

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

แบบจำลองทำความเย็นสาธิต
(Refrigeration Model for Demonstration)

ชื่อผู้วิจัย

- | | | |
|----|-----------------------|----------------|
| 1. | ดร. ประมวล ศรีกาหลง | หัวหน้าโครงการ |
| 2. | นางสาวสุดารัตน์ อุทิศ | ผู้ช่วยวิจัย |
| 3. | นางสาวสุนิสา บุญคง | ผู้ช่วยวิจัย |

RCH
TP
492-5
ปช51บ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 115878
วันเดือนปี -4 โส. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ ประจำปี 2551

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10179791
5.....
1.....

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการทดลอง	34
5.2 ข้อเสนอแนะต่อการศึกษาในขั้นต่อไป	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก ก	38
ภาคผนวก ข	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของ R-22	14
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาที่ทำให้อุณหภูมิใจกลางของน้ำมันฟรังก์ ลดลงจนถึง อุณหภูมิ -18°C ที่ระดับความหนาต่างๆของน้ำมันฟรังก์ 3 ระดับ	33
ตารางที่ ก.1 แสดงผลของการวัดอุณหภูมิทุกๆ 3 วินาที ที่ความดันทั้ง 3 ระดับ ที่ระยะห่าง 4 cm.	38
ตารางที่ ก.2 แสดงผลของการวัดอุณหภูมิทุกๆ 3 วินาที ที่ความดันทั้ง 3 ระดับ ที่ระยะห่าง 5 cm.	39
ตารางที่ ก.3 แสดงผลของการวัดอุณหภูมิทุกๆ 3 วินาที ที่ความดันทั้ง 3 ระดับ ที่ระยะห่าง 6 cm.	40
ตารางที่ ข.1 แสดงเวลาที่ทำให้มันฟรังก์ความหนาทั้ง 3 ระดับ มีอุณหภูมิลดลงถึง -18°C ที่ความดัน 100 psi.	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหาพิเศษ

ปัจจุบันนี้ผู้บริโภครส่วนใหญ่มีความใส่ใจต่อการเลือกซื้อผลิตผลทางการเกษตร ที่สดและใหม่ เนื่องจากความสดของผลิตภัณฑ์ จะส่งผลต่อกลิ่นและรสชาติเมื่อนำไปประกอบอาหาร ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการจึงได้มีการคิดค้นถึงวิธีการที่จะทำให้ผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น และมีวิธีหนึ่งที่ทำให้ผลิตผลทางการเกษตรยังคงความสดใหม่ได้เสมือนตอนเก็บเกี่ยว นั่นก็คือการแช่แข็ง

เนื่องจากการแช่แข็งอาหาร ช่วยให้ผลิตผลทางการเกษตรมีความสดใกล้เคียงกับตอนเก็บเกี่ยวมาก จึงทำให้ผู้บริโภครหันมาให้ความสนใจที่จะบริโภคผลิตภัณฑ์แช่แข็งมากขึ้น จึงส่งผลต่อผู้ผลิตที่จะต้องมีการตัดแปลงและพัฒนาเครื่องที่ใช้ในการแช่แข็งให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยการแช่แข็งนั้นมีอยู่หลายวิธีเช่น การใช้ลมเย็น , การพ่นฝอย และการจุ่มสัมผัสโดยตรง เป็นต้น และเพื่อประโยชน์ต่ออนาคต จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาทำความเข้าใจถึงระบบการทำงานของเครื่องแช่แข็งแบบต่างๆอย่างละเอียดและถูกต้อง

ในการทดลองนี้เป็นการสร้างเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยขึ้น เพื่อที่จะทำให้สามารถมองเห็นถึงการทำงานของตัวเครื่องแช่แข็งได้อย่างชัดเจน และทำให้สามารถศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการทำงานของเครื่องแช่แข็งได้ง่ายขึ้น จึงส่งผลให้ผู้ศึกษาสามารถนำประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาถึงระบบการทำงานที่ชัดเจนไปประยุกต์ใช้ต่อการทำงานในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อทำการศึกษารูปแบบและสร้างเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย
- 1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย และทดสอบระบบการทำงาน เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ
- 1.2.3 ศึกษาความเหมาะสมของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยกับอาหาร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการแช่แข็งอาหาร

1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ

- 1.3.1 สร้างเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย
- 1.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องที่สร้างขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบหลักการทำงานของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย
- 1.4.2 สามารถเลือกใช้เครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยกับอาหารที่เหมาะสมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

2.1 การแช่แข็งอาหาร

2.1.1 ความหมายของการแช่แข็ง

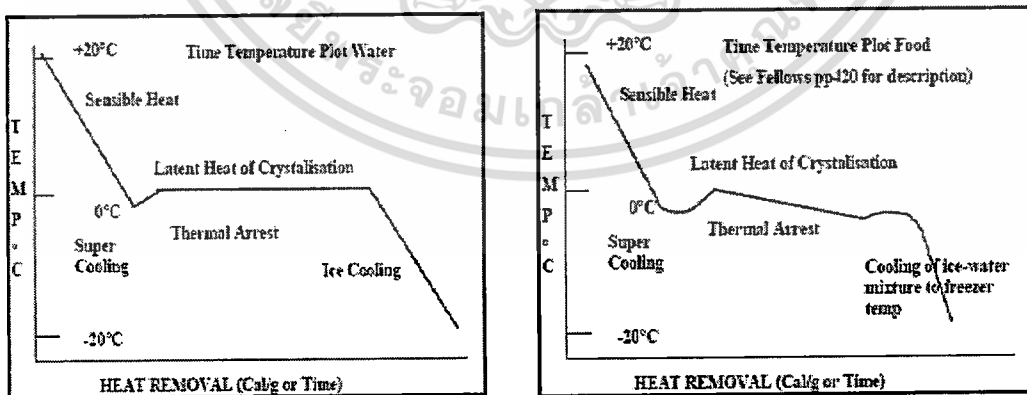
การแช่แข็งอาหาร หมายถึง การลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำลงจนถึงระดับที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำเนินปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อไปได้ตามปกติ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ รวมทั้งเป็นการชะลอหรือยับยั้งปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ให้เกิดได้น้อยที่สุด โดยทั่วไปมักลดอุณหภูมิให้เหลือ -18°C หรือต่ำกว่า ซึ่งเป็นการเก็บรักษา คุณภาพอาหารได้นานวิธีหนึ่ง

2.1.2 หลักการแช่แข็งอาหาร

การแช่แข็งอาหาร อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะของน้ำในอาหารให้กลายเป็นผลึกน้ำแข็ง เพื่อมิให้น้ำนั้นสามารถทำหน้าที่ต่างๆ ในปฏิกิริยาเคมี และเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้

2.1.3 ขั้นตอนการเกิดการแช่แข็งอาหาร (Juan L. Silva and J. Stojanovic, 1997).

แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังรูป



รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำและอาหาร
(ที่มา : <http://www.msstate.edu/org/silvalab/FREEZING%20.pdf>)

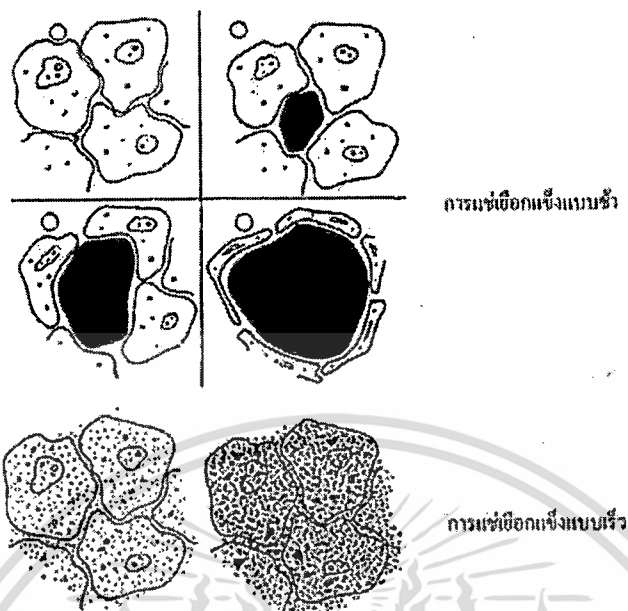
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 **ขั้นตอนการลดลงของอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (period of temperature decreasing)** จากอุณหภูมิเริ่มต้น จนถึงอุณหภูมียือกแข็ง (อุมาพร ศิริพิณฑ์, 2546 : 93) ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีอุณหภูมียือกแข็งต่างกัน เช่น ปลาจะเริ่มแข็งตัวที่อุณหภูมิ 28°F (-0.9°C)

2.1.3.2 **ขั้นตอนการเกิดผลึกน้ำแข็ง (period of crystal formation)** เมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงจนถึงจุดเยือกแข็ง น้ำในผลิตภัณฑ์จะกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง การแช่แข็งให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีจะต้องใช้เวลาสั้นที่สุด ในการทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์กลายเป็นผลึกน้ำแข็งหมด (อุมาพร ศิริพิณฑ์, 2546 : 94) ดังนั้นอัตราเร็วของการแช่แข็ง สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

การแช่แข็งแบบเร็ว (quick Freezing) เป็นการแช่แข็งที่สามารถทำให้อุณหภูมิของอาหารทั้งหมด ลดลงผ่านช่วงของการเกิดผลึกน้ำแข็งสูงสุดได้ภายใน 30 นาทีหรือสามารถทำให้การแข็งตัวเกิดขึ้นได้ระยะทาง 0.3 ซม./ชม. ซึ่งพบว่าน้ำส่วนใหญ่จะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งเล็กๆ ภายในเซลล์ (intra cellular) และภายนอกเซลล์เพียงเล็กน้อย จึงทำให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งกระจายตัวสม่ำเสมอ เซลล์ไม่เกิดการหดตัวและเนื้อเยื่อไม่ถูกทำลายเมื่อผ่านการละลายน้ำแข็ง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

การแช่แข็งแบบช้า (slow Freezing) เป็นการแช่แข็งที่ไม่สามารถทำให้อุณหภูมิของอาหารทั้งหมด ลดลงผ่านช่วงของการเกิดผลึกน้ำแข็งสูงสุดได้ภายใน 30 นาที หรือไม่สามารถทำให้การแข็งตัวเกิดขึ้นได้ระยะทาง 0.3 ซม./ชม. การแช่แข็งแบบช้า จะเกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ และผลึกน้ำแข็งจะเกิดที่บริเวณภายนอกเซลล์ (extra cellular) น้ำภายในเซลล์จะถูกดึงมาช่วยเพิ่มขนาดผลึกที่ภายนอกเซลล์ ทำให้เซลล์หดตัวและลดขนาดลง และเมื่อผ่านการละลายน้ำแข็งจะทำให้เนื้อเยื่อเซลล์เกิดความเสียหาย มี Drip loss ออกมามาก สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ วิตามินและเกลือแร่ออกไปด้วย และยังทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มและ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำ



รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดผลึกน้ำแข็งในอาหาร

(ที่มา : http://coursewares.mju.ac.th/ft470/ct/ct_0601.html)

2.1.3.3 ขั้นตอนการลดลงของอุณหภูมิผลิตภัณฑ์จนถึง -18°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่นิยมใช้ในการแช่แข็งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ กระบวนการแช่แข็งอาหารเป็นกระบวนการดึงความร้อนออกจากอาหารโดยสารทำความเย็นที่อยู่ในเครื่องทำความเย็น ซึ่งในการผลิตอาหารแช่แข็งเครื่องทำความเย็นที่ต้องใช้จะมี 2 ส่วนด้วยกัน คือ เครื่องแช่แข็ง ที่ทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากตัวอาหารทำให้อุณหภูมิของอาหารลดลงเหลือ -18°C และห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาอาหารแช่แข็งที่ต้องมีอุณหภูมิ $< -18^{\circ}\text{C}$ กระบวนการแช่แข็งอาหารจะขึ้นอยู่กับการเลือกใช้เครื่องแช่แข็ง หรือวิธีการแช่แข็งที่เน้นให้มีอัตราเร็วเหมาะสมกับตัวอาหารนั้นๆ (อุมาพร ศิริพันธ์, 2546 : 94)

