สำนักหอสมุดกลาง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยระบบน้ำเย็น ลมเย็น และน้ำเย็นรวมกับลมเย็น

HYDRO, AIR AND HYDRAIR COOLER FOR FRUITS AND VEGETABLES

โดย

นายธรณิน ณ เชียงตุง

นายวิทยา ห่อค้า

วัน เดือน ปี 18 ม.ค. 2539
เลขทะเบียน 034800
เลขเรียกหนังสือ T37100 ธ.4

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
034800

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยระบบน้ำเย็น ลมเย็น และน้ำเย็นรวมกับลมเย็น

ผู้จัดทำ

1. นายธรณิน ณ เชียงตุง 34126011

2. นายวิทยา พ่อค้า 34126034

(พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์) อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

(.....) อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. สาทิป รัตนภาสกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้ด้วยระบบน้ำเย็น ลมเย็น และน้ำเย็นรวมกับลมเย็น

ธรณิน ณ เชียงตุง
วิทยา พ่อค้า
อ.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.สาทิป รัตนภาสกร
อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิผักผลไม้ให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาในห้องเย็น สามารถคำนวณได้จากค่า Half Cooling Time จากการทดลองกับผลไม้ตัวอย่างซึ่งใช้ฝรั่ง โดยใช้ระบบน้ำเย็น ระบบลมเย็น และระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น ที่มีอัตราการไหลของน้ำสูงสุดและครึ่งหนึ่ง สรุปได้ว่าระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็นที่มีอัตราการไหลของน้ำสูงสุด จะให้ค่า Half Cooling Time ต่ำที่สุด และมีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในตู้มากที่สุด สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผลไม้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วนำไปเก็บรักษาในห้องเย็น โดยใช้ผลไม้ตัวอย่างคือกล้วยไข่ สรุปได้ว่าการใช้ระบบลมเย็นสามารถรักษาคุณสมบัติของกล้วยไข่ไว้ได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HYDRO, AIR AND HYDRAIR COOLER FOR FRUITS AND VEGETABLES

THORANIN NACHIENGTUNG

WITAYA POR-KHA

PIMPEN PORNCHALERMPONG
ADVISER

SATIP RATANAPASAKORN
ADVISER

ABSTRACT

The time needed to precool fruit to its storing temperature can be calculated from the Half Cooling Time. An experiment was conducted on guavas to test the result of using Hydro, Air and Hydrair Cooling systems with maximum flow-rate and half flow-rate. It was discovered that Hydrair Cooling with maximum flow-rate results in a) the lowest Half Cooling Time and b) high temperature consistency throughout the chamber. In another experiment to study the physical and chemical changes in the fruit subjects considering on the quality of fruit after precooled, it showed that the fruit that have been precooled and kept in the cooling room, the Air Cooling system proved most efficient in preserving the general quality of the fruit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญรูปภาพ	(ฆ)
สารบัญตาราง	(ค)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์	2
บทที่ 3 ทฤษฎี	3
บทที่ 4 การทำงานของเครื่องต้นแบบ	20
บทที่ 5 วิธีการดำเนินงาน	26
บทที่ 6 ผลการทดลอง	31
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง	54
ภาคผนวก	55
กิตติกรรมประกาศ	69
เอกสารอ้างอิง	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างการดึงความร้อนและค่า Half Cooling Time	16
4.1	เครื่องลดอุณหภูมิผักผลไม้ด้วยระบบน้ำเย็นและลมเย็น	22
4.2	การทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิผักผลไม้	23
4.3	เครื่องลดอุณหภูมิผักผลไม้	24
4.4	ลักษณะของหัวฉีด	24
4.5	ลักษณะภายในห้องลดอุณหภูมิ	25
4.6	ลักษณะภายในห้องทำลมเย็น	25
6.1	กราฟอัตราการไหลของลม	32
6.2	ตำแหน่งของหัวฉีด	32
6.3	กราฟอัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีด	33
6.4	ตำแหน่งวัดการกระจายของน้ำบนพื้นที่รองรับ	35
6.5	กราฟการกระจายของน้ำบนพื้นที่รองรับ	35
6.6	ตำแหน่งวัดการกระจายอุณหภูมิภายในตู้เปล่า	36
6.7	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด	39
6.8	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง	39
6.9	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด	42
6.10	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง	42
6.11	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็นกับลมเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด	45
6.12	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็นกับลมเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
6.1	อัตราการไหลของลม	31
6.2	อัตราการไหลของน้ำผ่านหัวฉีด	33
6.3	การกระจายของน้ำผ่านหัวฉีดบนพื้นที่รองรับ	34
6.4	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด	37
6.5	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง	38
6.6	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด	40
6.7	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง	41
6.8	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็นกับลมเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด	43
6.9	อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็นกับลมเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง	44
6.10	ความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับอัตราการไหล จากค่า Half Cooling Time	47
6.11	ความสัมพันธ์ระหว่างระบบ อัตราการไหลและตำแหน่งของตะกร้า จากค่า Half Cooling Time	48
6.12	ระยะเวลาการสุก ความแน่นเนื้อ ปริมาณ Soluble Solid Titratable Acid และวิตะมินซีของกล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบต่างๆ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าจะสุก	50
6.13	ระยะเวลาการสุก ความแน่นเนื้อ ปริมาณ Soluble Solid Titratable Acid และวิตะมินซีของกล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบต่างๆ แล้วเก็บรักษาไว้ที่ 14 °C 2 สัปดาห์ แล้วนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าจะสุก	51
6.14	การเปลี่ยนสี และเปอร์เซนต์ความเสียหายของกล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบต่างๆ แล้วเก็บที่ 14 °C ในสภาพควบคุมบรรยากาศ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

1 แสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด 56

2 แสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง 58

3 แสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด 60

4 แสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง 62

5 แสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบน้ำเย็น รวมกับลมเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด 64

6 แสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบน้ำเย็น รวมกับลมเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง 66

7 แสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของกล้วยไข่ 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ผลิตผลทุกชนิดหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วจะยังคงมีชีวิตอยู่และมีการหายใจ(Respiration) ซึ่งจะต้องใช้พลังงานที่สะสมอยู่ในผลิตผลนั้นมาเปลี่ยนเป็นความร้อน และจะเรียกความร้อนนี้ว่า ความร้อนจากการหายใจ (Heat of Respiration) สำหรับผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงจะเสื่อมคุณภาพเร็ว เนื่องจากใช้พลังงานที่สะสมอยู่ภายในในอัตราที่สูง ดังนั้นหากต้องการเก็บผลิตผลให้มีคุณภาพสูง อยู่ได้นาน สิ่งที่สำคัญประการหนึ่งคือ จะต้องลดอัตราการหายใจให้เหลือน้อยที่สุด และวิธีที่จะลดอัตราการหายใจลงได้ก็คือ การลดอุณหภูมิของผลิตผลนั้น

อุณหภูมิของผลิตผลที่ลดลงทุก ๆ 10 °C จะลดอัตราการหายใจลงได้ 2 ถึง 4 เท่า แต่อุณหภูมิที่ลดจะต้องไม่ต่ำเกินไปที่จะทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความเย็น (Cold Injury)แก่ผลิตผล สำหรับอุณหภูมิที่จะเกิดความเสียหายเนื่องจากความเย็นนี้ มีค่าแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดและพันธุ์ของผลิตผล ดังนั้นจึงควรลดอุณหภูมิลงให้ใกล้อุณหภูมิที่จุดนี้ให้มากที่สุด เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตผลนั้น นอกจากนี้การลดอุณหภูมิของผลิตผลยังช่วยชะลอการสุก (Ripening) ลดการสูญเสียน้ำ(Moisture Loss) และชะลอการเสื่อมคุณภาพ ซึ่งขบวนการเหล่านี้อาจมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบางอย่างแก่ผลิตผลได้ เช่น การเหี่ยวของผิว การเปลี่ยนสี การลดความกรอบและความแน่นเนื้อ เป็นต้น (ปิยวัติ และคณะ,-)

ดังนั้นจึงมีการศึกษาค้นคว้าวิธีการลดอุณหภูมิของผลิตผลนั้น เพื่อที่จะยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของผลิตผลนั้นไว้ให้นานที่สุด และโครงงานนี้เป็นวิธีหนึ่งที่จะสามารถลดอุณหภูมิของผลิตผลลงได้โดยการใช้น้ำเย็น ลมเย็น และน้ำเย็นรวมกับลมเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องลดอุณหภูมิผักและผลไม้โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ

-หาอัตราการไหลสูงสุดของหัวฉีดเทียบต่อหน่วยเวลา

-หาการกระจายของอุณหภูมิบนพื้นที่ถาดรองรับจากการลดอุณหภูมิทั้ง 3 ระบบ

-หาอัตราการไหลของพัดลมเทียบต่อหน่วยเวลา

-หาอัตรากระจายของน้ำบนพื้นที่ถาดรองรับ

2. ศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีการลดอุณหภูมิแบบการใช้น้ำเย็น ลมเย็น และน้ำเย็นรวมกับลมเย็น ต่อค่า Half Cooling Time ของผลไม้ตัวอย่าง ซึ่งได้แก่ ฝรั่ง และกล้วยไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎี

ผักและผลไม้เป็นอาหารที่สำคัญส่วนหนึ่งของมนุษย์ นอกจากคุณค่าทางสารอาหารแล้วผักและผลไม้บางชนิดยังเป็นตัวยาช่วยรักษาโรคต่าง ๆ ได้อีก เพื่อผักและผลไม้มีความจำเป็นในระดับหนึ่งต่อการดำรงชีวิต การเก็บรักษาผักและผลไม้ให้มีความสดสมบูรณ์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง รวมถึงการเก็บเกี่ยว และการแปรสภาพอาหารเพื่อคงสภาพสมบูรณ์ของอาหารไว้ให้มากที่สุด

ในแต่ละปีผักและผลไม้ในประเทศไทย เกิดความเน่าเสียและต้องทิ้งไปเป็นจำนวนมาก เนื่องจากอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงเป็นผลให้ผักและผลไม้เน่าเสียเร็วยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสูญเสียสารอาหารบางส่วนไปด้วย เป็นผลทำให้รายได้ส่วนหนึ่งต้องขาดหายไป

ดังนั้นจึงมีการค้นคว้าเพื่อที่จะทำการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้มีอายุการเก็บรักษานานยิ่งขึ้น สามารถขนส่งได้ในระยะทางไกล ๆ และเก็บไว้บริโภคในยามที่ขาดแคลนได้ด้วย กรรมวิธีที่จะเก็บรักษาผักและผลไม้มีหลายวิธี เป็นต้นว่า

-การลดอุณหภูมิ (Precooling)

-การใช้ความร้อน (Heat treatment)

-การใช้ไอน้ำร้อน (Vapor heat treatment)

-การฉายรังสี (Irradiation)

-การใช้สารเคมีหรือการรมควัน (Chemical preservation or Fumigation)

ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะการลดอุณหภูมิผักและผลไม้เท่านั้น

3.1 วิธีการลดอุณหภูมิ (Precooling Methods)

เนื่องจากปริมาณความร้อนสะสม (Field Heat) ในผักและผลไม้มีอยู่สูง ประกอบกับการดึงความร้อนออกจะต้องทำอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการลดอุณหภูมิจึงควรเลือกใช้วิธีที่จะสามารถดึงความร้อนออกจากผักและผลไม้ได้เร็ว และไม่เกิดผลเสียด้วย วิธีการลดอุณหภูมิมีหลายวิธี แต่ละวิธีอาจจะเหมาะสมกับผักและผลไม้บางชนิดและกับภาชนะบรรจุบางชนิดด้วย ได้มีผู้ค้นคว้าและพัฒนารูปแบบและวิธีการลดอุณหภูมิผักและผลไม้ไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การใช้ห้องเย็น (Room Cooling)

วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยตั้งภาชนะที่บรรจุผักและผลไม้ไว้ในห้องเย็นเท่านั้น อากาศเย็นภายในห้องจะสัมผัสกับผักผลไม้ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างกันขึ้น วิธีการนี้ผักผลไม้จะคายความร้อนออกได้ช้ามาก ปกติจะต้องใช้เวลาเป็นวัน ผักผลไม้จึงจะเย็น วิธีนี้จึงไม่เหมาะกับผักผลไม้ที่เสื่อมเสียได้ง่าย

3.1.2 การใช้อากาศเย็น (Forced-air Cooling)

วิธีนี้ผักผลไม้จะถูกทำให้เย็นลงโดยการบังคับให้อากาศเย็นไหลผ่านภาชนะบรรจุผักผลไม้นั้น โดยอาศัยความแตกต่างของความดันอากาศ 2 ข้างของภาชนะบรรจุ เครื่องลดอุณหภูมิแบบนี้จะต้องมีพัดลมดูดอากาศให้มีปริมาณไหลมากพอ วิธีการนี้จะช่วยลดอุณหภูมิผักผลไม้ได้เร็วกว่าห้องเย็นธรรมดาได้ 6 ถึง 10 เท่า และยังสามารถใช้กับผักผลไม้เกือบทุกชนิด จึงมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย อัตราการทำเย็นของวิธีนี้จะค่อนข้างสม่ำเสมอ ไม่ขึ้นกับภาระ (Load) ต่างกับการใช้ห้องเย็นซึ่งอัตราการทำเย็นสามารถแปรเปลี่ยนได้ขึ้นกับภาระ โดยทั่วไปแล้วในส่วนของ Packing จะใช้ระบบลมเย็นในการลดอุณหภูมิ และใช้ห้องเย็นในการจัดเก็บ

3.1.3 การใช้น้ำเย็น (Hydrocooling)

น้ำเย็นสามารถพาความร้อนออกจากผักผลไม้ทันทีหลังการเก็บเกี่ยว พร้อมกับเป็นการทำความสะอาดไปด้วย มีการเติมสารเคมีในน้ำเย็น เช่น คลอรีน หรือ ไอโอดีน เพื่อป้องกันการทำลายจากแบคทีเรียบนผิวของผักผลไม้

ระบบน้ำเย็นนี้อาจใช้การฉีดผ่าน จุ่มหรือควบคู่กันทั้งสองก็ได้ การฉีดผ่านผักผลไม้อาจอยู่กับที่หรืออยู่บนสายพาน สำหรับผักผลไม้ที่ถูกมัดรวมกัน จะถูกจุ่มลงในน้ำเย็นพร้อมกันทันที อัตราการไหลของน้ำที่ฉีดผ่านประมาณ 10 ลิตร/วินาที/ตารางเมตรของแผ่นรองรับ ส่วนสายพานจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 30 เซนติเมตร/นาที ในการทำเย็นผลิตผลจำเป็นจะต้องเปียก รวมทั้งตู้ขนย้ายต้องเปียกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีนี้จะสามารถทำให้อุณหภูมิของผักผลไม้ลดลงได้เร็วมาก (2-3 เท่าของระบบอากาศเย็น) เพราะค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางจะสูงกว่าการใช้อากาศเป็นตัวกลาง แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือจะใช้ได้กับผักผลไม้บางชนิดที่เปียกน้ำได้โดยไม่เกิดความเสียหายเท่านั้น หากใช้กับชนิดอื่นจะทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย นอกจากนี้ภาชนะบรรจุจะต้องทนน้ำได้ดีด้วย เช่น พลาสติก ตัวอย่างผักผลไม้ที่นิยมใช้วิธีนี้เช่น แคนตาลูป (Cantaloupe) ท้อ (Peach) และมีการใช้กับลำไยด้วย (ปิยวัฒน์, ชัชวาล, ประสงค์)

3.1.4 การใช้น้ำแข็ง (Ice Cooling)

วิธีนี้มีข้อจำกัดคือจะใช้ได้เฉพาะกับผักผลไม้ที่เปียกน้ำได้ และสัมผัสกับน้ำแข็งได้โดยไม่เกิดความเสียหาย สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีย่อยคือ การบรรจุน้ำแข็งเกล็ดไว้ในภาชนะโดยตรง (Package Icing) และการอัดน้ำแข็งเกล็ดไว้ระหว่างชั้นของภาชนะ (Top Icing) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะทำให้ผักผลไม้เย็นลงเร็วมากหากปฏิบัติได้ถูกต้อง แต่มีข้อเสียคือ สิ้นเปลืองแรงงาน ค่าใช้จ่ายสูงในระยะยาว ผลิตภัณฑ์เย็นไม่สม่ำเสมอและประสิทธิภาพต่ำ แต่อาจใช้ร่วมกับการลดอุณภูมิวิธีอื่น จะช่วยให้ผลดีขึ้น

3.1.5 การลดความดัน (Vacuum Cooling)

วิธีนี้ผักผลไม้จะถูกบรรจุในถังเหล็กที่ปิดสนิทแล้วดูดอากาศออกจากถังเพื่อให้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศมาก ๆ น้ำที่อยู่ในผักผลไม้จะระเหยออกมาที่ความดันต่ำ และจะพาความร้อนออกมาด้วยในรูปของความร้อนแฝง ดังนั้นผักผลไม้จะเย็นลงอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ความดันที่ใช้มีค่าประมาณ 6/1000 ของความดันบรรยากาศ วิธีนี้จะต้องใช้เทคโนโลยีสูงและราคาแพงมาก จะคุ้มค่าลงทุนก็ต่อเมื่อมีผลิตผลปริมาณมากพอและสม่ำเสมอตลอดทั้งปี

ระบบนี้ใช้กับผักผลไม้ที่เฉพาะเจาะจง โดยพื้นฐานแล้วเป็นระบบที่ทำให้น้ำเย็นระเหย ทำให้ความดันลดลงและจุดเดือดของน้ำต่ำลง ถ้าความดันต่ำพอ จะทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิของผลิตผล ความร้อนแฝงทำให้น้ำกลายเป็นไอและทำให้ผลิตผลเย็นลง เห็ดและผักใบสามารถใช้ระบบนี้ได้เป็นอย่างดี อัตราการทำเย็นแปรเปลี่ยนระหว่าง 0.5-1.5 ชั่วโมง ระบบนี้จะทำให้น้ำหนักสูญเสีย 1% สำหรับการทำเย็นทุก 6 °C การเพิ่มน้ำเข้าระหว่างการทำเย็นมีความจำเป็นเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 การระเหยน้ำในผักผลไม้ (Evaporative Cooling)

เป็นวิธีการที่ง่ายและราคาถูก โดยใช้หลักการให้อากาศไหลผ่านวัสดุที่อิ่มน้ำ เช่น กระสอบเปียก การลดอุณหภูมิแบบนี้ทำให้ความชื้นสูง แต่อุณหภูมิลดไม่ต่ำมากนัก เท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกในขณะนั้น เหมาะสำหรับผักผลไม้และดอกไม้สด

3.1.7 การใช้สารความเย็น (Refrigerant Cooling)

สารความเย็นที่เลือกใช้ได้แก่ ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว และคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (น้ำแข็งแห้ง) วิธีการนี้มีราคาแพงมาก จึงใช้เฉพาะกรณีพิเศษเท่านั้น การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (ทั้งแบบเหลวและแข็ง) มีผลพลอยได้คือเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในห้อง ทำให้เกิดสภาพบรรยากาศเปลี่ยนแปลง (Modified atmosphere หรือ MA) ขึ้น ซึ่งช่วยชลอการเสื่อมเสียของผักผลไม้ได้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิผักผลไม้ด้วยน้ำเย็น

การลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น หรือการจุ่มลงในน้ำเย็น ได้มีการเริ่มใช้เป็นครั้งแรกในสหรัฐอเมริกาเมื่อประมาณ 30 ปีก่อน เพื่อทำการลดอุณหภูมิผักใบเขียว และผลไม้ ต่อมาได้มีการนำไปใช้ลดอุณหภูมิผักผลไม้ในประเทศอังกฤษ เครื่องลดอุณหภูมิสมัยนั้นมีลักษณะเป็นอุโมงค์ยาวประมาณ 40-50 ฟุต ซึ่งผลิตภัณฑ์จะถูกลำเลียงภายใต้ความดันต่ำ และน้ำเย็นที่ถูกฉีดพ่นลงมาถูกฉีดด้วยอัตราการไหลที่สูง ซึ่งเกิดจากการทำเย็นด้วยระบบทำความเย็น ในบางครั้งผลิตภัณฑ์อาจถูกจุ่มลงในถังน้ำเย็นก็ได้ ข้อได้เปรียบของการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น คือผลิตภัณฑ์ไม่มีการสูญเสียน้ำ

Boyes (1961) ได้รายงานเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น ในประเทศแอฟริกาใต้ ว่ามีความเหมาะสมในการเตรียมส่งออกผลไม้สดอย่างรวดเร็ว

Hugh-Smith และ Mann (1960) ชาวอังกฤษ ได้กล่าวว่าการทำเย็นโดยใช้ตู้แช่เย็น มีความสิ้นเปลืองพลังงานสูง ประมาณ 70,000 B.t.u. ต่อตันของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น นี้จะถูกจัดส่งในลักษณะที่เปียก และจะต้องเก็บรักษาในตู้แช่เย็นเพื่อป้องกันการเน่าเสีย

Guillou (1960) ได้รายงานว่า ค่า Z (เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลงครึ่งหนึ่งระหว่างอุณหภูมิของตัวกลางกับอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์) ของหน่อไม้ฝรั่งมีค่าประมาณ 2 นาที และ 28 นาที สำหรับลูกท้อ การทำเย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางจะช่วยให้การทำเย็นเร็วขึ้น

การลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น ได้เปรียบกว่ากระบวนการอื่นในด้านค่าใช้จ่าย และเป็นวิธีที่มีความรวดเร็วมากที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ทุกชนิด ยกเว้น ผักใบ ซึ่งการทำเย็นด้วยระบบสูญญากาศจะมีความรวดเร็วกว่า ในการใช้งานควรจะให้น้ำในถังเก็บมีอุณหภูมิประมาณ 0 °C ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายเนื่องจากความเย็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 **พลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในแต่ละระบบ**

ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับพลังงานที่ใช้ในแต่ละระบบ ในการทำเย็นผักกาดหอมในระบบสูญญากาศใช้พลังงาน 0.25 kwh ต่อ Carton (1 Carton ของผักกาดหอม เท่ากับ 25 kg และทำเย็นจาก 20 °C ให้เป็น 2 °C) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.56 kwh ในการลด 1 kg ต่อ 1 °C ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในระบบต่างกันจะใช้ค่า Energy Use Coefficient (EC) ซึ่งเท่ากับความร้อนที่ถูกดึงออกจากผลิตผลหารด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างการทำเย็น

สัมประสิทธิ์การใช้พลังงานของระบบลมเย็น น้ำเย็น และสูญญากาศมีความจำเป็นมากในการนำไปคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกัน ทั้งน้ำเย็นและลมเย็นจะเกิดการทำเย็นโดยผ่านตัวกลางตลอดทั้งระบบ ซึ่งสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและปริมาณความร้อนต่อหน่วยปริมาตรของลมจะสูงกว่าของน้ำ เป็นเหตุให้น้ำเย็นคุ้มค่ามากกว่าการใช้ลมเย็น อีกทั้งระบบลมเย็นต้องใช้อุปกรณ์ซึ่งจะทำเพิ่มภาระภายในระบบ เช่น รถยก แต่ในระบบน้ำเย็นอุปกรณ์ทุกอย่างอยู่ภายนอกระบบ

ค่า EC ของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสูญญากาศมีค่าในช่วง 1.0-3.0 ในระบบน้ำเย็น 0.42-2.3 และในระบบลมเย็น 0.17-0.58

สาเหตุสองประการหลักที่เกิดผลต่อการใช้พลังงานคือ ภาระที่ต้องรับเทียบกับช่องว่างในระบบและชนิดของผลิตผลที่จะทำเย็น การทำเย็นผักกาดหอมในระบบสูญญากาศ โดยที่เครื่องรับภาระเต็มที่ จะได้ค่า EC เท่ากับ 3.0 แต่ถ้ารับภาระเพียงครึ่งเดียว จะได้ค่า EC เท่ากับ 2.0 ความร้อนที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม ทั้งจากปั๊มและจากน้ำอุ่น ทั้งหมดนี้ทำให้ความร้อนในระบบสูงขึ้น 46% ความร้อนที่สูงขึ้นนี้จะใช้เวลาในการทำเย็นพอ ๆ กับการทำเย็นความร้อนที่เกิดขึ้นจากผลิตผล

การป้องกันการทำให้ความร้อนภายในระบบสูงขึ้น จะช่วยให้การใช้พลังงานน้อยลง ความร้อนจากพัดลมเป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้ความร้อนสูงขึ้นในระบบลมเย็น โดยที่ความร้อนจากผลิตผลเป็นสาเหตุรอง เพราะฉะนั้นควรทำให้ระบบมีการออกแบบในการป้องกันความร้อนเป็นอย่างดี การทำงานในช่วงเวลากลางคืน จะช่วยให้ความร้อนที่เกิดขึ้นลดลงได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ความแตกต่างระหว่างการลดอุณหภูมิและการเก็บในห้องเย็น

ในขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวมีส่วนทำความเย็นอยู่ 3 ส่วนที่สำคัญคือ การลดอุณหภูมิ การขนส่งโดยรถบรรทุกห้องเย็น และการเก็บในห้องเย็นในแง่ของภาระกรรมทางความร้อนจะจัดทั้ง 3 ส่วนนี้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

3.4.1 การลดอุณหภูมิ (Precooling)

การลดอุณหภูมิเป็นการดึงความร้อนที่สะสม (field heat) ออกจากผักผลไม้อย่างรวดเร็ว มักจะทำทันทีหลังการเก็บเกี่ยวก่อนที่จะทำการขนส่งหรือเก็บรักษา มีความจำเป็นมากสำหรับผักผลไม้ที่เน่าเสียง่ายเนื่องจากการเน่าเสียจะเกิดขึ้นถ้าอุณหภูมิของผักผลไม้สูง ดังนั้นถ้าสามารถดึงเอาความร้อนออกมาได้เร็วขึ้นก็จะรักษาสภาพผักผลไม้นั้นได้นานขึ้น

เนื่องจากปริมาณความร้อนสะสม (field heat) มีอยู่สูง ประกอบกับการดึงความร้อนออกต้องกระทำอย่างรวดเร็ว ทำให้กำลังของการทำความเย็น (Refrigeration capacity) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\text{กำลังของการทำความเย็น (ตันหรือกิโลวัตต์)} = \frac{\text{ปริมาณความร้อน}}{\text{เวลาที่ใช้}}$$

มีค่าสูงมาก จึงต้องใช้เครื่องทำความเย็นที่มีขนาดใหญ่ และถ้าต้องการลดเวลาที่ใช้ลงก็ต้องเพิ่มขนาดของเครื่องทำความเย็น รวมทั้งทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงด้วย

นอกจากนี้ ถ้าการลดอุณหภูมิโดยใช้ลมเย็นเป็นตัวกลางจะต้องทำให้อัตราการไหลของลมเย็นหรืออากาศเย็นสูงมาก เพื่อทำให้อุณหภูมิผักผลไม้ลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ผลที่ตามมาคือผักผลไม้จะสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการแห้งเหี่ยวได้ง่าย

ดังนั้นการลดอุณหภูมิจึงต้องอาศัยอุปกรณ์ทำความเย็นเฉพาะที่กำลังของการทำความเย็นสูง เพื่อที่จะสามารถดึงเอาความร้อนสะสมในผักผลไม้ออกได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
034800

3.4.2 การเก็บรักษาในห้องเย็น (Cold Storage)

การเก็บรักษาในห้องเย็นรวมถึงการขนส่งด้วยรถบรรทุกเย็น หรือห้องเย็นจะใช้กับผักผลไม้ที่เย็นแล้ว คือผ่านการลดอุณหภูมิมาอย่างถูกต้อง ดังนั้นกำลังของการทำความเย็นหรืออัตราการไหลของตัวกลาง ไม่จำเป็นต้องสูงมากขึ้นกับปริมาณการบรรจุ (Load Capacity)กำลังของการทำความเย็นถูกออกแบบมา เพื่อใช้ดึงเอาความร้อนที่เกิดจากการหายใจของผลิตผลและความร้อนที่อาจจะเข้ามาจากภายนอกได้

นอกจากนี้การเก็บรักษา หรือขนส่งผักผลไม้ที่ยังไม่เย็นไม่ได้ช่วยรักษาคุณภาพของผักผลไม้นั้น เนื่องจากผักผลไม้จะเย็นลงช้ามากทำให้ปฏิกริยาเคมีภายในผักผลไม้นั้นดำเนินไปได้ดี และในแง่การลงทุนต้องใช้ชุดทำความเย็นที่มีกำลังสูง ต้องลงทุนสูงและไม่คุ้มค่า เพราะหลังจากที่อุณหภูมิผักผลไม้ลดลงจนถึงจุดที่ต้องการก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ชุดทำความเย็นกำลังสูงมากแล้ว แต่จะใช้ความเย็นที่ช่วยรักษาอุณหภูมิที่เย็นนั้นให้คงที่เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 **การเลือกใช้วิธีลดอุณหภูมิ**

ในการที่จะเลือกว่าจะใช้วิธีใดเพื่อลดอุณหภูมิผักผลไม้ที่มีอยู่นั้น จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของผักผลไม้นั้น ควรพิจารณาดูว่าเสียง่ายหรือไม่ ทนต่อการเปียกน้ำได้หรือไม่ มีลักษณะเป็นใบหรือเป็นหัว ถ่ายเทความร้อนได้ดีเพียงใด เป็นต้น

2. ลักษณะของภาชนะที่ใช้และการบรรจุ ดูว่าภาชนะมีช่องระบายอากาศเหมาะสมหรือไม่ ทนน้ำได้หรือไม่ การบรรจุมีพลาสติกหรือกระดาษห่อหุ้มหรือไม่ เป็นต้น

3. เวลาที่มี เมื่อพิจารณาว่าจะต้องลดอุณหภูมิให้เร็วหรือช้า

4. สภาพอากาศแวดล้อมอาจเหมาะสมที่จะใช้การลดอุณหภูมิแบบระเหยน้ำหรือวิธีทางธรรมชาติอื่นๆ ช่วย

5. จะเริ่มลดอุณหภูมิเมื่อใด เช่น ทันทีหลังจากขนส่งจากไร่หรือหลังจากคัดและตัดแต่งก่อนบรรจุในภาชนะ หรือหลังจากบรรจุในภาชนะแล้ว เป็นต้น

6. วิธีการที่ใช้ประกอบอื่นๆ เช่น การรมควัน หรือการจุ่มน้ำยาฆ่าเชื้อ การใช้บรรยากาศเปลี่ยนแปลง เป็นต้น

7. การตลาด ดูว่าผู้บริโภคพอใจการบรรจุและวิธีการแบบใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 <u>ส่วนประกอบทั่วไปของเครื่องลดอุณหภูมิผักผลไม้ด้วยน้ำเย็นและลมเย็น</u>

ลักษณะโครงสร้างที่สำคัญ ประกอบด้วย

3.6.1 Product Chamber เป็นส่วนบรรจุผักผลไม้ที่จะทำการลดอุณหภูมิ ขนาดของ Product Chamber จะต้องพอเหมาะกับความเย็นที่สามารถทำได้และปริมาณของผลไม้ที่จะลดอุณหภูมิ

3.6.2 Water Reservoir เป็นแหล่งสำรองน้ำของระบบ น้ำจะถูกทำให้เย็นโดยชุดทำความเย็นจนมีอุณหภูมิถึงระดับที่ต้องการ ก่อนจะถูกปั๊มขึ้นไปใช้ในระบบ

3.6.3 Refrigeration System เป็นส่วนประกอบของระบบทำความเย็นให้แก่น้ำและลมเพื่อใช้ในระบบ ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ ตัวควบคุมน้ำยา คอล์ยเย็น และอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ถังพักน้ำยา ตัวกรองความชื้นและสิ่งสกปรก ตัวระเหยน้ำยา ชุดความเย็นนี้จะต้องมีความสามารถทำความเย็นให้แก่น้ำและลมตามอุณหภูมิที่ต้องการได้

3.6.4 Pump and Pipe เป็นชุดส่งเลี้ยงน้ำจาก Reservoirไปใช้ในการทำลมเย็นที่ห้องทำลมเย็น และฉีดพ่นน้ำใส่ผักผลไม้ในห้องลดอุณหภูมิ ขนาดของ Pump และ Pipeจะต้องเหมาะสม เพื่อให้ได้อัตราการไหลของน้ำตามต้องการ

3.6.5 Blower เป็นชุดพัดลมที่ทำหน้าที่ถ่ายเทลมให้หมุนเวียนในระบบกรณีที่เป็นระบบ Forced-air หรือ Hydrair

3.6.6 Spraying System ระบบนี้ใช้ Nozzle เป็นตัว Spray น้ำเย็นที่ผ่านมาจากปั๊ม

3.6.7 Electric and Control Circuit เป็นตู้ควบคุมการทำการของระบบต่างๆทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การคำนวณเวลาและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการลดอุณหภูมิผักผลไม้

ผักผลไม้ที่ทำการลดอุณหภูมิจะมีอัตราการลดอุณหภูมิที่แตกต่างกันตามชนิด และคุณสมบัติของผักผลไม้นั้น การวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของผักผลไม้แต่ละชนิดสามารถคำนวณได้จากพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

3.7.1 อัตราส่วนอุณหภูมิ Temperature Ratio (TR)

อุณหภูมิภายในของผักผลไม้ในระหว่างการลดอุณหภูมิที่ช่วงเวลาต่าง ๆ สามารถเขียนในรูปของสมการ exponential ดังสมการที่ 1

$$TR = \exp(-ct^{d}) \qquad \text{.....(1)}$$

โดย $TR = \dfrac{T - T_o}{T_i - T_o}$

และ t = เวลาที่ใช้ (Exposure Time, min)

T = อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (Product Temperature, °c)

T_o = อุณหภูมิของตัวกลาง (Medium Temperature, °c)

T_i = อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (Initial Product Temperature, °c)

c, d = Regression Coefficients

3.7.2 อัตราการแผ่อุณหภูมิ Cooling Rate (CR)

จากกฎของนิวตัน การไหลของความร้อน เป็นไปดังสมการ

$$\frac{da}{dt} = -ha\,(T - T_o) \qquad \text{.....(2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $C = \frac{Q}{(\rho * V)\Delta T}$ .....(3)

เมื่อ Q = ความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ (Heat removed from product, W)

t = เวลาที่ใช้ (Exposure Time, min)

h = การนำความร้อนของผิว (Surface Conductance, W/C)

T = อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (Product Temperature, °c)

T_o = อุณหภูมิของตัวกลาง (Medium Temperature, °c)

C = ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat, W/kg°c)

ρ = ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ (Product Density, kg/m^3)

V = ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ (Product Volume, m^3)

A = พื้นที่ผิว (Surface Area, m^2)

แทน Q จากสมการ 3 ลงในสมการ 2

$$\frac{dQ}{dt} = C*\rho*V\,\frac{dT}{dt} = -hA\,(T-T_o) \quad .....(4)$$

อินทิเกรตสมการที่ 4 จากเวลาเริ่มต้น $T = T_i$ ถึงเวลาใดๆ (t)

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

$$\text{Ln}\,\frac{T_i - T_o}{T - T_o} = \frac{h*A}{C*\rho*V} * t$$

หรือ $$\frac{T - T_o}{T_i - T_o} = \exp\frac{(-hA)}{C*\rho*V} * t \quad .....(5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออัตราการแผ่ความเย็น (Cooling Rate : CR) หรือ Cooling Coefficient มีค่าเท่ากับ $\frac{hA}{C*\rho*V}$

ค่า CR นี้มีประโยชน์ในการวัดประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นถ้ามีค่าสูงแสดงว่าอัตราการดึงความร้อนออกจากวัตถุทำได้รวดเร็ว ค่า CR สามารถคำนวณหาได้เมื่อทราบค่า h และคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุ (A,C,ρ และV) หรืออาจหา CR ได้จากความชันของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ ln Temperature Ratio บนแกน y กับเวลาบนแกน x ก็ได้

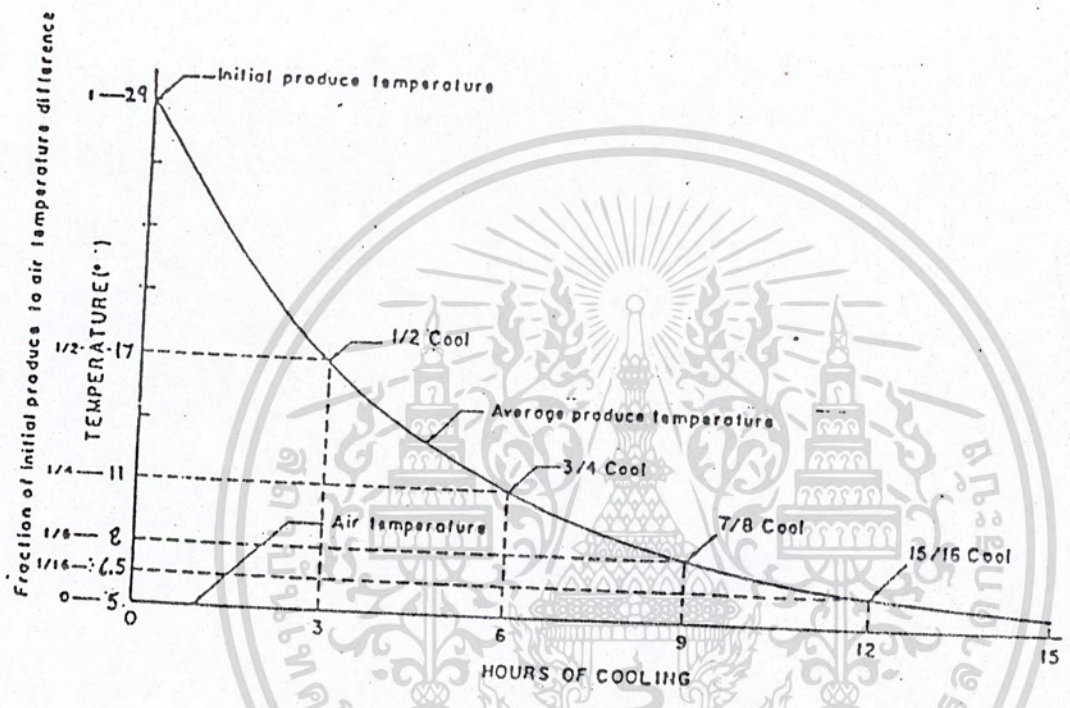
3.7.3 Half Cooling Time ($t_{1/2}$)

หมายถึง ช่วงเวลาที่ทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผักผลไม้และตัวนำความร้อน (น้ำหรืออากาศ) มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผล และตัวนำความเย็น

การคำนวณหาค่า Half Cooling Time เป็นที่นิยมในขบวนการลดอุณหภูมิ เนื่องจากเป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ และมีค่าคงที่ตลอดการแช่เย็น ดังนั้นถ้าทราบค่า $t_{1/2}$ ของผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะหนึ่งๆก็จะสามารถทำนายการแช่เย็นที่ช่วงเวลาใด ๆ ได้ เมื่อทราบอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์นั้นและตัวนำความเย็น แต่การทำนายจะไม่สามารถทำได้ถ้ารู้เพียงค่าอัตราการแช่เย็น (cooling rate) เนื่องจากมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวนำความเย็นเปลี่ยนไป

