทำให้เกิดการเริ่มทำความเย็น (percooling) ของของเหลวที่ทำความเย็น



รูปที่ 6 อีแวปโพเรเตอร์แบบท่อคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

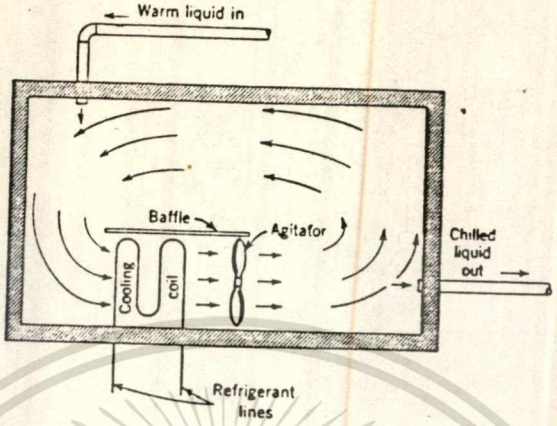


รูปที่ 7 อีแวปโพเรเตอร์แบบ baudelot

3. แบบถัง (tank-type coolers)

ประกอบด้วยท่อของสารความเย็นแบบเปลือย (bare-tube) ติดตั้งอยู่ตรงกลางที่ด้านหนึ่งของถังเหล็กขนาดใหญ่ที่บรรจุด้วยของเหลวพาความเย็น ถึงแม้ว่าคอล์ยจะจุ่มอยู่ในของเหลวนำความเย็น แต่ก็มีการติดตั้งกระบังเพื่อแยกออกจากตัวถังไว้ส่วนหนึ่ง ดังรูป 9 จะมีมอเตอร์หมุนขับเพื่อให้ของเหลวพาความเย็นไหลเวียนผ่านคอล์ยด้วยความเร็วค่อนข้างสูง ในรูป ก็เป็นคอล์ยแบบหนึ่ง เรียกว่า แบบ raceway-type ซึ่งประกอบจากท่อเปลือยรวมกันแบบถังนี้สามารถใช้งานได้กว้าง ซึ่งไม่ต้องคำนึงถึงด้านสุขลักษณะ และมักจะใช้น้ำเป็นตัวพาความเย็นหรือสารอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

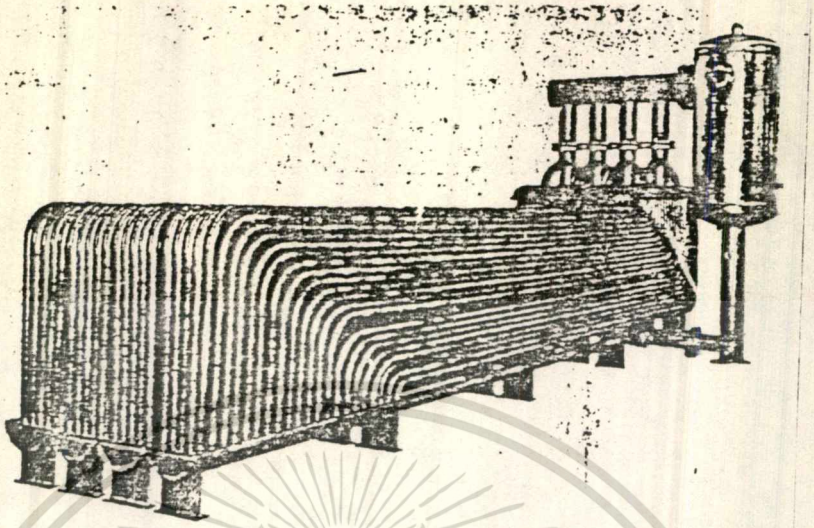


รูปที่ 8 การติดตั้งอีแวปโพเรเตอร์แบบถัง

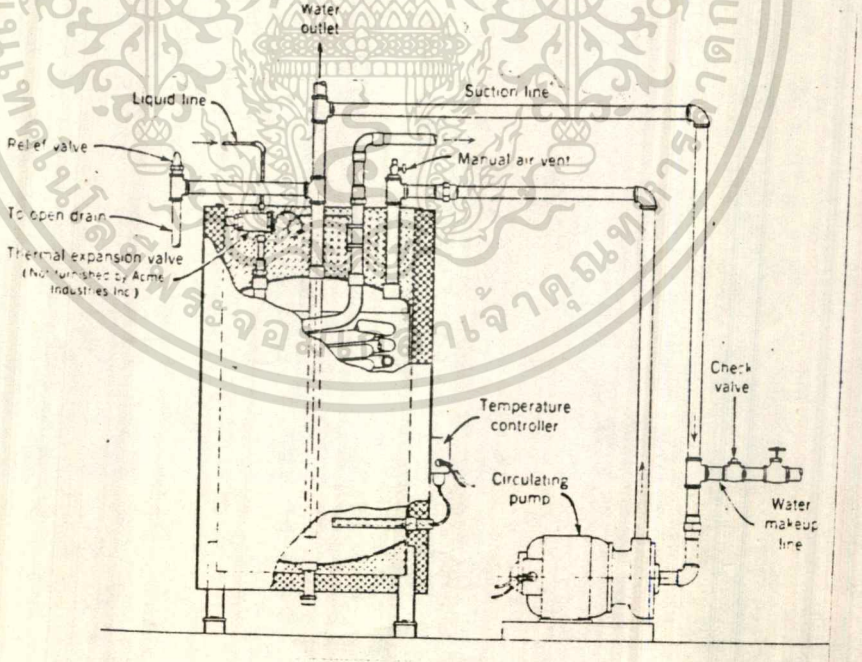
4. แบบเปลือกและคอล์ย (shell-and-coil coolers)

โดยปรกติมักจะใช้ท่อเปลือยมาขดเป็นวง อาจจะ 1 ชั้นหรือมากกว่า แล้วจะใช้แผ่นโลหะมาเชื่อมครอบอีกชั้นหนึ่ง ดังรูป การทำงานนั้น สารความเย็นจะไหลในท่อคอล์ยและสารพาความเย็นจะอยู่บริเวณนอกท่อ และอยู่ภายในถังที่ครอบคอล์ยอยู่ ซึ่งลักษณะนี้เรียกว่า "dryex-pansion" แต่ในบางครั้งจะกลับกันคือ สารพาความเย็นอยู่ในท่อ ส่วนสารทำความเย็นจะอยู่ที่เปลือก ซึ่งแบบนี้เรียกว่า "flooded" ซึ่งลักษณะนี้นำไปใช้ในการทำน้ำดื่มได้ แต่ข้อเสียของแบบ flood คือ ของเหลวพาความเย็นไม่สามารถไหลวนได้ จะต้องเป็นแบบไหลผ่าน แล้วพาความเย็นไปทันที บางครั้งเราจึงเรียกได้อีกแบบว่า "instan-taneous" นอกจากนี้อาจมีปัญหาเรื่องสารพาความเย็นเข็งตัวอยู่ในท่อได้ ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายแก่คอล์ยได้ ดังนั้นแบบ flooded นี้จึงใช้งานในอุณหภูมิต่ำๆ ได้ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 Flooded raceway coil



รูปที่ 10 อีแวปโอเรเตอร์แบบเปลือกและคอล์ย

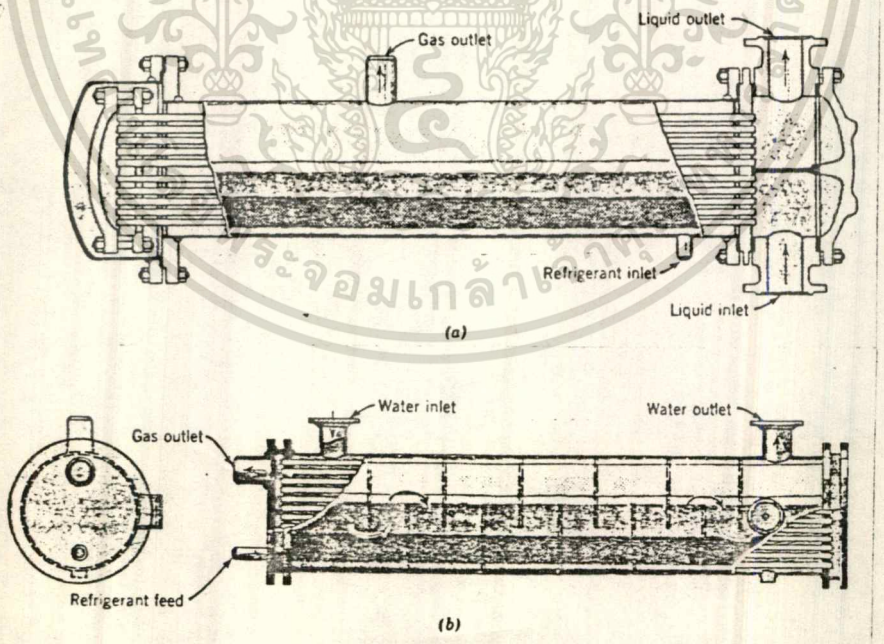
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แบบเปลือกและท่อ (shell-and-tube-chillers)

แบบนี้ค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพสูง บำรุงรักษาง่าย ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย และสามารถดัดแปลงใช้กับแบบอื่นๆ ได้เกือบทั้งหมด ด้วยเหตุนี้แบบเปลือกและท่อนี้จึงใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดถึงแม้ว่าการออกแบบจะแตกต่างกันบ้าง ขึ้นอยู่กับสารความเย็นที่ใช้ และใช้เป็นแบบ dry-expansion หรือเป็นแบบ flooded แบบเปลือกและท่อนี้ประกอบขึ้นด้วย เหล็กทรงกระบอกซึ่งทำเป็นเปลือกซึ่งทำเป็นเปลือก และข้างในเปลือกจะบรรจุด้วยท่อตรงขนานกันหลายๆ ท่อ และที่ปลายท่อเหล่านี้จะมีท่อตรงเชื่อมติดกันอีกทีหนึ่ง

ถ้าเราใช้แบบ dry-expansion สารทำความเย็นจะไหลในท่อ ดังรูป

ถ้าเราใช้ในแบบ flooded สารทำความเย็นก็จะเป็นตัวไหลในท่อ ดังรูป แต่ทั้ง 2 แบบ สารทำความเย็นจะมีการไหลเวียนโดยใช้ปั๊มช่วย ทรงกระบอกที่ทำเป็นเปลือกอาจจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 150 มม. ถึง 1.5 ม. และจำนวนท่อข้างในมีตั้งแต่ 2-3 ท่อ ไปจนกระทั่งมากกว่า 50 ท่อ และความยาวท่อตั้งแต่ 1.5 ถึง 6 ม.



รูปที่ 11 อีแวปโพเรเตอร์แบบเปลือกและท่อ (a) แบบ flooded

(b) แบบ dry expansion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 อุปกรณ์ทำความสะอาดน้ำยา (Drier Filter

ในระบบเครื่องเย็นโดยทั่วไป จะต้องรักษาน้ำยาภายในให้สะอาด และปราศจากความชื้นเท่าที่สามารถจะทำให้ วิธีที่จะรักษาให้ระบบสะอาด ทำได้โดยการต่อไดรเออร์ฟิลเตอร์เข้าไปในระบบโดยต่อตรงทางออกของคอนเดนเซอร์ ไดรเออร์ฟิลเตอร์ จะประกอบด้วยตะแกรงสำหรับกรองเศษผงและผงสำหรับดูดความชื้นบรรจุไว้ การเลือกขนาดของดรายเออร์ฟิลเตอร์ จะต้องคำนึงถึงปริมาตรของสารดูดความชื้นที่บรรจุให้สัมพันธ์กับขนาดของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ดังนี้

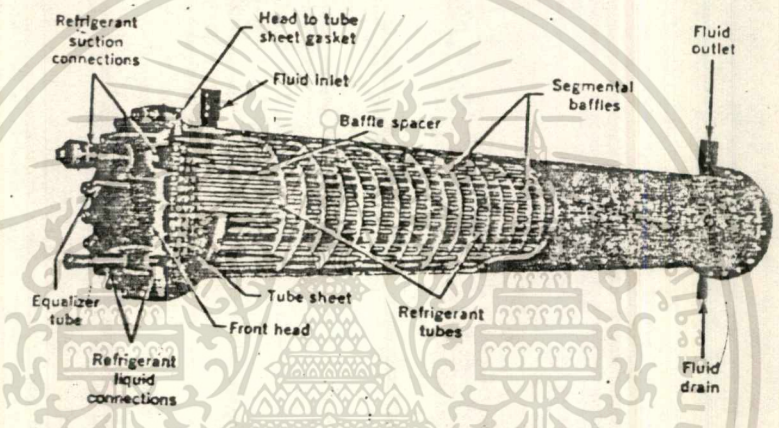
ไดเออร์ฟิลเตอร์ (ลูกบาศก์นิ้ว)	คอมเพรสเซอร์ (H.P)
2	1/8
3	1/6
6	1/4-1/2
9	1/2-3/4
12	3/4-1
18	1-1 1/2

<u>ตารางที่ 2</u> แสดงความสัมพันธ์ของไดเออร์ฟิลเตอร์ และคอมเพรสเซอร์

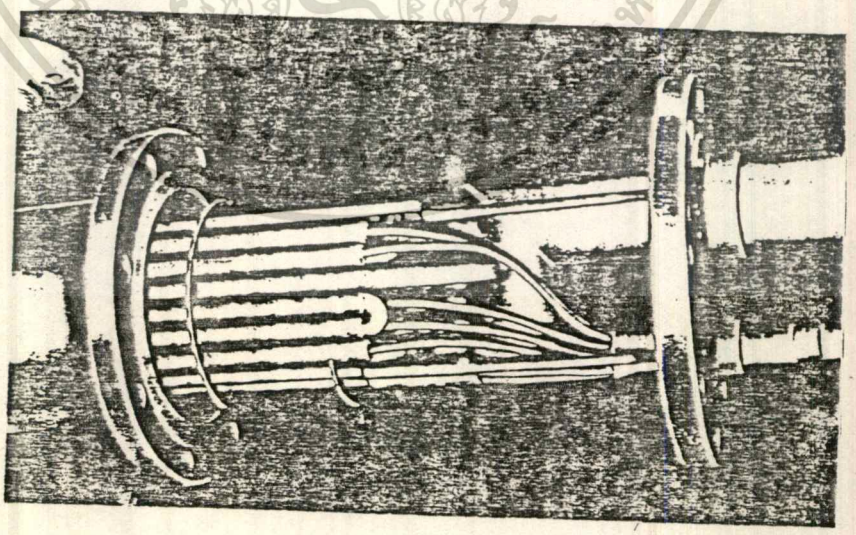
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 dry-expansion chillers

ข้อดีของแบบนี้เมื่อเทียบกับแบบ flooded คือ ใช้สารทำความเย็นน้อยกว่า และมั่นใจได้ในเรื่องน้ำมันย้อยเข้าเครื่องอัด นอกจากนี้ปัญหาเรื่องการแข็งตัวก็ไม่เป็นปัญหาใหญ่เพราะสารมาความเย็นไม่ได้ไหลในคอล์ยเหมือนแบบ flooded รอยละเอียดของโครงสร้างในหลาย ๆ แบบของ dry-expansion chillers และในรูป 12 และ 13