2.1.4 เวลาในการแช่แข็ง เมื่อทราบถึงวิธีการ อัตราเร็วของวิธีการแช่แข็ง และวิธีการที่เหมาะสมกับชนิดของอาหารแล้ว แต่ในทางปฏิบัติผู้ประกอบการควรทราบถึงเวลาที่ต้องใช้ในการแช่แข็งด้วย เพื่อจะได้เปรียบเทียบระบบในการปฏิบัติจริงและเลือกใช้เครื่องมือแช่แข็งที่เหมาะสมจริงๆ และเวลาที่ต้องใช้จริงเพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการแช่แข็ง ในการหาเวลาในการแช่แข็งจะต้องทราบถึงข้อมูลต่างๆ เช่นแบบแผนของการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ ซึ่งโดยทั่วไปการลดของอุณหภูมิจะมีแบบแผนจากนั้นต้องทราบความสามารถของเครื่องแช่แข็ง ที่จะนำความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผล

โดยตรงต่อเวลาในการแช่แข็ง ในขณะเดียวกันต้องทราบถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขนาด รูปร่างและความหนาของผลิตภัณฑ์ หากผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่การลดอุณหภูมิ โดยให้จุดศูนย์กลางในการถ่ายเทความร้อนมีอุณหภูมิตดลงตามที่ต้องการนั้นจะเสียเวลานาน ขณะ เดียว กันรูปร่างของผลิตภัณฑ์มีผลต่อการสัมผัสกับตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน เช่น ผลิตภัณฑ์ มีรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอควรใช้ของเหลวในการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น
2. ปริมาณเอนทัลปีที่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนใหญ่จะขึ้นกับปริมาณที่กลายเป็นน้ำแข็งได้ใน อาหาร ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความจุความร้อนของอาหาร และขึ้นกับชนิดอาหาร
3. ค่าสภาพการนำความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบยอม นำความร้อนดีกว่าไขมันและอากาศมาก ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ห่อพลาสติกควรรีดให้อากาศออกมา มากที่สุด หรือให้พลาสติกแนบกับผลิตภัณฑ์มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
4. อุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ หากมีความแตกต่างในช่วงอุณหภูมิ มาก จะต้องใช้เวลามากในการลดอุณหภูมิ แม้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะมีผลต่อความเร็วใน การลดของอุณหภูมิกี่ตาม
5. ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ขึ้นกับวิธีการแช่แข็งและ ชนิดของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามน้ำที่ยังไม่แข็งตัวและน้ำที่แข็งตัวจะมีค่าสภาพการนำความร้อนที่ ต่างกัน
6. อุณหภูมิของตัวกลางที่ให้ความเย็นสารทำความเย็นแต่ละชนิด มีอุณหภูมิตดลงและหลอม เหลวและการกลายเป็นไอที่ไม่เท่ากัน จึงมีผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อน

2.1.5 การเกิดความเสียหายเนื่องจากการแช่แข็ง (freezing damage) การเกิดความเสียหายใน การแช่แข็งหมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ระหว่างการแช่แข็ง การเก็บ รักษาและหลังการละลายผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นกระบวนการที่ไม่หวนคืน (irreversible) ในเนื้อเยื่อพืชความเสียหายสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ ความเสียหายจากการได้รับความ เย็น , ความเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร , ความเสียหายจากการสูญเสียน้ำและ ความเสียหายจากผลึกน้ำแข็ง ในขณะที่เนื้อเยื่อสัตว์อาจเกิดความเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงความ เข้มข้นของสารเป็นส่วนใหญ่ ความเสียหายจากการสูญเสียน้ำอาจเกิดให้เห็นได้บ้างแต่ไม่ค่อยเกิด ความเสียหายจากผลึกน้ำแข็ง (สม โทซัน โคมลณี, 2542 : 79-80)

2.1.5.1 ความเสียหายจากการได้รับความเย็น (chilling damage) ความเสียหายนี้เกิดจาก การที่พืชได้รับความเย็น โดยเฉพาะพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตอบอุ่นและเขตร้อน จะการเกิดความเสียหายที่เรียกว่าการสะท้านหนาว (chilling injury) หากนำผลิตผลประเภทที่ตอบสนองต่อการ

สะท้อนหนาวมาแช่แข็งจะเกิดการบาดเจ็บจากการแช่แข็ง (freezing injury) มีผลให้เยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียสภาพและไม่สามารถควบคุมการไหลผ่านของสารต่างๆ ให้เห็นเด่นชัดยิ่งขึ้น

2.1.5.2 ความเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร ในการแช่แข็งน้ำที่สามารถแข็งตัวได้กลายเป็นน้ำแข็ง ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นขึ้น มีผลต่อแรงดันออสโมซิส มีผลต่อ pH ของสารละลาย มีผลต่อการตกตะกอนของเกลือและสารประกอบบางชนิด มีผลต่อความคงตัวของคอลลอยด์และสารแขวนลอยต่างๆ มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ รวมถึงมีผลต่อจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์

2.1.5.3 ความเสียหายจากการสูญเสียน้ำ (dehydration) ในการแช่แข็งจะเกิดผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์และเกิดมากยิ่งขึ้นในกรณีการแช่แข็งแบบช้า น้ำที่ซึมผ่านออกจากเซลล์นี้ส่วนใหญ่จะไม่ซึมกลับเข้าไปในเซลล์อีก และน้ำส่วนนี้จะไหลออกมาจากผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งหลังการละลายที่เรียกว่า drip การสูญเสียน้ำจะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงอยู่บ่อยครั้ง จะมีการละลายและการแข็งตัวของน้ำในผลิตภัณฑ์ การระเหิดของน้ำในระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่แข็งในห้องเก็บรักษาเกิดเนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ จะมีปริมาณไอน้ำในบรรยากาศน้อยน้ำจะระเหิดออกจากผลิตภัณฑ์ ความสูญเสียน้ำอาจลดลงได้ หากนำผลิตภัณฑ์บรรจุลงในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม

2.1.5.4 ความเสียหายจากผลึกน้ำแข็ง ในการแข็งตัวของน้ำปริมาณของน้ำที่กลายเป็นน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้น หากการแข็งตัวนั้นเกิดอย่างรวดเร็วและเซลล์ไม่มีการซึมผ่านของน้ำออกจากเซลล์แล้ว อาจมีผลให้เซลล์นั้นแตกได้ลักษณะนี้เกิดกับเซลล์พืชบางชนิดเท่านั้นเซลล์สัตว์ไม่ค่อยเกิดการแตกของเซลล์

2.1.6 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่แข็ง (สม โภชน โคมลณี, 2542 : 80-81)

1. การขยายปริมาตร เมื่อน้ำเปลี่ยนสภาพกลายเป็นน้ำแข็งจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 แต่ในอาหารที่แช่แข็งนั้น ปริมาตรของอาหารจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 เท่านั้น เนื่องจากในอาหารโดยทั่วไปมักมีอากาศแทรกอยู่ สิ่งที่ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นส่วนใหญ่คือน้ำเท่านั้น

2. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์ ระหว่างที่น้ำในอาหารกลายเป็นน้ำแข็งนั้น น้ำที่สามารถกลายเป็นน้ำแข็งได้จะกลายเป็นน้ำแข็งก่อน หากเซลล์มีความ สามารถซึมผ่านของน้ำได้ดี น้ำจะซึมผ่านออกมาสู่ภายนอกเซลล์ ภายในเซลล์จะมีความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น การเพิ่มของความเข้มข้นนี้มีผลถึงค่า pH ซึ่งมีผลต่อความคงตัวของคอลลอยด์และสารแขวนลอยต่างๆ การทำงานของเอนไซม์ในอาหาร และอาจมีการตกตะกอนของเกลือด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 ข้อจำกัดของการแช่แข็งอาหารด้วยวิธีการทั่วไป (พรรณทิพย์ ห่อศรีสัมพันธ์, 2547) แม้ว่า การแช่แข็งจะเป็นวิธีการถนอมอาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก แต่มันก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาการแช่แข็งด้วยวิธีการทั่วไปนั้นจะใช้เวลานาน ทำให้โครงสร้างเซลล์ของอาหารที่แช่แข็งถูกทำลาย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพเนื้อสัมผัส สี กลิ่น และรสชาติของอาหาร ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง จะขึ้นอยู่กับจุดเยือกแข็ง ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ค่าการนำความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ผิวหน้าของอาหารแต่ละชนิด ความสำคัญของระยะเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งอาหารที่ใช้เวลานานกับการแช่แข็งอย่างรวดเร็ว จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเซลล์แตกต่างกัน

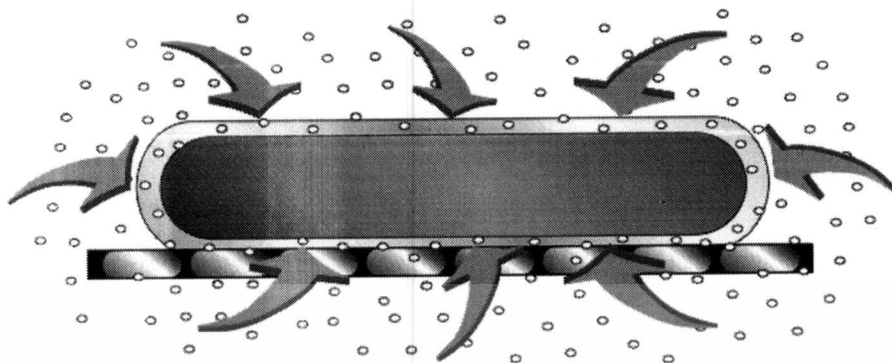
2.2 Cryogenic Freezing (การแช่แข็งแบบพ่นสารทำความเย็น)

2.2.1 ความหมายของ Cryogenic Freezing (การแช่แข็งแบบพ่นสารทำความเย็น)

เป็นการแช่แข็งที่มีอัตราเร็วสูงสุด โดยอาศัยหลักการคือนำอาหารที่ต้องการแช่แข็ง ไปสัมผัสกับสารทำความเย็นที่มีคุณสมบัติเป็นสาร “Cryogenic” คือ สารประกอบที่มีจุดเดือดต่ำมาก และมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอค่อนข้างสูง โดยสารนี้จะดึงความร้อนจากอาหารเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ จึงทำให้อุณหภูมิของอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนมากสาร Cryogenic ที่ใช้ในอุตสาหกรรมคือ ไนโตรเจนเหลว , คาร์บอนไดออกไซด์เหลว และ R-22

2.2.2 หลักการทำงาน

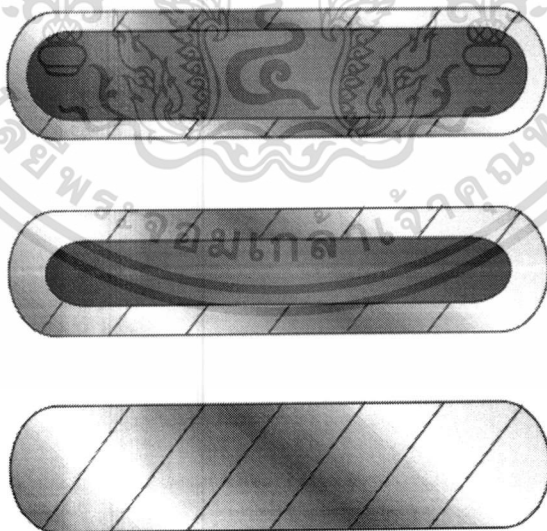
ผลิตภัณฑ์อาหารวางอยู่บนสายพาน ขณะที่ทำการแช่แข็งผลิตภัณฑ์จะมีการพ่นสารทำความเย็นอุณหภูมิต่ำลงมา เมื่อสารทำความเย็นสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกลายเป็นไอโดยดูดเอาความร้อนจากชิ้นของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะเย็นตัวและแข็งอย่างรวดเร็วมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีสภาพเนื้อสัมผัสที่ดี (ชวัชชัย จารุงศ์วิทยา, 2008) บางครั้งอาจมีการแตกตัวของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิมาระหว่างผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิตัวกลางให้ความเย็นมีมาก อย่างไรก็ตามหากมีการปรับความเร็วของสายพานให้เหมาะสม วิธีการนี้ทำให้เกิดเกล็ดน้ำแข็งเล็กน้อย ทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อเล็กน้อย ความเย็นเข้าถึงภายในจุดกึ่งกลางของชิ้นเนื้อได้เร็วกว่าแบบอื่นๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี เก็บได้ทนนาน แต่ค่าใช้จ่ายสูงในการแช่แข็งและการใช้ค่อนข้างจำกัด ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนา



