# บทที่ 3
# อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

## 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ห้องลดอุณหภูมิขั้นต้นของผลิตผลด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอย จังหวัดเชียงใหม่ (รูปที่ 3.1)
2. เครื่อง Squirrel Data Logger 8 channel รุ่น SQ 800 ยี่ห้อ Grant ประเทศ อังกฤษ (รูปที่ 3.3)
3. Thermistor Probe type U รุ่น CS-U-AO4-O ยี่ห้อ Grant ประเทศ อังกฤษ
4. Humidity & Temperature Probe รุ่น RH-GZ3-O ยี่ห้อ 3M ประเทศ อังกฤษ
5. Thermocouple รุ่น DA-42 ยี่ห้อ Digicon ประเทศ ญี่ปุ่น
6. Anemometer รุ่น DP-50A ยี่ห้อ Digicon ประเทศญี่ปุ่น
7. โถดูดความชื้น
8. ตู้อบไฟฟ้า (Hot Air Oven) รุ่น Venticel 111 ยี่ห้อ MMM ประเทศ เยอรมัน
9. เครื่องชั่งแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น AB 204-s ของบริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิทเซอร์แลนด์
10. เครื่องชั่งขนาด 35 กิโลกรัม
11. ผ้าใบพลาสติก ขนาด 0.6 * 4.5 เมตร (รูปที่ 3.2)
12. ตะกร้าพลาสติก 30 ใบ ขนาด 0.35* 0.55* 0.20 เมตร (รูป3.4) มีอัตราส่วนของช่องเปิดต่อช่องปิดเท่ากับ 2 : 1

## 3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ชั่งน้ำหนักของผักแต่ละตะกร้าก่อนทำการลดอุณหภูมิขั้นต้นด้วยวิธี forced-air tunnel cooling

3.2.2 วัดอุณหภูมิผักก่อนเข้าห้อง forced-air tunnel cooling

3.2.3 นำตะกร้าผักมาเรียงเป็น 2 แถว (รูปที่ 3.8 )

3.2.4 ทำการวัดอุณหภูมิของผลิตผล ณ จุดกึ่งกลางตะกร้าที่วางซ้อนกันอยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ของการจัดวางวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน (control) พร้อมกับวัดและบันทึกอุณหภูมิและความ-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องเย็นทุก ๆ 1 นาที

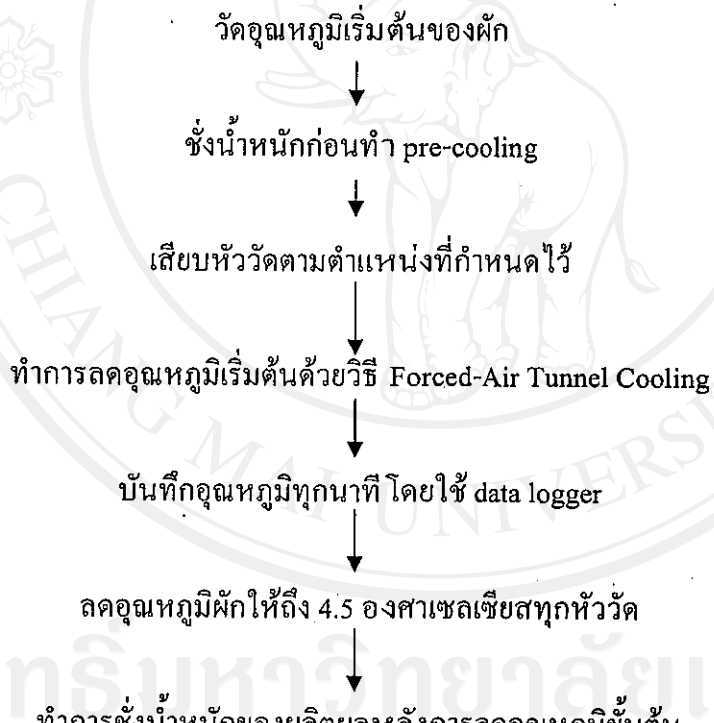
3.2.5 ชั่งน้ำหนักผักแต่ละตะกร้าหลังผ่านการลดอุณหภูมิโดยวิธี foced-air tunnel cooling