ความร้อนจะถูกดึงออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆของ Half Cooling Time เมื่อความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวนำความเย็นมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นความร้อนจะถูกดึงดูดออกช้าลงในช่วง $t_{1/2}$ ต่อๆมา และมีค่าใกล้เคียงศูนย์ เมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับตัวนำความเย็น ซึ่งจะเกิดขึ้น หลังจากระยะที่ 3 ของ $t_{1/2}$ ผ่านไป ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดึงความร้อนและค่า Half Cooling Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 5

$$\frac{T - T_o}{T_i - T_o} = \exp\frac{(-hA)}{C*\rho*v} * t$$

แทนค่า CR จะได้

$$t = \frac{1}{CR} \ln \frac{T_i - T_o}{T - T_o}$$

ที่ Half Cooling Time ($t_{1/2}$) จะได้ $T - T_o = 1/2\ (T_i - T_o)$ ดังนั้น

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

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{CR} \qquad \text{.....(6)}$$

แต่เนื่องจากการลดอุณหภูมิผลิตผลการเกษตรไม่เป็นไปตามกฎของนิวตัน เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ภายในผลิตผลและระหว่างภาชนะบรรจุหรือสิ่งแวดล้อม ถ้าให้ j เป็นค่าตัดแกน y ของกราฟระหว่าง Temperature Ratio (TR) กับเวลาจากสมการที่ 6 จะได้

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

ซึ่งสมการที่ 7 จะให้ค่า $t_{1/2}$ ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าสำหรับผลิตผลทางการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.4 Number of Half Cooling Time

ถ้าจำนวนเท่าของ Half Cooling Time เพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการทำความเย็นหรือการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดลง และเข้าใกล้อุณหภูมิของตัวนำความเย็นมากขึ้น โดยความแตกต่างของผลิตผลกับตัวนำความเย็นจะลดลงไปเป็นจำนวนเท่าของครึ่งหนึ่งของความแตกต่างอุณหภูมิ

การคำนวณหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างผลิตผลกับตัวนำความเย็น $(T - T_o)$ เมื่อทราบค่า Number of Half Cooling Time โดยสมมติเวลาที่ใช้เป็น 2 เท่าของ Half Cooling Time $(t=2t_{1/2})$

แทนค่า $$CR = \frac{1}{t} \ln[(T_i - T_o)/(T - T_o)]$$

ลงในสมการ (6) ได้ $$t_{1/2} = \frac{t * \ln 2}{\ln[(T_i - T_o)/(T - T_o)]}$$

$$\ln \frac{T_i - T_o}{T - T_o} = 2\ln 2$$

$$\frac{T_i - T_o}{T - T_o} = 4$$

$$T - T_o = \frac{1}{4}(T_i - T_o)$$

แสดงว่าที่ $2t_{1/2}$ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 1/4 ของความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อเริ่มต้น นั่นคืออุณหภูมิลดลงในทำนองเดียวกันที่ Number of Half Cooling Time อื่นๆ จะได้ว่า

$$T - T_o = (1/2)^n (T_i - T_o)$$

เมื่อ $n = 1, 2, 3, \ldots$

$= $ Number of half Cooling time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมินอกจากแสดงในรูปของHalf Cooling Time แล้ว นักวิทยาศาสตร์บางท่านยังแสดงในรูปของเวลาที่เย็นเศษเจ็ดส่วนแปด (7/8 - Cooling time : $t_{7/8}$) หรือเวลาที่เย็นเศษสามส่วนสี่ (3/4 - Cooling time : $t_{3/4}$) ได้อีกด้วย

โดยถ้าให้ T_i เป็นอุณหภูมิของตัวกลางที่ทำความเย็น (เช่น ในกรณีของการใช้น้ำเย็น T_i ก็คืออุณหภูมิของน้ำเย็น และในกรณีของการใช้อากาศเย็น T_i ก็คืออุณหภูมิของอากาศเย็น เป็นต้น) และให้ T_o เป็นอุณหภูมิเริ่มต้น (ก่อนเข้าเครื่องลดอุณหภูมิ) ของผักผลไม้

จะได้ว่า $t_{7/8}$ =เวลาที่ใช้ลดอุณหภูมิของผักผลไม้จาก T_o เป็น $T_o - 7/8(T_o - T_i)$

และ $t_{3/4}$ =เวลาที่ใช้ลดอุณหภูมิของผักผลไม้จาก T_o เป็น $T_o - 3/4(T_o - T_i)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทำงานของเครื่องต้นแบบ

เครื่องลดอุณหภูมิผักผลไม้ที่ออกแบบและสร้างโดยภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นเครื่องลดอุณหภูมิผักผลไม้โดยใช้ระบบน้ำเย็น ลมเย็น และน้ำเย็นรวมกับลมเย็น ซึ่งมีรูปร่างและส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.6

การทำงานของเครื่องแบ่งออกเป็น 3 ระบบคือ

4.1 ระบบน้ำเย็น (Hydrocooling)

การทำงานของระบบนี้จะเริ่มจากการทำน้ำในถังเก็บน้ำ (Reservoir Tank) ให้มีอุณหภูมิลดลงใกล้ 0 °C โดยใช้ชุดทำความเย็นจำนวน 3 ชุดซึ่งอยู่ด้านบนของเครื่อง คอล์ยเย็น 3 ชุดถูกขดแบบไส้ไก่อยู่ในถังเก็บน้ำ อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำสามารถกำหนดได้โดยตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำที่ต้องการไว้ที่ตู้ควบคุม เมื่ออุณหภูมิลดลงถึงค่าที่ตั้งไว้ ชุดทำความเย็นจะหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ

เมื่อได้น้ำเย็นตามอุณหภูมิที่ต้องการแล้ว จึงเปิดปั๊มน้ำตัวที่หนึ่ง ซึ่งจะส่งน้ำไปตามท่อไปยังหัวฉีดน้ำ (Nozzle) ลงบนถาดรองรับในห้องลดอุณหภูมิ (จากรูปที่ 4.1) อัตราการไหลของน้ำจะสามารถปรับได้โดยการปรับที่ By pass ซึ่งเป็นการแยกน้ำให้ไหลลงถังเก็บน้ำส่วนหนึ่งก่อนที่จะถูกส่งไปยังหัวฉีด จึงทำให้น้ำที่หัวฉีดมีอัตราการไหลลดลงตามที่ต้องการ น้ำเย็นจากหัวฉีดที่ถูกฉีดผ่านผักผลไม้ในห้องลดอุณหภูมิแล้ว จะไหลมารวมกันในถังเก็บน้ำ เพื่อทำให้เย็นอีกครั้ง และถูกปั๊มไปใช้ในการลดอุณหภูมิผักผลไม้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ระบบลมเย็น (Forced-air Cooling)

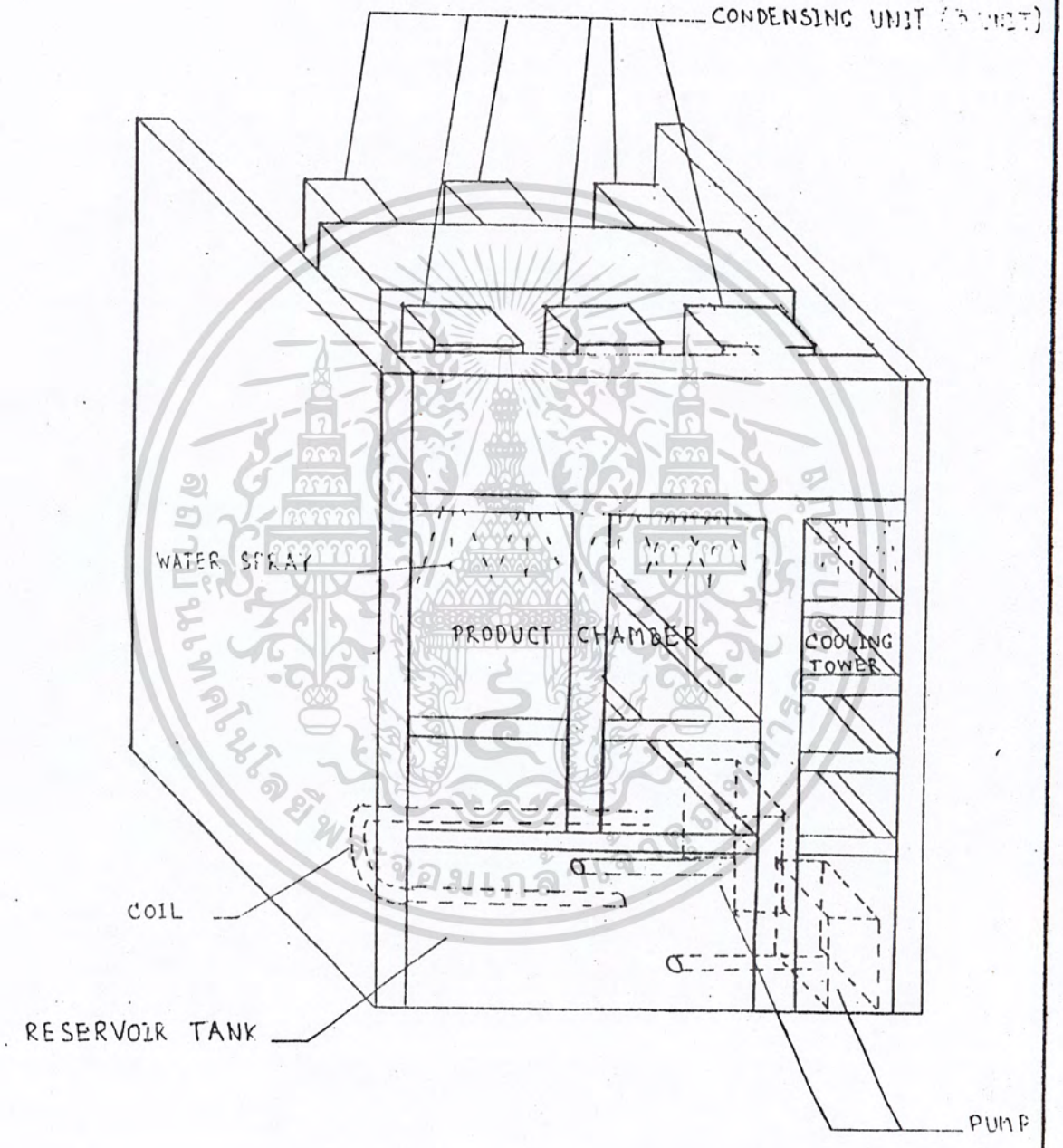
ในระบบลมเย็นนี้จะเริ่มจากน้ำในถังเก็บน้ำชุดเดียวกับระบบแรก ถูกปั๊มตัวที่ 2 ส่งน้ำไปตามท่อผ่านหัวฉีดน้ำในห้องทำลมเย็น (จากรูปที่ 4.1) ในขณะเดียวกันพัดลม (Blower) ที่อยู่ด้านบนของเครื่อง จะทำให้อากาศหมุนเวียนภายในตู้ โดยที่อากาศอุ่นซึ่งอยู่ส่วนล่างของถาดรองรับในห้องลดอุณหภูมิ จะเคลื่อนที่สวนทางกับน้ำเย็นจากหัวฉีดในห้องทำลมเย็น ในห้องทำลมเย็นจะมีมุ้งลวดไนล่อนเป็นชั้นๆ เพื่อทำให้น้ำที่ถูกฉีดลงมามีความฝอยมากขึ้น อากาศร้อนจากส่วนล่างที่ไหลสวนทางขึ้นไปสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้รวดเร็วยิ่งขึ้น จึงทำให้อากาศที่ท่อทางออกด้านบนของเครื่องมีอุณหภูมิลดลง สามารถนำไปใช้ลดอุณหภูมิผักผลไม้ในห้องใหญ่ได้

น้ำเย็นที่ถูกฉีดลงมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศอุ่นจะไหลลงมารวมกันในถังเก็บน้ำ เพื่อทำให้เย็นอีกครั้ง ในห้องทำลมเย็นนี้สามารถปรับอัตราการไหลของน้ำได้ โดยการปรับที่ By pass ให้น้ำไหลลงถังเก็บน้ำเช่นเดียวกับระบบแรก

4.3 ระบบน้ำเย็นรวมกันลมเย็น (Hydrair Cooling)

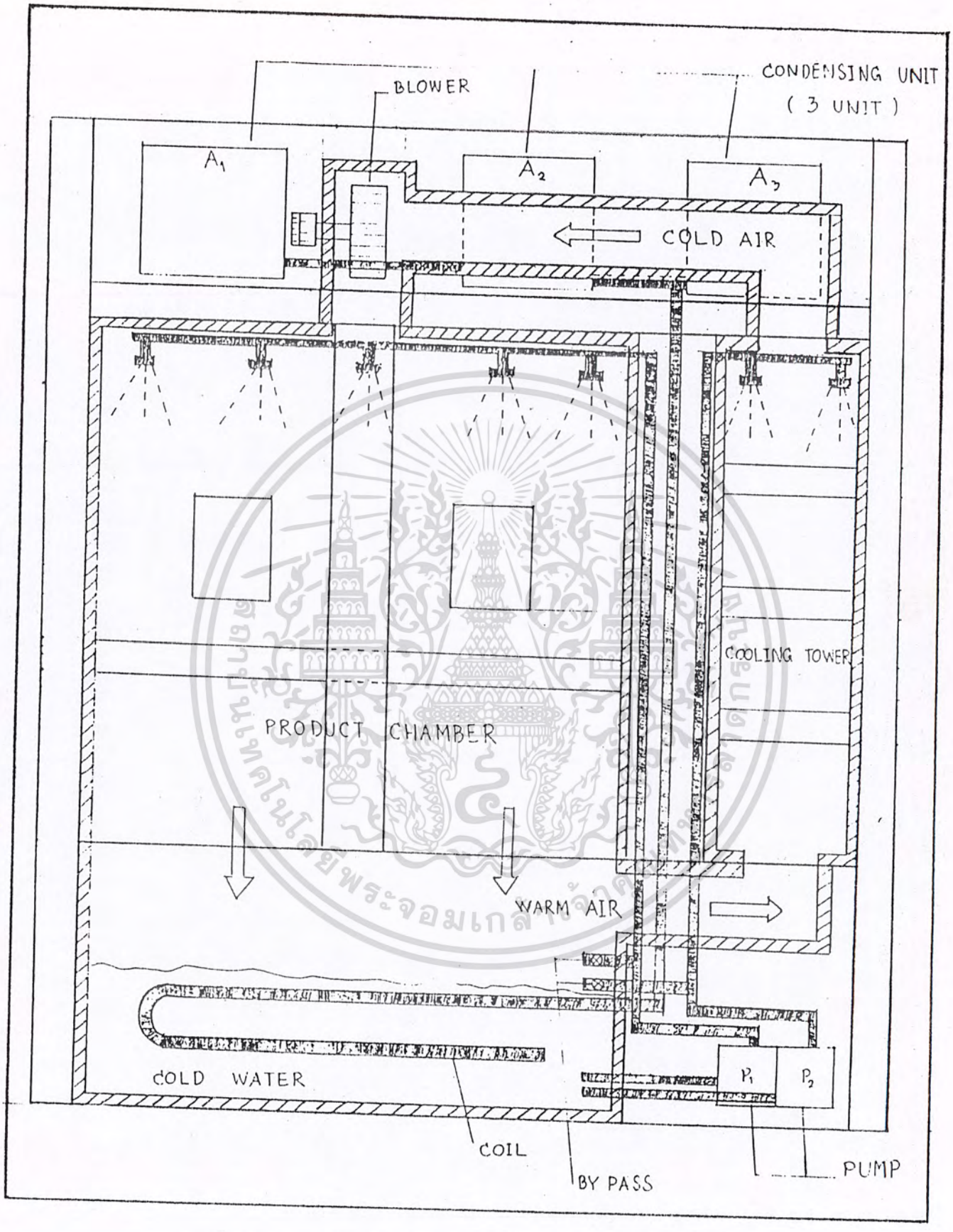
ระบบนี้เป็นการเปิดทั้งระบบน้ำเย็นและลมเย็นให้ทำงานพร้อมกัน เพื่อให้ทั้ง 2 ระบบลดอุณหภูมิผักผลไม้พร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



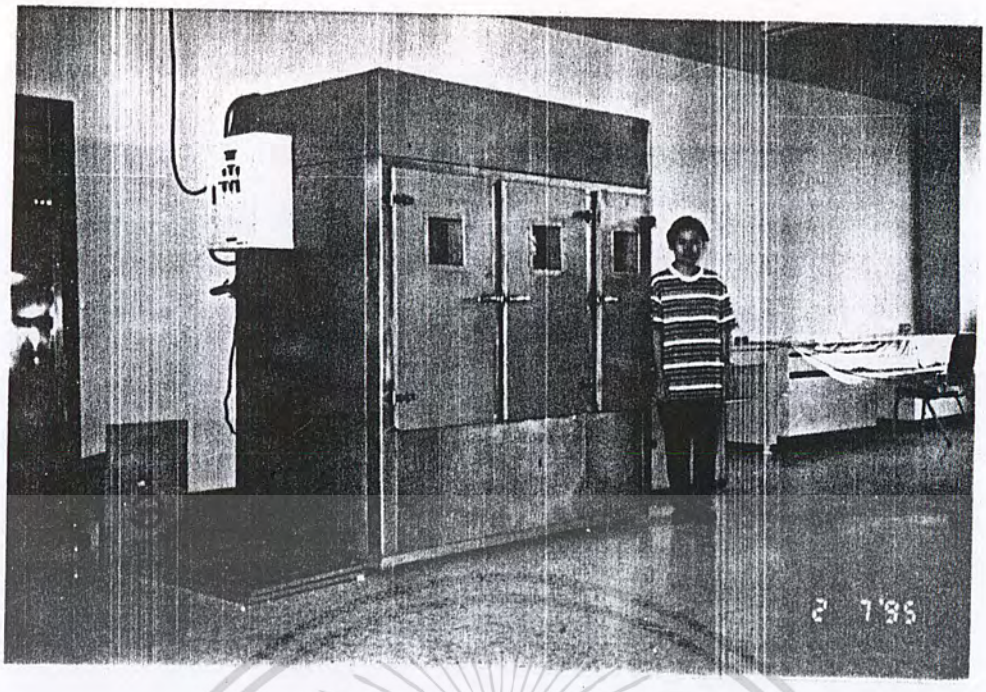
รูปที่ 4.1 เครื่องลดอุณหภูมิผักผลไม้ด้วยระบบน้ำเย็นและลมเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