รูปที่ 2.3 แสดงถึงการเกิดเกล็ดน้ำแข็งจากภายนอกเข้าสู่ภายใน

(ที่มา : <http://www.irc.wisc.edu/file.php?id=188>)

การเกิดผลึกน้ำแข็งเริ่มจากที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ จะเกิดการสูญเสียความชื้นหรือเริ่มเกิดการแข็งตัวเมื่อสัมผัสกับเครื่องมือ และเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการแข็งตัวของน้ำแข็งเป็นเปลือกหุ้มไว้ และเพิ่มระยะชั้นเรื่อยๆจนเกือบหมดทั้งผลิตภัณฑ์ เมื่อเสร็จสิ้นการแช่แข็งน้ำแข็งจะยังคงเกาะเป็นเปลือกหุ้มไว้อยู่ตลอดการขนส่ง (Gary Lang, 2006)

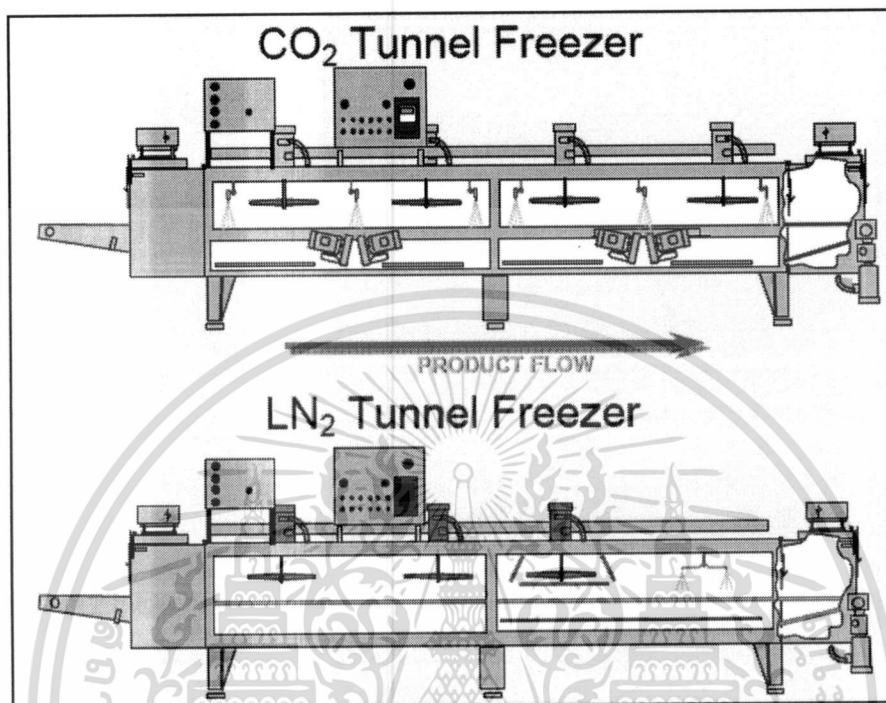


รูปที่ 2.4 ลักษณะการเกิดของผลึกน้ำแข็ง

(ที่มา : <http://www.irc.wisc.edu/file.php?id=188>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ตัวอย่างการทำงานของเครื่องแช่แข็งที่ใช้ในอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.5 เครื่อง Cryogenic Freezer

(ที่มา : <http://www.irc.wisc.edu/file.php?id=188>)

2.3 สารทำความเย็น

2.3.1 ความหมายของสารทำความเย็น สารทำความเย็นหมายถึงสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับถ่ายเทความร้อน โดยการดูดซึมความร้อนเข้าสู่ตัวเองหรือดูดกลืนความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ในขณะที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ ยังสามารถถ่ายเทความร้อนออกจากตัวเองหรือคายความร้อนแฝงเพื่อให้เกิดการควบแน่นเป็นของเหลวในขณะที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง

ในการที่จะเลือกสารตัวใดเป็นสารทำความเย็นนั้น เราควรพิจารณาคุณสมบัติทาง เคมี ฟิสิกส์ และเทอร์โมไดนามิกส์ ให้เหมาะสมกับวงจรที่ใช้งาน เพื่อที่จะได้เป็นการประหยัดและปลอดภัยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ชื่อสารทำความเย็น

2.3.2.1 ฟรีออน (Freon) เป็นชื่อที่ใช้เรียกสารทำความเย็นที่ใช้อยู่ทั่วไป โดยบริษัทดูปองท์ (E.I. Dupont de Nemours & Co. Inc.) ซึ่งเป็นบริษัทที่มีชื่อเสียงด้านเคมีภัณฑ์ของสหรัฐอเมริกา เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายสารทำความเย็นแพร่หลายเป็นบริษัทแรก โดยใช้ชื่อทางทะเบียนการค้าว่า FREON เช่น สารทำความเย็น dichlorodifluoromethane (CCl_2F_2) ใช้ชื่อ FREON -12, monochlorodifluoromethane ($CHClF_2$) ใช้ชื่อ FREON -22 เป็นต้น และชื่อ FREON นี้ได้ถูกนำไปใช้เรียกสารทำความเย็นของบริษัทอื่นๆ ที่ถูกผลิตขึ้นในภายหลังด้วย ถึงแม้ว่าบริษัทต่างๆจะผลิตสารทำความเย็นและมีชื่อทางทะเบียนการค้าเป็นของตัวเองก็ตาม

2.3.2.2 ชื่อสารทำความเย็นที่ถูกต้อง จะต้องเรียก refrigerant หรือใช้แทนด้วย R เช่น refrigerant -12, refrigerant -22 หรือ R -12, R -22 โดยจะเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทใดก็ตาม หรืออาจเรียกชื่อตามกลุ่มของสารทำความเย็น เช่น CFC -12, HCFC 134a เป็นต้น เนื่องจากสารทำความเย็นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นสารที่ทำลายโอโซนและสร้างภาวะเรือนกระจกในบรรยากาศ ทำให้ชื่อเสียงและภาพพจน์ของสารทำความเย็นเสียหาย ถูกต่อต้านในการนำมาใช้งานชื่อของ FREON ซึ่งเคยเป็นตัวแทนของสารทำความเย็นจึงได้รับผลกระทบอย่างสูงสุด ปัจจุบันบริษัท DuPont ซึ่งเป็นผู้นำในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านสารทำความเย็นชนิดใหม่ๆ ออกมาทดแทนสารเดิมที่ทำลายสิ่งแวดล้อมดังกล่าวจึงทำการเปลี่ยนแปลงชื่อทางการค้าของสารทำความเย็นจาก FREON เป็น Suva แทน ดังนั้นต่อไปชื่อของ FREON จะลดความนิยมและความสำคัญลง แต่จะมีสารทำความเย็น Suva เข้ามามีบทบาทในงานด้านสารทำความเย็นแทน

2.3.3 ประเภทของสารทำความเย็น

2.3.3.1 แบ่งตามระดับการทำลายโอโซนในบรรยากาศ สารทำความเย็นแบ่งตามระดับการทำลายโอโซนในบรรยากาศได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

1. สาร CFC (chlorofluorocarbon) คือ สารทำความเย็นที่มีคลอรีน ซึ่งเป็นตัวทำลายโอโซน (ozone - O_3) ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratospheric) เช่น R-11, R-12 ซึ่งมีค่าระดับการทำลายโอโซน (ODP = 1) เช่น R-11, R-12, R-13

2. สาร HCFC (hydro chlorofluorocarbon) คือ สารทำความเย็นที่มีคลอรีนเป็นส่วนประกอบเช่นเดียวกับกลุ่ม CFC แต่มีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบเพิ่มเติม ทำให้ HCFC สลายตัวได้รวดเร็วกว่าสาร CFC แต่ยังคงมีส่วนในการทำลายโอโซนในบรรยากาศบ้าง เช่น R -22 (ค่า OPD = 0.055) เช่น R-22, R-123, R-124

3. สาร HFC (hydro fluorocarbon) คือสารทำความเย็นที่ไม่มีส่วนประกอบของคลอรีน จึงไม่ทำลายโอโซนในบรรยากาศเลย เช่น R - 134a (ค่า OPD = 0) เช่น R-134a, R-143a, R-404A เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 แบ่งตามระดับความปลอดภัย สารทำความเย็นแบ่งตามระดับความปลอดภัยได้หลายกลุ่ม โดยที่ The National Refrigeration Safety Code แบ่งสารทำความเย็นออกเป็น 3 กลุ่ม

กลุ่ม 1 – สารทำความเย็นที่ปลอดภัยที่สุด ได้แก่ R-12 , R-22 และ R-502

กลุ่ม 2 – สารทำความเย็นที่เป็นพิษและบางส่วนติดไฟได้ เช่น R-40 (Methyl Chloride) และ R-764 (Sulfur Dioxide)

กลุ่ม 3 – สารทำความเย็นที่ติดไฟได้ เช่น R-170 (Ethane) และ R-290 (Propane)

2.3.3.3 แบ่งตามระดับความดัน สารทำความเย็นแบ่งตามระดับความดันได้ 3 ระดับ ดังนี้

1. สารทำความเย็นความดันต่ำ (low pressure) คือ สารทำความเย็นที่มีจุดเดือดสูงกว่า $+100^{\circ}\text{C}$ ($+500^{\circ}\text{F}$) ที่ความดันบรรยากาศ เช่น CFC -11 , CFC -113 , HCFC -123 เป็นต้น
2. สารทำความเย็นความดันสูง (high pressure) คือ สารทำความเย็นที่มีจุดเดือดระหว่าง -500°C ถึง $+100^{\circ}\text{C}$ (-580°F ถึง $+ 500^{\circ}\text{F}$) เช่น CFC -12 , CFC -114 , CFC -500 ,CFC -502 , HCFC -22 , HFC -134a เป็นต้น
3. สารทำความเย็นความดันสูงมาก (very high pressure) คือ สารทำความเย็นที่มีจุดเดือดต่ำกว่า $- 500^{\circ}\text{C}$ ($- 580^{\circ}\text{F}$) เช่น CFC -13 , CFC -503 เป็นต้น

2.3.4 คุณสมบัติของสารทำความเย็น

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (physical properties)

1. ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง เพื่อช่วยลดอัตราการไหลของน้ำยาในระบบ
2. ความหนาแน่นสูง
3. จุดแข็งตัวต่ำเพื่อไม่ให้น้ำยาแข็งตัวขณะทำงาน
4. รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นเพื่อทำให้สามารถพาน้ำมันหล่อลื่นกลับมามห่อที่คอมเพรสเซอร์ได้
5. มีความต้านทานไฟฟ้าสูง เพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรผ่านน้ำยาขณะทำงาน
6. ค่าความดันเพื่อการควบแน่นต่ำ ทำให้โอกาสที่น้ำยาจะรั่วออกจากระบบน้อย

คุณสมบัติทางเคมี (chemical properties)

1. มีโครงสร้างทางเคมีมั่นคง คือ สามารถทำงานได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ โดยไม่เปลี่ยนแปลงสภาพ

2. ไม่ติดไฟและไม่มีการระเบิดทั้งในสถานะที่เป็นของเหลวหรือเป็นไอ

3. ไม่ทำปฏิกิริยาหรือเกิดการกัดกร่อนในอุปกรณ์หรือวัสดุที่ใช้ในระบบ

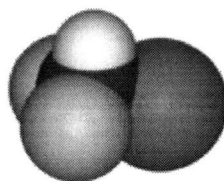
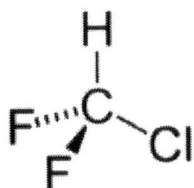
4. ไม่เป็นพิษหรือไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

5. เมื่อเกิดการรั่วไหล ไม่ทำให้กลิ่น รส สีของอาหารและน้ำดื่มเกิดการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นอันตราย

คุณสมบัติอื่นๆที่ควรพิจารณาคือ ราคาถูก ค่าบำรุงรักษาต่ำ ง่ายต่อการควบคุมด้านความปลอดภัย