3.2.6 นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่า weight loss, cooling coefficient, lag factor half time, seven-eighths cooling time และ convective heat transfer coefficient

3.2.7 ทำการปรับเปลี่ยนโดยลดขนาดความกว้างของผ้าใบ และทำซ้ำตามข้อ 3.2.1 ถึง 3.2.5

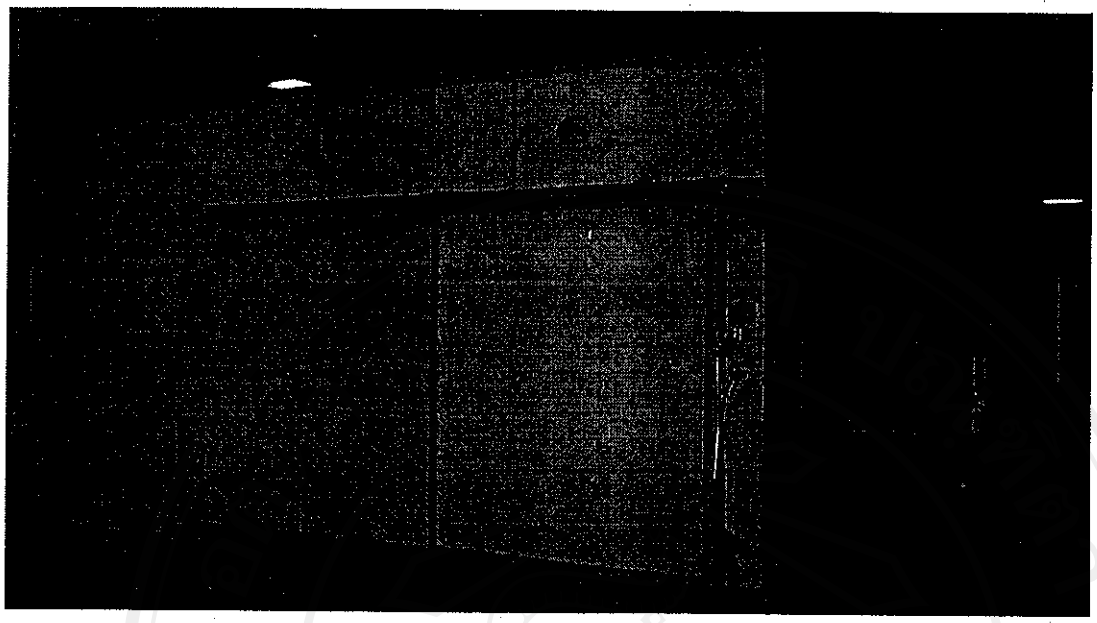
3.2.8 ทำการปรับเปลี่ยนโดยเพิ่มพื้นที่เปิดต่อพื้นที่ปิดของตะกร้าและทำซ้ำตามข้อ 3.2.1 ถึง 3.2.5

3.2.9 ทำการเขียนโปรแกรม Visual Basic v.6 เพื่อสร้างโปรแกรมคำนวณเวลาในการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลี ผักกาดหางหงษ์ ผักกาดหอมห่อและผักกะหล่ำปลี




รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลองศึกษาการลดอุณหภูมิขั้นต้นของผักที่ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอยจังหวัดเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