รูปที่ 12 รูปตัดขวางแสดงรายละเอียดโครงสร้างของ dry expansion chiller



รูปที่ 13 แสดงการจัดท่อและการกระจายสารความเย็นของ dry expansion chiller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อรักษาระดับความเร็วของของเหลวพาความเย็น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานสูงที่สุด และมีความดันลดน้อยลง ความเร็วของสารพาความเย็นจะถูกควบคุมโดยการแปรเปลี่ยนความยาวและช่องว่างของกระบังแบบเลี้ยง เมื่ออัตราการไหลหรือความหนืดของสารพาความเย็นสูง กระบังก็จะทำให้เกิดช่องกว้างและสั้น เพื่อลดความเร็วลง ดังรูป 15

รูปที่ 14 (a) แผ่นกั้นใน dry expansion chiller

(b) แผ่นปิดด้านหัวสารความเย็นสำหรับ dry expansion chiller

ส่วนจำนวนและความยาวของวงจรสารความเย็น เพื่อจะรักษาระดับความเร็วของสารความเย็นนั้น ต้องพิจารณาถึงภาระ และความสัมพันธ์ของความเร็วกับค่า METD ของ chiller ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้แปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องออกแบบตามลักษณะของการใช้งานแต่ละแบบไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$W_p n$ แสดงถึง พลังงานต่อหนึ่งหน่วยมวล เนื่องจากปั๊ม

W_p = พลังงานของปั๊มที่ใช้ปั๊มของไหลตามเงื่อนไขที่กำหนด J/kg

n = ประสิทธิภาพของปั๊ม

h_f แสดงถึง หัวสูญเสียน้ำรวม ซึ่งประกอบด้วย

1. หัวสูญเสียน้ำหลัก (major head loss, h_l) เป็นความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานภายในท่อ
2. หัวสูญเสียน้ำรอง (minor head loss, h_m) เป็นความสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านส่วนอื่น ๆ เช่น หัวต่อ, ลิ้น, ช่องทางเข้า-ออก

หัวสูญเสียน้ำหลักมีสูตรใช้คำนวณดังนี้

1. สมการดาร์บี-ไวล์บาช (Dorey-Weisback)

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

โดยที่ h_l = หัวสูญเสียน้ำหลัก จูลต่อนิวตัน (J/N)

f = ตัวประกอบความเสียดทาน หาได้จากแผนภาพโมดี้

L = ความยาวท่อ เมตร (m)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ เมตร (m)

V = ความเร็วเฉลี่ย เมตร (m)

2. สมการของฮาเซ็น-วิลเลียม (Hazen-Williamg)

$$V = 0.354CD^{0.63}S^{0.54}$$

โดยที่ V = ความเร็วเฉลี่ย m/s

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ m

S = หัวสูญเสียน้ำต่อหน่วยความยาว m/m, $\frac{h_l}{L}$

C = สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของท่อตังตารางที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของท่อ, C

ชนิดของท่อ	C
ท่อ PVC	140-150
ท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ (แบบเหล็ก)	140
ท่อคอนกรีตปั่น	135
ท่อเหล็กหล่อใหม่ ท่อเหล็กเรียบ ท่อคกนกรีต	130
ท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ (แบบไม้) ท่อไม้คาดท่อเหล็กเชื่อม	120
ท่อเหล็กหมุดย้ำ ท่อเหล็กหล่ออายุใช้งาน 10 ปี	110
ท่อเหล็กหล่อเก่า	100
ท่อเหล็กหล่อ อายุใช้งาน 20 ปี	90-100
ท่อเหล็กหล่อ อายุใช้งาน 30 ปี	75-90

3. สูตรของแมนนิ่ง (manning)

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \qquad \text{(ระบบหน่วย SI)}$$

$$V = \frac{1.49}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \qquad \text{(ระบบหน่วยอังกฤษ)}$$

โดยที่ V = ความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดการไหล

R_h = รัศมีไฮดรอลิก

S = ความลาดเชิงชลศาสตร์หรือน้ำสูยเสียต่อหน่วยความยาว $\frac{h_1}{L}$

n = สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของ Manning ดังตารางที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของแมนนิ่ง, n

ชนิดของท่อหรือช่องทางการไหล	n
ท่อเหล็กหล่อ ท่อเหล็กเหนียว	0.014
ท่อเหล็กเหนียวชุบสังกะสี ท่อคอนกรีต	0.017
ท่อเหล็กเหลืองเรียบ ท่อแก้ว	0.011
ท่อทองเหลืองเรียบ ท่อแก้ว	0.012
พื้นผิวคอนกรีต	0.016
พื้นเศษอิฐมอญหิน	0.033
พื้นคลอง คู	0.0225-0.045
ลำน้ำธรรมชาติ	0.035-0.125

หัวน้ำสูญเสียรอง การคำนวณหาหัวน้ำสูญเสียรองสามารถทำได้ในรูปสมการต่อไปนี้

$$h_{Lm} = K \frac{V^2}{2g}$$

โดยที่ K คือสัมประสิทธิ์การสูญเสีย หรือโดยการเทียบเป็นความยาวของท่อตรงที่ให้ค่าหัวน้ำสูญเสียที่เท่ากันเรียกว่า ความยาวสมมูล (equivalent length), Le

$$h_{Lm} = f \frac{Le}{D} \frac{V^2}{2g}$$

หัวน้ำที่สูญเสียรองของส่วนต่าง ๆ ที่ตังนี้

1. **ที่ทางเข้าและทางออกของอ่างเก็บน้ำ** ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียได้แสดงไว้ตัง ตารางที่ โดยทางออกจากท่อที่จมอยู่ใต้ผิวน้ำเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจะมีค่า k = 1 เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **พื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลง** แบ่งออกได้เป็น

ก. พื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นทันทีทันใด

ข. พื้นที่หน้าตัดการไหลลดลงทันทีทันใด

ค. พื้นที่หน้าตัดการไหลค่อย ๆ เพิ่มขึ้น (ข้อขยาย)

ง. พื้นที่หน้าตัดการไหลค่อย ๆ ลดลง (ข้อลด)

สำหรับพื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลงทันทีทันใดในทิศทางการไหล ค่า k จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพื้นที่ ดังแสดงไว้ในตารางที่

ตารางที่ 5 ค่า k สำหรับพื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลงทันทีทันใด

A_2/A_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
พื้นที่เพิ่มขึ้น	1.0	0.80	0.66	0.50	0.37	0.26	0.17	0.09	0.05	0.01	0.0
พื้นที่ลดลง	0.5	0.48	0.40	0.36	0.30	0.22	0.16	0.10	0.06	0.02	0.0

$h_{Lm} = KV_{1/2g}^2$ สำหรับพื้นที่เพิ่มขึ้น

$h_{Lm} = KV_{2/2g}^2$ สำหรับพื้นที่ลดลง

สำหรับพื้นที่หน้าตัดการไหลค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในทิศทางการไหล ค่า K จะขึ้นอยู่กับค่า pressure ecovery coefficient คือ $K = C_{p1} - C_p$, C_{p1} = ideal pressure recovery coefficient $= 1 - (A_1/A_2)^2$ C_p = actual pressure recovery coefficient หาได้จากกราฟในรูปที่ โดย $h_{Lm} = KV_1/2g^2$

สำหรับพื้นที่หน้าตัดการไหลค่อย ๆ ลดลงในทิศทางการไหล ค่า K จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนพื้นที่ (A_2/A_1) และมุมทรงกรวย (e) ดังตารางที่ โดย $h_{Lm} = KV_2^2/2g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. **ประตูน้ำและข้อต่อ** ค่า K และ Le/D สำหรับประตูน้ำและข้อต่อชนิดต่างๆ ที่ใช้โดยทั่วไปแสดงไว้ดังตารางที่

ตารางที่ 6 ค่า K และ Le/D สำหรับประตูน้ำและข้อต่อ

ชนิด	K	Le/D
ประตูน้ำ (เปิดเต็มที่)		
- แบบเกตวาล์ว (gate valve)	0.19	7
- แบบโกลบวาล์ว (glove valve)	10	350
- แบบมุม (angle valve)	5	175
- แบบสวิง (swing check valve)	2.5	135
- แบบลิฟต์ (life check valve)		
1. glove lift	10	350
2. angle lift	5	175
ข้องอมาตรฐาน		
- 90°	0.8	30
- 45°	0.42	15
ข้องอกลับ (close-return bend)	2.2	75
ข้อต่อสามทางมาตรฐาน		
- ไหลตรง	0.9	20
- ไหลแยก	1.8	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนวณได้ค่าหัวน้ำสูญเสียทั้งสองแล้ว จะได้หัวน้ำสูญเสียในหน่วยของ J/N ซึ่งจะทำให้เป็นหน่วย J/Kg ได้โดยการคูณด้วยค่า g = 9.81 เมตรต่อ(วินาที)^2

$$h_f = 9.81\ h_L$$

ในการคำนวณงานที่ใช้ในการปั๊มน้ำ คำนวณโดยการนำเอาอัตราการไหลโดยมวล คูณกับงานต่อหนึ่งหน่วยมวล (W_p) ที่คำนวณได้จากสมการ

งานที่ใช้สำหรับปั๊มน้ำ = $\dot{m} \times W_p$ วัตต์

ซึ่ง $\dot{m} = Q$

$\dot{m}$ = อัตราการไหลโดยมวล กิโลกรัมต่อวินาที

= ความหนาแน่นของของไหล กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Q = อัตราการไหลโดยปริมาตร ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

และในการหาค่าของกำลังมอเตอร์ปั๊มน้ำจะได้ว่า

กำลังมอเตอร์ (Hp) = $\frac{\text{งานที่ใช้ในการปั๊มน้ำ}}{746}$ กำลังม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

การทดลอง

วัตถุประสงค์ 1. เพื่อหาค่าของ half cooling time ที่อัตราการไหลต่อพื้นที่ต่างๆ

2. นำผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อออกแบบสร้างเครื่องลดอุณหภูมิผัก และผลไม้

อุปกรณ์ 1. เครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้

2. ตะกร้าสำหรับใส่ผักและผลไม้ ขนาด 24 x 26 x 17 เซนติเมตร

3. แตงกวา 70 กิโลกรัม

4. ชุดเทอร์โมคัปเปิล

5. กระบอกตวง

6. ชุดหัวฉีด 8 รู (12 หัวฉีด)

วิธีการทดลอง

1. ใส่น้ำลงในช่องทำน้ำเย็น สูงประมาณ 10 เซนติเมตร ของเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ แล้วเปิดสวิทช์เครื่องทำความเย็น รอจนอุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซนเซียส

2. นำตะกร้าเปล่า วางไว้ในช่องลดอุณหภูมิ แล้วเปิดสวิทช์ปั๊มน้ำ ปรับความสูงและตำแหน่งน้ำครอบคลุมพื้นที่ของตะกร้าพอดี ทำเครื่องหมายไว้

3. ใช้หัวโพรบของเทอร์โมคัปเปิล เสียบเข้าตรงกลางของแตงกวา จำนวน 3 ลูก วางตำแหน่งสุ่มไว้ด้านที่ล่างสุดของตะกร้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แตงกวาลงในตะกร้าจำนวน 7 กิโลกรัมและวัดพื้นที่ด้านบนซึ่งมีค่า = 24 x 26 ตารางบรรจุเซนติเมตร

5. นำเอาตะกร้าที่บรรจุแตงกวา พร้อมหัวเสียบเทอร์โมคับเปิลเรียบร้อยแล้วเข้าไปในช่องลดอุณหภูมิ วางลงในตำแหน่งที่ทำไว้จากข้อ 2

6. อ่านค่าอุณหภูมิน้ำเย็น และอุณหภูมิตั้งต้นของแตงกวาจากหน้าปัดของชุดเทอร์โมคับเปิล และบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 0 นาที

7. เปิดสวิทช์ปั๊มน้ำของเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ และบันทึกอุณหภูมิน้ำเย็นและอุณหภูมิแตงกวาทั้ง 3 จุด ทุกๆ 1 นาที บันทึกลงในตาราง

8. เมื่อเสร็จการทดลองครั้งแรก ย้อนกลับไปทำการทดลองใหม่ ตั้งแต่ข้อ 3-7 โดยเปลี่ยนอัตราการไหลจำนวน 3 ครั้ง และแต่ละอัตราการไหลทดลองจำนวน 3 ครั้ง

9. คำนวณหาอุณหภูมิแตงกวาเฉลี่ย ค่าของ temperature ratio และพล็อตกราฟลงในกระดาษกราฟเซมิ-ล็อกกาลิทึม แล้วคำนวณค่า half cooling time จากค่าของอัตราแช่เย็น (Cooling rate) และค่า J แฟกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณากราฟ จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ลดลง และอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นเส้นตรง ซึ่งถ้าเพิ่มอัตราการไหลต่อพื้นที่ให้มากขึ้นกว่านี้อีก จะทำนายได้ว่าจะทำให้เวลาลดลงอีก ซึ่งอัตราการไหลที่ใช้นี้เป็นค่าสูงซึ่งปั๊มสามารถทำงานได้แล้ว ดังนั้นในการออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ จะต้องใช้ปั๊มที่มีความสามารถปั๊มน้ำให้เพียงพอในการลดอุณหภูมิ

ในการทดลองซึ่งนำเอาผลพีท (ภายในบังมาตรฐาน 4 x 4 ตารางฟุต), (0.12 x 0.12 ตารางเมตร) ซึ่งที่อัตราการไหล 10 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต (6.790×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร) และอัตราการไหล 15 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต (10.185×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร) ที่ผลพีทมีความลึกไม่เกิน 1 ฟุต (0.03 เมตร) แล้วได้ค่าของ half cooling time ต่างกันน้อยมาก

ดังนั้น อัตราการไหลที่จะใช้ในการออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ เพื่อใช้ในการหาค่าของอัตราที่เหมาะสมที่จะได้ half cooling time ที่เหมาะสมจึงควรจะใช้อัตราการไหลที่ 10.185×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การคำนวณเพื่อการออกแบบ

5.1 การคำนวณพื้นที่สำหรับช่องลดอุณหภูมิ

สำหรับการออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้เพื่อการทดลองนี้ จะออกแบบให้สามารถนำเอาตะกร้ามาตรฐาน สำหรับใส่ผักผลไม้ กว้างxยาวxสูง ดังนี้ (0.380 x 0.465 x 0.285) เมตร สำหรับการนำผลผลิตใส่ตะกร้านี้ ผลผลิตที่ใช้จะมีขนาดที่ไม่ใหญ่มาก ซึ่งได้แก่ ส้ม แตงกวามะเขือเทศ ฯลฯ แต่ถ้าเป็นผลผลิตขนาดใหญ่ ได้แก่ แตงโม ในการทดลองก็อาจจะไม่ต้องใช้ตะกร้ามาตรฐานก็ได้ ดังนั้น ขนาด กว้าง x ลึก ของช่องลดอุณหภูมิ จะมีค่า =(0.465 x 0.380) ตารางเมตร แต่สำหรับการที่จะให้เกิดความสะดวก สำหรับการนำตะกร้าเข้าหรือออกจากช่องลดอุณหภูมินี้ จะมีการเพิ่มพื้นที่เข้าไปอีก ซึ่งจะกำหนดให้เป็น (0.620 x 0.500) ตารางเมตร

ดังนั้น พื้นที่สำหรับการใช้เพื่อการลดอุณหภูมิผลผลิตมีค่า = 0.620 x 0.500 ตารางเมตร