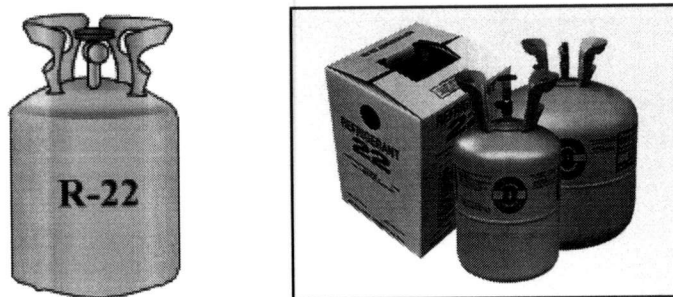
2.3.5 R-22 (Chlodifluoromethane)

เป็นสารกลุ่มฟลูออโรคาร์บอนเช่นกันจึงไม่เป็นพิษ เหมาะจะใช้กับระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำที่ความดันบรรยากาศมีจุดเดือด -40.8°C (-41.4°F) ในปัจจุบันใช้กับเครื่องปรับอากาศ เพราะเครื่องอัดที่ใช้ระบบนี้มีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับสารความเย็น R-12 แล้ว สารความเย็น R-22 จะทำงานที่ความดันสูงกว่าและได้ความดันที่เส้นทางออกสูงกว่า ในขณะที่ใช้กำลังขับเคลื่อนเท่ากัน ข้อดีที่เหนือกว่าสารความเย็น R-12 คือ ใช้เครื่องอัดที่เล็กกว่าเนื่องจากมีปริมาตรจำเพาะน้อยกว่า ส่วนข้อที่ด้อยกว่าสารก็คือ สารความเย็น R-12 มีราคาต่ำกว่า และความดันในเครื่องอัดต่ำ และแนวโน้มในการรั่วไหลจะมีน้อยกว่า รวมถึงอุณหภูมิที่ทางออกของเครื่องอัดต่ำกว่าด้วย สารความเย็น R-22 สามารถรวมกับน้ำมันได้ ซึ่งจะพบในส่วนควบแน่นของระบบ แต่จะแยกออกจากกันในอีแวโปเรเตอร์ อุณหภูมิสำหรับการแยกตัวนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณน้ำมันที่ผสมอยู่ในสารความเย็น การตรวจสอบการรั่วไหลใช้วิธี halide torch (การตรวจสอบการรั่วด้วยหัวเปลว)



รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างของ R-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ (ที่มา : <http://en.wikipedia.org/wiki/HCFC-22>) เพื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ลักษณะสีถังบรรจุ R-22

(ที่มา : http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Refrigeration/Website/unit9_11.htm)

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของ R-22

คุณสมบัติ	
Molecular formula	CHClF_2
Molar mass	86.47 g/mol
Appearance	Colorless gas
Density	3.66 kg/m^3 at 15°C , gas
Melting point	-175.42°C (97.73 K)
Boiling point	-40.7°C (232.45 K)
Solubility in water	0.7799 vol/vol at 25°C ; 3.628 g/l
log P	1.08
Vapor pressure	908 kPa at 20°C
k_H	$0.033 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{bar}^{-1}$

(ที่มา : <http://en.wikipedia.org>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 ข้อมูลความปลอดภัย

1. เมื่อหายใจเข้าไป : ถ้าสูดเข้าไปในปริมาณที่มาก จะทำให้ผู้ได้รับหมดสติไป ถ้าสูดเข้าไปในปริมาณที่น้อยอาจเกิดอาการมีนเมา , คลื่นไส้ และเสียการทรงตัว หลังจากนั้นให้นำตัวผู้ที่ได้รับเคลื่อนย้ายออกจากบริเวณนั้น นำมานอนพัก ถ้าอาการไม่ดีขึ้นให้นำไปพบแพทย์
2. สัมผัสกับผิวหนังหรือเข้าตา : ให้กรอกตากับน้ำอย่างน้อย 15 นาที ถ้าเป็นผิวหนังให้นำน้ำไหลผ่านบริเวณที่สัมผัสอย่างน้อย 15 นาทีเช่นกัน
3. เมื่อเกิดการรั่วไหล : ให้เคลื่อนย้ายคนออกจากที่นั้นทันทีถ้าต้องเข้าไปต้องสวมใส่ชุดป้องกันที่รัดกุม และต้องระบายอากาศให้ได้มากที่สุด
4. เก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 50 °c



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การดำเนินการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วยส่วนแรก คือ การออกแบบและสร้างเครื่องแซ่แข็งแบบพ่นฝอย ส่วนที่สอง คือ การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแซ่แข็ง

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

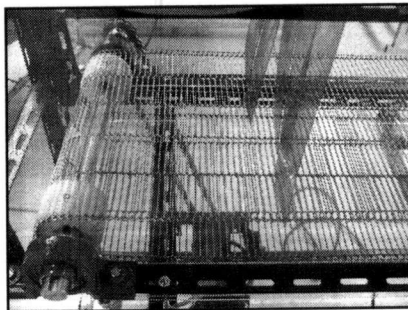
3.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องแซ่แข็งแบบพ่นฝอย

- เหล็กฉาก



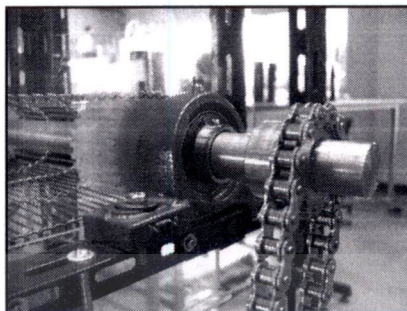
รูปที่ 3.1 แสดงเหล็กฉากที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างของเครื่องแซ่แข็ง

- สายพานลำเลียง แบบ Flat Flex Belt ขนาด $\text{Ø } 1.4 \text{ mm} \times 6.4 \text{ mm Pitch} \times 9 \text{ Spaces}$



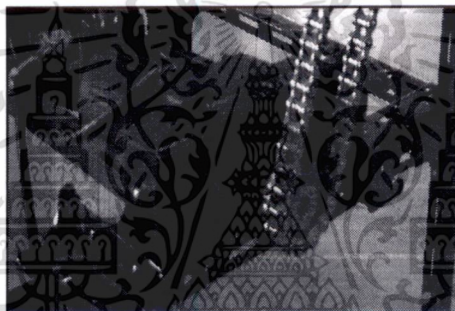
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.2 แสดงสายพานลำเลียงไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตลับลูกปืน (รุ่น UCP205-100D1)



รูปที่ 3.3 แสดงตลับลูกปืนที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพาน

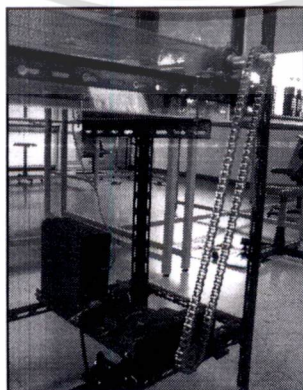
- มอเตอร์



รูปที่ 3.4 แสดงมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพาน

ขนาด 6-120 วัตต์ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์
50/60 เฮิร์ต แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ตั้งแต่ 12-180 โวลต์

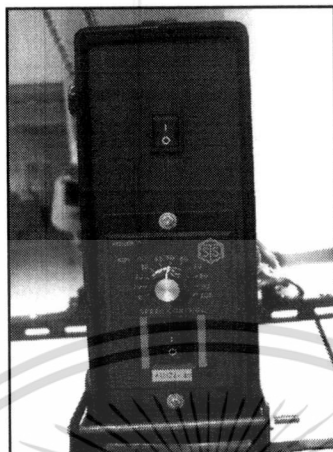
- โซ่สแตนเลส เบอร์ 40



รูปที่ 3.5 แสดงโซ่ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพาน

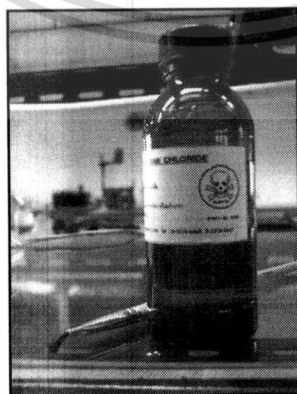
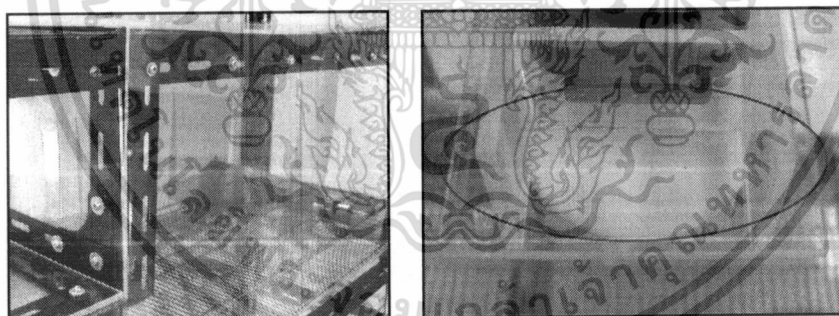
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวปรับรอบ



รูปที่ 3.6 แสดงตัวปรับรอบขนาด 6-120 วัตต์ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50/60 เฮิร์ต แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ตั้งแต่ 12-180 โวลต์ แบบ Analog

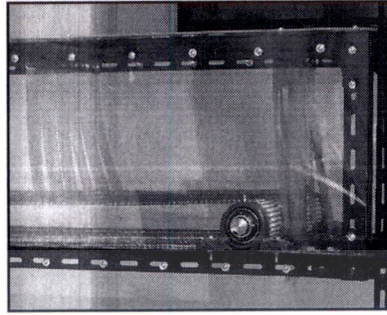
- แผ่นพลาสติกอะคริลิก และ methylene chloride (กาวเชื่อมพลาสติก)



รูปที่ 3.7 แสดงแผ่นพลาสติกอะคริลิก และสารที่ใช้ในการเชื่อมติด

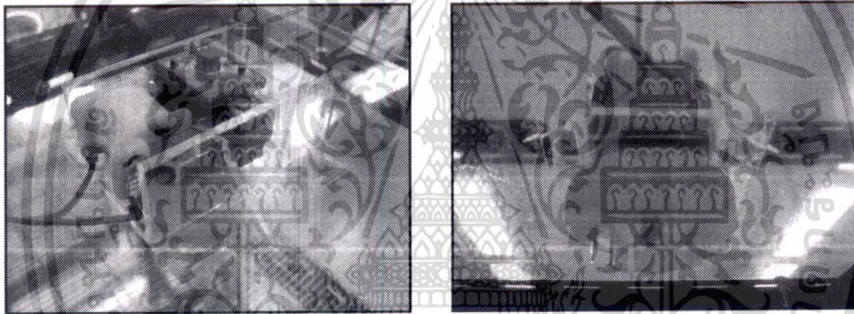
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ม่านพลาสติก (PVC)



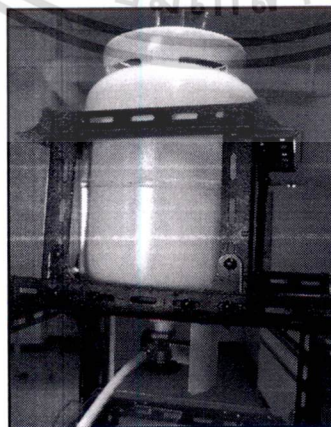
รูปที่ 3.8 แสดงม่านพลาสติก

- พัฒลมเป่าอากาศเย็นและระบบไฟฟ้าควบคุม (มอเตอร์ขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต)



รูปที่ 3.9 แสดงพัฒลมเป่าอากาศเย็นและระบบไฟฟ้าควบคุม

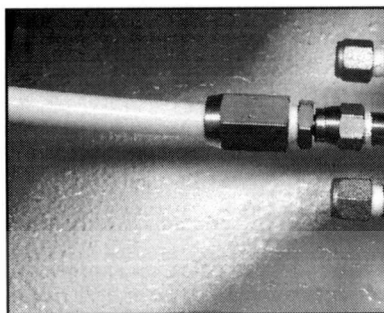
- สารทำความเย็น (R-22) ขนาด 13 กิโลกรัม



รูปที่ 3.10 แสดงสารทำความเย็น (R-22)

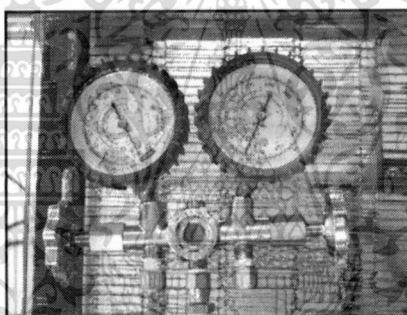
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ท่อ Pimaflex multipipe และข้อต่อ (บริษัท พิมาเทค จำกัด)