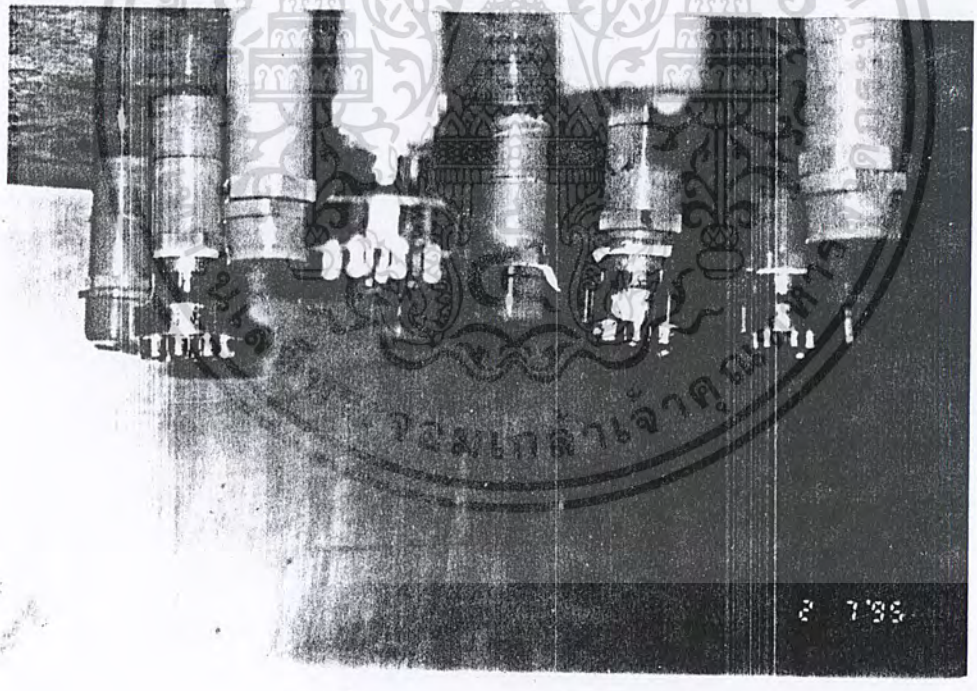


รูปที่ 4.2 ภาพแสดงการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิผักผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

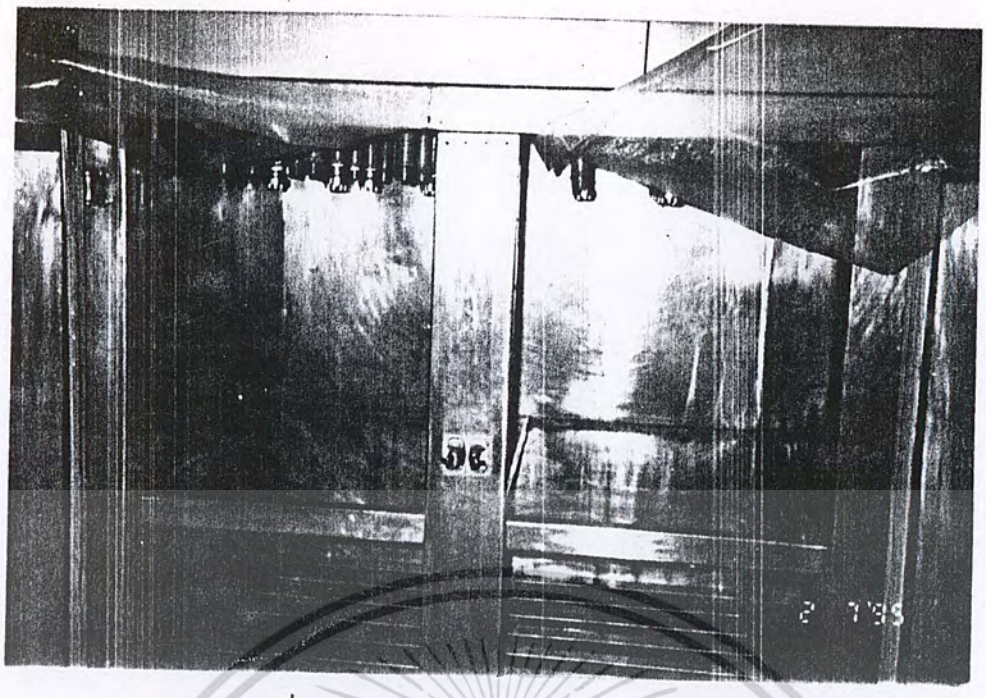


รูปที่ 4.3 เครื่องลดอุณหภูมิผักผลไม้

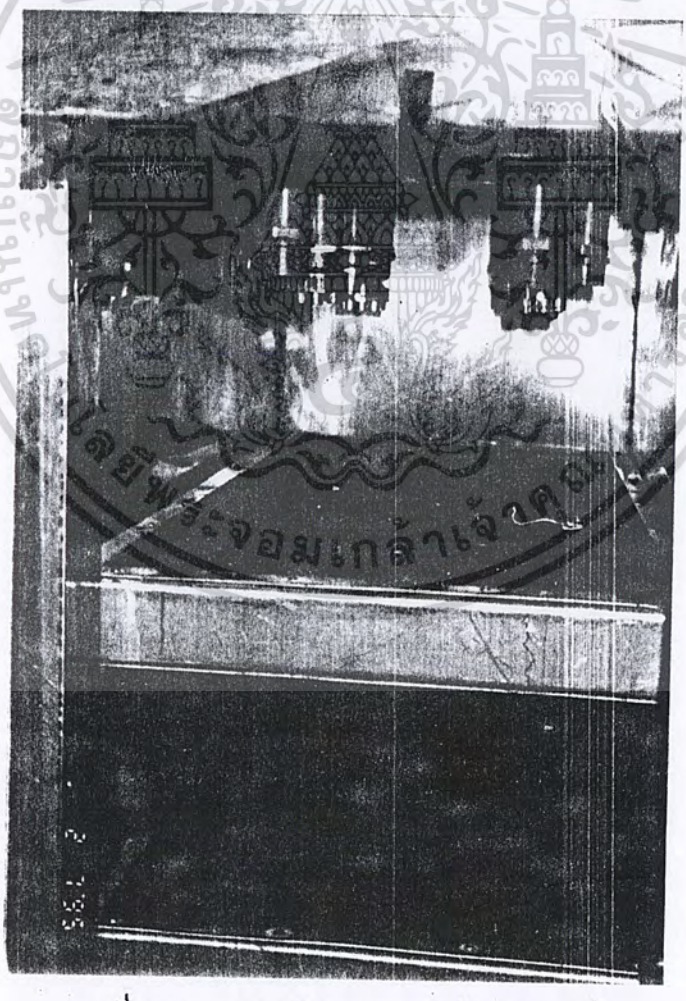


รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะภายในห้องลดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะภายในห้องทำลมเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิธีการดำเนินงาน

เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ จึงแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังนี้

5.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของเครื่อง

5.2 การทดลองหาค่า Half Cooling Time ของผลไม้ตัวอย่าง

5.3 การทดลองเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของกล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิ แล้วนำไปเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ

5.4 การวิเคราะห์ผลและสรุปผล

5.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของเครื่อง

5.1.1 วัดอัตราการไหลของลมในท่อลม

จากสูตรการหาอัตราการไหล : $Q = VA$

โดยที่ Q : อัตราการไหล (m^3/sec)

A : พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)

ขนาดของท่อเท่ากับ 7 x 8 นิ้ว

V : ความเร็วเฉลี่ยที่พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2/sec)

ดังนั้นจะต้องหาความเร็วเฉลี่ยของลมที่พื้นที่หน้าตัดของท่อทางออกของลมโดยแบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็นช่องเล็ก ๆ เท่ากัน ช่องละ 1 นิ้ว จำนวน 56 ช่อง แล้วใช้แอนนิโมมิเตอร์ (Anemometer) วัดความเร็วลมแต่ละช่อง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้คูณกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ จะได้อัตราการไหลของลมในท่อ ในหน่วย cfm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 วัดอัตราการไหลของน้ำจากแต่ละหัวฉีด

ห้องลดอุณหภูมิมีหัวฉีดทั้งหมด 10 หัว นำกระบอกตวงขนาด 1000 cm^3 มาวางรองน้ำจากหัวฉีด (Nozzle) ทุกหัวโดยจะต้องหาภาชนะมารองกระบอกตวงให้สูงจนสวมที่หัวฉีดได้พอดี จากนั้นเปิดปั๊มน้ำให้ทำงานจับเวลาให้ได้ 10 วินาทีจึงปิด วัดปริมาตรของน้ำในแต่ละบิกเกอร์บันทึกผลไว้ ทำซ้ำ 2 ครั้ง จึงนำปริมาตรน้ำแต่ละหัวที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย เทียบต่อหน่วยเวลา จะได้อัตราการไหลสูงสุดของน้ำจากหัวฉีดแต่ละหัวในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

5.1.3 วัดการกระจายของน้ำบนพื้นที่ถาดรองรับ

นำบิกเกอร์ขนาด 1000 cm^3 จำนวน 12 ใบ มาวางกระจายให้ทั่วพื้นที่ถาดรองรับ โดยวางแถวละ 3 ใบ จากนั้นเปิดปั๊มน้ำให้ทำงาน จับเวลา 30 วินาทีจึงปิด แล้ววัดปริมาตรน้ำในบิกเกอร์แต่ละใบ บันทึกผลไว้ ทำซ้ำ 5 ครั้ง จึงนำปริมาตรน้ำในแต่ละบิกเกอร์มาหาค่าเฉลี่ย แล้วเปรียบเทียบการกระจายน้ำในแต่ละพื้นที่

5.1.4 วัดการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้จากการลดความเย็นทั้ง 3 ระบบ

เพื่อให้ทราบว่าขณะทำความเย็นนั้น ที่ทุกจุดภายในตู้มีอุณหภูมิแตกต่างกันหรือไม่ จึงต้องทำการวัดการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้ โดยนำสายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) จำนวน 9 สาย วางกระจายบนถาดรองรับให้ทั่วพื้นที่ โดยวางเป็นแถว ๆ ละ 3 สาย อีก 1 สายนำไปวัดอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำ (Reservoir Tank) ต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับดาต้าลอกเกอร์ (Data Logger) เพื่ออ่านอุณหภูมิ ก่อนที่จะเปิดปั๊มน้ำ สังเกตอุณหภูมิของน้ำที่อ่านได้จากดาต้าลอกเกอร์ (สายสุดท้ายที่นำไปวัดอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ) ซึ่งควรจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากตู้ควบคุม จากนั้นเปิดปั๊มน้ำให้ทำงานในระบบน้ำเย็น ลมเย็น และน้ำเย็นรวมกับลมเย็น ตามลำดับ และปรับอัตราการไหลของน้ำ 2 ระดับคือ อัตราการไหลของน้ำสูงสุด และครึ่งหนึ่ง บันทึกอุณหภูมิลงดาต้าลอกเกอร์ทุก 1 นาที จนอุณหภูมิลดลงอยู่ในช่วงประมาณครึ่งหนึ่งระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นกับอุณหภูมิตัวกลาง สังเกตการกระจายของอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ นั้น แต่สำหรับระบบลมเย็น บันทึกอุณหภูมิลงดาต้าลอกเกอร์ทุก 3 นาที เนื่องจากอัตราการลดอุณหภูมิใช้เวลามากกว่าระบบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลองหาค่า Half Cooling Time ของผลไม้ตัวอย่าง ซึ่งมีวิธีทดลองดังนี้

5.2.1 เลือกผักผลไม้ที่จะนำมาทดลอง ซึ่งใช้ทดลองได้ทั้ง 3 ระบบ สามารถทนต่อลมเย็นและน้ำเย็นได้ ซึ่งผลไม้ที่เลือกทดลองคือ ฝรั่ง

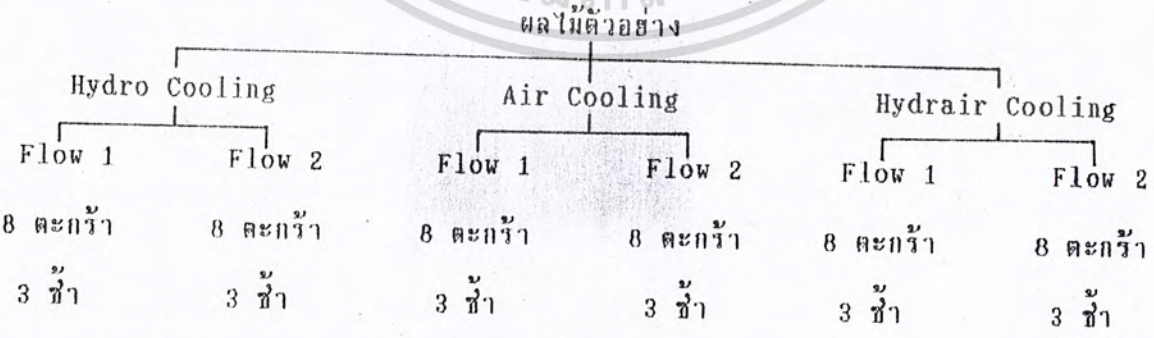
5.2.2 ทดลองหาปริมาณน้ำหนักสูงสุดของผลไม้ที่เลือกมา ซึ่งสามารถบรรจุภายในเครื่องลดอุณหภูมิได้ทั้ง 2 ชั้น โดยการบรรจุในตะกร้าจำนวน 8 ใบ แล้วชั่งน้ำหนักรวมทั้งหมด

5.2.3 ปรับอัตราการไหลของเครื่องลดอุณหภูมิ ให้มีอัตราการไหลของน้ำสูงสุดบรรจุผลไม้ตัวอย่างในตะกร้าให้ได้น้ำหนักรวมตามที่ทดลองได้ เสียบสายเทอร์โมคัปเปิลจากดาต้าลอกเกอร์จำนวน 40 สายกับผลไม้ตัวอย่าง โดยเสียบให้ปลายสายเทอร์โมคัปเปิลอยู่บริเวณใจกลางของผลไม้ตัวอย่าง วางผลไม้ตัวอย่างที่เสียบสายเทอร์โมคัปเปิลในเครื่องลดอุณหภูมิชั้นละ 20 ตัวอย่าง โดยวางสุ่มกระจายให้ทั่วในแต่ละชั้น สังเกตอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บจากตู้ควบคุม ซึ่งควรจะมีค่าประมาณ 0 °C จึงเริ่มทดลองทั้ง 3 ระบบ โดยทำซ้ำในแต่ละระบบ 3 ครั้ง ก่อนที่จะทำการทดลองถัดไปในแต่ละครั้ง ควรจะรอให้อุณหภูมิใจกลางของผลไม้ลงสู่อุณหภูมิปกติเสียก่อน

5.2.4 ปรับ By pass ของปั๊มน้ำทั้ง 2 ห้อง ให้อัตราการไหลของน้ำลดลงครึ่งหนึ่งแล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่เริ่มแรก เพื่อศึกษาความแตกต่างเทียบกับกรณีที่น้ำมีอัตราการไหลของน้ำสูงสุด

5.2.5 เลือกอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะกับการลดอุณหภูมิแต่ละระบบ เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

5.2.6 วางแผนการทดลองแบบ 3 x 2 x 8 CRD Factorial 3 ซ้ำ



หมายเหตุ: Flow 1 คืออัตราการไหลของน้ำสูงสุด

Flow 2 คืออัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 <u>การทดลองเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของกล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิ แล้วนำไปเก็บรักษาในสภาวะต่าง ๆ</u> ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

5.3.1 คัดเลือกกล้วยไข่ที่มีขนาดสม่ำเสมอมาล้างทำความสะอาด แล้วจุ่มลงในสารละลายกันเชื้อราไธอะเบนดาโซน (Thiabendazone:TBZ) ความเข้มข้น 1000 ppm จากนั้นบรรจุลงตะกร้า ๆ ละ 10 หวี จำนวน 12 ตะกร้า

5.3.2 ทำการลดอุณหภูมิกล้วยไข่ด้วยระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด ระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง และระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด ระบบละ 4 ตะกร้า พร้อมทั้งแบ่งกล้วยไข่ไว้เป็นตัวควบคุม (Control) จำนวน 4 หวี

5.3.3 ทำการลดอุณหภูมิในแต่ละระบบจนอุณหภูมิของกล้วยไข่เท่ากับ 14 °C จากนั้นนำเข้าเก็บในรถห้องเย็น ซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับ 14 °C ทันที เพื่อนำไปทดสอบที่สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร โดยแบ่งกล้วยไข่ทั้ง 3 ระบบเพื่อทดสอบออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

ก. ตัวควบคุม จำนวน 4 หวี

ข. เก็บที่อุณหภูมิห้อง ระบบละ 4 หวี

ค. เก็บที่อุณหภูมิ 14 °C 2 สัปดาห์ ระบบละ 4 หวี

ง. เก็บที่อุณหภูมิ 14 °C ในสภาพควบคุมบรรยากาศ ให้มีความเข้มข้น 2 % O_2 ผสมกับ 2 % CO_2 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ระบบละ 8 หวี

5.3.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการเปลี่ยนสีผิว ช่วงเวลาการสุก อายุการวางจำหน่าย และวิเคราะห์คุณภาพภายใน ได้แก่ ความแน่นเนื้อ (Firmness) ปริมาณ Total Soluble Solid วิตะมินซี และเปอร์เซนต์กรด (Titratable Acid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 <u>การวิเคราะห์ผลและสรุปผล</u>

5.4.1 นำผลที่บันทึกได้จากคาต้าลอกเกอร์ ในแต่ละระบบ และครั้งที่ทำการทดลองซ้ำ มาเขียนกราฟเพื่อดูการกระจายของอุณหภูมิ และค่า Half Cooling Time ของทั้ง 40 สาย และใช้โปรแกรม IRRISTAT วิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้เชิงสถิติ

5.4.2 นำผลที่วิเคราะห์ได้ เลือกระบบและอัตราการไหลที่เหมาะสมกับผลไม้ตัวอย่าง รวมทั้งการกระจายอุณหภูมิภายในเครื่องลดอุณหภูมิ

5.4.3 สรุปผลการทดลองและรายงานผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลอง

ผลการทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อใหญ่ ๆ ดังนี้

6.1 ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของเครื่อง

6.2 ผลการทดลองหาค่า Half Cooling Time ของผลไม้ตัวอย่าง

6.3 ผลการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของกล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วนำไปเก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ

6.1 ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของเครื่อง แบ่งออกเป็น

6.1.1 ผลการวัดอัตราการไหลของลมในท่อลม

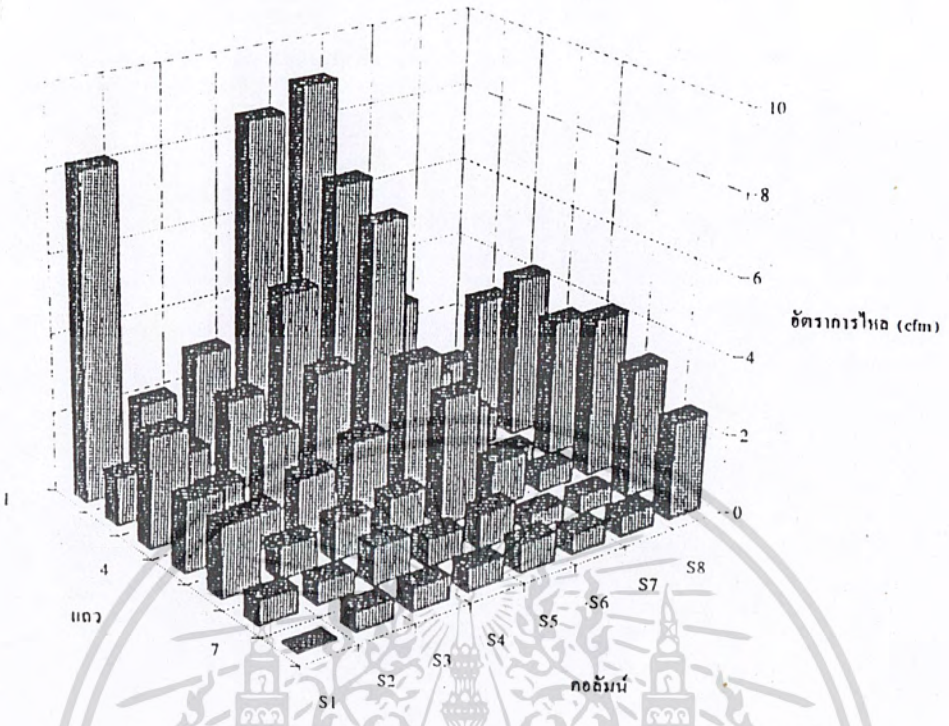
ดังแสดงในตารางที่ 6.1 และรูปที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 อัตราการไหลของลม