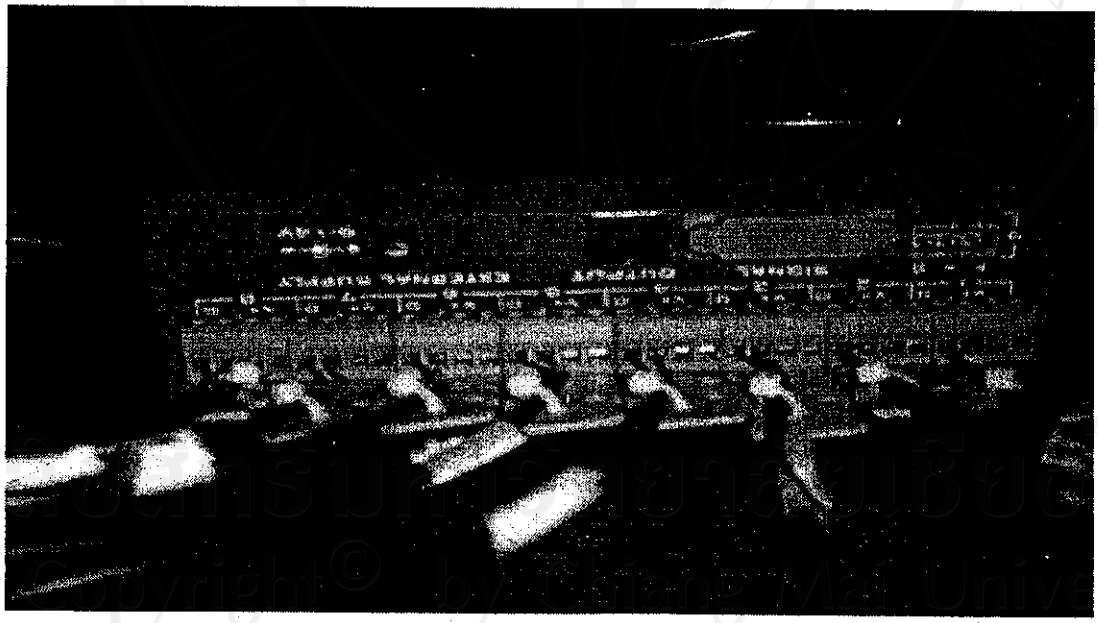


รูปที่ 3.2 ห้อง Forced-Air Tunnel Cooling ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอยเชียงใหม่

รูปที่ 3.3 ผ้าใบพลาสติกที่ใช้ในการคลุมตะกร้าในห้อง Forced-Air Tunnel Cooling
ขนาด 0.6 * 4.5 เมตร

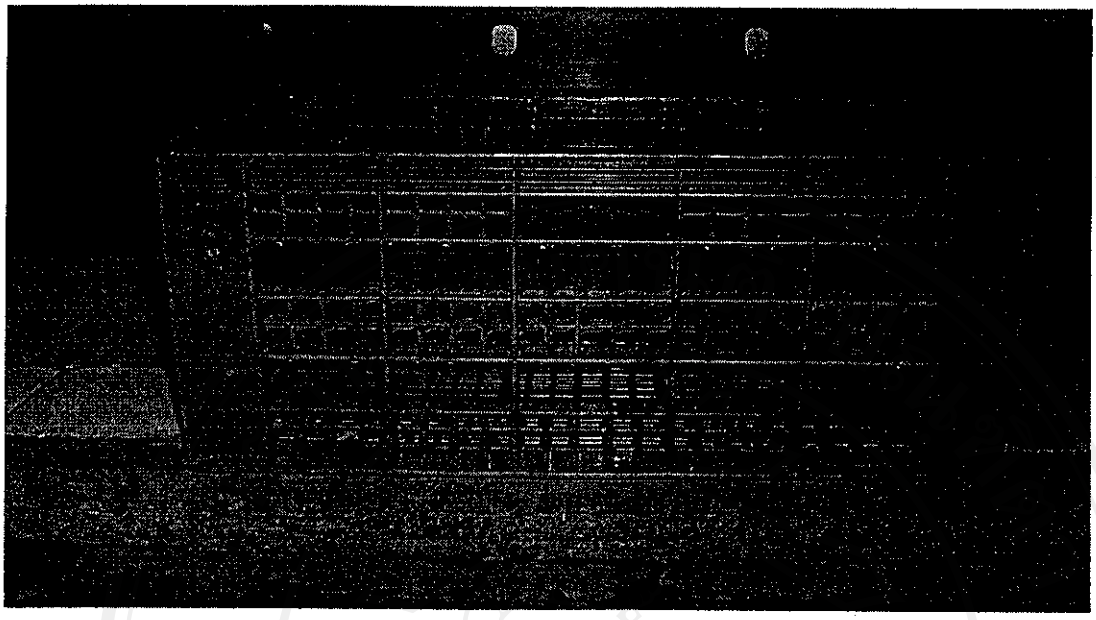
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.4 เครื่อง Squirrel Data Logger 8 channel รุ่น SQ 800 ยี่ห้อ Grant