5.2 การคำนวณขนาดของเครื่องทำความเย็น

ขนาดของเครื่องทำความเย็นนี้จะคำนวณจาก สมการดังนี้

$$\text{ขนาดของเครื่องทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง)} = \frac{3,240\ (t_1 - t_2)}{E} \times P$$

ให้ t_1 = 35 องศาเซนเซียส ($^{\circ}C$)

t_2 = 5 องศาเซนเซียน ($^{\circ}C$)

E = 0.75 เนื่องจากเป็นระบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน P ซึ่งหน่วยเป็นตันต่อชั่วโมง สามารถหาได้ดังนี้

ปริมาตร 0.24 x 0.26 x 0.17 ลูกบาศ์กเมตร สามารถบรรจุแตงกวาได้ประมาณ 7 กิโลกรัม ดังนั้นปริมาตร 0.38 x 0.465 x 0.285 ลูกบาศ์กเมตร สามารถบรรจุแตงกวาได้ประมาณ 33.23 กิโลกรัม

เพิ่มปริมาณสำหรับผลผลิตที่มีความหนาแน่นรวมมากกว่าแตงกวาอีก 10 เปอร์เซ็นต์

น้ำหนักที่จะได้ = 36.55 กิโลกรัม

สำหรับเวลาในการลดอุณหภูมิจะใช้เวลาที่ 7/8 cooling time หรือ 3 เท่าของ half cooling time ดังนั้น จากข้อมูลการทดลอง ซึ่งค่าของ half cooling time ต่ำที่สุดมีค่า 9.71 นาที และยังสามารถที่จะลดค่า half cooling time ได้อีก เมื่อใช้อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นคาดว่า half cooling time อาจจะมีค่าประมาณ 5 นาที ดังนั้นสำหรับผลผลิต 36.55 กิโลกรัม ใช้เวลาประมาณ 15 นาที ในการลดอุณหภูมิ

$$P = 36.55 \times \frac{60}{15}$$

= 146.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

= 0.15 ตันต่อชั่วโมง

แทนค่าตัวเลขลงในสมการ

$$\text{ขนาดของเครื่องทำความเย็น} = \frac{3,240\ (33-7) \times 0.15}{0.75}$$

= 16,848 บีทียูต่อชั่วโมง

ทำให้เป็นตันของการทำความเย็น = 16,848/12,000

= 1.40 ตัน *

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การคำนวณจำนวนหัวฉีด และความสูงของช่องลดอุณหภูมิ

การคำนวณจะต้องอาศัยตัวแปรดังนี้

- ความสูงของตะกร้ามาตรฐาน
- ความสูงของหัวฉีดกับด้านบนสุดของตะกร้ามาตรฐาน

ความสูงของตะกร้ามาตรฐานมีค่า = 0.285 เมตร

ส่วนความสูงของหัวฉีดกับด้านบนของตะกร้าสามารถวิเคราะห์ได้จากสูตร

$$Y = 2 (h \cot \theta + r)$$

หัวฉีดที่ใช้

- มีปริมาณน้ำสูงสุด = 6.85 ลิตรต่อนาที (0.114×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
- มุมที่ทำกับแนวระดับของน้ำที่ฉีดออกมามีค่าประมาณ 70°
- ขนาดรัศมีหัวฉีด (r) = 1.4×10^{-2} เมตร

คิดค่าผิดพลาดเพิ่มขึ้นอีก 10 เปอร์เซ็นต์ = 0.547×1.1

= 0.601 เมตร

ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับผลิตผล = 0.601 เมตร *

5.4 ขนาดของที่สำรองน้ำเย็น (Water Recievor)

ในส่วนของที่สำหรับน้ำเย็นนี้ จะให้สามารถรับน้ำสูงสุดประมาณ 150 ลิตร (0.150 ลูกบาศก์เมตร) และส่วนของที่สำรองน้ำเย็นนี้ จะอยู่ใต้ช่องลดอุณหภูมิ โดยมีชั้นสำหรับวางผลผลิตและแผ่นสำหรับกรองสิ่งสกปรกตั้นอยู่ตรงกลาง ซึ่งขนาดกว้าง x ลึก = 0.620 x 0.500 ตารางเมตร ดังนั้นเนื่อที่จะให้สามารถรับน้ำเย็นจำนวน 200 ลิตร ดังนั้น ส่วนนี้จะสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H = \frac{0.150}{0.620 \times 0.500}$$

$$= 0.480 \quad \text{เมตร}$$

$$= 0.500 \quad \text{เมตร}$$

ดังนั้น ขนาดของที่สำรองน้ำเย็น มีด่ากว้าง x ลึก x สูง = 0.620 x 0.500 x 0.500 ลูกบาศ์กเมตร

5.5 การคำนวณระบบของท่อและปั๊ม

- ใช้ท่อ PVC ขนาด 3 นิ้ว ออกจากตัวปั๊ม
- ใช้ข้อต่อลดขนาดจาก 3 นิ้ว เป็น 3/4 นิ้ว ที่จุดต่อของหัวฉีด (หัวฉีดแบบนี้ใช้สำหรับต่อกับท่อเกลียวขนาด 3/4 นิ้ว จำนวน 30 ข้อต่อ
- ข้อต่อรูปตัวที ขนาด 3 นิ้ว จำนวน 35 ข้อต่อ
- ข้อต่อรูปตัวแอล ขนาด 3 นิ้ว จำนวน 2 ข้อต่อ

ความสูงที่น้ำจะถูกปั๊มมีด่า = 0.600 + 0.500 + 0.100 เมตร

= 1.200 เมตร

ความยาวของท่อทั้งระบบมีด่าประมาณ 4.300 เมตร

จากสมการดังนี้

$$P_1 + \frac{V_1^{-2}}{2} + gz_1 + W_p = P_2 + \frac{V_2^{-2}}{2} + gz_2 + hf$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_1 = 1 บรรยากาศ (1×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร)

V_1 = 0 เมตรต่อวินาที เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดกว้างมาก

z_1 = 0 เมตร

P_2 = 1 บรรยากาศ

V_2 = ไม่ทราบค่า

z_2 = 1.200 เมตร

hf = ไม่ทราบค่า

g = 9.81 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

= 0.7

สัมมติ = 1

หาค่า V_2 ที่ผ่านท่อขนาด 3 นิ้ว (7.62×10^{-2} เมตร)

จาก $Q = V \times A$

$$3.42 \times 10^{-3} = V \times \frac{\pi}{4} (7.62 \times 10^{-2})^2$$

V = 0.750 เมตรต่อวินาที

หาค่า hf

hf (หัวการสูญเสียรวมของการไหล) มี 2 ส่วน

คือ 1. หัวสูญเสียหลัก (h_L)

2. หัวสูญเสียของ (h_m)

คิดหัวสูญเสียหลัก

ใช้สมการดาร์ซี-ไวส์บาซ (Darey - Weisback)

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

เรย์โนลด์นัมเบอร์ $Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา จากตารางที่ มีค่า = 1.519×10^{-3} นิวตันต่อตารางเมตรวินาทีที่ 5 องศาเซนเซียส

$$Re = \frac{10^3 \times 0.150 \times 7.62 \times 10^{-2}}{1.519 \times 10^{-3}}$$

$$= 3.76 \times 10^4$$

จากแผนภาพโมดี้ ในรูปที่ จะได้ค่า f = 0.023 ที่ท่อผิวเรียบ

$$h_L = \frac{0.023 \times 4.300 \times (0.750)^2}{7.62 \times 10^{-2} \quad 2 \times 9.81}$$

= 0.037 จูลต่อนิวตัน

เนื่องจากเป็นระบบท่อสาขา หัวน้ำสูญเสียรองมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับหัวน้ำสูญเสียหลักจึงไม่นำมาคิด

$$hf = h_L \times 9.81$$

$$= 0.037 \times 9.81$$

= 0.365 นิวตันต่อกิโลกรัม

สมมติให้หัวฉีดมีแรงดันสูญเสีย 1 บรรยากาศ

ดังนั้น

$$h_f = 0.365 + P$$

$$= 0.365 + \frac{10^5}{10^3}$$

$$= 0.365 + 100$$

= 100.365 นิวตันต่อกิโลกรัม

แทนค่าลงในสมการ

$$P_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 + W_p = P_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + hf$$

$$\frac{10^5}{10^3} + \frac{1 \times 0^2}{2} + 9.81 \times 0 + W_p(0.7) = \frac{10^5}{10^3} + \frac{1 \times (0.750)^2}{2} + 9.81 \times 1.200 + 100.365$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W_p = 112.454 จูลต่อกิโลกรัม

อัตราการไหลโดยมวล ($\dot{m}$) = $\rho \times Q$

= $10^3 \times 3.42 \times 10^{-3}$

= 3.42 กิโลกรัมต่อวินาที

$\dot{m} \times W_p$ = 3.42 x 112.454

= 384.592 จูลต่อวินาที

คิดเป็นกำลังม้าได้ = $\frac{384.592}{746}$

= 0.52 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การออกแบบ

จากการสังเกตส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิผลไม้ต้นแบบ ซึ่งได้ข้อมูลดังนี้

1. พื้นที่ของช่องทำความเย็นมีขนาด กว้างxลึก = 0.90 x 0.90 ตารางเมตร
2. ความสูงของช่องลดอุณหภูมิ = 0.8 เมตร
3. ส่วนที่สำรองน้ำมีขนาดประมาณ = 0.90x0.90x0.250 เมตร
4. ใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด = 0.5 ตันของการทำความเย็น
5. ใช้ปั๊มขนาด = 0.4 กำลังม้า
6. ใช้อลูมิเนียมในการสร้างส่วนของตู้ทั้งภายนอกและภายใน
7. ช่องสำหรับปล่อยน้ำทิ้ง อยู่ตรงกลางของส่วนสำรองน้ำเย็น และไม่มีพื้นเอียงสำหรับให้น้ำไหลออกอย่างสะดวก
8. ใช้ฝักบัวในการสเปรย์น้ำใส่ผลผลิต
9. ขณะทำการทดลองเกิดน้ำแข็งเกาะบริเวณอีแวปโปเรเตอร์ แต่อุณหภูมิน้ำเย็นกลับสูงขึ้น
10. ในการทดลองอัตราการไหลสูงสุด โดยปริมาตรของน้ำวัดได้ประมาณ 19.2 ลิตรต่อนาที (3.20×10^{-4} ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)

เมื่อพิจารณาข้อมูลต่างๆ แล้วก็จะพบข้อบกพร่องของเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ต้นแบบ ดังนี้

1. พื้นที่ภายในของช่องทำความเย็นมีขนาดกว้าง แต่อัตราการไหลของน้ำต่อพื้นที่มีค่าน้อย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.395×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ใช้ ซึ่งอัตราการไหลมีค่าเท่ากับ 10.185×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร จะเห็นได้ว่าเครื่องต้นแบบ มีอัตราการไหลต่อพื้นที่น้อยมาก ดังนั้นความสามารถในการลดอุณหภูมิของผลผลิตจึงต่ำ ซึ่งเพียงพอที่จะลดอุณหภูมิของผลผลิต เพียงชั้นของผลผลิตบาง ๆ เท่านั้น ซึ่งในการลดอุณหภูมิในทางปฏิบัตินั้น จะนำผลผลิตใส่ลงในตะกร้า แล้วนำเข้าสู่ห้องลดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าของการทำความเย็นมีค่าต่ำ เนื่องจากการคำนวณค่าการทำความเย็นสำหรับเครื่องต้นแบบนั้น คำนวณจากภาระจากการดึงความร้อนจากน้ำให้มีอุณหภูมิลดลงตามที่กำหนดไว้แต่จากการต้นคว้า การคำนวณดังกล่าวจะต้องคำนวณจากความร้อนที่ต้องการดึงออกจากผลผลิต

3. ใช้ฝักบัวสำหรับรดน้ำลงบนผลผลิต ซึ่งน้ำที่ถูกฉีดออกจากฝักบัวจะมีลักษณะเป็นเส้นและมีการกระทบกับผิวของผลผลิตที่รุนแรงกว่าการใช้หัวสเปรย์ จะมีผลทำให้การทำความเย็นเป็นไปอย่างไม่ทั่วถึงและโอกาสที่ผิวของผลผลิตเสียหายจากแรงกระแทกมีมากกว่าการใช้หัวสเปรย์

4. เนื่องจากมีการใช้แผ่นอลูมิเนียมในการสร้างส่วนของตู้ จึงทำให้เกิดการกัดกร่อนในส่วนที่สัมผัสน้ำ

5. วาวล์ที่ใช้ในเครื่องต้นแบบนี้ ไม่ใช่วาวล์สำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำ เพียงแต่ทำหน้าที่เปิด-ปิด การไหลของน้ำเท่านั้น

6. การต่อท่อน้ำมีลักษณะดังรูปที่ 18 ซึ่งเมื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้มีค่าต่ำจะทำให้เกิดแรงดันย้อนกลับสูง ซึ่งเป็นอันตรายต่อปั๊มได้ ดังนั้นในการต่อท่อน้ำ และวาวล์จึงควรจะเป็นดังรูปที่ 19

7. ในการปล่อยน้ำทิ้งกระทำได้โดยยาก และเสียเวลาเนื่องจากจะต้องใช้น้ำหนักกดลงบนที่สำหรับปล่อยน้ำออกตลอดเวลา และน้ำที่ไหลออกเป็นไปอย่างเชื่องช้า

8. เกิดน้ำแข็งที่ผิวของอีแวปปอเรเตอร์ แต่อุณหภูมิของน้ำที่วัดได้มีค่ามากกว่า 0 องศาเซนเซียส เนื่องจากการกระจายความเย็นเป็นไปอย่างไม่ทั่วถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนอุปกรณ์ของเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น เป็นดังนี้

1. โครงสร้างของตู้

จะใช้แผ่นสแตนเลส สำหรับส่วนของภายในช่องอุณหภูมิและส่วนรองรับน้ำ เนื่องจากส่วนดังกล่าวสัมผัสกับน้ำตลอดเวลาที่มีการทำความเย็น และส่วนด้านนอกใช้แผ่นอลูมิเนียม ในการสร้าง และระหว่างชั้นของแผ่นโลหะทั้งสอง มีฉนวนกันความร้อนจากภายนอก ซึ่งจะใช้ Polystylene Foam ความหนาขนาด 2 นิ้ว อยู่ตรงกลาง เพื่อป้องกันหยดน้ำเกาะที่ผิวตู้

2. ชุดอุปกรณ์ทำความเย็น

จะใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 1.5 ตัน ติดตั้งอยู่ด้านล่างของตัวตู้ ซึ่งได้ทำเป็นโครงเหล็กสำหรับรองรับตัวตู้ไว้ ส่วนของอีแวปปอเรเตอร์ จะถูกขดอยู่ภายในตู้ดังรูปที่ 20 และมีแผ่นกระบังปิดอยู่ด้านบน อีแวปปอเรเตอร์ และมีปั๊มสำหรับดูดน้ำให้ผ่านอีแวปปอเรเตอร์อย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้น ดังรูปที่ 20