คอลัมน์ / แถว	อัตราการไหลของลม ($\times 10^{-1}$ cfm)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	8.199	2.093	3.012	8.572	9.153	1.856	1.164	0.846
2	1.228	1.338	2.329	4.732	7.116	3.667	0.774	3.139
3	2.793	1.065	1.993	3.176	6.616	2.248	0.792	4.204
4	1.830	0.983	1.492	1.993	3.577	1.893	0.437	3.531
5	1.829	0.846	1.028	1.147	3.221	1.183	0.555	4.104
6	0.646	0.592	1.001	0.737	0.919	0.464	0.473	3.285
7	0.047	0.528	0.619	0.619	0.764	0.546	0.564	2.475

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.1 กราฟอัตราการไหลของลม



6.1.2 ผลการวัดอัตราการไหลสูงสุดของน้ำจากหัวฉีด

ตำแหน่งการวัดแสดงในรูปที่ 6.2 และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6.2 และรูปที่ 6.3

2 4 6 8 10

1 3 5 7 9

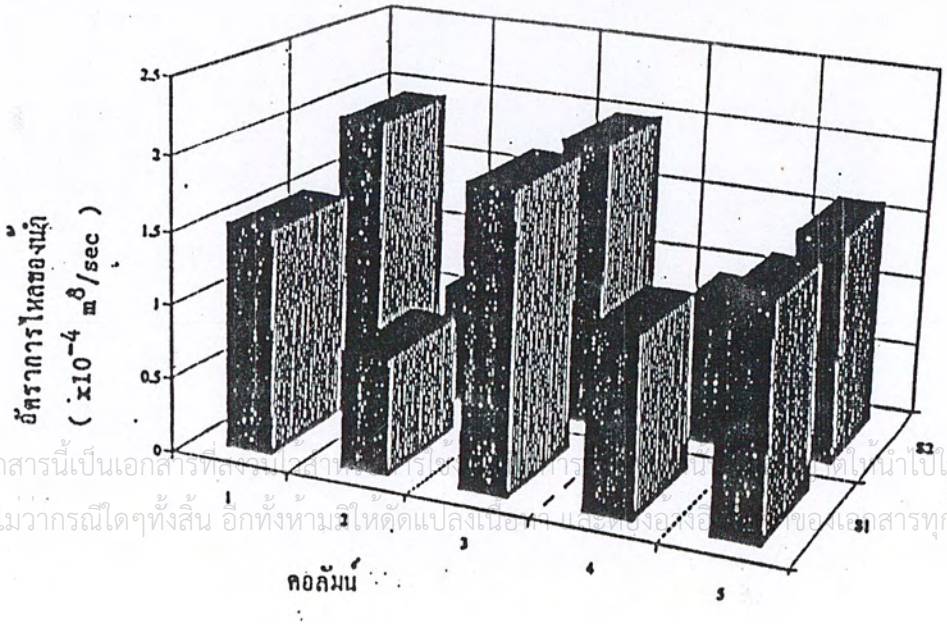
รูปที่ 6.2 ตำแหน่งของหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 อัตราการไหลของน้ำผ่านหัวฉีด

อัตราการไหลของน้ำผ่านหัวฉีด ($x10^{-4}$ m^3/sec)			
หัวที่	ซ้ำที่1	ซ้ำที่2	เฉลี่ย
1	1.925	1.940	1.933
2	1.530	1.535	1.533
3	0.820	0.810	0.815
4	0.800	0.780	0.790
5	1.970	2.000	1.985
6	2.015	2.050	2.033
7	0.905	0.900	0.903
8	1.225	1.200	1.213
9	1.575	1.605	1.590
10	1.540	1.580	1.560

รูปที่ 6.3 กราฟอัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 ผลการวัดการกระจายของน้ำบนพื้นที่ทดลองรับ

ตำแหน่งการวัดแสดงในรูปที่ 6.4 และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6.3 และรูปที่ 6.5

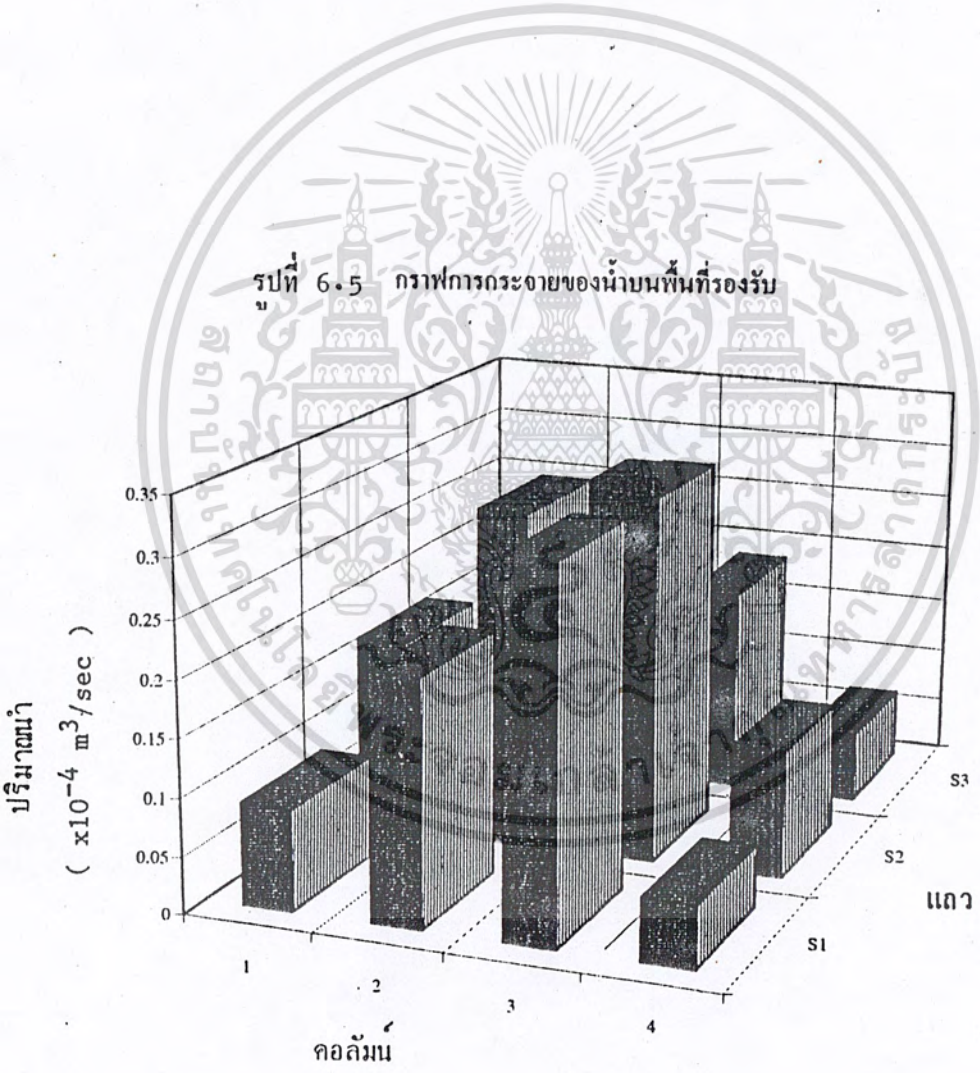
ตารางที่ 6.3 การกระจายของน้ำจากหัวฉีดบนพื้นที่รองรับ

การกระจายของน้ำจากหัวฉีดบนพื้นที่รองรับ ($x10^{-4}$ m^3/sec)						
ตำแหน่ง	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	เฉลี่ย
1	0.1033	0.1050	0.1366	0.1033	0.1116	0.1119
2	0.1616	0.1766	0.1733	0.1700	0.1783	0.1719
3	0.0450	0.0933	0.1033	0.1016	0.1033	0.0893
4	0.2483	0.2683	0.2900	0.2433	0.2900	0.2679
5	0.2766	0.2966	0.3016	0.2933	0.3150	0.2966
6	0.2166	0.2033	0.2283	0.2183	0.2083	0.2149
7	0.1733	0.1950	0.1800	0.1683	0.2066	0.1846
8	0.3432	0.3283	0.3100	0.2766	0.3433	0.3203
9	0.3133	0.3433	0.3350	0.2716	0.3333	0.3193
10	0.0533	0.0666	0.0700	0.0616	0.0633	0.0629
11	0.1033	0.1083	0.1100	0.1216	0.1200	0.1126
12	0.0700	0.0483	0.0500	0.0516	0.0566	0.0553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	6	9	12
2	5	8	11
1	4	7	10

รูปที่ 6.4 ตำแหน่งวัดการกระจายของน้ำบนพื้นที่รองรับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.4 ผลการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในตู้จากการลดอุณหภูมิทั้ง 3 ระบบ

ตำแหน่งการวัดแสดงในรูปที่ 6.6

ผลการทดลองในระบบน้ำเย็น แสดงในตารางที่ 6.4,6.5 และรูปที่ 6.7,6.8

ผลการทดลองในระบบลมเย็น แสดงในตารางที่ 6.6,6.7 และรูปที่ 6.9,6.10

ผลการทดลองในระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น แสดงในตารางที่ 6.8, 6.9 และรูปที่ 6.11,6.12

รูปที่ 6.6 ตำแหน่งการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในตู้เปล่า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุดในตู้เปล่า

ตำแหน่ง / นาทีที่	อัตราการลดอุณหภูมิ (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tm*
1	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	4.9
2	8.2	8.1	8.4	8.3	8.4	8.5	8.4	8.2	8.3	4.9
3	8.0	8.0	8.2	8.1	8.3	8.3	8.2	8.0	8.2	4.8
4	7.9	7.9	8.1	8.1	8.2	8.1	8.1	8.0	8.1	4.7
5	7.8	7.8	8.1	7.9	8.1	8.0	8.0	7.8	8.0	4.5
6	7.7	7.8	8.0	7.8	8.0	7.9	7.9	7.7	7.9	4.3
7	7.6	7.6	7.9	7.8	8.0	7.9	7.8	7.7	7.8	4.1
8	7.6	7.5	7.8	7.6	7.9	7.8	7.7	7.6	7.8	4.0
9	7.5	7.5	7.8	7.6	7.8	7.7	7.6	7.5	7.7	4.0
10	7.4	7.4	7.7	7.5	7.7	7.7	7.6	7.4	7.7	4.0
11	7.4	7.4	7.6	7.5	7.7	7.6	7.6	7.5	7.7	4.0
12	7.3	7.3	7.6	7.4	7.6	7.5	7.5	7.3	7.5	4.0
13	7.3	7.3	7.5	7.4	7.6	7.6	7.5	7.3	7.5	4.0
14	7.2	7.2	7.5	7.3	7.5	7.5	7.4	7.3	7.5	4.0
15	7.2	7.2	7.5	7.2	7.5	7.4	7.4	7.2	7.4	3.9
16	7.2	7.2	7.4	7.2	7.4	7.4	7.3	7.1	7.3	3.9
17	7.1	7.1	7.4	7.2	7.4	7.4	7.3	7.2	7.4	3.9
18	7.1	7.0	7.3	7.2	7.3	7.3	7.2	7.1	7.3	3.9
19	7.0	7.0	7.3	7.1	7.3	7.2	7.2	7.1	7.3	3.8
20	7.0	7.0	7.3	7.1	7.3	7.3	7.2	7.0	7.2	3.8
21	7.0	7.0	7.2	7.1	7.3	7.2	7.1	7.0	7.2	3.7
22	6.9	6.9	7.2	7.1	7.2	7.2	7.1	7.0	7.2	3.7

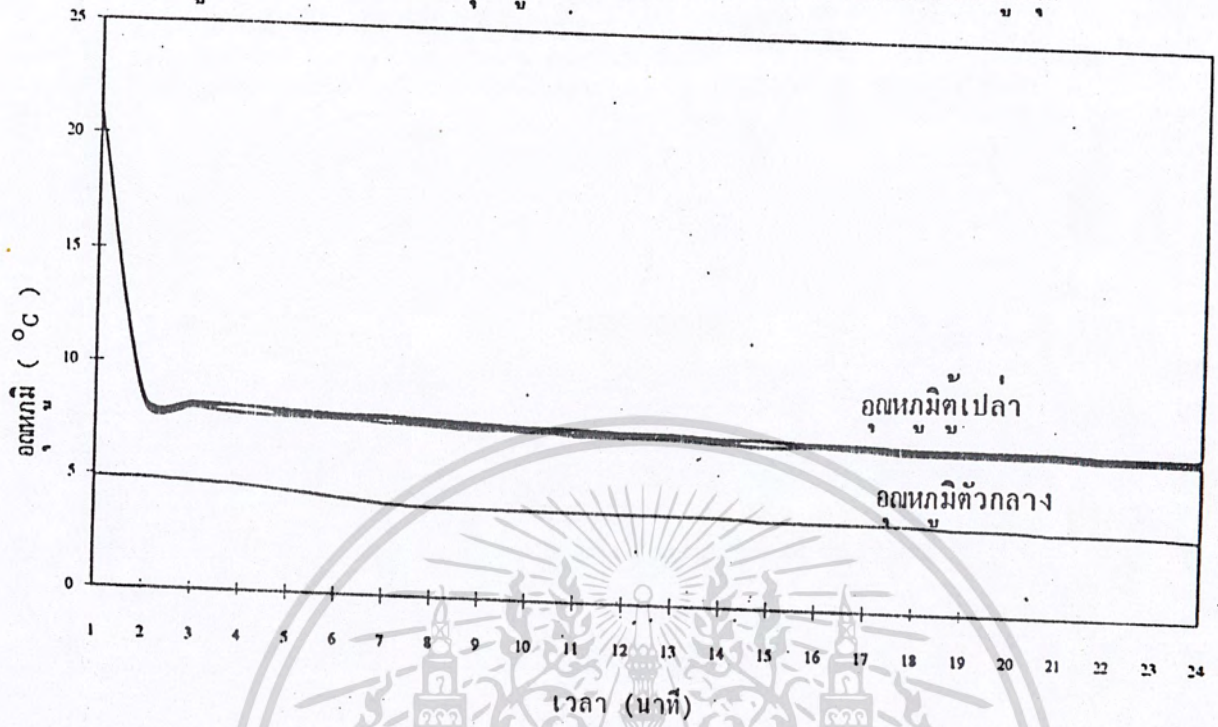
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่งในตู้เปล่า

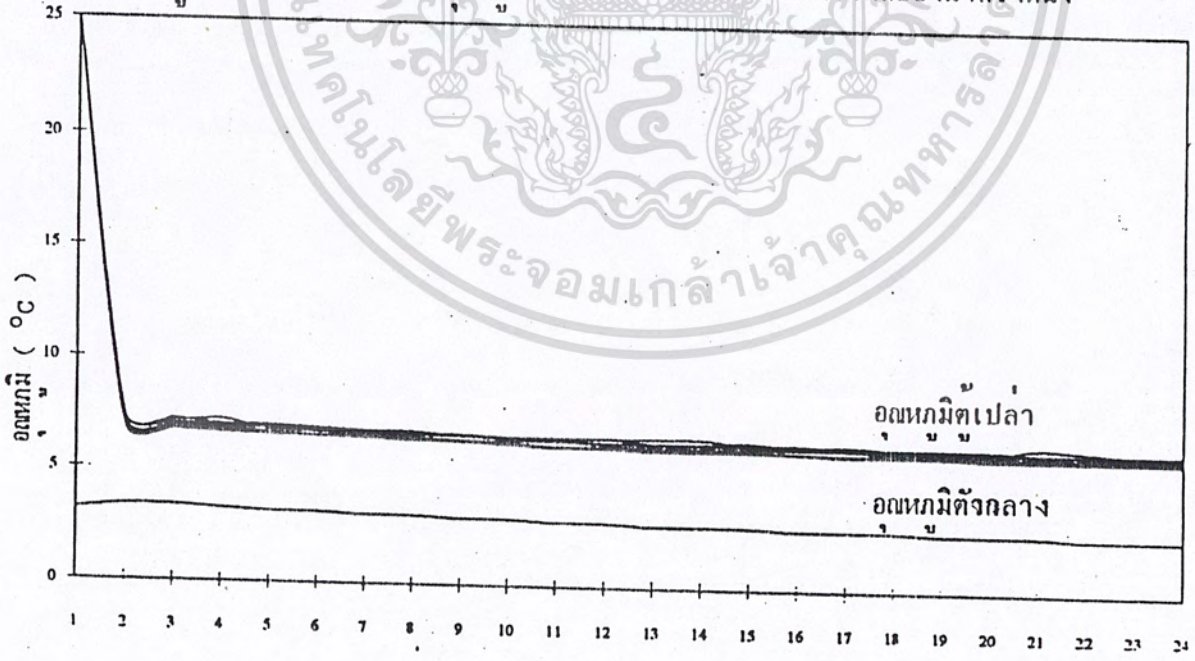
ตำแหน่ง / นาทีที่	อัตราการลดอุณหภูมิ (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tm*
1	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	3.2
2	7.0	6.9	7.4	7.1	7.4	7.4	7.2	6.9	7.2	3.4
3	6.8	6.8	7.1	6.9	7.3	7.2	7.0	6.8	7.0	3.4
4	6.7	6.8	7.1	6.8	7.1	7.3	6.9	6.8	7.0	3.3
5	6.6	6.6	7.0	6.7	7.1	6.9	6.8	6.6	6.9	3.2
6	6.6	6.6	6.9	6.6	7.0	6.9	6.8	6.6	6.8	3.2
7	6.5	6.5	6.8	6.6	6.9	6.9	6.7	6.5	6.7	3.1
8	6.4	6.5	6.8	6.5	6.8	6.9	6.6	6.4	6.7	3.1
9	6.4	6.4	6.8	6.4	6.8	6.7	6.5	6.4	6.7	3.0
10	6.3	6.3	6.7	6.4	6.7	6.7	6.5	6.4	6.6	3.0
11	6.3	6.2	6.6	6.3	6.7	6.6	6.5	6.2	6.5	2.9
12	6.2	6.2	6.5	6.3	6.7	6.7	6.4	6.3	6.5	2.9
13	6.2	6.1	6.5	6.2	6.7	6.5	6.3	6.2	6.4	2.8
14	6.1	6.1	6.5	6.2	6.7	6.5	6.3	6.2	6.4	2.8
15	6.1	6.1	6.5	6.2	6.5	6.6	6.3	6.1	6.4	2.8
16	6.1	6.1	6.4	6.1	6.5	6.4	6.3	6.1	6.3	2.7
17	6.0	6.1	6.4	6.1	6.4	6.5	6.3	6.1	6.3	2.7
18	6.0	6.1	6.4	6.1	6.4	6.4	6.2	6.0	6.3	2.7
19	6.0	6.0	6.3	6.1	6.4	6.4	6.2	6.0	6.3	2.6
20	5.9	6.0	6.3	6.0	6.3	6.4	6.1	6.0	6.2	2.6
21	5.9	5.9	6.3	6.0	6.5	6.3	6.1	6.0	6.2	2.6
22	5.9	5.9	6.3	6.0	6.4	6.2	6.1	6.0	6.1	2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.7 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด



รูปที่ 6.8 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุดในตู้เปล่า

ตำแหน่งที่ / นาทีที่	อัตราการลดอุณหภูมิ (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tm*
1	21.0	21.3	21.6	21.4	21.4	21.5	21.5	21.6	21.7	4.1
4	15.7	15.0	15.1	15.6	15.0	14.5	15.4	15.0	14.6	4.0
7	14.4	13.7	14.0	14.2	13.8	13.5	14.1	13.7	13.5	4.0
10	13.6	13.1	13.3	13.4	13.2	12.9	13.4	13.0	13.0	4.0
13	13.1	12.7	13.0	12.9	12.9	12.6	12.9	12.6	12.6	4.0
16	12.7	12.5	12.7	12.6	12.6	12.4	12.6	12.4	12.4	4.0
19	12.4	12.2	12.5	12.2	12.3	12.1	12.3	12.1	12.1	4.0
22	12.3	12.2	12.4	12.2	12.3	12.1	12.2	12.1	12.1	4.0
25	12.2	12.1	12.3	12.1	12.2	12.0	12.1	12.0	12.1	4.0
28	12.2	12.0	12.3	12.2	12.2	12.0	12.1	11.9	12.0	4.0
31	12.0	12.0	12.2	12.1	12.1	11.9	11.9	11.9	12.0	4.0
34	12.1	12.0	12.2	12.1	12.1	11.9	12.0	11.9	11.9	4.0

*Tm คืออุณหภูมิของตัวกลางทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกวรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

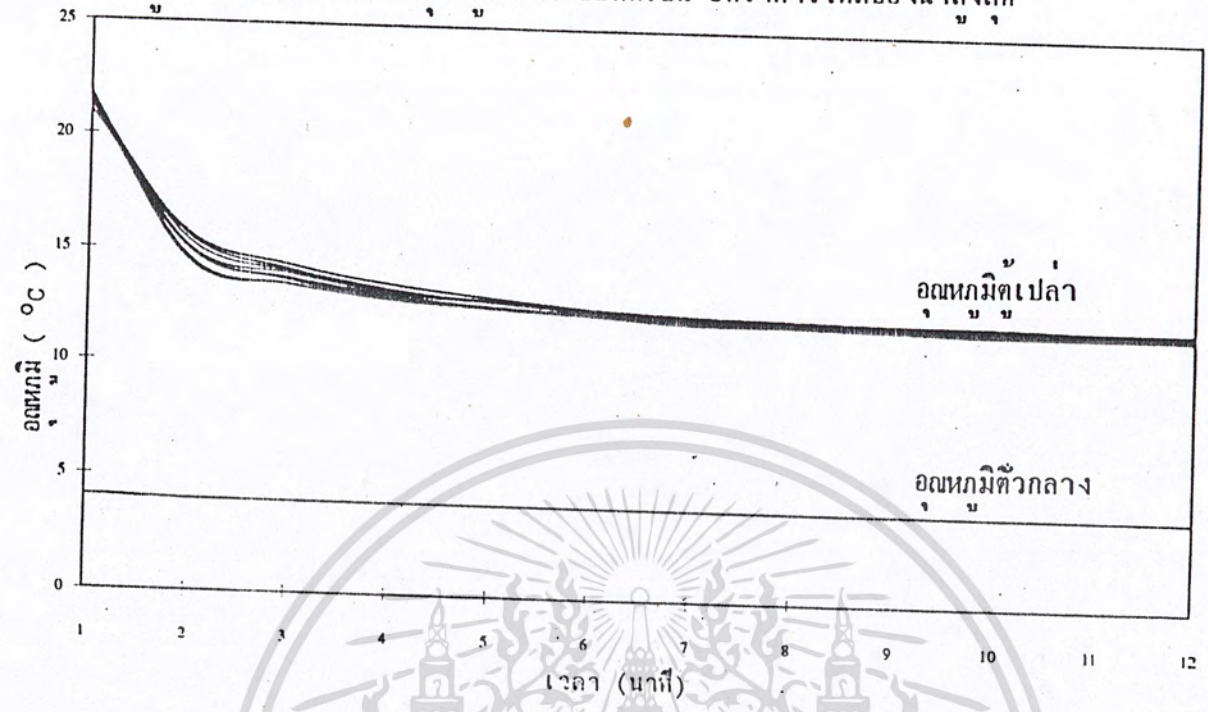
ตารางที่ 6.7 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่งในตู้เปล่า

ตำแหน่งที่ / นาทีที่	อัตราการลดอุณหภูมิ (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tm*
1	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	2.6
4	10.4	11.9	12.5	11.2	12.0	12.1	11.9	12.4	12.0	2.6
7	8.6	9.8	10.4	9.0	10.2	10.4	10.2	10.2	10.3	2.6
10	8.6	9.5	9.9	8.5	9.6	9.8	9.7	9.6	9.8	2.5
13	8.1	9.1	9.6	8.2	9.3	9.5	9.4	9.2	9.6	2.5
16	8.2	9.1	9.4	8.1	9.2	9.3	9.3	9.1	9.4	2.5
19	7.9	8.9	9.3	8.1	9.2	9.3	9.2	8.9	9.3	2.5
22	8.1	8.9	9.3	7.9	9.0	9.3	9.0	8.9	9.3	2.5
25	7.9	8.9	9.2	7.9	8.9	9.2	9.0	8.9	9.2	2.4
28	8.1	8.9	9.3	7.9	9.0	9.2	9.0	8.8	9.3	2.4
31	8.0	8.9	9.2	7.9	9.1	9.2	9.1	8.8	9.3	2.4
34	8.0	8.9	9.2	7.9	9.0	9.2	9.0	8.8	9.3	2.3
37	8.2	8.3	9.3	7.9	9.0	9.2	9.0	8.8	9.2	2.3

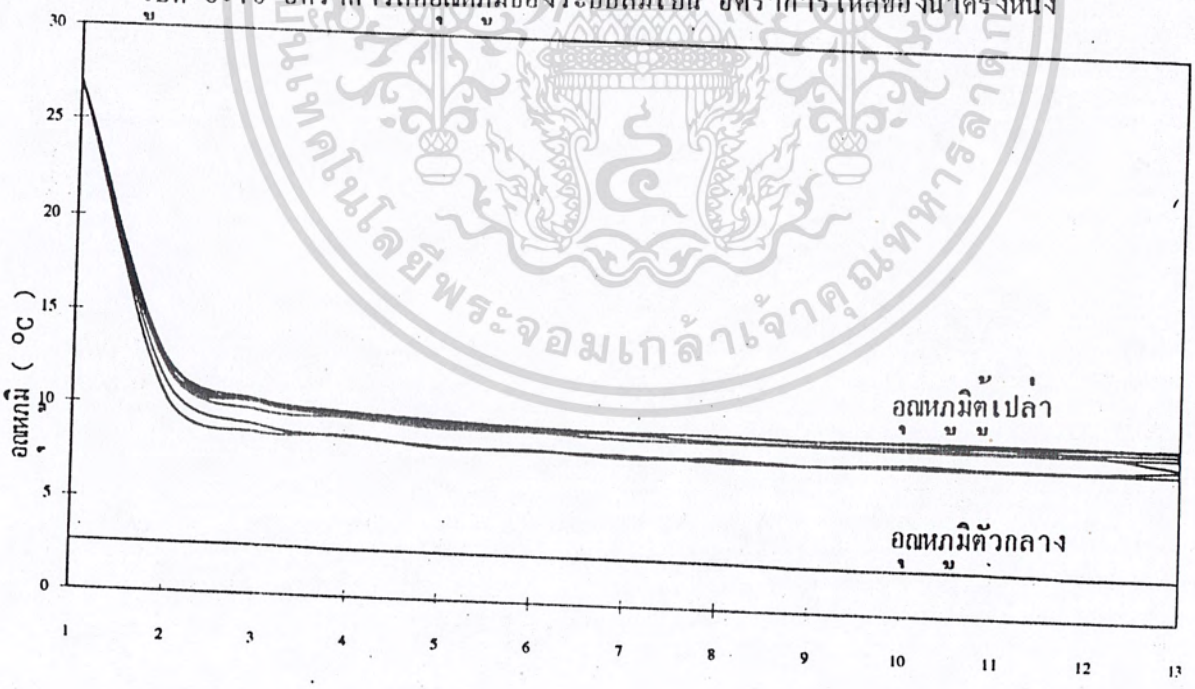
*Tm คืออุณหภูมิของตัวกลางทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.9 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด



รูปที่ 6.10 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบลมเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบผสม อัตราการไหลของน้ำสูงสุดในตู้เปล่า

ตำแหน่งที่ / นาทีที่	อัตราการลดอุณหภูมิ (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tm*
1	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	3.7
2	7.8	7.8	8.0	7.9	8.2	8.1	8.0	7.9	8.0	4.0
3	7.7	7.7	8.0	7.8	8.1	8.0	8.0	7.8	8.0	4.0
4	7.7	7.7	8.0	7.8	8.0	8.0	7.9	7.8	7.9	4.0
5	7.7	7.7	7.9	7.8	8.1	8.0	7.9	7.7	7.9	4.0
6	7.7	7.7	7.7	7.7	8.0	7.9	7.8	7.7	7.9	4.0
7	7.7	7.7	8.0	7.7	8.0	8.0	7.9	7.8	7.9	4.0
8	7.6	7.7	8.0	7.7	8.1	8.0	7.8	7.7	7.9	4.0
9	7.7	7.7	8.0	7.8	8.0	7.9	7.8	7.7	7.9	4.0
10	7.7	7.7	7.9	7.7	8.0	8.0	7.9	7.7	8.0	4.0

*Tm คืออุณหภูมิของตัวกลางทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

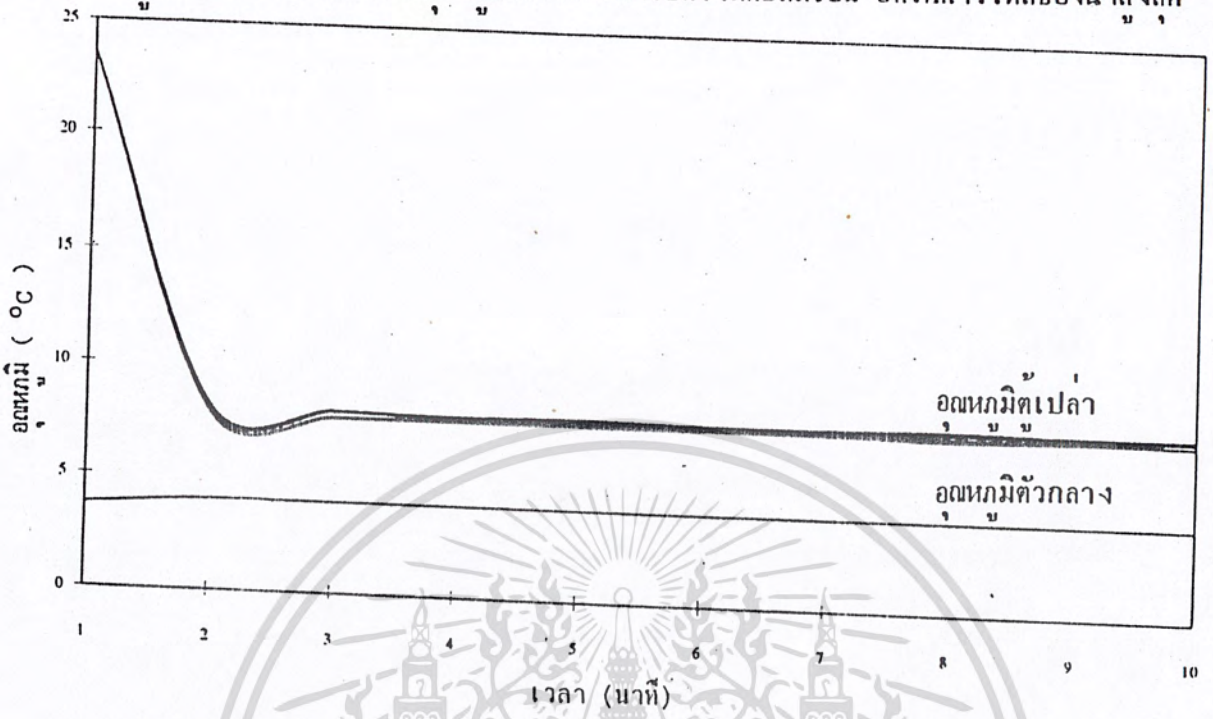
ตารางที่ 6.9 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบผสม อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่งในตู้เปล่า

นาทีที่ \ ตำแหน่งที่	อัตราการลดอุณหภูมิ (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tm*
1	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	4.0
2	7.5	7.5	8.1	7.7	8.6	8.2	8.0	7.7	7.9	4.0
3	7.3	7.4	7.8	7.4	8.2	7.9	7.7	7.5	7.7	3.9
4	7.2	7.2	7.6	7.3	7.9	7.8	7.5	7.3	7.6	3.8
5	7.1	7.1	7.5	7.2	7.8	7.5	7.3	7.2	7.4	3.7
6	7.0	7.0	7.4	7.1	7.6	7.7	7.3	7.1	7.3	3.6
7	6.9	7.0	7.3	7.0	7.6	7.4	7.2	7.0	7.2	3.6
8	6.9	6.9	7.3	7.0	7.6	7.3	7.1	6.9	7.1	3.5
9	6.8	6.8	7.2	6.9	7.4	7.1	7.0	6.9	7.1	3.5
10	6.8	6.8	7.1	6.8	7.4	7.1	7.0	6.8	7.1	3.4
11	6.8	6.7	7.1	6.8	7.3	7.1	7.0	6.8	7.0	3.4
12	6.7	6.7	7.1	6.7	7.3	7.1	6.9	6.7	7.0	3.4
13	6.7	6.7	7.1	6.7	7.2	7.0	6.8	6.7	6.9	3.3
14	6.6	6.6	7.0	6.7	7.2	7.0	6.8	6.7	6.9	3.3
15	6.6	6.6	7.0	6.6	7.2	6.9	6.8	6.7	6.9	3.3

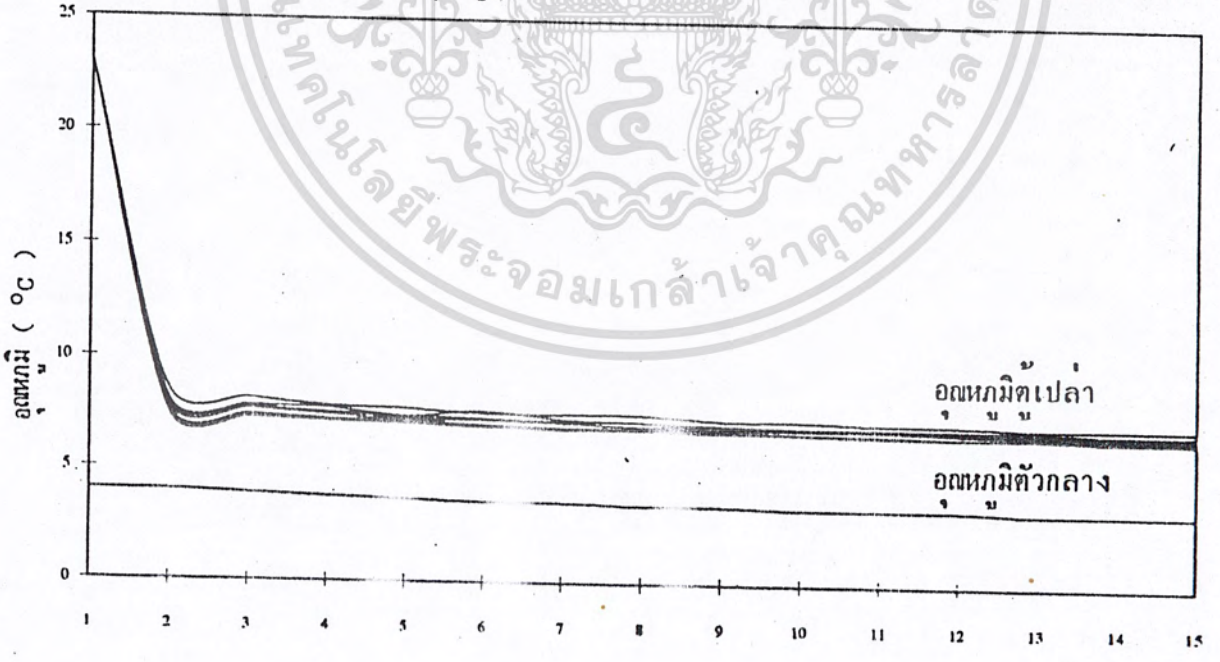
*Tm คืออุณหภูมิที่ตัวกลางมีความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.11 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น อัตรการไหลของน้ำสูงสุด



รูปที่ 6.12 อัตราการลดอุณหภูมิของระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลองหาค่า Half Cooling Time ของผลไม้ตัวอย่าง

ผลการทดลองแสดงในตารางผนวกที่ 1 ถึง 6 ประกอบด้วยค่า j,CR และค่า Half Cooling Time (Z) ซึ่งได้มาจากการคำนวณในข้อ 3.7

จากผลการทดลองที่ได้ นำไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม IRRISTAT ตามแผนการทดลองที่วางไว้ ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 6.10 และ 6.11

จากการวิเคราะห์ตารางที่ 6.10 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างระบบทำความเย็น กับอัตราการไหลของน้ำ ของระบบน้ำเย็นและระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น ทั้งอัตราการไหลของน้ำสูงสุดและอัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่งไม่ทำให้ค่า Half Cooling Time มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความมั่นใจ 99 %

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่า Half Cooling Time ของทั้ง 3 ระบบในอัตราการไหลของน้ำสูงสุดมีความแตกต่างกัน คือที่อัตราการไหลของน้ำสูงสุดค่า Half Cooling Time เฉลี่ยของระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็นมีค่าน้อยที่สุดคือ 28.458 นาที รองลงมาคือระบบน้ำเย็น และระบบลมเย็น ซึ่งมีค่า 39.655 และ 118.09 นาที ตามลำดับ สำหรับอัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ระบบลมเย็นมีค่า Half Cooling Time แตกต่างจากระบบน้ำเย็นและระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น คือระบบน้ำเย็นและระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็นมีค่า Half Cooling Time เฉลี่ยเท่ากับ 32.985 และ 38.321 นาทีตามลำดับ แต่สำหรับระบบลมเย็นค่า Half Cooling Time มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 80.920 นาที

การพิจารณาผลของความแตกต่างของตำแหน่งตะกร้า สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 6.11 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบทำความเย็น อัตราการไหล และตำแหน่งของตะกร้า พบว่าในระบบน้ำเย็น และระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น ตำแหน่งของตะกร้าไม่มีผลทำให้ค่า Half Cooling Time มีความแตกต่างกันทางสถิติ นั่นคือสามารถลดอุณหภูมิได้สม่ำเสมอกันทั่วทั้งตู้ ส่วนในระบบลมเย็น ค่า Half Cooling Time ของแต่ละตะกร้าจะมีความแตกต่างกันทั้งในอัตราการไหลของน้ำสูงสุดและครึ่งหนึ่ง ทำให้การลดอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งตู้ สาเหตุเนื่องจากลมเย็นจากท่อลมที่ตำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหน่งต่าง ๆ ในตู้ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการลดอุณหภูมิด้วยระบบลมเย็น ที่อัตราการไหลของน้ำครึ่งหนึ่ง ซึ่งมีอุณหภูมิของลมต่ำ ทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิลมเย็นกับผลไม้สูง มีผลให้การกระจายอุณหภูมิของผลไม้ตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ เกิดความแตกต่างของค่า Half Cooling Time ในแต่ละตะกร้ามาก แต่ถ้าใช้อัตราการไหลของน้ำสูงสุด อัตราการไหลเวียนของน้ำมีมากกว่า ทำให้น้ำเย็นในถังเก็บมีอุณหภูมิสูงกว่า ผลต่างของอุณหภูมิลมเย็นกับผลไม้จึงมีค่าน้อย อัตราการลดอุณหภูมิเป็นไปอย่างช้า ๆ ทำให้เกิดความสม่ำเสมอของค่า Half Cooling Time ในแต่ละตะกร้ามากกว่า

ตารางที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับอัตราการไหล จากค่า Half Cooling Time