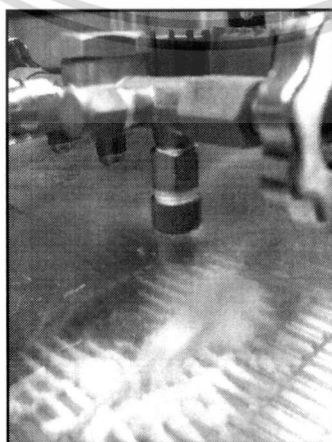
รูปที่ 3.11 แสดงท่อ Pimaflex multipipe และข้อต่อ

- วาล์วควบคุมความดัน สำหรับ R-22



รูปที่ 3.12 แสดงควบคุมความดัน

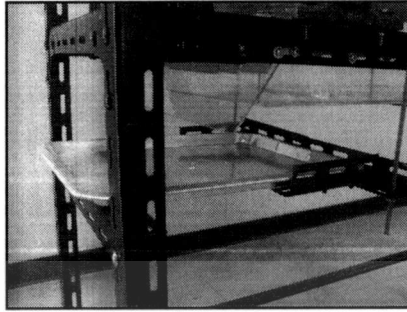
- หัวสเปร์ย์



รูปที่ 3.12 แสดงหัวสเปร์ย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถาด



รูปที่ 3.13 แสดงถาดที่ใช้รองรับวัตถุบหลังการแช่แข็ง

- ล้อ

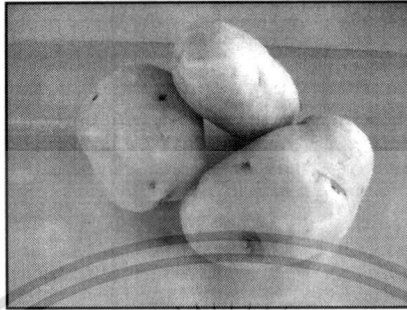


รูปที่ 3.14 แสดงล้อพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

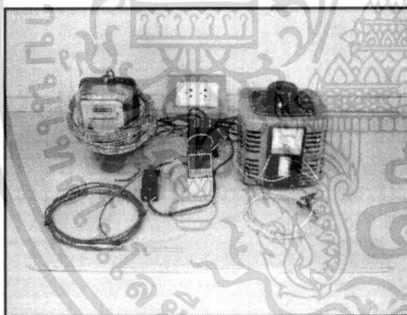
3.1.2 วัตถุดิบและอุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพ

- วัตถุดิบที่ใช้ทดสอบ (มันฝรั่ง)

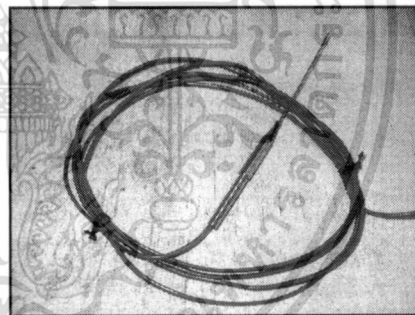


รูปที่ 3.15 แสดงมันฝรั่งที่ใช้ทดลอง

- ชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิ



(1)



(2)

รูปที่ 3.16 แสดงชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิ และเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

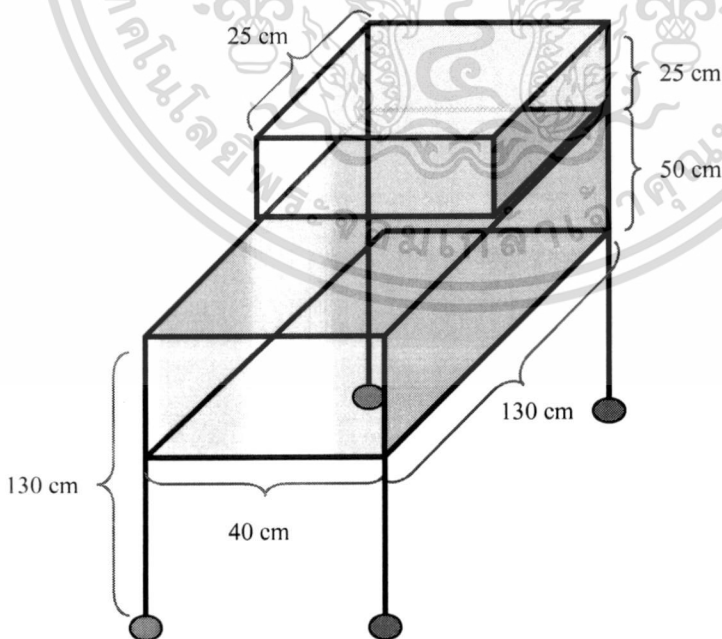
3.2.1 การออกแบบและสร้างเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบและสร้างเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยเป็นสิ่งสำคัญ คือเครื่องที่สร้างนั้นเป็นเครื่องสาธิต จึงต้องสร้างเครื่องให้มีขนาดเล็ก ใช้วัสดุที่สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ ซึ่งง่ายต่อการสร้างและการถอดประกอบ เพื่อการซ่อมแซม และดูแลรักษา วัสดุที่นำมาใช้จะเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่มีน้ำหนักไม่มากจนเกินไป เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายโดยใช้แรงงานคน และที่สำคัญจะต้องสามารถมองเห็นการทำงานของเครื่องภายในได้ชัดเจน ฉะนั้นจึงทำการออกแบบและสร้างเครื่องแช่แข็งดังนี้

1) เขียนแบบเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการสร้างเครื่อง โดยแบบที่เขียนขึ้นเป็นแบบสามมิติ พร้อมกับรายละเอียดสัดส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ โดยออกแบบให้เครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย เป็นเครื่องที่เห็นการทำงานอย่างชัดเจน ง่าย และ ไม่ซับซ้อน

2) ประกอบโครงสร้างของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยตามแบบที่เขียนไว้ ตามขั้นตอนต่อไป

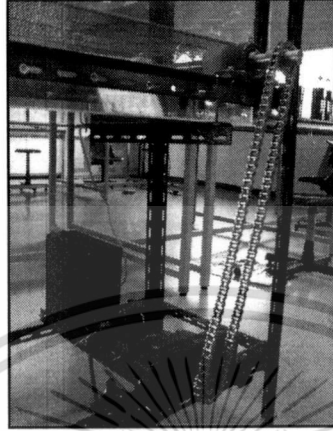
2.1) ประกอบ โครงสร้างภายนอกของเครื่องด้วยเหล็กฉาก ตามขนาดที่ระบุไว้ (ดังรูปที่ 3.17) และติดล้อทั้ง 4 ข้าง เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย



รูปที่ 3.17 แสดง โครงสร้างภายนอกของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย

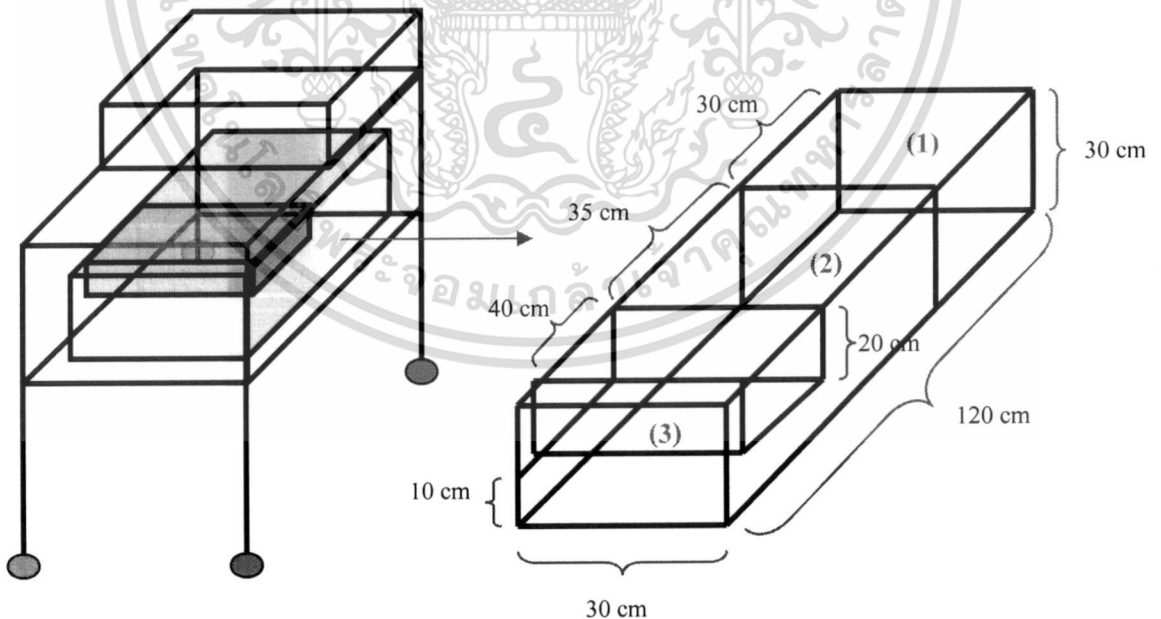
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) ติดตั้งสายพานลำเลียง และระบบควบคุมการทำงานของสายพาน



รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งการติดตั้งสายพานและระบบควบคุมการทำงานของสายพาน

2.3) ประกอบโครงสร้างภายใน (ส่วนที่แบ่งเป็นห้องสำหรับการแช่แข็ง) ของเครื่องด้วยเหล็กฉาก ตามขนาดที่ระบุไว้ (ดังรูปที่ 3.19) มีลักษณะเป็นอุโมงค์



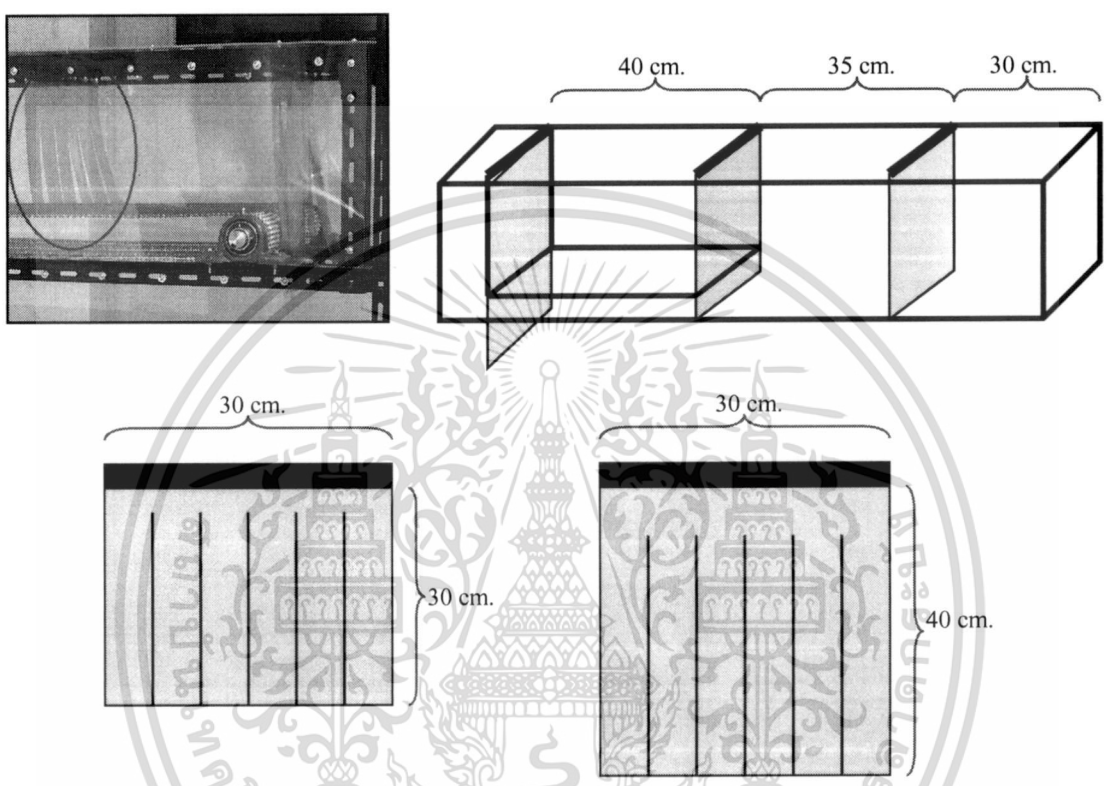
รูปที่ 3.19 แสดงโครงสร้างภายในของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย โดยแบ่งได้ดังนี้