3. อุปกรณ์ปั๊มและท่อ

ใช้ปั๊มหอยโข่ง มีขนาด 0.75 กำลังม้า และสามารถส่งน้ำด้วยอัตราไม่น้อยกว่า 3.42×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (205.2 ลิตรต่อนาที) ต่อทางด้านล่างตัวตู้เพื่อทำหน้าที่ดูดน้ำเย็นขึ้นไปผ่านหัวสเปรย์ด้านบน ซึ่งจะใช้โกลบวาวล์ ในการควบคุมการไหลของน้ำ และใช้ท่อน้ำซึ่งเป็นท่อ PVC ขนาด 3 นิ้ว และจะใช้ข้อต่อลดใช้เหลือ 3/4 นิ้ว ที่หัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระบบหัวฉีด (Spray system)

หัวฉีดเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ฉีดน้ำให้ออกมามีลักษณะเป็นฝอย โดยที่น้ำที่ถูกฉีดออกมาเป็นฝอยนี้ จะช่วยให้อันตรายแก่ผลผลิตเนื่องจากการกระแทกของน้ำ ซึ่งกระทำผิวของผลผลิตให้เกิดขึ้นน้อยลง นอกจากนี้ยังจะทำให้การกระจายของน้ำที่ถูกฉีดออกมานั้นกระจายไปทั่วพื้นที่ผิวของผลิตผล ซึ่งระยะห่างของหัวฉีดแต่ละหัวฉีด และระยะระหว่างหัวฉีดถึงส่วนบนของผลิตผลนี้ จะมีผลต่อการที่น้ำจะกระจายไปอย่างทั่วถึง โดยการคลุมพื้นที่ทั้งหมดภายในลดอุณหภูมิ (Product Chamber) การหาความสัมพันธ์ของระยะระหว่างหัวฉีด และความสูงของน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดจากรูปที่

O = มุมของน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดออกมาทำมุมกับแนวระดับ

r = รัศมีของหัวฉีดจากจุดศูนย์กลางหัวฉีดถึงรูฉีดน้ำที่ขอบนอกสุด

R = เป็นระยะจากรูฉีดน้ำที่ขอบข้างนอกสุดของหัวฉีด ถึงระยะที่รัศมีของน้ำที่ถูกฉีดออกมาตัดกันที่จุด A ดังรูปที่ 16

5. ระบบวงจรไฟฟ้า

ที่แผงสวิทช์ควบคุมไฟฟ้า จะมี

1. สวิทช์สำหรับควบคุมการเปิด-ปิด ปั๊มน้ำ
2. สวิทช์สำหรับควบคุมการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์
3. Watt-hour-meter สำหรับวัดอัตราการใช้กระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h = เป็นความสูงระหว่างหัวฉีดและผิวด้านบนสุดของผลผลิต

และจากรูปที่ เป็นการวางตำแหน่งของหัวฉีดซึ่งทำให้ทราบว่าผลผลิตถูกน้ำโดยทั่วถึง

ซึ่งจะทำการสร้างสี่เหลี่ยมจัตุรัส แล้วลากเส้นทแยงมุม และให้ตำแหน่งของหัวฉีดอยู่ที่มุมของสี่เหลี่ยมจัตุรัสทั้งสี่ ให้ตัวแปร X/2 เป็นระยะครึ่งหนึ่งของเส้นทแยงมุม ซึ่งเป็นรัศมีของน้ำที่ถูกฉีดลงมาที่ไกลที่สุด ซึ่งทำให้ผลผลิตถูกน้ำโดยทั่วถึงกัน จากนั้นก็ใช้ตรีโกณมิติเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ออกมา ซึ่งสุดท้ายก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะระหว่างหัวฉีด และความสูงของน้ำที่ถูกพ่นออกมาจากหัวฉีด

พิจารณารูปที่ 16

$$\tan\theta = \frac{h}{R} \quad ; \quad \frac{X}{2} = R+r$$

$$\tan\theta = \frac{h}{(X/2-r)}$$

$$X/2-r = \frac{h}{\tan\theta}$$

$$X = \frac{2(h + r)}{\tan\theta}$$

และพิจารณารูปที่ 17

จาก $2Y^2 = X^2$

$$Y = \frac{2X}{2}$$

$$Y = \frac{2}{2}\,\frac{2(h + r)}{\tan\theta}$$

$$Y = 2\,(h\cot\theta + r)$$

ซึ่ง Y เป็นระยะห่างของหัวฉีดที่มากที่สุดที่ทำให้น้ำกระจายทั่วพื้นที่ผิวด้านบนของผลผลิตที่ความสูงหนึ่งๆ ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y < 2 (h \cot\theta + r)$$

โดยที่

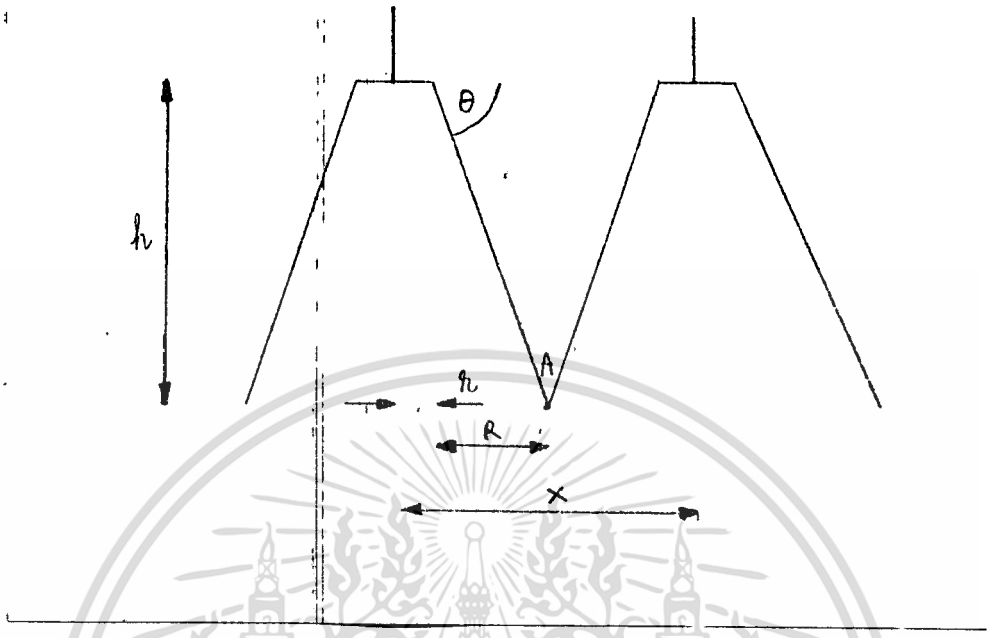
Y = เป็นระยะห่างระหว่างหัวฉีด

h = เป็นระยะระหว่างหัวฉีด และผิวด้านบนสุดของผลิตผล

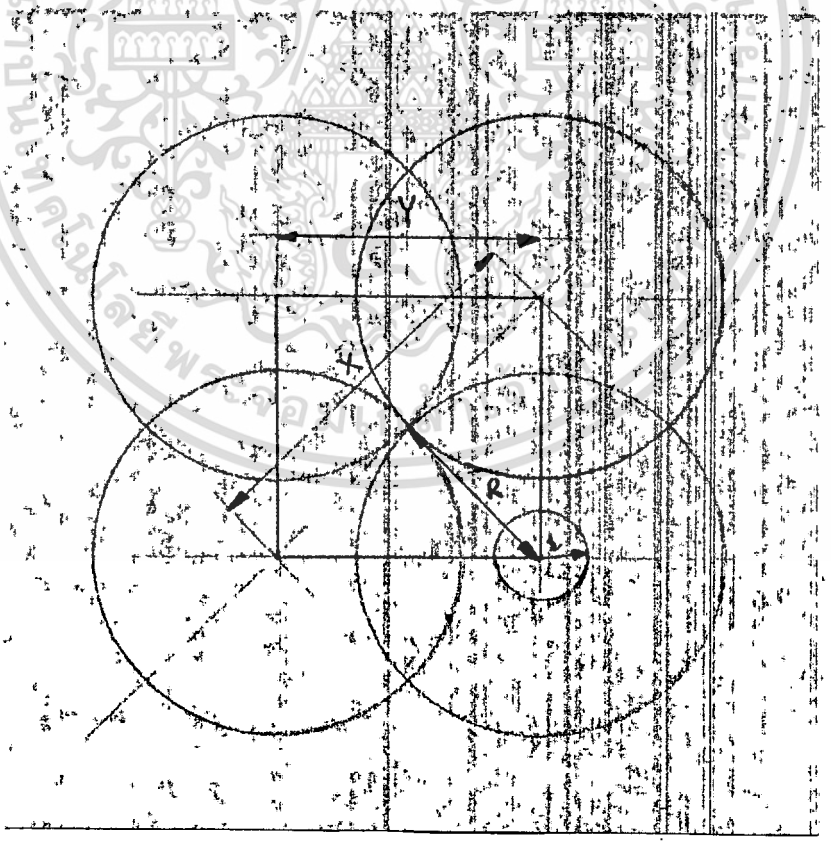
r = เป็นรัศมีของหัวฉีด

θ = เป็นมุมของน้ำที่ถูกฉีดออกมา ทำมุมกับแนวระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 แสดงภาพด้านข้างขณะสเปรย์



รูปที่ 17 แสดงภาพด้านบนขณะสเปรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ ดังนี้

ขนาดของช่องลดอุณหภูมิ กว้าง x ลึก x สูง (0.620 x 0.500 x 0.601) ลูกบาศก์เมตร

ขนาดของที่สำรองน้ำเย็น กว้าง x ลึก x สูง (0.620 x 0.500 x 0.500) ลูกบาศก์เมตร

ความสูงระหว่างช่องลดอุณหภูมิ และที่สำรองน้ำเย็นสำหรับแผ่นกรอง สูง 0.100 เมตร

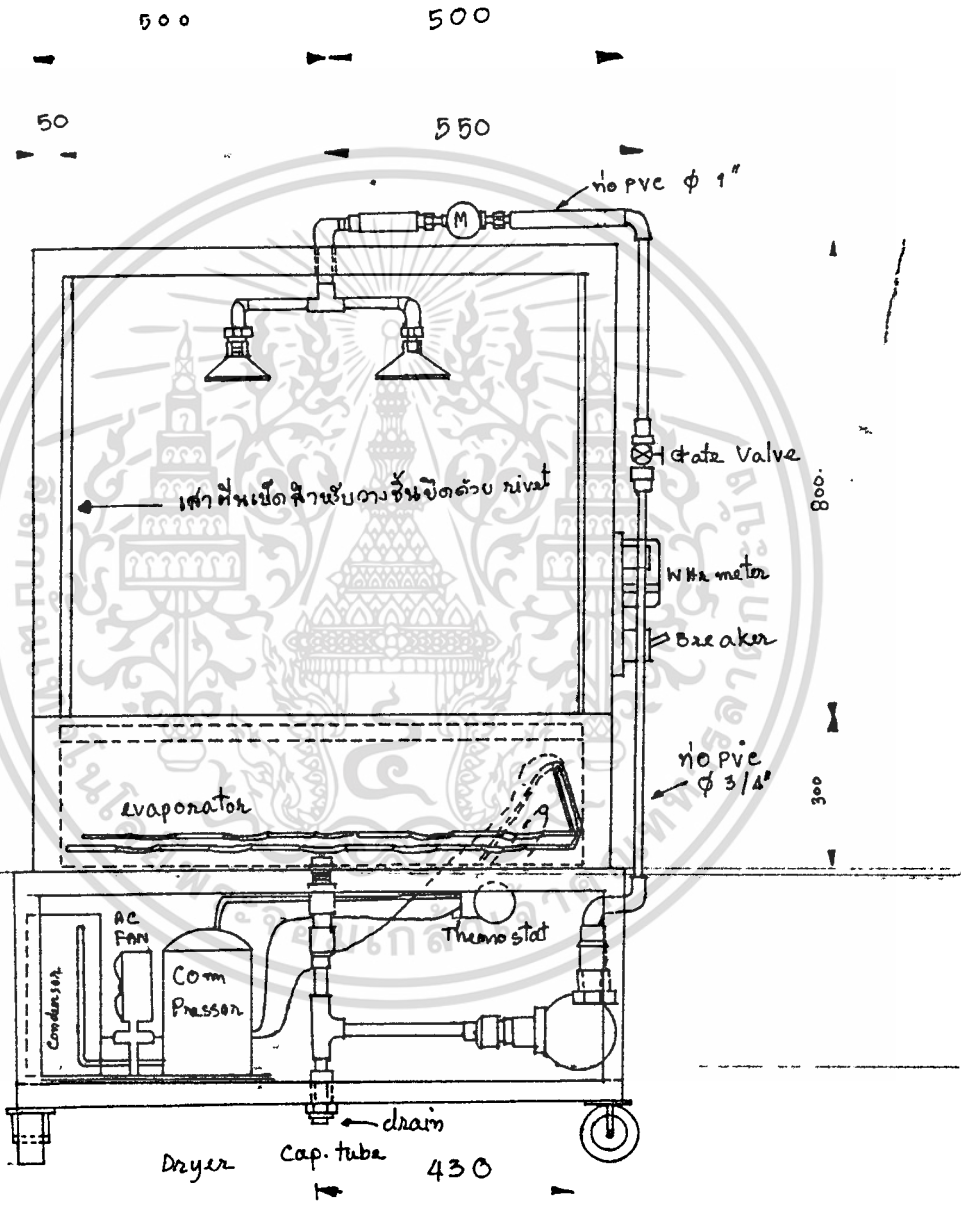
ใช้ปั๊มขนาด 0.75 กำลังม้า (จากการคำนวณได้ 0.52 แรงม้า ซึ่งในท้องตลาดหาปั๊มได้ขนาดดังกล่าว)

และให้มีอัตราการไหลไม่น้อยกว่า 205.2 ลิตรต่อนาที

หัวฉีด จำนวน 30 หัวฉีด

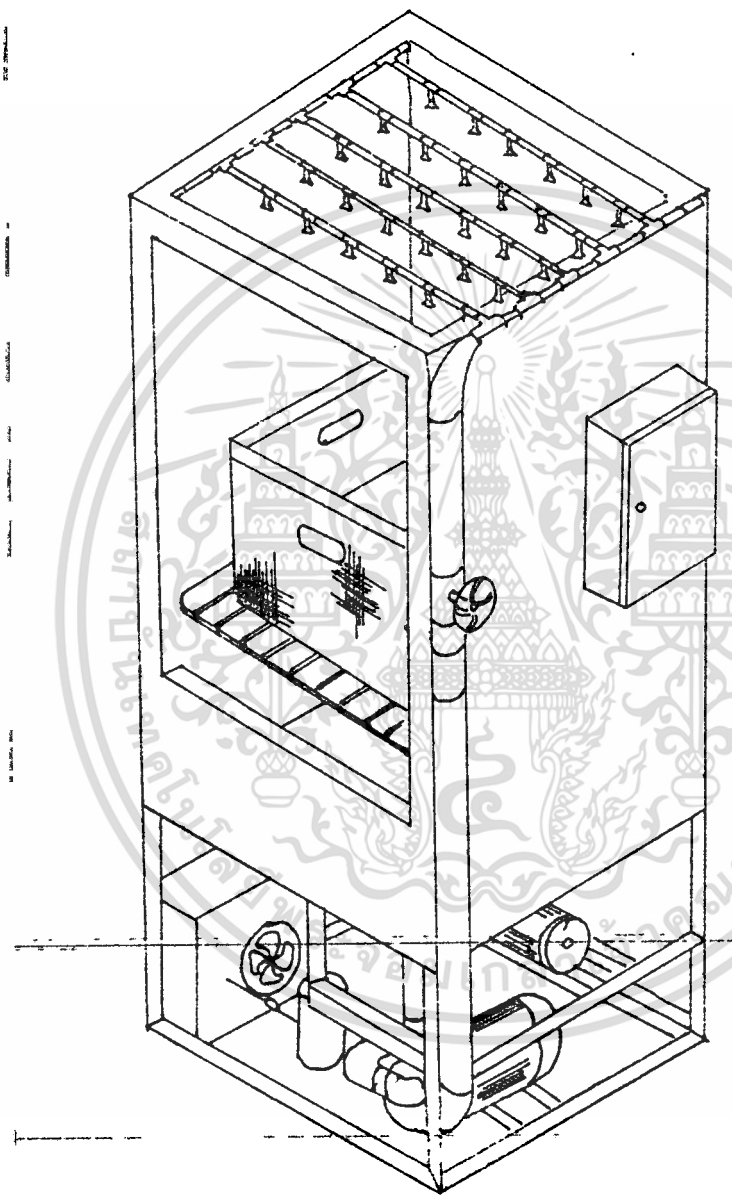
ใช้เครื่องทำความเย็นขนาด 1.5 ตัน (จากการคำนวณได้ 1.40 ตัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