รูปที่ 3.5 Thermistor Probes 7 สาย และ Relative Humidity Probe 1 สาย ต่อเข้ากับ Data Logger

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.6 ตะกร้าพลาสติก ขนาด 0.35 * 0.55 * 0.20 เมตรซึ่งมีอัตราส่วนของช่องเปิดต่อช่องปิด เท่ากับ 2 : 1

**3.3 การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ**

เนื่องจากศูนย์พัฒนาโคลงการหลวงหนองหอยใช้การประมาณเวลาในการลดอุณหภูมิผัก ทำให้กระบวนการลดอุณหภูมิผักเป็นไปอย่างไม่ถูกต้อง อุณหภูมิสุดท้ายของผักก่อนนำออกจากห้อง Forced-air Tunnel Cooling อาจสูงกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ (4.5 $^{o}$C) ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของผักไม่เป็นไปตามที่กำหนดหรือทำให้ระยะเวลาในการเก็บรักษาสั้นลง ดังนั้นเพื่อความสะดวกและถูกต้องในการจัดการของฝ่ายผลิต

โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการทำนายเวลาในการลดอุณหภูมิผักกาดขาวปลี ผักกาดหางหงษ์ ผักกาดหอมห่อ และ ผักกะหล่ำปลี ได้รับการพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม Visual Basic 6.0 โดยโปรแกรมสำเร็จรูปนี้เป็นโปรแกรมที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน สะดวกต่อการติดตั้งและมีความแม่นยำในการทำนายเวลาในการลดอุณหภูมิ โปรแกรมนี้ต้องการข้อมูลนำเข้า (input data) คือ ชนิดของผักและอุณหภูมิผักก่อนเข้าห้อง Forced-Air Tunnel Cooling จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิผักจนถึง 4.5 $^{o}$C

โปรแกรมการลดอุณหภูมิขั้นต้นของผักนี้มีชื่อว่า Forced-Air Tunnel Cooling 1.0 ซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูปนี้จะช่วยให้กระบวนการลดอุณหภูมิผักเป็นไปด้วยความถูกต้องและมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นฝ่ายผลิตยังสามารถใช้โปรแกรมนี้ช่วยในการวางแผนการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**3.4 Mathematical Modeling**

3.4.1 Cooling Parameters

เมื่อได้ข้อมูลอุณหภูมิของผักและอากาศภายในห้องเย็นจากหัวข้อ 3.2 นำมาหาค่าของ θ ดังสมการ

$$\theta = (T - T_a)/(T_i - T_a) \quad (1)$$

เมื่อ

θ = Dimensionless temperature

T = อุณหภูมิที่เวลาใดๆ ($^oC$)

$T_a$ = อุณหภูมิตัวกลาง ($^oC$)

$T_i$ = อุณหภูมิเริ่มต้นของผัก ($^oC$)

นำค่า θ ที่คำนวณได้ไปเขียนกราฟเทียบกับเวลา ซึ่งรูปแบบของกราฟจะอยู่ในรูปของเอกซ์โพเนนเชียลเชิงลบ (negative exponential) ดังสมการต่อไปนี้

$$\theta = je^{-Ct} \quad (2)$$

เมื่อ

j = lag fagtor

C = cooling coefficient (1/s)

t = เวลา (s)