(1) ห้องสำหรับวางลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่สายพาน

(2) ห้อง pre-cooling (3) ห้องแช่แข็ง (freezing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4) นำมันพลาสติกมาติดกับโครงเหล็กที่ได้ตัดไว้ แล้วนำไปติดกับโครงสร้างภายใน เพื่อกันแบ่งออกเป็น 3 ห้อง คือ ห้องสำหรับวางถ้ำเลี้ยงวัตถุดิบเข้าสู่สายพาน , ห้อง pre-cooling และห้องแช่แข็ง (freezing)



รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะมันพลาสติกที่นำมาติดกับโครง และตำแหน่งการติดมันพลาสติก

2.5) ติดแผ่นพลาสติกอะคริลิกด้วย methylene chloride บริเวณด้านบน , ด้านข้างทั้ง 2 ด้าน และด้านล่างของ โครงสร้างภายในของเครื่อง เพื่อเป็นฉนวนป้องกันความเย็นออกสู่ภายนอก

2.6) ติดพัดลมเป่าอากาศเย็นและระบบไฟฟ้าควบคุม บริเวณด้านบนของห้อง pre-cooling เพื่อเป่าอากาศเย็นภายในให้ทั่วถึง

2.7) ทำการติดตั้งหัวสเปรย์กับวาล์วควบคุมความดัน แล้วนำไปต่อกับท่อ จากนั้นจึงต่อเข้ากับถังสารทำความเย็น แต่ก่อนที่จะทำการติดตั้งหัวสเปรย์ได้นั้น ต้องทำการทดลองหา ระยะห่างของหัวสเปรย์กับวัตถุดิบ และหาความดันที่เหมาะสมที่ใช้เวลาในการแช่แข็งน้อยที่สุด โดยการกำหนดระยะห่างของหัวสเปรย์กับวัตถุดิบ 3 ระดับ คือ 4 , 5 และ 6 cm. ตามลำดับ และที่ความดัน 3 ระดับ คือ 50 , 75 และ 100 psi ตามลำดับ จากนั้นใช้เทอร์โมคัปเปิลทดสอบกับหัวสเปรย์ที่ระยะห่างและความดันข้างต้น บันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับเวลาทุกๆ 3 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

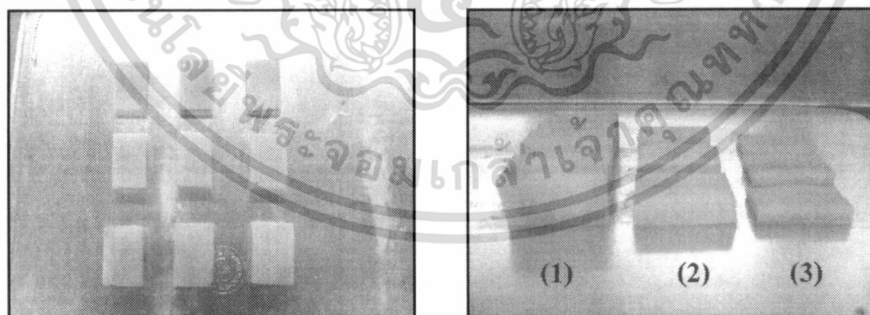
เมื่ออุณหภูมิคงที่ จึงนำผลที่ได้ไปเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะห่างของหัวสเปร์ย์กับวัตถุดิบ และที่ความดันทั้ง 3 ระดับ เลือกระยะห่างของหัวสเปร์ย์กับวัตถุดิบ และความดันที่เหมาะสมไปใช้ในการติดตั้งหัวสเปร์ย์ และนำไปใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแช่แข็งต่อไป

2.8) นำถาดไปติดตั้งบริเวณด้านล่างของปลายสายพานลำเลียง เพื่อรองรับวัตถุดิบหลังการแช่แข็ง

3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยนี้ จะใช้วิธีการทดสอบหาขนาดของวัตถุดิบที่เหมาะสมกับประสิทธิภาพของเครื่อง ที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการทำให้อุณหภูมิใจกลางของวัตถุดิบลดลงจน ถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาอาหารแช่แข็ง โดยมีขั้นตอนดังนี้

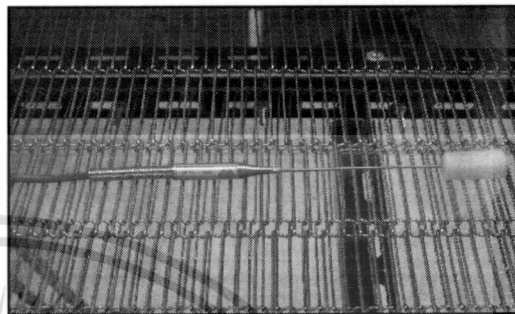
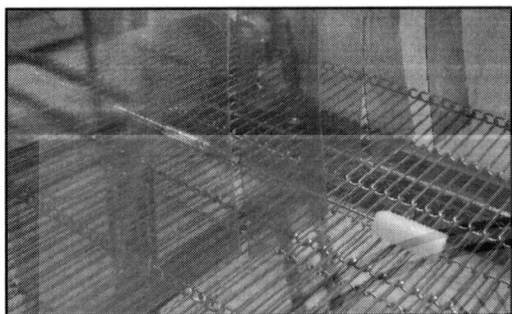
- 1) นำมันฝรั่งมาหั่นให้มีขนาด กว้าง × ยาว × สูง ต่างๆกัน 3 ขนาด ตามลำดับดังนี้
 - (1) $2 \times 3 \times 1.5$ cm. 3 ชั้น
 - (2) $2 \times 3 \times 1.0$ cm. 3 ชั้น
 - (3) $2 \times 3 \times 0.5$ cm. 3 ชั้น



รูปที่ 3.21 แสดงขนาดของมันฝรั่งที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เสียบเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งใจกลางของชั้นมันฝรั่ง แล้วนำไปวางที่บริเวณตรงกลางของสายพาน เพื่อลำเลียงไปยังหัวสเปรย์



รูปที่ 3.22 แสดงลักษณะการเสียบเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งใจกลางของชั้นมันฝรั่ง

3) เมื่อชั้นมันฝรั่งถึงหัวสเปรย์จึงทำการแช่แข็ง โดยเปิดวาล์วควบคุมที่ถังสารทำความเย็น และเปิดวาล์วที่ควบคุมความดันที่อยู่เหนือหัวสเปรย์ให้ถึงระดับ 100 psi จากนั้นจึงทำการบันทึกเวลาที่ใช้ในการทำให้อุณหภูมิใจกลางลดลงจนถึง -18°C ทุกๆ 3 วินาที

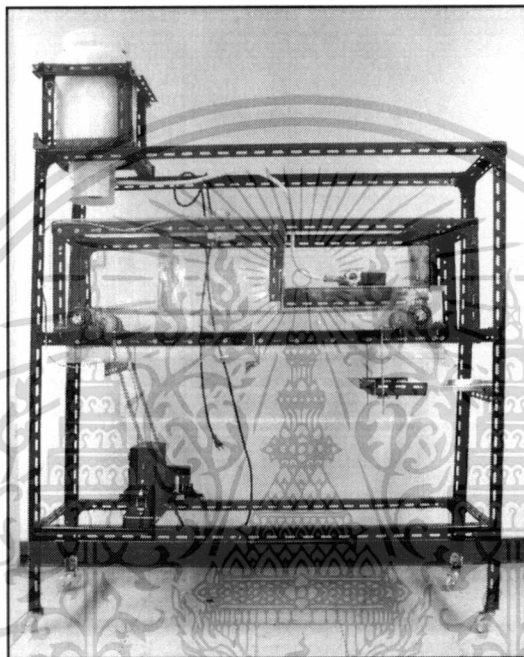


รูปที่ 3.23 แสดงระดับความดันที่ใช้ในการแช่แข็ง และการทำงานของหัวสเปรย์ ขณะทำการแช่แข็ง

4) ทำการทดลองซ้ำข้อ 2 และ 3 จนครบทุกระดับความหนา จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ที่ระดับความหนาทั้ง 3 ระดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

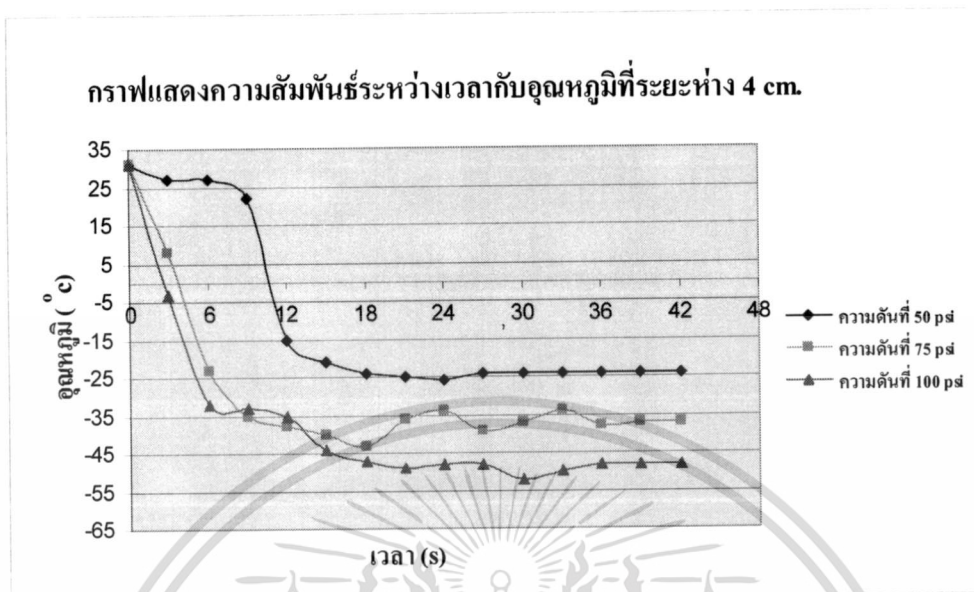


รูปที่ 4.1 เครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย (Cryogenic Freezer)

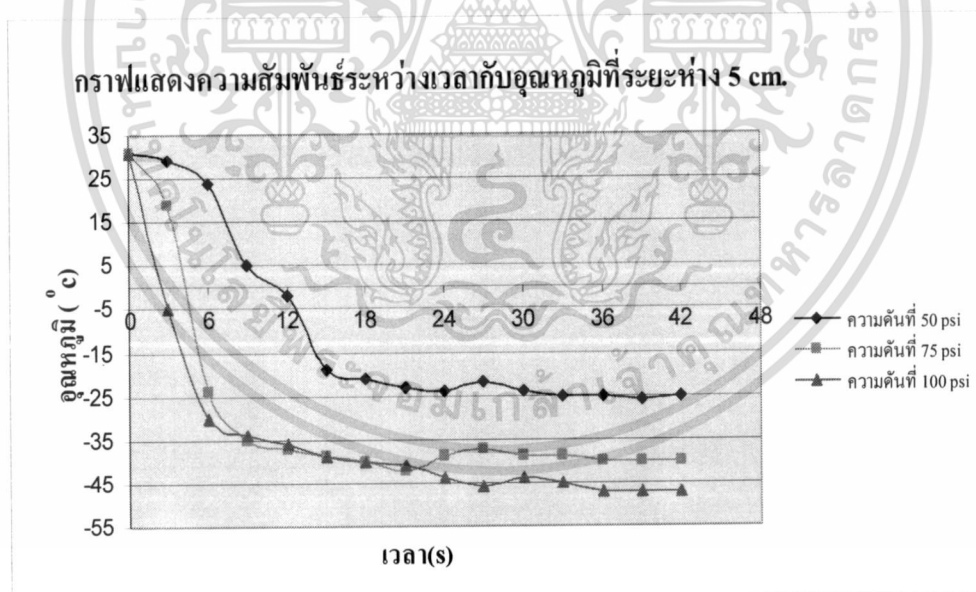
4.1 ผลการหาระยะห่างของหัวสเปรย์กับวัตถุดิบ และความดันที่เหมาะสม