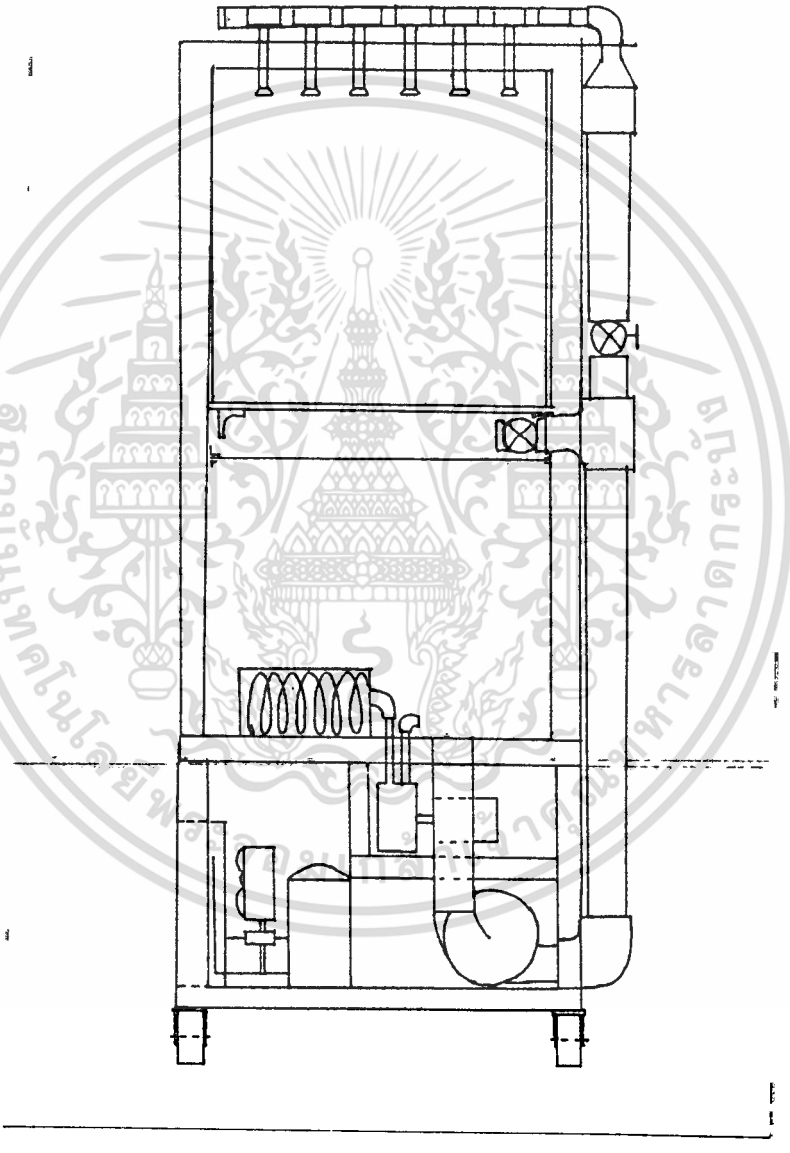
รูปที่ 18 ภาพตัดขวางของเครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



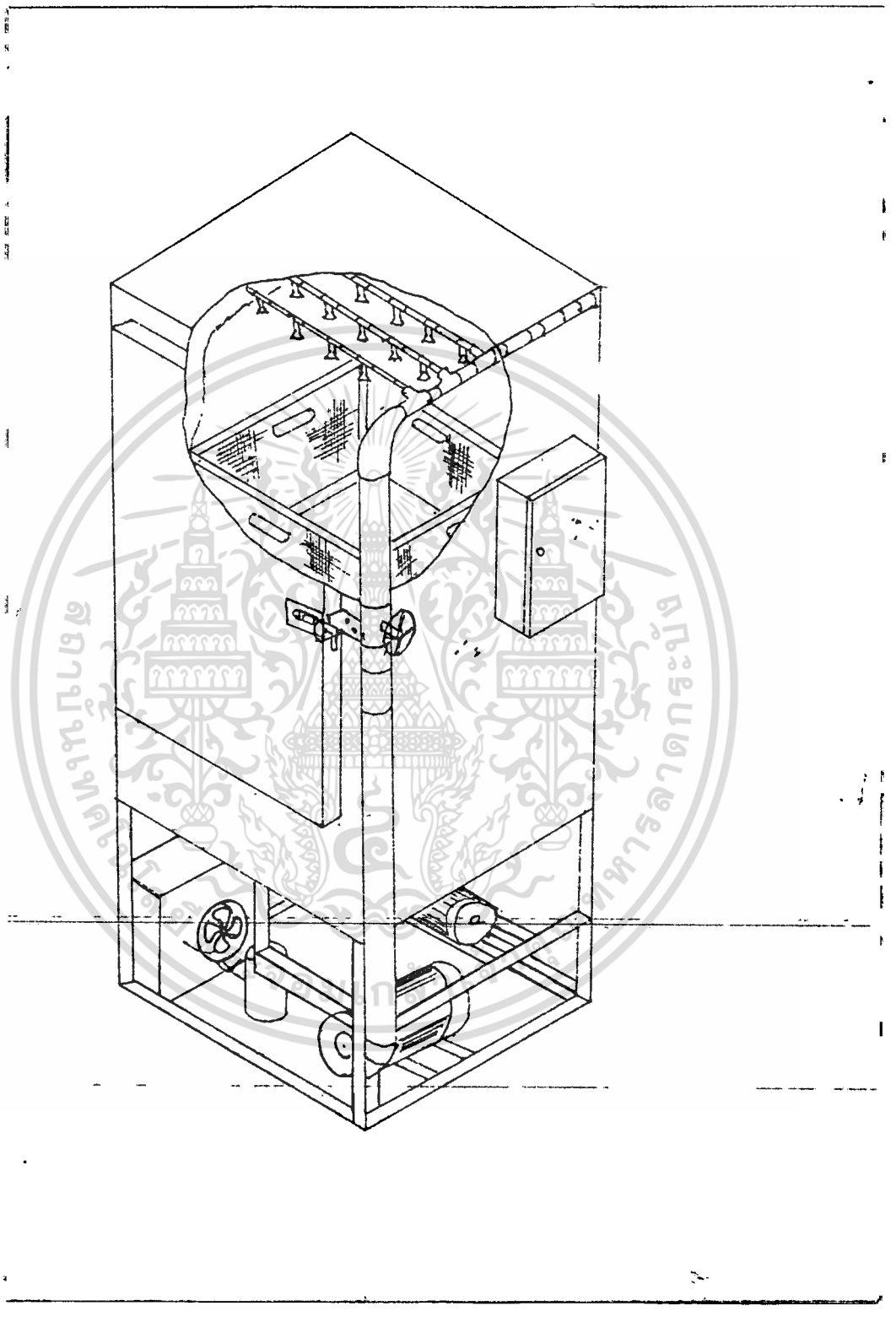
รูปที่ 19 ลักษณะของท่อไฮแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 ภาพตัดขวางของเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 21 เครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์

ข้อบกพร่องของเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็นต้นแบบ ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำมีน้อยเกินไป, ค่าของการทำความเย็นมีค่าต่ำไม่เพียงพอในการลดอุณหภูมิผลผลิตด้วยเวลาที่รวดเร็วได้, ใช้ฝักบัวสำหรับรดน้ำลงบนผลผลิตทำให้การกระจายน้ำไม่ทั่วถึง, ใช้แผ่นอลูมิเนียมในการสร้างส่วนของผู้ทำให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นภายหลัง, การปล่อยน้ำทิ้งไม่สะดวก, เกิดน้ำแข็งที่คอยล์เย็น แสดงว่าการกระจายความเย็นไม่ดี

ดังนั้นการออกแบบเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว ซึ่งได้ตัวเครื่องทำด้วยสแตนเลส 2 ชั้น เพื่อป้องกันการสึกกร่อน และมีฉนวนกันความร้อน (โฟล์-สไตนลีน) อยู่ระหว่างชั้น หนาประมาณ 5 เซนติเมตร ภายในตู้ซึ่งเป็นส่วนของช่องลดอุณหภูมิและที่สำรองน้ำเย็น มีขนาด 0.620 x 0.500 x 1.200 ลูกบาศก์เมตร ใช้ระบบฉีดน้ำผ่านหัวฉีดให้เป็นฝอย เพื่อลดอุณหภูมิผลผลิต โดยใช้ปั๊มขนาด 0.75 แรงม้า และปั๊มน้ำได้อย่างน้อย 205.2 ลิตรต่อนาที ทำให้มีอัตราการไหลของน้ำต่อพื้นที่ 10.185×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ใช้เครื่องทำความเย็นขนาด 1.5 ตัน ทำความเย็นน้ำภายในที่สำรองน้ำเย็น โดยมีปั๊มอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่ดูดน้ำให้ไหลผ่านคอยล์เย็นอย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและคอยล์เย็น เครื่องนี้สามารถบรรจุตะกร้าขนาด 0.380 x 0.465 x 0.285 ลูกบาศก์เมตร ได้ 1 ตะกร้า สามารถบรรจุแตงกวาประมาณ 35 กิโลกรัม นอกจากนี้ยังสามารถทำการทดลองผลผลิตอื่น ๆ เพื่อหา half cooling time ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากผู้จัดทำไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบการกรองน้ำอย่างละเอียด ผู้ที่นำข้อมูลไปใช้จึงควรศึกษาข้อมูลของเกี่ยวกับการกรองเพิ่มเติม เพื่อความสะอาดของน้ำ

2. ผลิตผลบางชนิดไม่สามารถลดอุณหภูมิด้วยการใช้น้ำเย็นได้ เช่น เกิดการเน่าเสียเมื่อถูกน้ำ ดังนั้นอาจใช้สารสำหรับยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์เข้าช่วย เช่น ยากันรา, คลอรีน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ก.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหล 2.778×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
0	34	33	35	34.000	6	1
1	33	33	34	33.667	6	0.975
2	32	32	33	32.333	6	0.938
3	30	31	32	31.000	6	0.889
4	29	32	32	31.000	6	0.889
5	28	31	31	30.000	6	0.853
6	26	30	30	23.667	7	0.803
7	25	28	29	27.333	8	0.754
8	23	28	29	26.667	7	0.729
9	22	27	27	25.333	7	0.680
10	21	25	25	23.667	7	0.619
11	20	21	25	23.000	8	0.595
12	19	23	24	22.000	8	0.557
13	18	22	23	21.000	8	0.521
14	18	22	23	21.000	7	0.521
15	17	21	22	20.000	7	0.410
16	15	20	20	18.333	7	0.422
17	14	18	19	17.000	7	0.373
18	15	18	19	17.333	7	0.386
19	13	17	18	16.000	7	0.336
20	13	16	17	15.333	7	0.312
21	13	15	16	14.667	7	0.287
22	12	15	16	14.333	7	0.275

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 2.778×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
23	12	14	15	13.667	7	0.250
24	11	13	14	12.667	7	0.214
25	11	13	14	12.667	7	0.214
26	11	13	14	12.667	6	0.214
27	11	12	13	12.000	7	0.189
28	10	12	13	11.667	7	0.177
29	11	12	13	12.000	7	0.189

จากกราฟ CR = 0.069

j = 1.21

half cooling time = 12.81 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 2.778×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
0	33	33	33	33.000	5	1
1	33	33	32	32.667	6	0.937
2	33	33	31	32.333	5	0.974
3	32	32	30	31.333	6	0.935
4	31	31	28	30.000	6	0.884
5	30	31	26	29.000	6	0.845
6	29	30	25	28.000	6	0.807
7	28	28	22	26.000	6	0.730
8	27	28	21	25.333	7	0.704
9	26	27	20	24.333	7	0.665
10	25	26	19	23.333	7	0.627
11	25	25	18	22.667	7	0.601
12	23	24	17	21.333	7	0.549
13	23	23	16	20.667	7	0.524
14	21	22	15	19.333	7	0.472
15	21	22	15	19.333	7	0.472
16	21	21	14	18.667	7	0.446
17	20	20	14	18.000	7	0.420
18	19	20	13	17.000	7	0.382
19	18	19	13	16.667	7	0.369
20	18	18	13	16.333	6	0.356
21	17	18	12	15.667	7	0.330
22	16	17	11	14.667	6	0.292
23	16	17	11	14.667	7	0.292
24	16	16	11	14.333	6	0.279
25	14	15	10	13.000	7	0.227

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 2.778×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
26	14	15	10	13.000	6	0.227
27	14	15	10	13.000	7	0.227
28	14	14	10	12.667	7	0.214

จากกราฟ CR = 0.059

j = 1.14

half cooling time = 13.97 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 2.778×10^{-5} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
0	34	34	34	34.000	8	1
1	33	33	33	33.000	7	0.962
2	33	33	32	32.667	6	0.949
3	32	31	31	31.333	7	0.899
4	31	30	30	30.333	7	0.861
5	29	29	29	29.000	7	0.810
6	27	28	27	27.333	6	0.747
7	26	26	26	26.000	7	0.696
8	24	25	25	24.667	7	0.646
9	23	24	23	23.333	7	0.595
10	22	23	22	22.333	8	0.557
11	21	22	21	21.333	8	0.519
12	20	22	21	21.000	7	0.507
13	19	21	20	20.000	7	0.469
14	18	21	19	19.333	8	0.443
15	17	20	19	18.667	7	0.418
16	17	19	18	18.000	9	0.393
17	16	18	18	17.333	8	0.367
18	16	18	17	17.000	8	0.355
19	15	17	17	16.333	9	0.329
20	14	17	17	16.000	9	0.317
21	14	17	16	15.667	8	0.304
22	13	17	16	15.333	9	0.291
23	12	16	15	14.333	8	0.253
24	12	15	14	13.667	8	0.228
25	12	15	15	14.000	8	0.241

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 2.778×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 3 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
26	12	17	13	14.000	8	0.241
27	12	14	13	13.000	8	0.203