สามารถแปลงสมการ (2) ให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นได้โดยการประยุกต์ลอการิทึมจะได้สมการดังนี้

$$\ln \theta = \ln j - Ct \quad (3)$$

จากสมการ (3) สามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Y = a_0 + a_1 x \quad (4)$$

เมื่อ

$Y = \ln \theta$ $a_0 = \ln j$

$a_1 = -C$ $x = t$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อนำค่าของ ln θ ไปเขียนกราฟเทียบกับเวลาจะได้กราฟเส้นตรง และสามารถหาค่าของ ln j และ a โดยใช้วิธีการถดถอยแบบกำลังสองน้อยที่สุด ดังสมการ (5) และ (6)

$$a_0 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\, y_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)}{n\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right)} \qquad (5)$$

$$a_1 = \frac{n\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\, y_i\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{n\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2} \qquad (6)$$

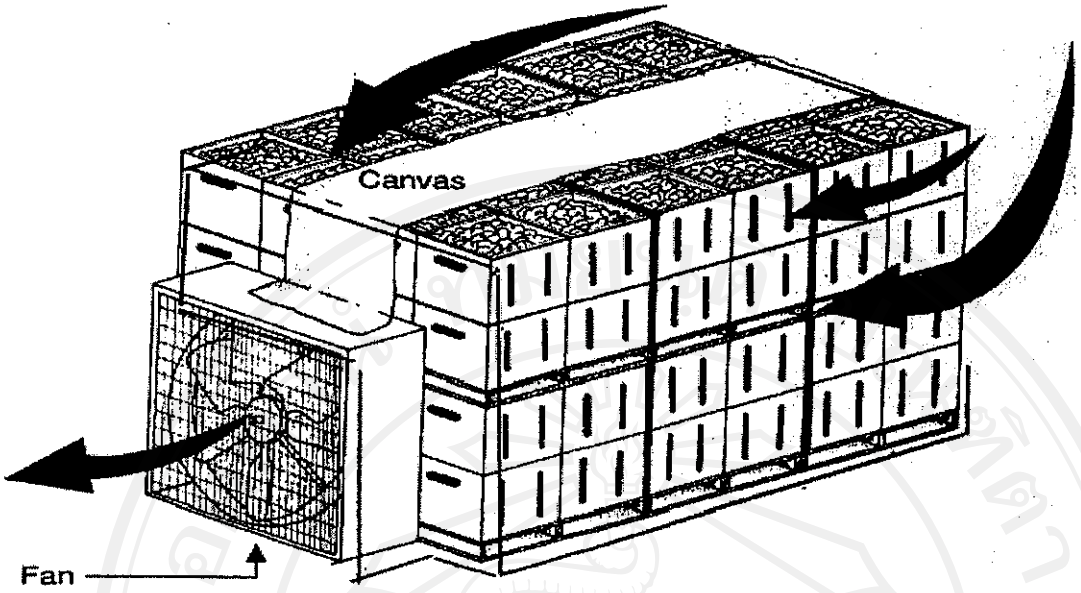
ค่า lag factor (j) และ cooling coefficient (C) สามารถหาได้จากสมการ (4)

เมื่อนำค่าของ lag factor และ cooling coefficient แทนค่าลงในสมการ ที่ (23) และ (24) ในบทที่ 2 จะได้ค่าของ half cooling time และ seven-eighths cooling time ตามลำดับ