ระบบ	อัตราการไหลของน้ำ		ค่าเฉลี่ย	ความแตกต่าง
	สูงสุด	ครึ่งหนึ่ง		
ระบบน้ำเย็น	39.655 b	32.985 b	36.320	6.671 ns
ระบบลมเย็น	118.090 a	80.920 a	99.505	37.170 **
ระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น	28.458 c	38.321 b	33.389	-9.863 ns

** = แตกต่างกันที่ระดับความมั่นใจ 99 % ns = ไม่มีความแตกต่างกัน

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันตามแนวตั้ง ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีวิเคราะห์แบบ DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบ อัตราการไหล และตำแหน่งของตะกร้า จากค่า Half Cooling Time

ระบบ	อัตราการไหลของน้ำ		ค่าเฉลี่ย	ความแตกต่าง
	สูงสุด	ครึ่งหนึ่ง		
ระบบน้ำเย็น				
ตะกร้าที่ 1	42.550 a	38.917 a	40.733	3.633 ns
ตะกร้าที่ 2	38.730 a	30.860 a	34.795	7.870 ns
ตะกร้าที่ 3	40.050 a	31.940 a	35.995	8.110 ns
ตะกร้าที่ 4	34.950 a	29.333 a	32.142	5.617 ns
ตะกร้าที่ 5	45.577 a	34.150 a	39.863	11.427 ns
ตะกร้าที่ 6	41.527 a	37.117 a	39.322	4.410 ns
ตะกร้าที่ 7	37.697 a	35.460 a	36.578	2.237 ns
ตะกร้าที่ 8	36.163 a	26.100 a	31.132	10.063 ns
ระบบลมเย็น				
ตะกร้าที่ 1	94.417 b	60.557 cd	77.487	33.860 *
ตะกร้าที่ 2	98.997 b	53.140 d	76.068	45.857 **
ตะกร้าที่ 3	124.090 ab	82.933 a-d	103.512	41.157 **
ตะกร้าที่ 4	124.863 ab	97.920 ab	111.392	26.943 ns
ตะกร้าที่ 5	136.733 a	92.517 abc	114.625	44.217 **
ตะกร้าที่ 6	109.000 ab	107.633 a	108.318	1.367 ns
ตะกร้าที่ 7	116.500 ab	71.937 bcd	94.218	44.563 **
ตะกร้าที่ 8	140.120	80.720 a-d	110.420	59.400 **

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.11 (ต่อ)

ระบบ	อัตราการไหลของน้ำ		ค่าเฉลี่ย	ความแตกต่าง
	สูงสุด	ครั้งหนึ่ง		
ระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น				
ตะกร้าที่ 1	32.580 a	40.177 a	36.378	-7.597 ns
ตะกร้าที่ 2	28.130 a	35.160 a	31.645	-7.030 ns
ตะกร้าที่ 3	26.890 a	37.333 a	32.112	-10.443 ns
ตะกร้าที่ 4	22.343 a	34.393 a	28.368	-12.050 ns
ตะกร้าที่ 5	32.140 a	42.710 a	37.425	-10.570 ns
ตะกร้าที่ 6	31.087 a	38.430 a	34.758	-7.343 ns
ตะกร้าที่ 7	31.717 a	45.857 a	38.787	-14.140 ns
ตะกร้าที่ 8	22.773 a	32.507 a	27.640	-9.733 ns

* = แตกต่างกันที่ระดับความมั่นใจ 95 % ** = แตกต่างกันที่ระดับความมั่นใจ 99 %

ns = ไม่มีความแตกต่างกัน

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันตามแนวตั้ง ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีวิเคราะห์แบบ DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ผลการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของกล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิ แล้วนำไปเก็บไว้ที่สภาวะต่าง ๆ

กล้วยไข่ที่ลดอุณหภูมิแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจะสุกภายในเวลา 6-8 วัน (ตารางที่ 6.12) โดยจะพบว่าระบบการลดอุณหภูมิทั้ง 3 ระบบไม่ทำให้ระยะเวลาการสุกของกล้วยไข่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า กล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบน้ำเย็น จะสุกช้ากว่าพวกอื่น ๆ คือสุกในวันที่ 8.75 วัน ณ อุณหภูมิห้อง

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพภายในของกล้วยไข่ พบว่าความแน่นเนื้อ และปริมาณวิตะมินซีของกล้วยไข่ทุกระบบ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณ Total Soluble Solid และเปอร์เซนต์กรดมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 6.12 ระยะเวลาการสุก ความแน่นเนื้อ (F) ปริมาณ Soluble Solid (SS) Titratable Acid (TA) และวิตะมินซีของกล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิ ระบบต่าง ๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกว่าจะสุก

วิธีการ	เวลาการสุก (วัน)	F (kg/cm^2)	SS (%)	TA (%)	วิตะมินซี (mg/kg)
ตัวควบคุม	8 ns	0.24 ns	30.50ab	0.30 ns	0.66 ns
ระบบลมเย็น	7	0.28	30.90a	0.26	0.95
ระบบน้ำเย็น	8.75	0.32	31.15a	0.31	1.24
ระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น	6.50	0.31	29.70b	0.26	0.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้วยไข่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C 2 สัปดาห์ แล้วนำออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องพบว่าจะสุกภายใน 3 วัน (ตารางที่ 6.13) โดยผลจากการลดอุณหภูมิทั้ง 3 ระบบไม่ทำให้ระยะเวลาการสุกของกล้วยไข่แตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพภายในของกล้วยไข่ พบว่าความแน่นเนื้อมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณ Total Soluble Solid เปอร์เซนต์กรด และวิตะมินซี ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้กล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น มีความแน่นเนื้อน้อยกว่าวิธีอื่น

ตารางที่ 6.13 ระยะเวลาการสุก ความแน่นเนื้อ ปริมาณ Total Soluble Solid เปอร์เซนต์กรด และวิตะมินซีของกล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบต่าง ๆ แล้วเก็บรักษาที่ 14 °C 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าจะสุก

วิธีการ	เวลาการสุก (วัน)	F (kg/cm^2)	SS (%)	TA (%)	วิตะมินซี (mg/kg)
ตัวควบคุม	3	0.30a	29.74 ns	0.33 ns	1.65 ns
ระบบลมเย็น	3	0.28a	29.85	0.34	1.28
ระบบน้ำเย็น	3	0.22b	28.30	0.31	1.94
ระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น	3	0.19b	29.20	0.35	1.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้วยไข่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C ในสภาพควบคุมบรรยากาศให้มีความเข้มข้น 2 % O_2 ผสมกับ 2 % CO_2 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อนำออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้วบันทึกผลทันที ปรากฏว่ากล้วยไข่ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ (Control) มีการเปลี่ยนสี 3.75 คะแนน มากกว่าพวกที่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็นทำให้กล้วยไข่มีการเปลี่ยนสีน้อยกว่าวิธีอื่น คือ 3.5 คะแนน (ตารางที่ 6.14)

และเป็นที่น่าสังเกตว่ากล้วยไข่ในกลุ่มนี้ผิวเปลือกมีลักษณะเป็นรอยช้ำสีน้ำตาล โดยพวกที่ใช้ระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็นมีความเสียหายถึง 40 % รองลงมาคือระบบน้ำเย็น เสียหาย 22.2 % และระบบลมเย็น เสียหายน้อยที่สุดคือ 12.5 % ส่วนตัวควบคุมไม่แสดงอาการเสียหายเลย จากตัวเลขนี้จึงมีแนวโน้มว่า อาจเป็นผลจากการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษา และระยะเวลาที่ยังไม่เหมาะสม นอกจากนี้ยังพบว่า กล้วยกลุ่มนี้มีอาการเน่าที่ขั้วหวี โดยมีเปอร์เซนต์การเน่าเสียมาก คือกลุ่มที่ใช้ระบบน้ำเย็น รองลงมาคือระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น และระบบลมเย็น มีเปอร์เซนต์หวีที่แสดงอาการเน่าน้อยที่สุด คือ 66, 60 และ 50 % ตามลำดับ ส่วนตัวควบคุมเน่าเสีย 100 %

ตารางที่ 6.14 การเปลี่ยนสี และเปอร์เซนต์ความเสียหายของกล้วยไข่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบต่าง ๆ แล้วเก็บรักษาที่ 14 °C ในสภาพควบคุมบรรยากาศให้มีความเข้มข้น 2 % O_2 ผสมกับ 2 % CO_2 เป็นเวลา 4 สัปดาห์

วิธีการ	การเปลี่ยนสี (คะแนน)	หวีที่เกิดรอยช้ำ (%)	หวีที่เกิดโรคขั้วเน่า (%)
ตัวควบคุม	3.75	0	100.00
ระบบลมเย็น	3.60	12.50	50.00
ระบบน้ำเย็น	3.60	22.20	66.60
ระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น	3.50	40.00	60.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คะแนนสี (ขั้นตอนการสุกของกล้วย)

1 หมายถึง เขียว ผลแข็งไม่มีการสุก

2 หมายถึง เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองนิด ๆ

3 หมายถึง เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น

4 หมายถึง เหลืองมากกว่าเขียว

5 หมายถึง เหลืองแต่ปลายยังเป็นสีเขียว

6 หมายถึง ผลมีสีเหลือง

7 หมายถึง ผิวสีเหลือง และเริ่มมีจุดสีน้ำตาล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการทดลอง

:การทดลองกับฝรั่ง

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้ พบว่าในระบบน้ำเย็น และน้ำเย็นรวมกับลมเย็น ตำแหน่งของตะกร้าทั้ง 8 ใบ ไม่มีผลกับค่า Half Cooling Time รวมทั้งอัตราการไหลในแต่ละระบบไม่มีผลเช่นเดียวกัน แต่สำหรับระบบลมเย็น ยังมีความแปรปรวนอยู่บ้าง

ในระบบน้ำเย็นรวมกับลมเย็น อัตราการไหลของน้ำสูงสุด สามารถลดอุณหภูมิได้ผลดีที่สุด เนื่องจากให้ค่า Half Cooling Time ต่ำที่สุด

ระบบน้ำเย็น ที่อัตราการไหลทั้งสองแบบ ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สำหรับในอัตราการไหลครั้งหนึ่ง ให้ค่า Half Cooling Time ต่ำกว่า

ระบบลมเย็น อัตราการไหลทั้งสองแบบให้ผลที่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งอัตราการไหลครั้งหนึ่ง ให้ค่า Half Cooling Time โดยเฉลี่ยต่ำกว่า แต่ถ้าเทียบระหว่างตะกร้าแล้ว ยังให้ผลที่แตกต่างกันอยู่บ้างพอสมควร สำหรับอัตราการไหลของน้ำสูงสุด ผลที่ได้ในระหว่างตะกร้า ยังมีความสม่ำเสมอกว่า ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่ควรเลือกใช้ระบบนี้ในอัตราการไหลของน้ำสูงสุด

:การทดลองกับกล้วยไข่

การลดอุณหภูมิด้วยระบบน้ำเย็น มีแนวโน้มว่าจะสามารถชะลอการสุกของกล้วยไข่ได้ และเมื่อสุกจะมีความแน่นเนื้อ ปริมาณ Total Soluble Solid เปอร์เซนต์กรด และวิตะมินซี มีค่าสูงกว่าตัวควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ

วิธีการลดอุณหภูมิทุกระบบก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ไม่มีผลทำให้ระยะเวลาการสุกของกล้วยไข่แตกต่างกัน โดยกล้วยไข่จะสุกภายใน 3 วันทุกระบบ

การลดอุณหภูมิด้วยระบบลมเย็นก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C ในสภาพควบคุมบรรยากาศให้มีความเข้มข้น 2 % O_2 ผสมกับ 2 % CO_2 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มทำให้กล้วยไข่เสียหายจากความเย็น และก[illegible]เน่าเสียน้อย[illegible]ว่าวิธีอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1

ตารางแสดงค่า j , Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบน้ำเย็น

NO.	อัตราการไหลของน้ำสูงสุด								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
1	0.98	0.01639	41.45	1.04	0.02648	27.22	1.13	0.01122	72.69
2	0.98	0.00984	69.31	1.06	0.02626	28.62	1.08	0.01101	69.92
3	1.06	0.01711	43.92	1.03	0.01843	39.22	1.13	0.02696	29.91
4	1.08	0.02031	37.91	1.15	0.02034	40.95	1.14	0.02606	31.63
5	1.07	0.02782	27.35	-	-	-	1.20	0.01984	44.13
6	-	-	-	1.06	0.01989	37.78	1.07	0.02930	25.97
7	0.98	0.02161	31.06	1.20	0.02521	34.72	1.18	0.02202	38.99
8	1.00	0.02713	25.55	1.20	0.01672	52.36	1.16	0.02328	36.15
9	1.00	0.01454	47.66	1.22	0.01991	44.79	1.15	0.01954	42.63
10	1.04	0.02146	34.12	1.15	0.01787	46.62	1.15	0.01736	47.98
11	1.12	0.01682	47.95	1.14	0.02687	30.67	1.06	0.01279	58.75
12	1.06	0.02372	31.68	1.00	0.02501	27.71	1.15	0.01190	69.99
13	1.10	0.02647	29.78	1.00	0.01516	45.72	1.14	0.01653	49.86
14	1.08	0.03003	25.64	1.03	0.01317	54.83	1.16	0.03133	26.86
15	1.06	0.02549	29.47	1.08	0.017[illegible]	43.54	1.10	0.02764	28.53
16	1.00	0.02821	[illegible]4.57	[illegible]08	0.016[illegible]	46.54	1.08	0.02752	27.98
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1.00	0.02625	26.41	[illegible]15	0.018[illegible]	44.80	1.00	0.02474	28.02
19	1.04	0.01972	37.13	[illegible]08	0.021[illegible]	35.78	1.09	0.01906	40.89
20	1.05	0.0273[illegible]	27.17	1.23	0.023[illegible]	38.72	1.10	0.01906	41.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

NO.	อัตราการไหลของน้ำสูงสุด								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
21	1.10	0.01731	45.54	1.10	0.02455	32.11	1.08	0.00749	102.69
22	1.08	0.01403	54.87	1.19	0.02448	35.42	1.07	0.01168	65.14
23	1.15	0.02546	32.72	1.17	0.02321	38.11	1.00	0.02395	28.94
24	1.18	0.02826	30.38	1.18	0.01886	45.53	1.15	0.02703	30.81
25	1.20	0.02232	39.23	1.18	0.01897	45.25	-	-	-
26	1.14	0.02469	33.38	1.08	0.01513	50.89	1.00	0.02678	25.88
27	1.10	0.01499	52.94	1.10	0.01447	54.47	-	-	-
28	1.18	0.02860	30.05	1.18	0.02102	40.85	1.14	0.02218	37.16
29	1.17	0.02996	28.38	1.20	0.02506	34.93	1.14	0.01215	67.83
30	1.14	0.01929	42.71	1.17	0.02494	34.08	1.16	0.01853	45.42
31	1.07	0.02929	25.97	1.14	0.01819	45.31	1.00	0.01313	52.79
32	1.19	0.02859	30.33	1.19	0.01863	46.54	1.00	0.02350	29.50
33	1.16	0.02484	33.87	1.10	0.01611	48.94	-	-	-
34	1.12	0.02391	33.72	1.16	0.02012	41.82	-	-	-
35	1.11	0.02416	33.00	1.19	0.019[illegible]	45.17	1.08	0.02945	26.15
36	1.15	0.02476	33.64	1.17	0.020[illegible]	41.98	1.07	0.02823	26.95
37	1.16	0.01391	[illegible].52	1.20	0.016[illegible]	46.41	1.14	0.03026	27.24
38	1.20	0.02633	[illegible].25	1.10	0.0152[illegible]	51.70	1.00	0.02775	24.98
39	1.18	0.02881	[illegible].81	1.04	0.0207[illegible]	35.38	1.04	0.02150	34.06
40	1.08	0.02302	[illegible].15	1.19	0.0247[illegible]	35.08	-	-	-

(-) ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2

ตารางแสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบน้ำเย็น

NO.	อัตราการไหลของน้ำครั้งหนึ่ง								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
1	1.02	0.01344	53.05	1.00	0.01194	58.05	1.18	0.02470	34.76
2	1.04	0.01002	73.09	1.04	0.00700	104.62	1.12	0.03250	24.81
3	1.02	0.03780	18.86	1.03	0.02450	29.44	1.08	0.03430	22.42
4	1.03	0.01007	71.77	1.00	0.03520	19.69	1.10	0.03545	22.24
5	1.08	0.03790	20.32	1.08	0.06279	12.26	1.08	0.04196	18.35
6	-	-	-	1.02	0.02425	29.40	1.10	0.03664	21.52
7	1.05	0.03650	20.33	1.07	0.06725	11.31	1.12	0.03633	22.20
8	1.06	0.03937	19.09	1.10	0.03844	20.51	1.07	0.03460	21.99
9	1.05	0.01360	54.55	1.12	0.01190	67.77	1.08	0.03206	24.02
10	1.08	0.03590	21.45	1.04	0.00960	72.29	1.10	0.02420	32.58
11	1.05	0.02420	30.66	1.08	0.00923	83.44	1.08	0.01420	54.23
12	1.10	0.03630	21.72	1.06	0.01040	72.25	1.14	0.02260	34.47
13	1.06	0.05149	14.59	1.05	0.06330	11.72	-	-	-
14	1.05	0.04070	18.23	1.08	0.04[illegible]9	17.79	-	-	-
15	1.10	0.04420	17.84	1.10	0.04[illegible]	15.80	1.12	0.04938	16.33
16	1.06	0.04440	[illegible].92	1.06	0.063[illegible]	11.83	1.32	0.03870	25.08
17	-	-	-	[illegible]	-	-	-	-	-
18	-	-	-	[illegible]10	0.035[illegible]	21.96	-	-	-
19	-	-	-	[illegible].06	0.017[illegible]	41.98	1.12	0.02110	40.10
20	1.04	0.0208[illegible]	35.21	1.02	0.014[illegible]	48.50	1.08	0.02810	27.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

NO.	อัตราการไหลของน้ำครั้งหนึ่ง								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
21	1.00	0.01687	41.09	1.10	0.01780	44.30	1.20	0.01627	53.81
22	1.04	0.01552	47.19	1.08	0.01998	38.54	1.14	0.01808	45.58
23	1.10	0.03810	20.69	1.04	0.02540	28.83	1.07	0.03560	21.37
24	1.06	0.03580	20.99	1.03	0.03940	18.34	1.06	0.03350	22.43
25	1.10	0.03790	20.80	-	-	-	-	-	-
26	1.02	0.03850	18.52	1.03	0.05620	12.86	1.06	0.02490	30.18
27	1.05	0.03920	18.93	1.12	0.06240	12.92	1.10	0.03188	24.73
28	1.08	0.03699	20.82	1.12	0.06679	12.07	1.06	0.03530	21.29
29	1.06	0.01707	44.02	1.08	0.01169	65.88	1.10	0.00923	85.42
30	1.05	0.02027	36.60	1.05	0.01080	68.70	1.08	0.00919	83.80
31	1.04	0.01790	40.91	1.06	0.01220	61.49	1.10	0.01180	66.82
32	1.06	0.02180	34.47	1.10	0.01560	50.54	1.08	0.02080	37.02
33	1.00	0.03590	19.31	1.12	0.03460	23.31	1.10	0.03243	24.31
34	1.05	0.03499	21.20	1.00	0.00930	74.53	1.07	0.03390	22.44
35	1.00	0.04207	16.48	1.05	0.046	16.03	1.08	0.03339	23.06
36	1.05	0.03517	21.10	1.10	0.049	16.02	1.07	0.03736	20.36
37	1.08	0.03620	21.27	1.12	0.059	13.47	1.12	0.03576	22.55
38	1.05	0.03509	21.14	1.16	0.028	29.43	1.08	0.03698	20.82
39	1.06	0.02523	29.78	1.10	0.019	39.82	1.10	0.02177	36.22
40	1.05	0.02729	27.19	1.06	0.016	44.46	1.12	0.02898	27.83