จากกราฟ CR = 0.061

j = 1.06

half cooling time = 12.31 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 4.327×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
0	33	32	32	32.333	6	1
1	31	31	31	31	6	0.947
2	30	30	30	30	7	0.907
3	28	29	29	28.667	7	0.854
4	27	27	28	27.33	7	0.801
5	24	25	26	25	6	0.708
6	23	24	25	24	7	0.669
7	21	22	24	22.33	7	0.602
8	20	21	23	21.333	7	0.563
9	19	21	22	20.667	6	0.537
10	18	20	20	19.333	8	0.483
11	17	19	19	18.333	8	0.444
12	16	18	19	17.667	7	0.417
13	15	17	18	16.667	8	0.378
14	15	17	17	16.333	9	0.364
15	15	16	17	16	8	0.352
16	14	15	16	15	8	0.312
17	14	15	15	14.667	8	0.298
18	14	15	15	14.667	7	0.298
19	13	14	15	14	7	0.272
20	13	14	14	13.667	7	0.259

จากกราฟ CR = 0.078

j = 1.05

half cooling time = 9.51 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 4.327×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
0	35	34	34	34.333	7	1
1	34	34	33	33.667	7	0.976
2	34	33	33	33.333	7	0.963
3	32	33	32	32.333	7	0.926
4	31	33	31	31.667	8	0.902
5	29	32	30	30.333	8	0.853
6	28	32	29	29.667	7	0.823
7	25	30	26	27.000	7	0.732
8	25	29	26	26.667	7	0.718
9	22	28	25	25.000	7	0.657
10	21	28	24	24.333	8	0.632
11	19	26	22	22.333	7	0.559
12	18	25	20	21.000	7	0.510
13	17	24	19	20.000	6	0.473
14	19	23	18	20.000	7	0.473
15	15	22	17	18.000	7	0.399
16	14	21	17	17.333	7	0.375
17	14	20	16	16.667	7	0.350
18	14	19	15	16.000	7	0.326
19	13	19	15	15.667	6	0.314
20	12	18	14	14.667	7	0.285
21	12	18	13	14.333	7	0.265
22	12	17	13	14.000	6	0.253
23	12	17	13	14.000	7	0.253
24	11	17	13	14.000	7	0.241

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 4.327×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
25	11	15	12	12.667	7	0.204
26	11	15	12	12.667	7	0.204

จากกราฟ CR = 0.087

j = 1.24

half cooling time = 10.44 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 4.327×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
0	35	34	34	34.333	7	1
1	34	33	33	33.667	7	0.976
2	33	34	33	33.333	7	0.963
3	32	34	32	32.667	6	0.939
4	30	33	31	31.333	7	0.891
5	28	32	30	30.000	6	0.842
6	27	31	28	28.667	7	0.793
7	25	30	36	27.000	7	0.732
8	23	29	25	25.667	7	0.684
9	21	28	24	24.333	7	0.636
10	21	28	24	24.333	7	0.636
11	19	26	22	22.333	7	0.563
12	18	29	20	21.000	7	0.514
13	17	24	29	20.000	7	0.478
14	16	23	19	19.333	7	0.453
15	16	23	18	19.000	7	0.441
16	15	22	17	18.000	7	0.405
17	14	21	16	17.000	7	0.368
18	14	20	16	16.667	7	0.356
19	13	19	15	15.667	6	0.320
20	13	19	15	15.667	7	0.314
21	12	18	14	14.667	6	0.283
22	12	18	14	14.667	7	0.283
23	12	17	13	14.000	7	0.259
24	12	17	13	14.000	7	0.259
25	11	16	12	13.000	8	0.247

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 4.327×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 3 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
26	11	16	12	13.000	7	0.247
27	11	15	12	12.667	7	0.210

จากกราฟ CR = 0.064

j = 1.12

half cooling time = 12.6 นาที

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 5.128×10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
0	34	33	32	33	7	1
1	34	32	32	32.667	7	0.987
2	33	32	31	32	7	0.962
3	33	31	31	31.667	6	0.949
4	32	30	30	30.667	7	0.911
5	31	28	29	29.333	7	0.859
6	29	27	27	27.667	7	0.796
7	27	25	25	25.667	7	0.719
8	26	23	24	24.333	7	0.668
9	24	22	22	22.667	6	0.604
10	23	20	21	21.333	7	0.553
11	21	19	19	19.667	7	0.489
12	19	17	17	17.667	7	0.412
13	18	17	17	17.333	7	0.399
14	17	16	16	16.333	7	0.361
15	16	15	15	15.333	7	0.323
16	16	15	14	15	7	0.310
17	15	14	13	14	7	0.272
18	14	13	13	13.33	7	0.246
19	13	12	12	12.33	7	0.208
20	13	12	12	12.33	6	0.208
21	13	11	11	11.667	7	0.182
22	12	11	11	11.33	7	0.170

จากกราฟ CR = 0.095

j = 1.31

half cooling time = 10.14 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 5.128 x 10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
0	34	34	33	33.667	7	1
1	33	33	32	32.667	6	0.963
2	32	32	30	31.333	7	0.913
3	32	31	29	30.667	7	0.888
4	30	29	27	28.667	7	0.813
5	28	27	25	26.667	7	0.739
6	26	25	23	24.667	7	0.664
7	24	23	21	22.667	7	0.590
8	23	21	19	21.000	7	0.527
9	21	19	17	19.000	7	0.453
10	20	18	16	18.000	7	0.416
11	18	16	15	16.333	7	0.353
12	17	16	14	15.667	7	0.329
13	16	15	13	14.667	7	0.291
14	15	14	13	14.000	7	0.266
15	14	13	12	13.000	7	0.229
16	14	13	12	13.000	7	0.229
17	14	13	12	13.000	7	0.229
18	13	12	11	12.000	7	0.192
19	12	11	11	11.333	6	0.167

จากกราฟ CR = 0.103

j = 1.18

half cooling time = 8.34 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 5.128 x 10^{-3} ลูกบาศ์กเมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	Temperature Ratio
	1	2	3			
0	34	33	32	33.000	7	1
1	33	32	32	32.667	7	0.972
2	33	31	31	31.667	6	0.944
3	32	30	30	30.667	7	0.902
4	31	29	29	29.667	7	0.860
5	30	28	28	28.667	8	0.818
6	28	26	26	26.667	7	0.734
7	26	24	24	24.667	7	0.650
8	25	23	23	23.667	7	0.608
9	24	21	22	22.333	7	0.552
10	22	20	20	20.667	7	0.482
11	20	19	19	19.333	8	0.426
12	19	18	18	18.333	8	0.384
13	19	17	17	17.667	7	0.356
14	18	16	16	16.667	7	0.314
15	17	16	16	16.333	7	0.300
16	16	15	15	15.333	7	0.258
17	15	14	14	14.667	7	0.230
18	14	13	13	13.333	7	0.202
19	14	13	12	13.000	7	0.160
20	13	12	12	12.333	7	0.132
21	13	12	12	12.333	7	0.132
22	12	11	11	11.333	7	0.090

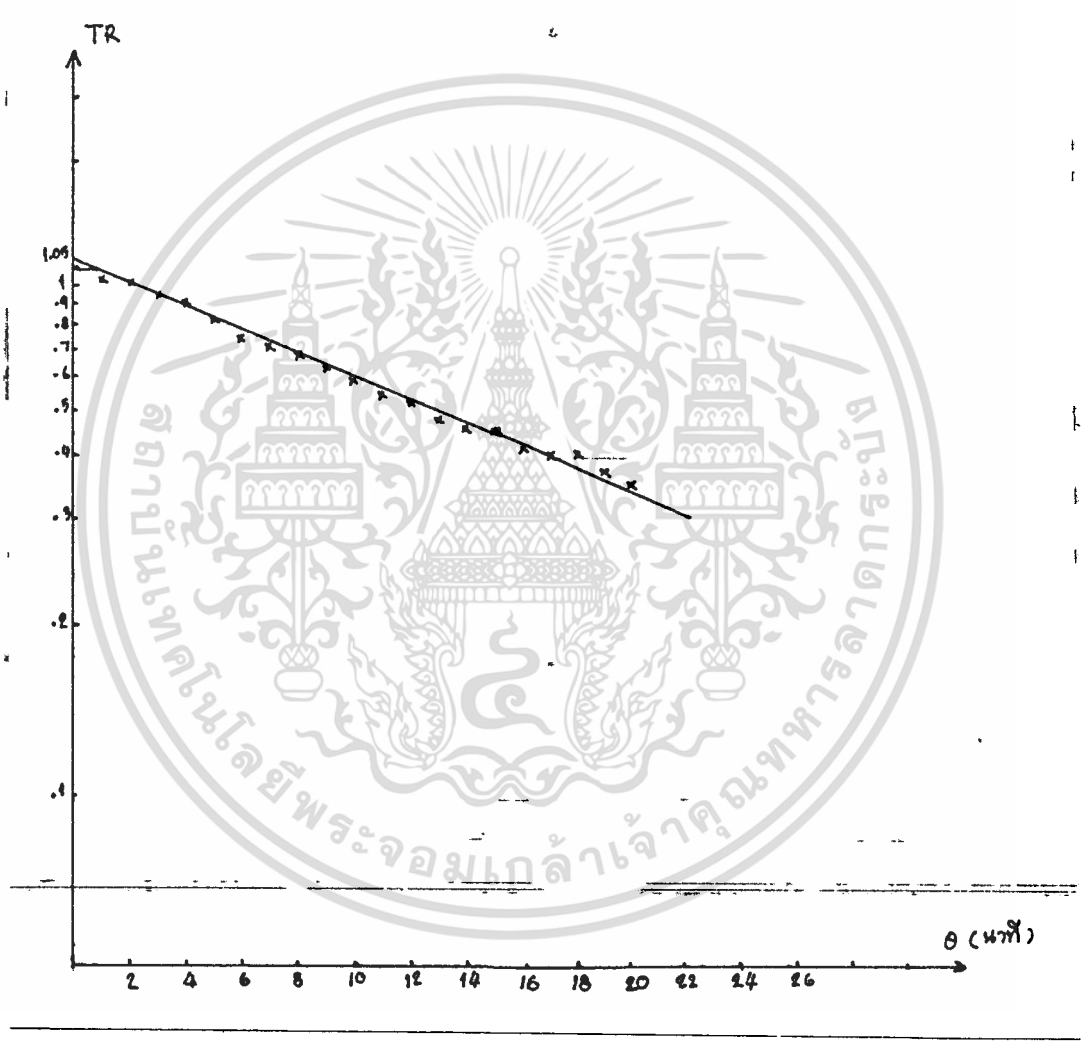
จากกราฟ CR = 0.100

j = 1.45

half cooling time = นาที

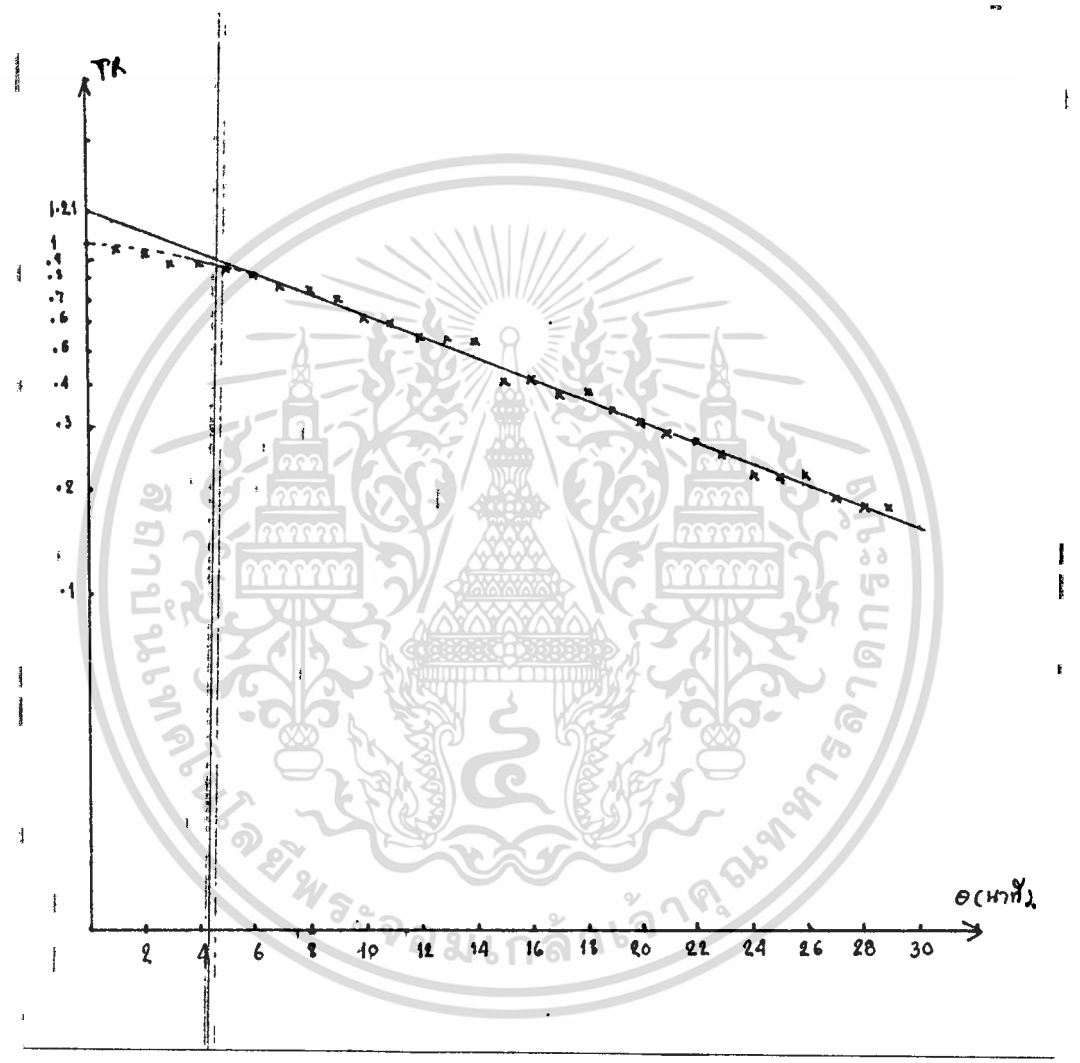
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวก ข.