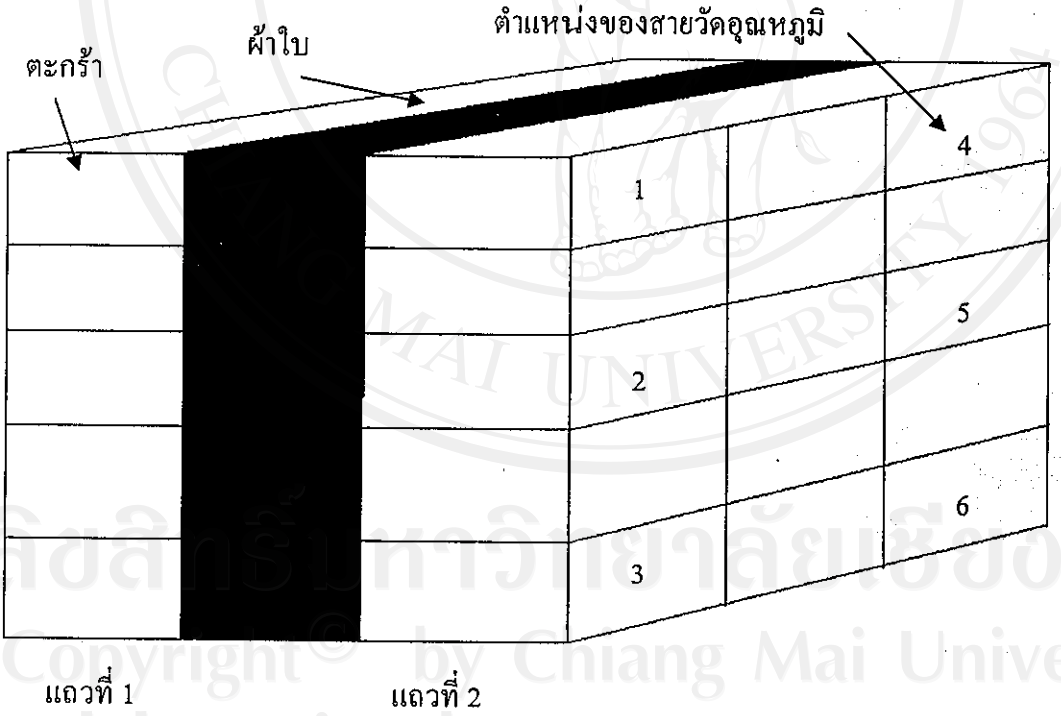
3.4.2 Local Heat Transfer Coefficients

การคำนวณหาค่า local heat transfer coefficient สามารถทำได้โดยแทนค่าความชื้นของผักแต่ละชนิดลงในสมการที่ 21 และ 22 ในบทที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่า การนำความร้อน (k) และค่า thermal diffusivity (α) จากนั้นเมื่อแทนค่า การนำความร้อน thermal diffusivity รัศมีของผัก และ cooling coefficients ในสมการที่ 19 และ 20 ในบทที่ 2 ตามรูปร่างของผัก โดยผักกาดขาวปลีและผักกาดหางหงส์จะใช้สมการที่ 20 สำหรับผลิตผลที่มีรูปทรงกระบอก และผักกาดหอมห่อและผักกะหล่ำปลีปลีจะใช้สมการที่ 19 สำหรับผลิตผลที่มีรูปทรงกลม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