ระยะห่างของหัวสเปรย์กับวัตถุดิบ และความดันที่เหมาะสมที่ใช้เวลาในการแช่แข็งน้อยที่สุด นั้น สามารถตรวจสอบความถูกต้องได้จากกราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะห่างของหัวสเปรย์กับวัตถุดิบ และที่ความดันต่างๆ (ดังรูปที่ 4.2 – 4.8) ซึ่งกราฟนี้ได้จากการทดลองกำหนดระยะห่างของหัวสเปรย์กับวัตถุดิบ 3 ระดับ คือ 4 , 5 และ 6 cm. และที่ความดัน 3 ระดับ คือ 50 , 75 และ 100 psi จากนั้นใช้เทอร์โมคัปเปิลทดสอบกับหัวสเปรย์ที่ระยะห่างและความดันข้างต้น แล้วบันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับเวลาทุกๆ 3 วินาที จนอุณหภูมิคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

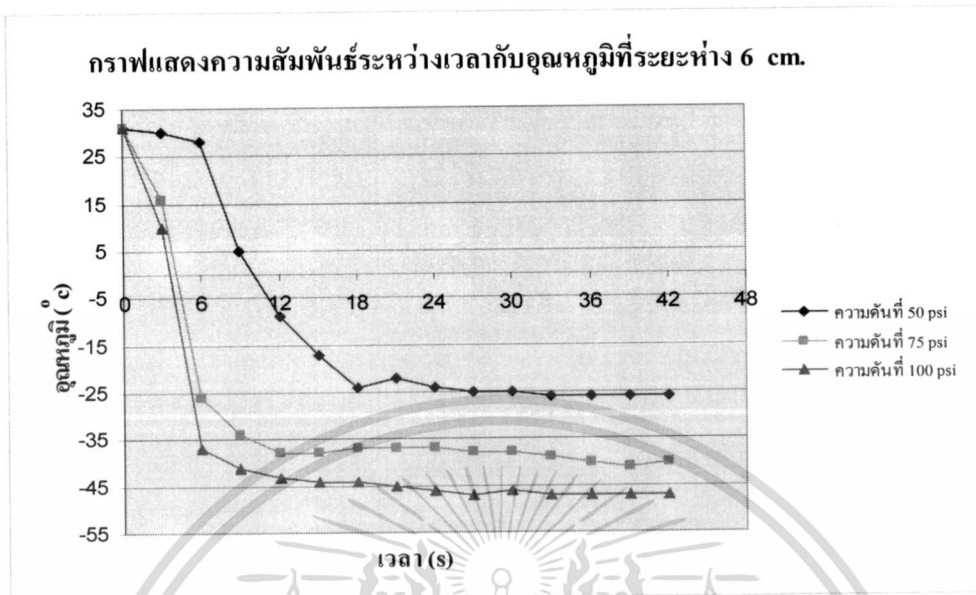


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่ระยะห่าง 4 cm.



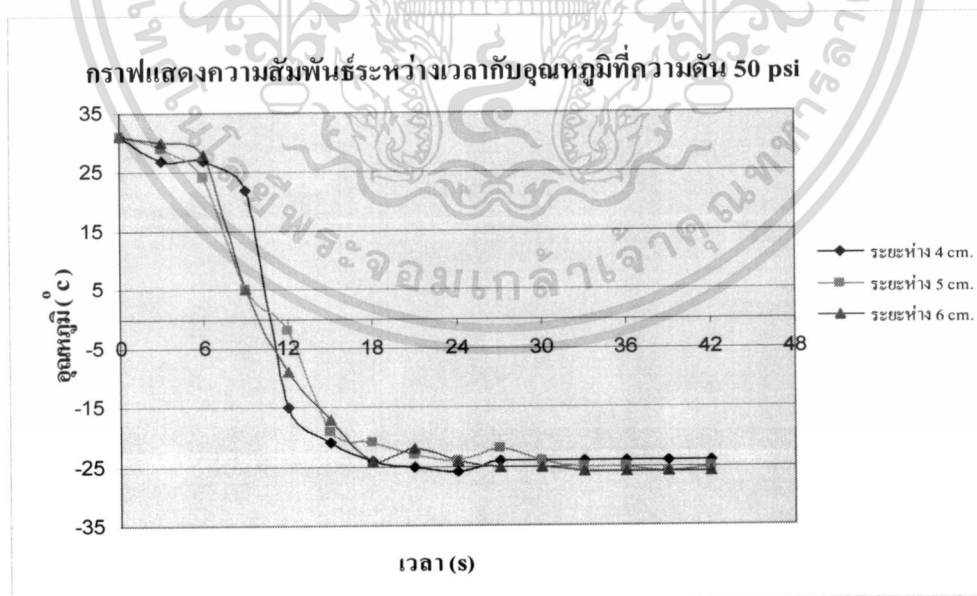
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่ระยะห่าง 5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



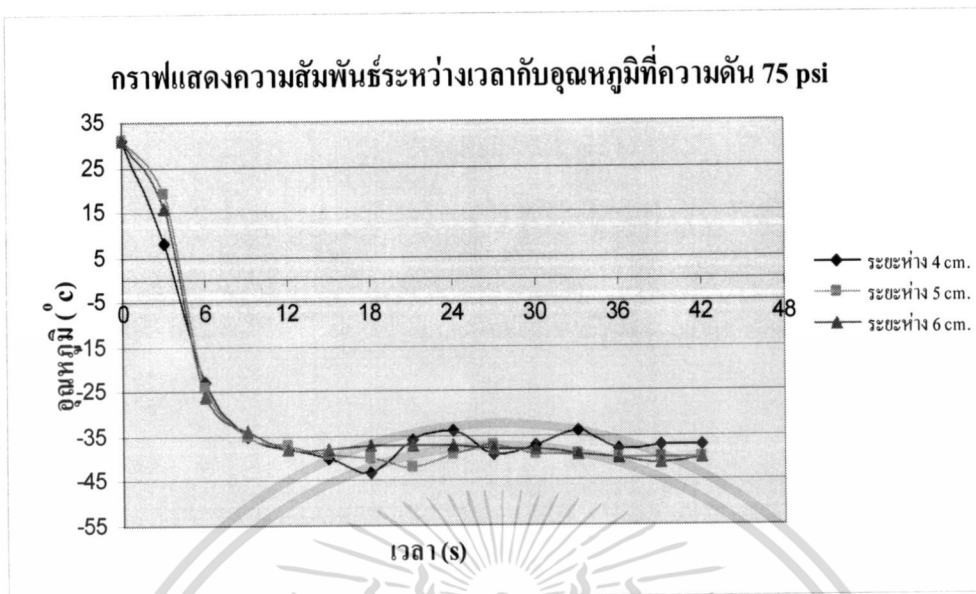
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับอุณหภูมิที่ระยะห่าง 6 cm.

พิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับอุณหภูมิที่ระยะห่างทั้ง 3 ระดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิคงที่ ณ เวลาเดียวกันนั้น ความดันที่ 100 psi ทำให้อุณหภูมิลดลงต่ำที่สุด

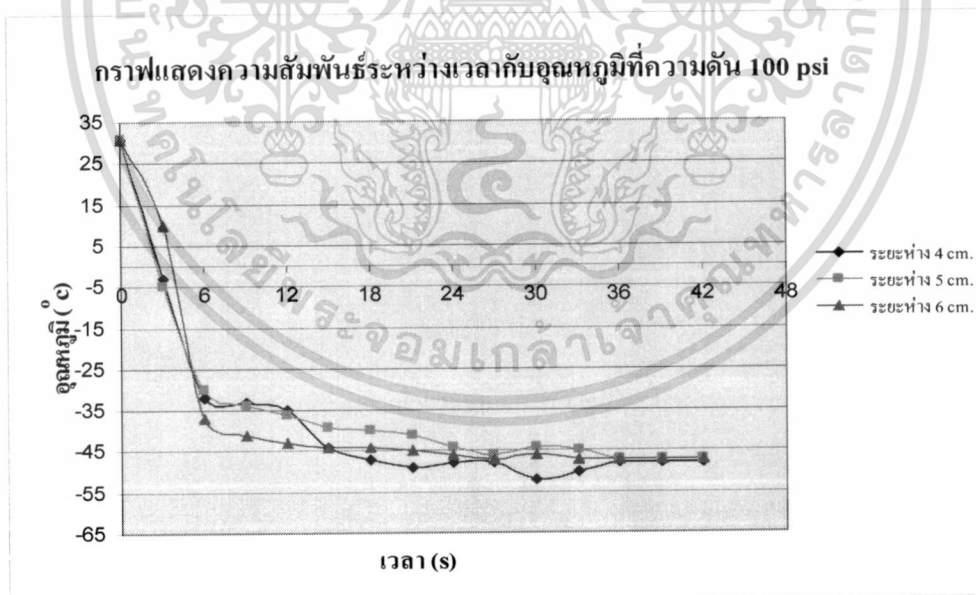


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับอุณหภูมิที่ความดัน 50 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่ความดัน 75 psi

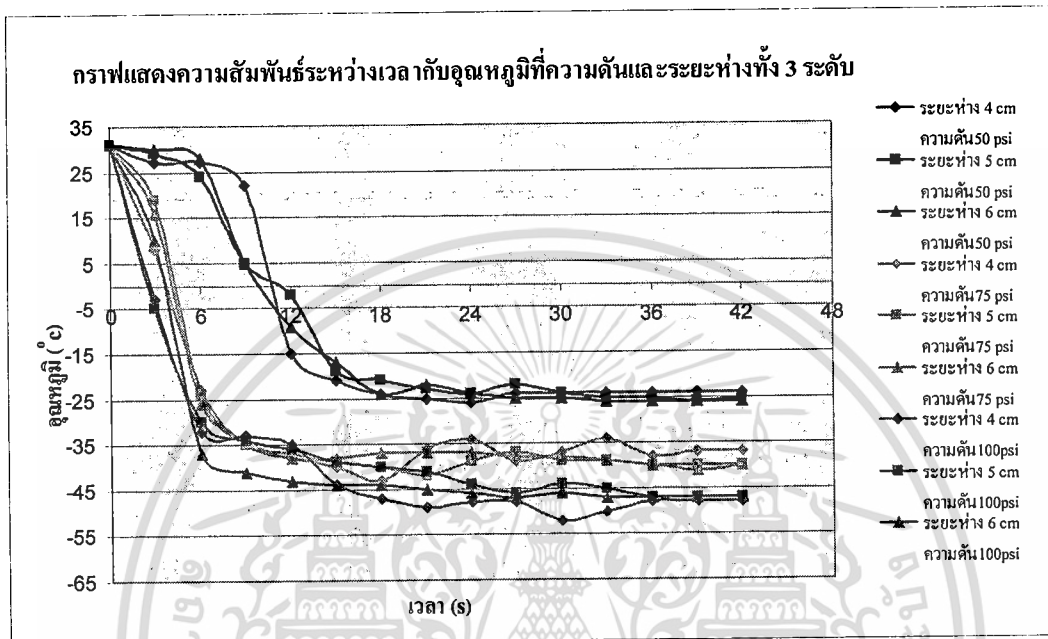


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่ความดัน 100 psi

พิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่ความดันทั้ง 3 ระดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิคงที่ ณ เวลาเดียวกันนั้น ในแต่ละระยะห่างทำให้แนวโน้มการลดลงของอุณหภูมิได้ไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เมื่อพิจารณากราฟรวมความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่ระยะห่าง และความดันทั้ง 3 ระดับพร้อมกัน ผลจะแสดงให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น (ดังรูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่ความดันและระยะห่างทั้ง 3 ระดับ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่ความดันและระยะห่างทั้ง 3 ระดับ และโดยหลักการของการแช่แข็งแบบพ่นฝอย ที่เหมาะสมกับการแช่แข็งวัตถุดิบขนาดเล็กแล้ว จึงควรเลือกระยะห่างของหัวสเปรย์กับวัตถุดิบที่ระยะ 4 cm. และความดันที่เหมาะสมกับการแช่แข็งแบบพ่นฝอยเครื่องนี้ คือ ความดัน 100 psi เนื่องจากจะทำให้อุณหภูมิของตัวกลางทำความเย็นลดลงต่ำที่สุด

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย โดยการนำมันฝรั่งมาหั่นให้มี ความหนา 3 ระดับ คือ 0.5 , 1.0 และ 1.5 cm. ตามลำดับ แล้วนำไปแช่แข็งเพื่อหาระดับความหนา ที่ใช้เวลาน้อยที่สุด ในการทำให้อุณหภูมิใจกลางของมันฝรั่งลดลงจนถึงอุณหภูมิ -18°C ได้ผลดัง ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาที่ทำให้อุณหภูมิใจกลางของมันฝรั่งลดลงจนถึง อุณหภูมิ -18°C ที่ระดับความหนาต่างๆของมันฝรั่ง 3 ระดับ