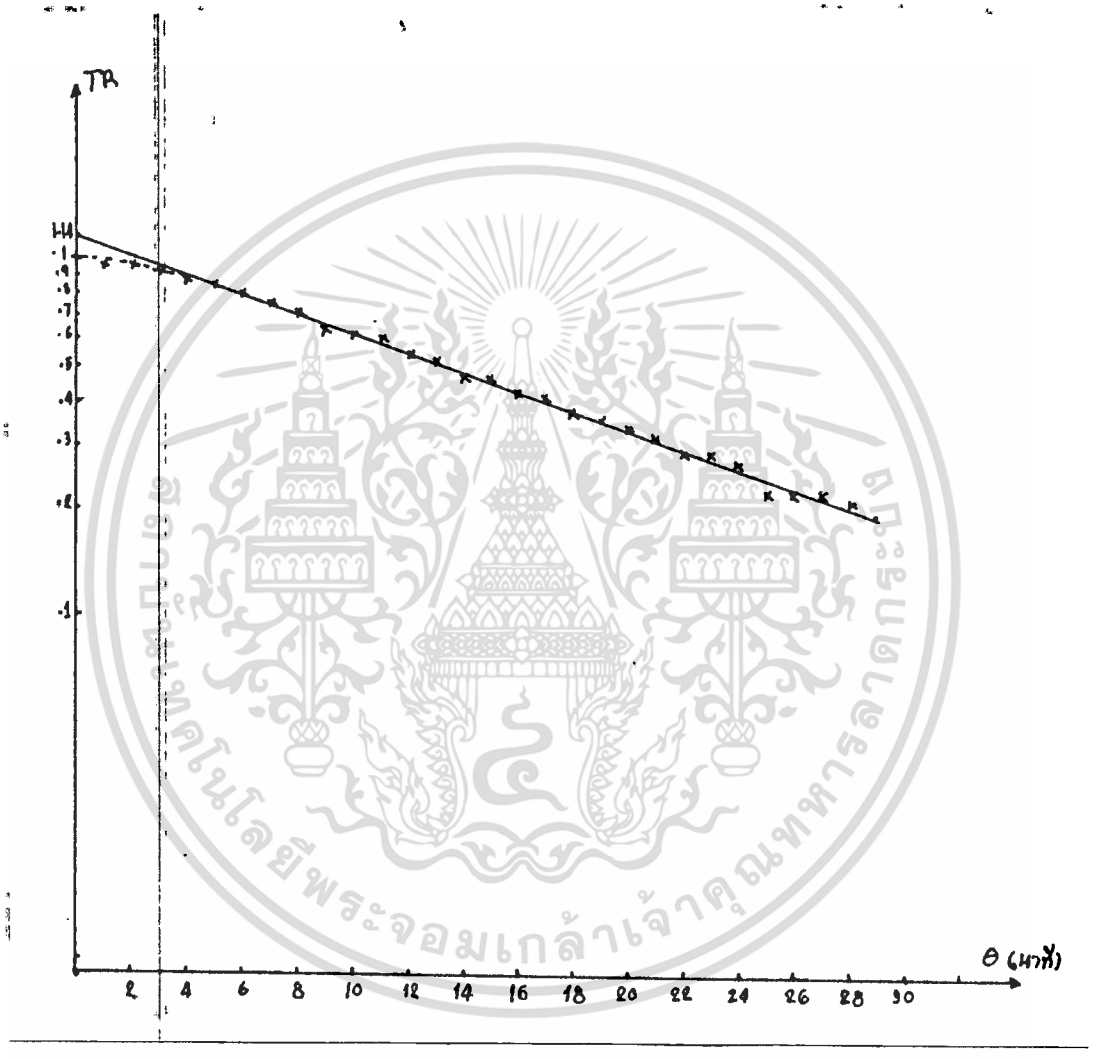
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ temperature ratio และเวลาที่อัตราการไหล 2.778×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



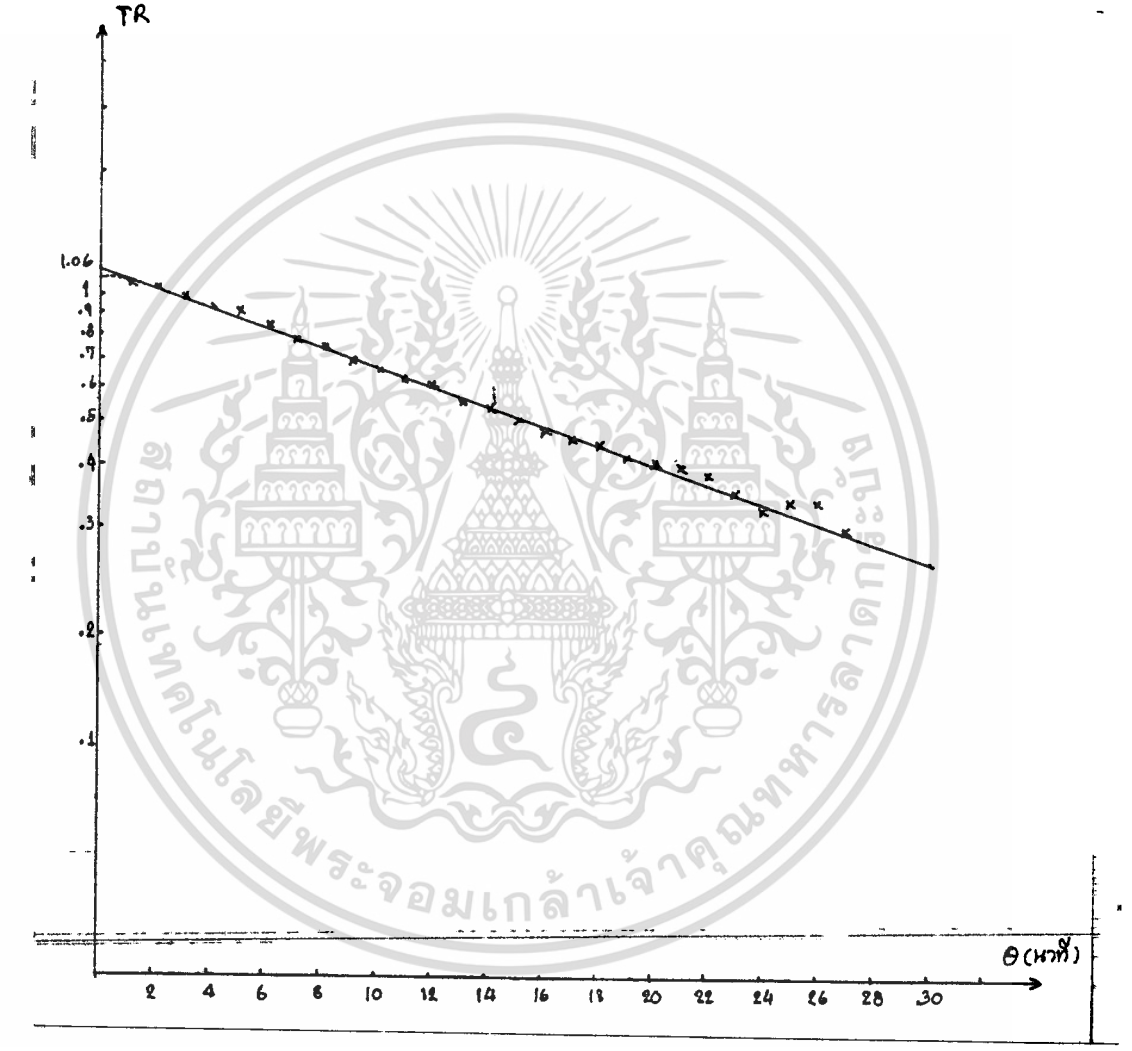
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ temperature ratio และเวลาที่อัตราการไหล 2.778×10^{-5} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 2

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



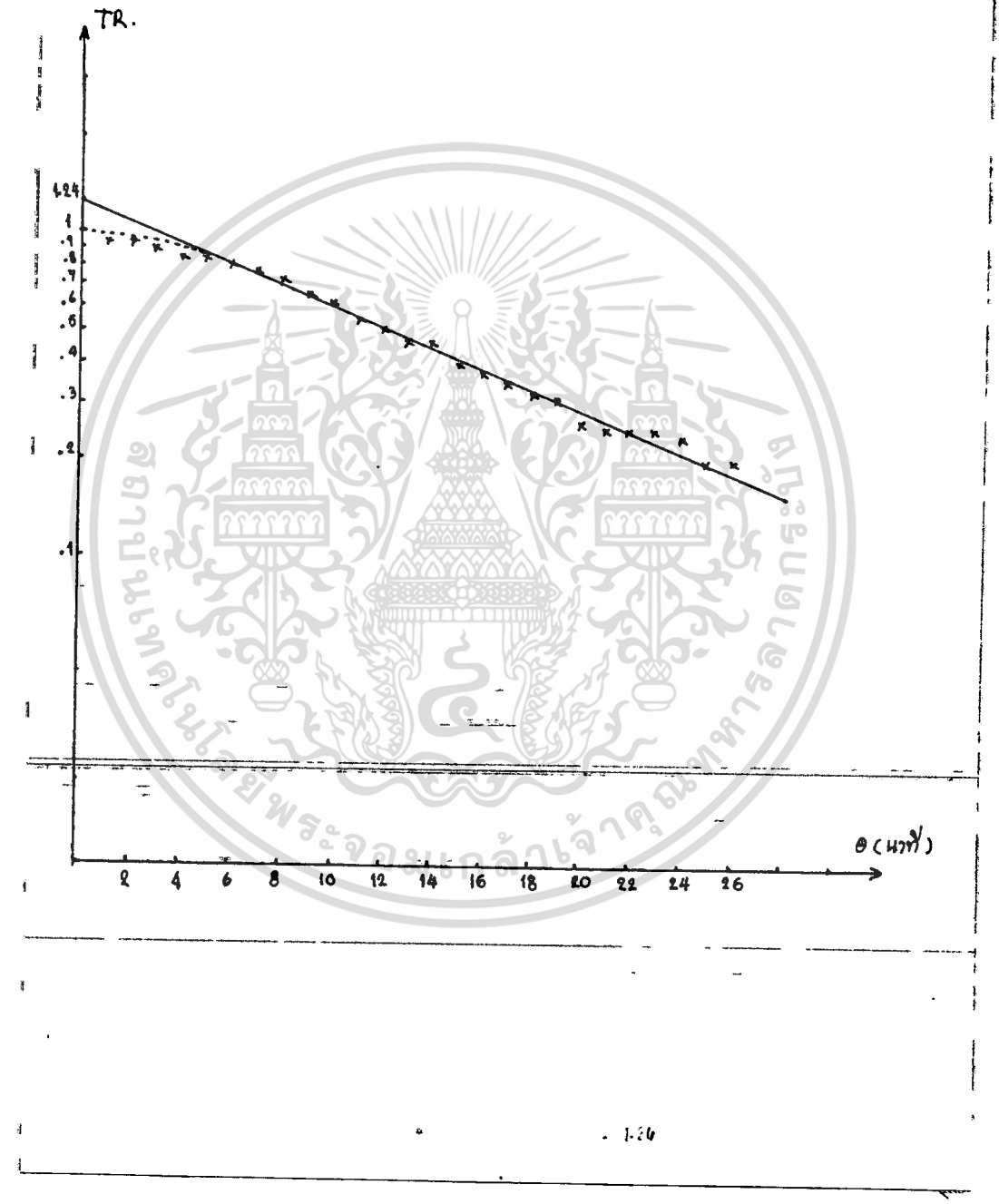
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ temperature ratio และเวลาที่อัตราการไหล 2.778×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



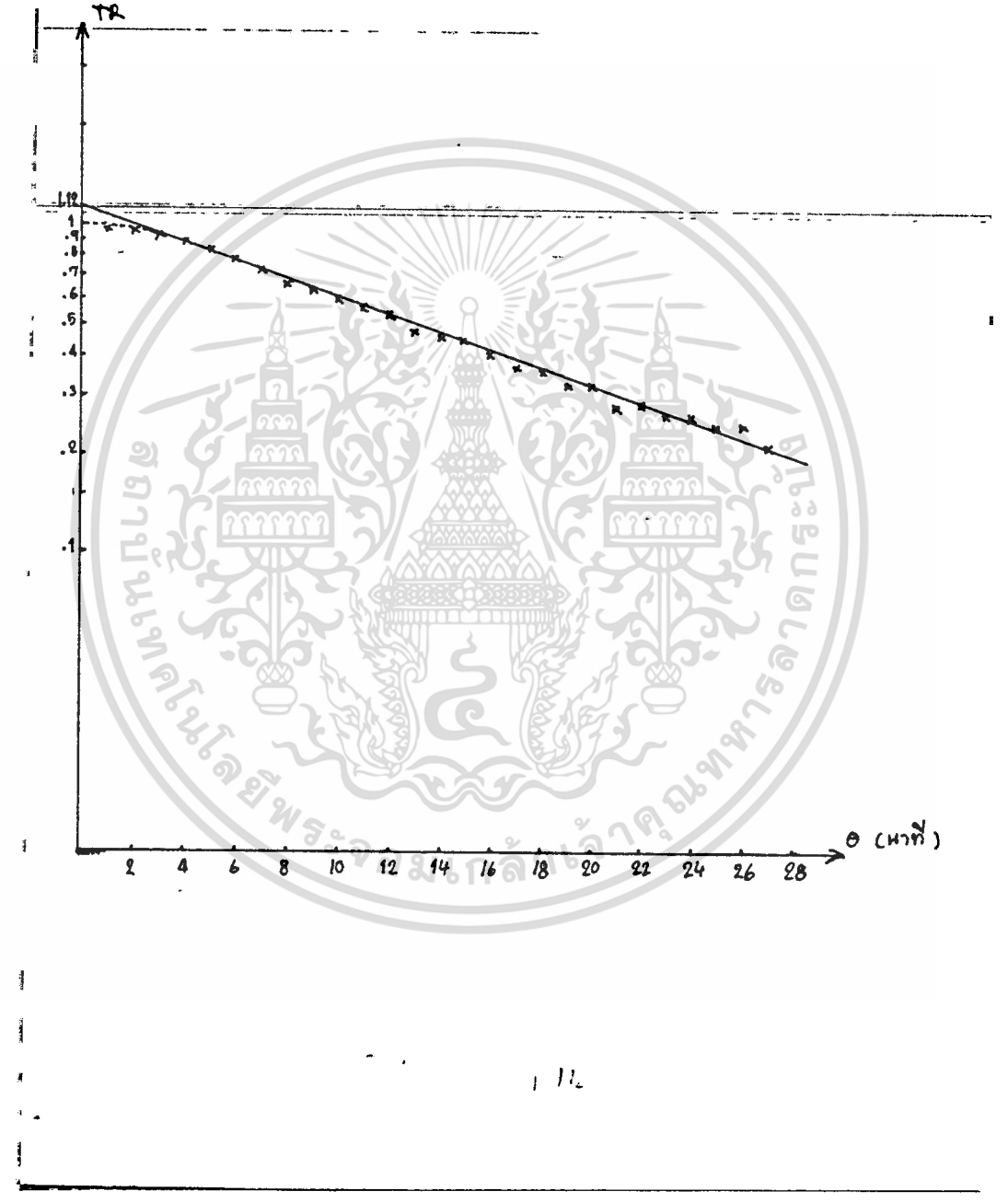
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ temperature ratio และเวลาที่อัตราการไหล 4.327×10^{3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