(-) ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3

ตารางแสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบลมเย็น

NO.	อัตราการไหลของน้ำสูงสุด								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
1	1.05	0.00715	103.77	1.01	0.00913	77.01	1.06	0.00676	111.16
2	1.15	0.00603	138.20	1.10	0.01164	67.74	1.08	0.00653	117.95
3	1.10	0.00647	121.86	1.02	0.02072	34.41	1.04	0.00788	92.95
4	1.08	0.00560	137.52	1.02	0.02200	32.41	1.07	0.00704	108.07
5	1.12	0.00547	147.44	1.10	0.02168	36.37	1.05	0.00830	89.39
6	1.06	0.00560	134.18	1.05	0.02000	37.10	1.03	0.00753	95.98
7	1.11	0.00541	147.41	1.04	0.02288	32.01	1.05	0.00788	94.15
8	1.00	0.00522	132.79	1.08	0.01936	39.78	1.04	0.00613	119.47
9	1.08	0.00580	132.78	1.08	0.01270	60.64	1.02	0.00619	115.18
10	1.12	0.00546	147.76	1.15	0.01440	57.84	1.03	0.00524	137.92
11	1.05	0.00427	173.76	1.10	0.00713	110.54	1.06	0.00948	79.26
12	1.06	0.00526	142.85	1.12	0.00601	134.19	1.01	0.00926	75.93
13	1.10	0.00544	144.94	1.03	0.00636	113.63	1.04	0.00590	124.13
14	1.14	0.00564	146.13	1.07	0.009	74.44	1.06	0.00568	132.29
15	1.12	0.00601	134.19	1.06	0.013	135.63	1.05	0.00532	139.46
16	1.05	0.00649	114.32	1.08	0.005	139.01	1.06	0.00672	111.82
17	-	-	-		-	-	-	-	-
18	1.06	0.00482	155.90	1.10	0.007	111.84	1.02	0.00621	114.81
19	1.07	0.00480	158.50	1.00	0.007	94.56	1.02	0.00706	100.98
20	1.07	0.0048	158.17	1.05	0.005	130.16	1.00	0.00640	108.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO.	อัตราการไหลของน้ำสูงสุด								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
21	1.05	0.00376	197.32	1.05	0.00397	186.89	1.10	0.00932	84.60
22	1.04	0.00337	217.32	1.04	0.00384	190.87	1.07	0.00675	112.71
23	1.05	0.00640	115.93	1.05	0.00552	134.41	1.03	0.00613	117.90
24	1.05	0.00642	115.57	1.03	0.00664	108.92	1.05	0.00655	113.27
25	-	-	-	1.07	0.00905	84.07	1.06	0.00685	109.67
26	1.04	0.00600	122.06	1.01	0.00737	95.40	1.04	0.00973	75.29
27	1.18	0.00678	126.65	-	-	-	1.05	0.00684	108.47
28	1.08	0.00604	127.50	1.08	0.00728	105.78	1.07	0.00701	108.53
29	1.07	0.00531	143.28	1.10	0.00697	113.12	1.04	0.00771	94.99
30	1.08	0.00667	115.46	1.09	0.00880	88.56	1.02	0.00653	109.18
31	1.07	0.00404	188.32	1.10	0.00747	105.55	-	-	-
32	1.08	0.00408	188.75	1.07	0.01141	66.68	1.12	0.00963	83.75
33	1.02	0.00286	249.28	1.01	0.00836	84.10	1.00	0.00979	70.80
34	1.06	0.00595	126.29	1.00	0.005[illegible]	129.32	1.01	0.00915	76.84
35	1.18	0.00721	119.09	1.08	0.010[illegible]	74.05	1.04	0.00722	101.44
36	1.04	0.00483	151.63	1.06	0.005[illegible]	150.28	1.00	0.00663	104.55
37	1.05	0.00446	19[illegible].35	1.12	0.007[illegible]	113.91	1.02	0.00556	128.23
38	1.02	0.00202	3[illegible].95	1.07	0.0025	296.03	1.03	0.00957	75.52
39	1.06	0.00345	2[illegible].80	1.10	0.0059	132.29	1.03	0.00825	87.60
40	1.01	0.00325	[illegible]6.34	1.04	0.0059	123.71	1.04	0.00634	115.52

(-) ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4

ตารางแสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบลมเย็น

NO.	อัตราการไหลของน้ำครั้งหนึ่ง								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
1	1.00	0.00767	90.37	1.04	0.00670	109.31	1.02	0.00825	86.42
2	1.00	0.00899	77.10	1.06	0.00890	84.43	1.02	0.01130	63.09
3	1.02	0.01147	62.16	1.00	0.01300	53.32	1.08	0.03290	23.41
4	1.04	0.01540	47.56	1.08	0.01400	54.34	1.08	0.02060	37.38
5	1.10	0.01910	41.28	1.06	0.01340	56.08	1.05	0.03360	22.08
6	1.05	0.01310	56.64	1.03	0.01280	56.46	1.05	0.01420	52.25
7	1.00	0.01890	36.67	1.05	0.01450	51.17	1.08	0.01710	45.04
8	1.02	0.01960	36.37	1.03	0.01350	53.53	1.00	0.01430	48.47
9	1.04	0.01020	71.80	1.02	0.01100	64.81	1.00	0.01310	52.91
10	1.04	0.01200	61.03	1.06	0.01240	60.60	1.07	0.01540	49.40
11	1.05	0.00530	139.99	1.03	0.00620	116.56	1.05	0.00690	107.53
12	1.04	0.00440	166.45	1.05	0.01100	67.45	1.02	0.00708	100.70
13	1.02	0.01000	72.29	1.02	0.01230	57.96	1.00	0.01080	64.18
14	1.02	0.00790	90.25	1.03	0.0122	59.24	1.00	0.01427	48.57
15	1.04	0.01130	64.81	1.04	0.0131	55.91	1.05	0.02310	32.12
16	1.02	0.00550	129.63	1.05	0.01170	63.41	1.04	0.00810	90.42
17		-			-	-	-	-	-
18	1.02	0.00560	127.31	1.09	0.01120	61.89	1.00	0.00770	89.67
19	1.03	0.00510	141.71	1.02	0.00590	20.43	1.00	0.00719	96.40
20	1.05	0.00680	109.11	1.04	0.01000	72.24	1.02	0.00979	72.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

NO.	อัตราการไหลของน้ำครั้งหนึ่ง								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
21	1.30	0.01130	84.56	1.05	0.01840	40.32	1.20	0.01160	31.43
22	1.12	0.00930	86.72	1.04	0.00598	122.47	1.20	0.00870	100.62
23	1.10	0.00770	102.40	1.02	0.00460	154.99	1.10	0.00740	106.54
24	1.00	0.00560	123.78	1.06	0.01070	70.23	1.10	0.00840	93.86
25	1.05	0.00703	105.44	-	-	-	1.10	0.01170	67.38
26	1.00	0.00503	137.80	1.00	0.01040	66.65	1.00	0.01140	60.80
27	1.04	0.00650	112.67	1.07	0.00690	110.26	1.20	0.02000	43.77
28	1.05	0.00577	128.58	1.00	0.00460	150.68	1.05	0.00580	127.92
29	1.02	0.00477	149.47	1.05	0.00537	138.16	1.10	0.00850	92.75
30	1.00	0.00620	111.80	1.02	0.00752	94.81	1.20	0.00990	88.43
31	1.42	0.01680	62.13	1.08	0.01210	63.65	1.20	0.02480	35.30
32	1.25	0.01170	78.32	1.08	0.01700	45.30	1.30	0.01840	51.92
33	1.18	0.00650	132.31	1.04	0.01080	67.81	1.10	0.00940	83.87
34	1.12	0.00880	91.64	1.05	0.01[illegible]0	42.22	1.20	0.01720	50.89
35	1.02	0.00490	145.50	1.[illegible]	0.01[illegible]	65.66	1.20	0.01400	62.53
36	1.05	0.01907	[illegible].91	1.[illegible]	0.017[illegible]	39.84	-	-	-
37	1.05	0.01060	[illegible].99	1.04	0.011[illegible]	65.39	1.30	0.01300	73.50
38	1.02	0.00660	[illegible].02	1.02	0.007[illegible]	91.40	1.10	0.00930	84.78
39	1.00	0.00702	[illegible].74	1.04	0.006[illegible]	106.14	1.10	0.01000	78.84
40	1.05	0.00665	11.57	1.05	0.009[illegible]	74.94	1.20	0.01000	87.54

(-) ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5

ตารางแสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบผสม

NO.	อัตราการไหลของน้ำสูงสุด								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
1	1.13	0.02707	30.12	1.08	0.03496	22.03	1.02	0.03324	21.45
2	1.18	0.01529	56.16	1.15	0.02258	36.89	1.10	0.03620	21.78
3	1.17	0.01908	45.56	1.17	0.03123	27.22	1.11	0.04184	19.06
4	1.00	0.03376	20.53	1.11	0.03659	21.80	1.07	0.03861	19.70
5	1.16	0.02352	35.78	1.13	0.02860	28.51	1.14	0.03731	22.09
6	1.06	0.03888	19.33	1.13	0.03233	25.22	1.06	0.04010	18.74
7	1.18	0.02485	34.55	1.12	0.03692	21.84	1.18	0.03201	26.82
8	1.16	0.02764	30.45	1.12	0.03546	22.74	1.07	0.03847	19.78
9	1.21	0.02009	43.99	1.13	0.03484	23.40	1.10	0.02860	27.57
10	1.19	0.01816	47.75	1.14	0.02503	32.93	1.15	0.03105	26.82
11	1.09	0.03620	21.53	1.11	0.03188	25.02	1.03	0.03321	21.30
12	1.19	0.02182	39.74	1.07	0.03509	21.68	1.02	0.04339	16.43
13	1.18	0.02396	35.84	1.12	0.027[illegible]	29.28	1.12	0.03891	20.73
14	1.16	0.03085	27.28	1.14	0.023[illegible]	35.68	1.11	0.03595	22.16
15	1.22	0.02649	[illegible]67	1.16	0.024[illegible]	34.42	1.09	0.04192	18.59
16	1.18	0.02313	[illegible].12	1.15	0.0366	22.73	1.12	0.04347	18.55
17	-	-	-		-	-	-	-	-
18	1.00	0.05362	[illegible].93	1.05	0.0332	22.33	1.05	0.04225	17.56
19	1.08	0.03966	[illegible].42	1.07	0.0308[illegible]	24.70	1.10	0.02763	28.54
20	1.00	0.03850	18.00	1.06	0.0318[illegible]	23.61	1.12	0.03565	22.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

NO.	อัตราการไหลของน้ำสูงสุด								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	J	CR	Z	J	CR	Z	J	CR	Z
21	1.11	0.01995	39.98	1.08	0.02250	34.23	1.12	0.01644	49.06
22	1.13	0.02204	36.99	-	-	-	1.13	0.01650	49.42
23	1.20	0.01821	48.08	1.05	0.03566	20.81	1.08	0.03334	23.10
24	1.13	0.03342	24.40	1.07	0.03563	21.35	1.05	0.03949	18.79
25	1.20	0.03094	28.29	1.16	0.03119	26.98	1.10	0.03668	21.56
26	1.11	0.02781	28.68	1.10	0.03503	22.51	1.06	0.04039	18.60
27	1.20	0.01964	44.58	1.18	0.03521	24.39	1.20	0.03057	28.64
28	1.15	0.02198	37.89	1.08	0.03500	22.00	1.07	0.03880	19.61
29	1.13	0.02183	37.35	1.12	0.02535	31.81	1.11	0.02193	36.37
30	1.16	0.01319	63.80	1.21	0.03886	22.74	1.16	0.02941	29.20
31	1.16	0.01873	44.93	1.08	0.02900	26.55	1.06	0.02581	29.11
32	1.18	0.01141	72.26	1.12	0.01591	50.69	1.07	0.02360	32.24
33	-	-	-	1.00	0.04550	15.23	1.02	0.04801	14.85
34	1.17	0.04201	20.24	1.10	0.03546	22.24	1.05	0.03932	18.87
35	1.08	0.04120	18.69	1.21	0.02804	31.52	1.08	0.03537	21.77
36	1.08	0.03679	20.93	1.04	0.03822	19.16	-	-	-
37	1.09	0.04801	16.23	1.14	0.03930	21.02	1.04	0.04139	17.69
38	-	-	-	1.15	0.03691	22.57	1.10	0.02987	26.40
39	1.02	0.03538	20.15	1.10	0.01997	39.48	1.00	0.03259	21.28
40	1.14	0.03254	25.33	1.21	0.03779	23.44	1.05	0.03000	24.73

(-) ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6

ตารางแสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของระบบผสม

NO.	อัตราการไหลของน้ำครั้งหนึ่ง								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j		Z	j	CR	Z
1	1.05	0.00979	75.79	1.08	0.01650	41.63	1.08	0.01380	55.80
2	1.04	0.00966	75.81	1.10	0.02310	34.13	1.10	0.01650	44.79
3	1.05	0.03120	23.78	1.12	0.03400	23.72	1.12	0.02710	29.76
4	1.12	0.01880	42.90	1.08	0.03200	24.07	1.10	0.02150	36.67
5	1.10	0.01960	40.23	1.12	0.03737	21.6	1.12	0.02520	32.00
6	1.08	0.03370	22.85	1.04	0.04840	15.13	1.06	0.02920	25.73
7	1.12	0.03550	22.72	1.14	0.04590	17.96	1.12	0.02650	30.43
8	1.07	0.02490	30.55	1.13	0.05180	15.74	1.10	0.02670	21.53
9	1.06	0.00750	100.79	1.08	0.01900	40.53	-	-	
10	1.06	0.00829	90.64	1.10	0.02960	26.64	1.08	0.02580	29.85
11	1.08	0.01490	51.69	1.07	0.01230	61.85	1.06	0.00870	86.37
12	1.07	0.01960	30.82	1.08	0.01560	49.37	1.10	0.01040	75.81
13	1.12	0.04550	17.72	1.12	0.03370	23.93	1.12	0.03030	26.62
14	1.10	0.03230	24.41	1.13	0.04590	17.76	1.12	0.03550	22.72
15	1.08	0.03770	20.43	1.06	0.07510	10.25	1.14	0.04060	20.30
16	1.12	0.02970	27.15	1.12	0.03390	23.79	1.10	0.02410	32.72
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1.06	0.02210	17.85	-	-	-	1.02	0.04070	17.52
19	1.04	0.01711	42.80	1.10	0.01320	59.73	1.10	0.01260	62.58
20	1.04	0.03150	23.25	1.08	0.02040	37.75	1.05	0.02730	27.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

NO.	อัตราการไหลของน้ำครั้งหนึ่ง								
	ซ้ำที่ 1			ซ้ำที่ 2			ซ้ำที่ 3		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
21	1.07	0.01590	47.85	1.15	0.01340	62.16	1.10	0.01170	67.39
22	1.05	0.01190	62.35	1.12	0.01300	62.04	1.12	0.01370	58.87
23	1.12	0.01940	41.57	1.06	0.03790	19.83	1.08	0.03560	21.63
24	1.06	0.03000	25.05	1.07	0.05030	15.13	1.06	0.02240	35.55
25	1.10	0.02280	34.58	-	-	-	-	-	-
26	1.06	0.03470	21.66	1.08	0.03440	22.39	1.06	0.02330	33.25
27	1.10	0.02210	35.68	1.06	0.02200	34.16	1.10	0.02240	35.20
28	1.12	0.02620	30.78	1.14	0.05910	13.95	1.05	0.02450	30.28
29	1.07	0.01080	70.44	1.10	0.01640	48.08	1.17	0.01410	58.45
30	1.08	0.01130	68.15	1.08	0.02690	28.63	1.07	0.01640	46.39
31	1.04	0.01210	60.53	1.10	0.01340	58.84	1.06	0.01040	72.25
32	1.08	0.01040	74.05	1.12	0.01100	73.32	1.08	0.00630	122.24
33	1.05	0.02680	27.68	1.06	0.03890	19.32	1.05	0.01610	46.08
34	1.01	0.04110	17.11	1.00	0.07410	9.35	1.02	0.02170	32.85
35	1.06	0.03340	22.50	1.10	0.07680	10.27	1.10	0.01900	41.50
36	1.00	0.02110	32.85	1.05	0.05070	14.63	1.06	0.01770	42.45
37	1.07	0.02810	27.07	1.08	0.05490	14.03	1.12	0.02520	32.00
38	1.10	0.02688	29.33	1.02	0.07550	9.44	1.00	0.01690	41.01
39	1.08	0.01540	50.01	1.08	0.02320	33.19	1.05	0.01070	69.34
40	1.02	0.03820	18.66	1.05	0.02530	29.33	1.02	0.01610	44.28

(-) ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7

ตารางแสดงค่า j, Cooling Rate และ Half Cooling Time ของกล้วยไข่

No.	Hydro Cooling			Air Cooling			Hydrair Cooling		
	j	CR	Z	j	CR	Z	j	CR	Z
1	1.05	0.0700	10.6	1.02	0.0106	67.3	1.30	0.1146	8.4
2	1.10	0.1050	7.5	1.00	0.0112	61.9	1.25	0.1003	9.1
3	1.10	0.1597	5.0	1.05	0.0149	49.8	1.40	0.2191	5.0
4	1.05	0.0850	8.7	1.04	0.0168	43.6	1.20	0.1177	7.4
5	1.20	0.1855	4.8	-	-	-	1.20	0.1756	5.0
6	1.10	0.1134	6.9	1.00	0.0089	77.9	1.10	0.1041	7.5
7	-	-	-	1.00	0.0095	72.9	1.05	0.0803	9.2
8	1.10	0.1535	5.2	1.05	0.0145	51.2	1.30	0.1674	5.7
9	1.15	0.1671	5.0	1.02	0.0136	52.4	1.25	0.1493	6.1
10	1.20	0.1713	5.1	1.02	0.0142	50.2	1.30	0.2330	4.1
11	-	-	-	1.00	0.0097	71.5	-	-	-
12	1.05	0.0783	9.5	-	-	-	1.20	0.1150	7.6
13	1.10	0.1311	6.0	1.02	0.0096	74.2	1.10	0.1022	7.7
14	1.05	0.0983	7.5	1.00	0.0087	79.6	1.25	0.1830	5.0
15	1.05	0.0774	9.6	1.02	0.0112	63.6	1.10	0.1154	6.8
16	1.10	0.1154	6.8	-	-	-	1.05	0.0881	8.4
17	1.25	0.2019	4.6	-	-	-	1.15	0.1440	5.8
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	1.20	0.2150	4.1	1.00	0.0063	110.0	1.25	0.1792	5.1
20	1.20	0.2280	3.9	1.01	0.0108	65.1	1.20	0.1678	5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยคำแนะนำของอาจารย์พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และอาจารย์สาทิป รัตนภาสกร อาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่าน รวมทั้งเจ้าหน้าที่จากสถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

31 มีนาคม 2538

นายธรณิน ณ เชียงตุง

นายวิทยา พ่อค้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. วุฒิกิจ ตังคุณากร, วุฒิสาส์น เมืองทอง และศุภกิจ จิวะรังสินี, "การออกแบบและพัฒนาเครื่องลดอุณหภูมผักและผลไม้ด้วยน้ำเย็น",คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2533, 60 หน้า.

2. ปิยะวัติ บุญ-หลง, ชัชวาล ตัณฑกิตติ และประสงค์ อังสุวรรณ, "การลดอุณหภูมิผลิตผล", กรุงเทพฯ.

3. Petersen B.J., "Post Harvest of Tropical and Subtropical Fruit Crops", Shutter Printing Co.,Ltd., pp.104-110.

4. HALL E.G., "The Precooling of Fruits and Vegetables", 1966, pp.442-451.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้