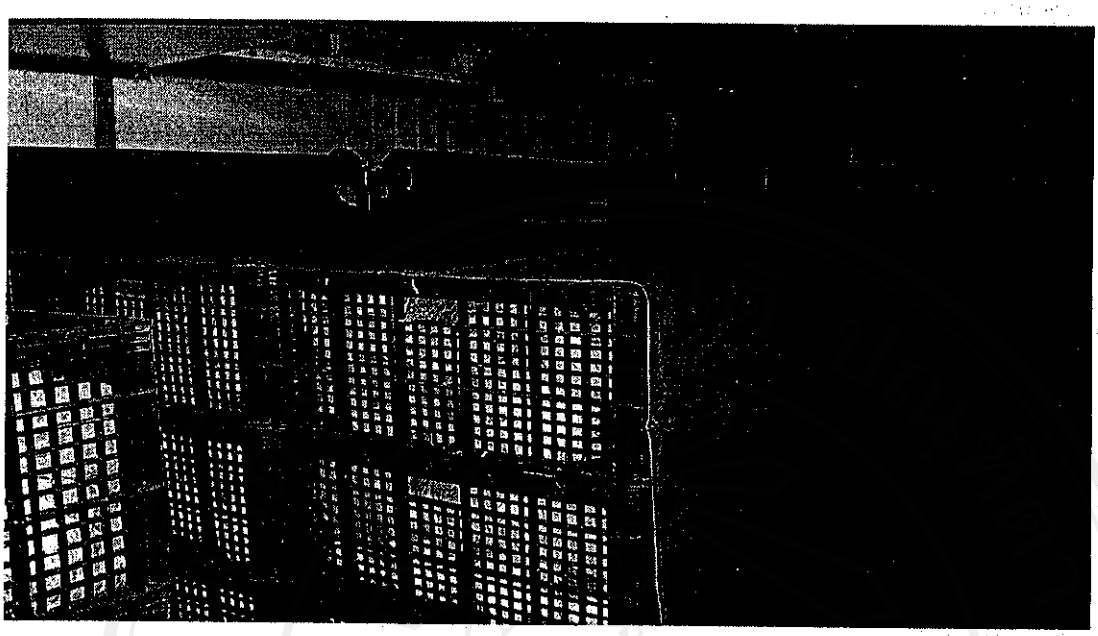



รูปที่ 3.7 การลดอุณหภูมิขั้นต้นโดยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling

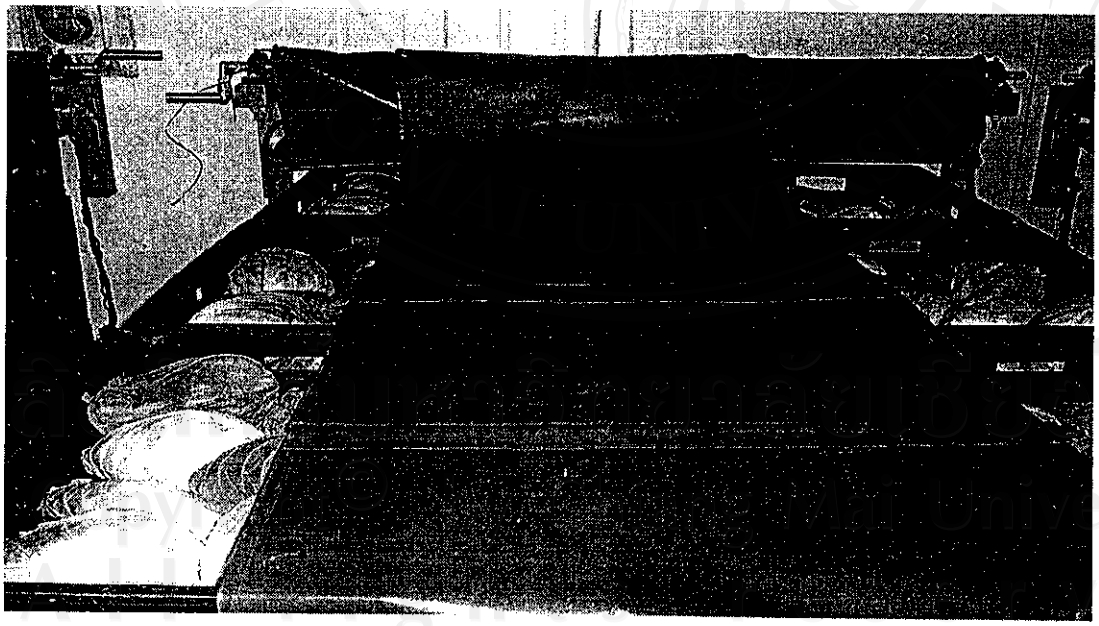



รูปที่ 3.8 สายวัดอุณหภูมิ (thermistor probes) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแถวในการลดอุณหภูมิขั้นต้น โดยใช้วิธี Forced-Air Tunnel Cooling

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.9 การลดอุณหภูมิขั้นต้นด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling โดยใช้ผ้าใบขนาดที่ใช้ในปัจจุบัน



รูปที่ 3.10 การลดขนาดของผ้าใบเป็น 0.6 * 4.5 เมตร ในขณะทำการลดอุณหภูมิขั้นต้นด้วยวิธี Forced-Air Tunnel Cooling