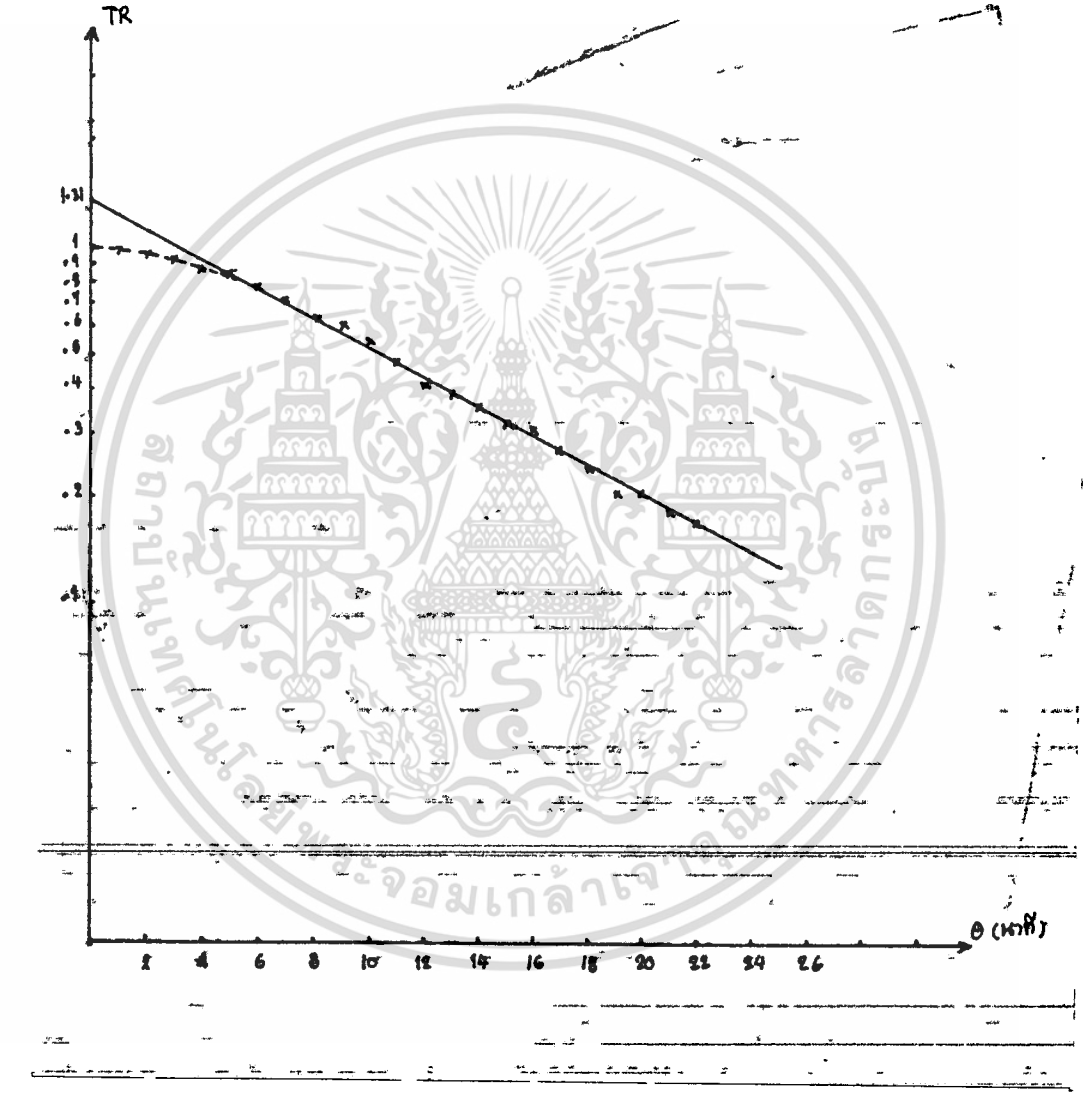
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ temperature ratio และเวลาที่อัตราการไหล 4.327×10^{3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 2

เอกสารนี้มีไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



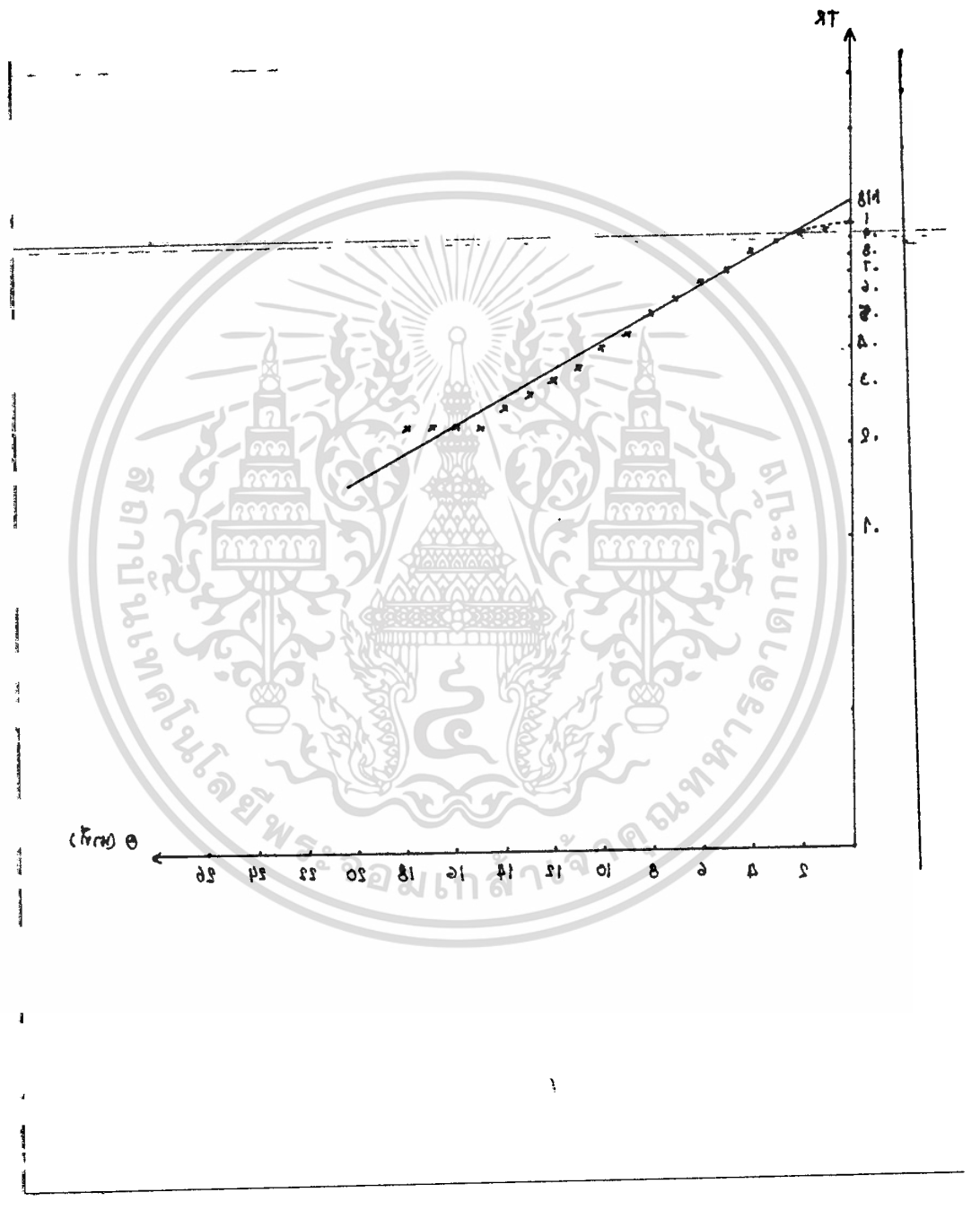
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ temperature ratio และเวลาที่อัตราการไหล 4.327×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 3

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



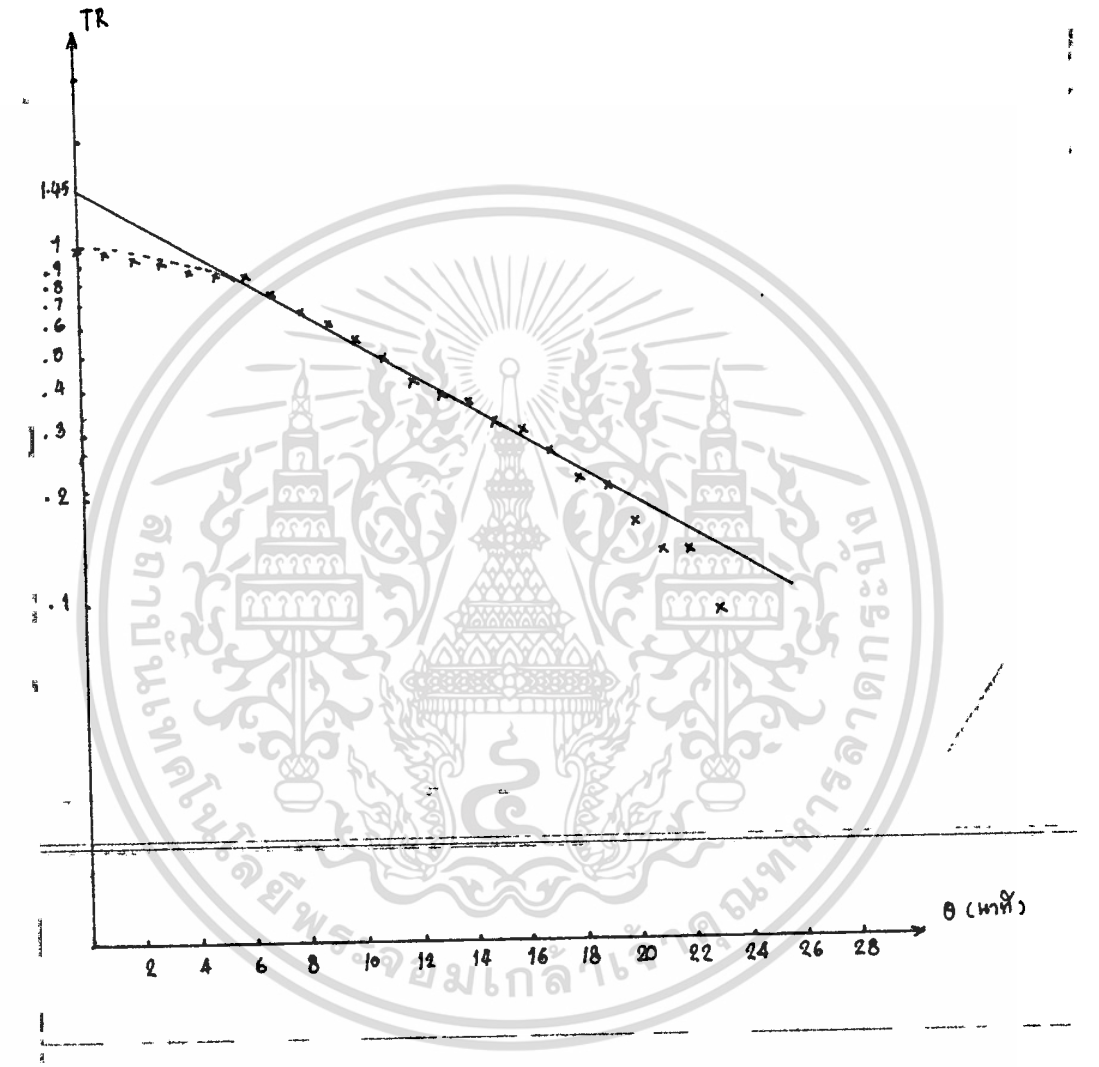
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ temperature ratio และเวลาที่อัตราการไหล 5.128×10^{3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 1

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ temperature ratio และเวลาที่อัตราการไหล 5.128×10^{-5} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 2

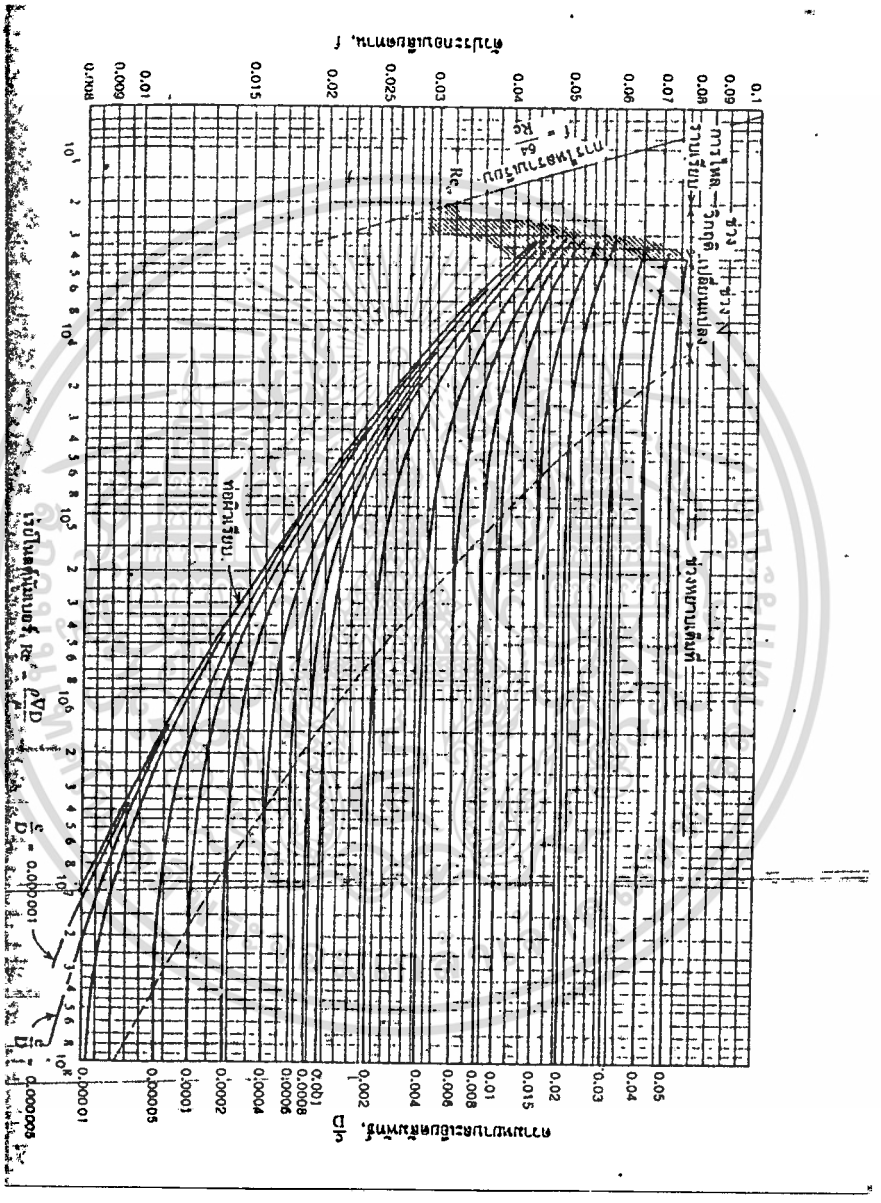
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ temperature ratio และเวลาที่อัตราการไหล 5.128×10^{3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวก ค.



แสดงแผนภาพโมดี้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยคำแนะนำของอาจารย์สาทิป รัตนภาสกร และอาจารย์พิมพ์เพ็ญ ถิรพร ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุก ๆ ท่าน นอกจากนี้ยังมีคุณตี๊ก, คุณจุ๋ม และเพื่อน ๆ ผู้สนับสนุนทุก ๆ คน จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำหวังว่า ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในงานเกี่ยวกับรักษาอาหารให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

21 ธันวาคม 2535

กิติ โรจน์วิมลการ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. จิระพล ลาภิษฐิต. 2530. "วาวล์และการใช้งาน". 69 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. หน้า 323-334.

2. พรศักดิ์ อรรถวานิช. 2531. เขียนแบบวิศวกรรม 1. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 240 หน้า.

3. สุภกิจ จิระรังสินี, วุฒิชัย ตังคุณากร และวุฒิสาสน์ เขียวทอง. 2533. โครงงานวิศวกรรม เรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

4. อัครเดช สินธุภัค. 2533. การทำความเย็น. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 240 หน้า

5. Michet G., Parsons R.A., and Rene Guillou. 1972. Commercial of fruit and vegetable. 44 p.

6. McCabe W.L., Smith J.C. and Harriott. P. 1985. Unit operation of chemical Engineering. 4th Ed. McGraw-Hill. pp 68-70.

7. Fox R.W. 1985. Introduction to Fluid Mechanics. Wiley. pp 356-371.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้