ระดับความหนา (cm.)	ค่าเฉลี่ยเวลา (s)
0.5	34 ^a
1.0	82 ^b
1.5	164 ^c

เมื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าที่ระดับความหนา 0.5 cm. ใช้เวลาในการแช่แข็งน้อยที่สุด และที่ระดับความหนา 1.5 cm. ใช้เวลาในการแช่แข็งมากที่สุด โดยมีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอย (Cryogenic Freezer) ที่ออกแบบและสร้างขึ้น เพื่อการศึกษาหลักการทำงานของเครื่องแช่แข็ง การทดสอบประสิทธิภาพ และศึกษาความเหมาะสมของเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยกับอาหาร เครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยนี้สามารถใช้งานได้จริงในระดับหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรม เนื่องด้วยเป็นเครื่องสาธิตจึงมีข้อจำกัดในหลายด้าน อาจส่งผลให้ไม่เกิดประสิทธิภาพในการแช่แข็งสูงสุด เพราะยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องนอกเหนือจากการศึกษานี้ด้วย

จากผลการทดลอง เครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยสามารถแช่แข็งมันฝรั่งให้มีอุณหภูมิลดลงได้ต่ำที่สุดที่ความดัน 100 psi เมื่อหัวสเปรย์อยู่ห่างจากมันฝรั่ง 4 cm. และเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยใช้เวลาในการแช่แข็งน้อยที่สุด เมื่อแช่แข็งมันฝรั่งความหนา 0.5 cm. แต่ดังที่กล่าวข้างต้นในกระบวนการแช่แข็งยังมีอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการทดลองที่ได้นี้เป็นเพียงผลการศึกษาจากเครื่องนี้ที่ได้สร้างขึ้นเท่านั้น ไม่อาจใช้เป็นเกณฑ์กับเครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยเครื่องอื่นได้ แต่สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะต่อการศึกษาในขั้นต่อไป

- 1) เครื่องแช่แข็งแบบพ่นฝอยที่สร้างขึ้นเป็นแบบโปร่งใส เพื่อให้เห็นการทำงานภายในได้ชัดเจน ดังนั้นจึงไม่มีฉนวนหุ้ม ส่งผลต่อการรักษาอุณหภูมิภายใน อาจทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นไม่ใช่อุณหภูมิจริง
- 2) ผลจากการศึกษามันฝรั่ง อาจใช้ไม่ได้กับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ดังนั้นหากมีการศึกษาวัตถุดิบที่หลากหลาย จะสามารถเปรียบเทียบหาความเหมาะสมของเครื่องแช่แข็งกับอาหารได้ดียิ่งขึ้น
- 3) ในการทดลองขณะที่จับเวลา แล้วอ่านค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง อาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือและตัวผู้ทำการทดลอง เครื่องมือยังมีจำนวนมาก ก็ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้นเช่นกัน ส่วนตัวผู้ทำการทดลองนั้นคือสิ่งที่มีความเที่ยงตรงน้อยมาก
- 4) การเปลี่ยนสารทำความเย็นที่ใช้ อาจให้ผลที่ได้ไม่เหมือนกับ R-22 ที่ใช้อยู่ เพราะสารทำความเย็นแต่ละตัวมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน
- 5) จำนวนหัวสปเรย์ , ตำแหน่ง , ขนาด , ระยะห่างจากวัตถุดิบ มีผลต่อประสิทธิภาพการแช่แข็งอาหาร
- 6) ในการตัด และติดตั้งพลาสติกอะคริลิกอาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากใช้แรงงานคน จนเกิดเป็นรอยร้าว ซึ่งทำให้ขณะทำการแช่แข็งมีความเย็นเล็ดลอดออกมา ประสิทธิภาพจะลดลง

เอกสารอ้างอิง

สมโภชน์ โคมลภณ. (2542). การแช่เย็นและแช่เยือกแข็งอาหาร. In coursewares. [Online].

Available : <http://coursewares.mju.ac.th/ft470/FT470/chapter05.doc>.

อุมาพร ศิริพันธ์. (2546). การถนอมรักษาเนื้อสัตว์. [Online]. Available :

<http://coursewares.mju.ac.th/ft470/FT470/chapter06.doc>

พรรณทิพย์ ห่อศรีสัมพันธ์. (No date). การแช่แข็งอาหารด้วยไนโตรเจนเหลว. [Online].

Available : http://www.thaiscience.com/lab_vol/p35/Cryogenic.asp.

รัชชัย จารุงศ์วิทยา. (2008). เครื่องแช่แข็งผักแบบเป่าลมเย็น (Vegetables Air Blast Freezer).

วารสาร มทร. อีสาน. ปีที่ 1(ฉบับที่ 1) : หน้า 27 – 40. [Online]. Available :

http://www.rmuti.ac.th/2008/journal/RMUTI_Journal_1-1%5B1%5D.pdf

Juan L. Silva, J. Stojanovic. (1997, October). Freezing. [Online]. Available :

<http://www.msstate.edu/org/silvalab/FREEZING%20.pdf>

Gary Lang. (2006, January). Cryogenic Freezing. [Online]. Available :

<http://www.irc.wisc.edu/file.php?id=188>

อุดม ชูสังข์. สารทำความเย็นและสารหล่อลื่น. เอกสารประกอบการสอนวิชาเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ 1, มหาวิทยาลัยทักษิณ. [Online]. Available :

<http://www.freewebs.com/epowerdata/epower2007/subject/aircondition/Unit3.pdf>

H.K. MACINTOSH. “ Liquid Nitrogen Freezing System” U.S.3238736 May. 16, 1963.

ผศ.ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. สารทำความเย็น. หนังสือการทำความเย็นและการปรับอากาศ (Refrigeration and conditioning) หน้า 97 – 112.

“ สารทำความเย็น” [Online]. Available : http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Refrigeration/

[Website/unit_9_10 .htm](http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Refrigeration/Website/unit_9_10 .htm) (10/08/2008)

สมภพ ปัญญาสมพรรค และคณะ. การทำความเย็น. บทเรียนจำลองสถานการณ์ออนไลน์.

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. [Online]. Available :

http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/refrigeration/website/unit9_1.htm

“ Cryogenic Freezing ” [Online] Available/<http://www.irc.wisc.edu> (19/11/2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 แสดงผลของการวัดอุณหภูมิทุกๆ 3 วินาที ที่ความดันทั้ง 3 ระดับ ที่ระยะห่าง 4 cm.

เวลา (s)	ความดัน (psi)		
	50	75	100
0	31	31	31
3	27	8	- 3
6	27	- 23	- 32
9	22	- 35	- 33
12	- 15	- 38	- 35
15	- 21	- 40	- 44
18	- 24	- 43	- 47
21	- 25	- 36	- 49
24	- 26	- 34	- 48
27	- 24	- 39	- 48
30	- 24	- 37	- 52
33	- 24	- 34	- 50
36	- 24	- 38	- 48
39	- 24	- 37	- 48
42	- 24	- 37	- 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงผลของการวัดอุณหภูมิทุกๆ 3 วินาที ที่ความดันทั้ง 3 ระดับ ที่ระยะห่าง 5 cm.

เวลา (s)	ความดัน (psi)		
	50	75	100
0	31	31	31
3	29	19	- 5
6	24	- 13	- 30
9	5	- 18	- 34
12	- 2	- 20	- 36
15	- 6	- 21	- 39
18	- 9	- 22	- 40
21	- 11	- 23	- 41
24	- 12	- 23	- 41
27	- 13	- 24	- 43
30	- 13	- 24	- 44
33	- 14	- 24	- 45
36	- 13	- 24	- 47
39	- 13	- 24	- 47
42	- 13	- 24	- 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงผลของการวัดอุณหภูมิทุกๆ 3 วินาที ที่ความดันทั้ง 3 ระดับ ที่ระยะห่าง 6 cm.

เวลา (s)	ความดัน (psi)		
	50	75	100
0	31	31	31
3	30	16	10
6	28	- 26	- 37
9	5	- 34	- 41
12	- 9	- 38	- 43
15	- 17	- 38	- 44
18	- 24	- 37	- 44
21	- 22	- 37	- 45
24	- 24	- 37	- 46
27	- 25	- 38	- 47
30	- 25	- 38	- 46
33	- 26	- 39	- 47
36	- 26	- 40	- 47
39	- 26	- 41	- 47
42	- 26	- 40	- 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 แสดงเวลาที่ทำให้มันฝรั่งความหนาทั้ง 3 ระดับ มีอุณหภูมิลดลงถึง -18°C ที่ความดัน 100 psi

เวลา (s)	ความหนา (0.5 cm)			ความหนา (1.0 cm)			ความหนา (1.5 cm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	29	29	28	30	29	29	30	30	30
6	28	26	25	29	29	28	30	30	30
9	24	15	16	29	29	26	29	29	30
12	18	10	8	28	28	23	29	29	29
15	10	2	2	26	27	22	29	29	29
18	3	-4	-5	26	25	20	29	29	29
21	-2	-7	-8	24	23	19	29	29	29
24	-5	-10	-13	22	21	17	29	29	28
27	-8	-15	-16	20	20	15	28	29	28
30	-10	-17	-18	19	18	14	28	28	27
33	-14	-18		16	16	12	28	28	27
36	-16			15	13	11	28	27	26
39	-18			13	12	10	27	27	26
42				11	10	8	26	26	25
45				9	8	7	25	26	24
48				7	6	6	25	25	24
51				5	4	4	24	25	23
54				3	2	1	24	23	22
57				1	0	-2	23	23	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) แสดงเวลาที่ทำให้มันฝรั่งความหนาทั้ง 3 ระดับ มีอุณหภูมิลดลงถึง -18°C ที่ความดัน 100 psi

เวลา (s)	ความหนา (0.5 cm)			ความหนา (1.0 cm)			ความหนา (1.5 cm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
60				-1	-3	-4	23	22	20
63				-5	-4	-6	22	21	19
66				-6	-6	-8	21	20	19
69				-8	-7	-9	20	20	18
72				-12	-9	-11	19	18	18
75				-16	-11	-12	18	17	17
78				-18	-13	-14	16	16	16
81					-16	-16	15	15	15
84					-18	-18	13	14	15
87							12	13	14
90							11	12	13
93							10	11	12
96							9	10	10
99							8	8	9
102							7	7	8
105							5	6	6
108							4	5	5
111							3	4	3
114							2	3	2
117							1	2	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) แสดงเวลาที่ทำให้มันฝรั่งความหนาทั้ง 3 ระดับ มีอุณหภูมิลดลงถึง -18°C ที่ ความดัน 100 psi

เวลา (s)	ความหนา (0.5 cm)			ความหนา (1.0 cm)			ความหนา (1.5 cm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
120							0	0	-1
123							-2	-1	-3
126							-3	-2	-4
129							-4	-4	-5
132							-5	-5	-7
135							-6	-6	-8
138							-7	-9	-9
141							-8	-10	-11
144							-10	-11	-12
147							-11	-12	-13
150							-12	-13	-14
153							-13	-15	-15
156							-14	-16	-16
159							-15	-17	-17
162							-16	-18	-18
165							-17		
168							-18		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
thickness	0.5	3
	1	3
	1.5	3

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:time

Source	Type I Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	25928.000 ^a	2	12964.000	864.267	.000
Intercept	78400.000	1	78400.000	5.227E3	.000
thickness	25928.000	2	12964.000	864.267	.000
Error	90.000	6	15.000		
Total	104418.000	9			
Corrected Total	26018.000	8			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oneway

Descriptives

time

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0.5	3	34.0000	4.58258	2.64575	22.6163	45.3837	30.00	39.00
1	3	82.0000	3.46410	2.00000	73.3947	90.6053	78.00	84.00
1.5	3	1.6400E2	3.46410	2.00000	155.3947	172.6053	162.00	168.00
Total	9	93.3333	57.02850	19.00950	49.4973	137.1693	30.00	168.00

ANOVA

time

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	25928.000	2	12964.000	864.267	.000
Within Groups	90.000	6	15.000		
Total	26018.000	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subset

time

Duncan

thickness	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0.5	3	34.0000		
1	3		82.0000	
1.5	3			1.6400E2
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้