

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน

EVALUATION OF FREEZING TECHNIQUE FOR BABY YOUNG CORN



รายงานผลวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ของ
 โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ประจำปีงบประมาณ 2545

RCH
 TP
 493.5

เลขหมู่ ๗๑๙.๗
 เลขทะเบียน 48580
 ๒๕๔๖

b. 11345160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการวิจัย : ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน

**EVALUATION OF FREEZING TECHNIQUE FOR BABY
YOUNG CORN**

ชื่อผู้วิจัย : นายสนธิสุข วีระชัยชยุติ

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย : จากเงินรายได้ของโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ 2545

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย : 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2544 ถึง กันยายน 2545

หน่วยงานที่สังกัด : โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน โดยวิธีการแบบลมเป่าและแบบการจุ่มได้ถูกดำเนินการในสายการผลิตจริง พบว่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตและน้ำหนักสูญเสียของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงตามวิธีการที่ใช้ในการแช่แข็ง โดยที่บัจจัยทั้งสองมีผลโดยตรงต่อต้นทุนในการดำเนินการ ต้นทุนค่าพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดอ่อนแช่แข็งของเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาทำความเย็นหมุนเวียน เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว และเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว มีค่าเท่ากับ 0.56 , 10.62 และ 7.99 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อที่จะลดต้นทุนค่าดำเนินการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ข้าวโพดอ่อนโดยมีคุณภาพที่ยอมรับได้ เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาทำความเย็นแบบหมุนเวียน จะมีความเหมาะสมมากกว่าแบบอื่น

EVALUATION OF FREEZING TECHNIQUE FOR BABY YOUNG CORN

Sontisuk Teerachaichayut

ABSTRACT

Freezing methods for baby young corn such as air blast and immersion were studied in the real process. The energy consumption and the weight loss were varied and related to the freezing methods. Both factors directly effected to the cost of operation. The energy consumption cost per unit weight of baby young corn product of the continuous air blast tunnel freezer with circulating refrigerant, the continuous immersion tunnel freezer with liquid carbondioxide and the batch immersion cabinet freezer with liquid carbondioxide were 0.56, 10.62, 7.99 baht per kilogram respectively, so as to reduce processing cost, the continuos air blast freezer with circulating refrigerant is more suitable for freezing of qualified baby young corn product.

สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	2
2.1 การทำความเย็น	2
2.2 การแช่แข็งอาหาร	11
2.3 วิธีการแช่แข็ง	14
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	18
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	18
3.2 ขั้นตอนการทดลองผลิตข้าวโพดอ่อนแช่แข็งโดยเครื่อง แช่แข็งแบบเป่าลมแบบต่อเนื่องชนิดน้ำยาแอมโมเนีย	21
3.3 ขั้นตอนการทดลองผลิตข้าวโพดอ่อนแช่แข็งโดยเครื่อง แช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์	22
3.4 ขั้นตอนการทดลองผลิตข้าวโพดอ่อนแช่แข็งโดยเครื่อง แช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์	27
4.1 การวิเคราะห์พลังงาน	27
4.2 การวิเคราะห์น้ำหนักสูญเสีย	30
4.3 การวิเคราะห์ต้นทุนพลังงาน	32
4.4 การวิจารณ์ผล	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	36
5.1 สรุปผลการทดลอง	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก	39

สารบัญตาราง

ตารางที่

4.1	พลังงานที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย	27
4.2	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	27
4.3	พลังงานจากน้ำยาที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	27
4.4	พลังงานรวมที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	28
4.5	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะ ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	28
4.6	พลังงานจากน้ำยาที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะ ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	28
4.7	พลังงานรวมที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะ ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	29
4.8	ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย	30
4.9	ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	30
4.10	ค่าพลังงานจากน้ำยาของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	30
4.11	ค่าพลังงานรวมของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	32
4.12	ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะ ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่

4.13	ค่าพลังงานจากน้ำยาที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะ ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	32
4.14	ค่าพลังงานรวมของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะ ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	33
4.15	ค่าน้ำหนักสูญเสียของเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย	33
4.16	ค่าน้ำหนักสูญเสียของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	33
4.17	ค่าน้ำหนักสูญเสียของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะ ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		
2.1	แสดงการทำน้ำเย็นโดยของเหลวระเหยง่าย	3
2.2	แสดงวงจรระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	5
2.3	แสดงเครื่องระเหย	6
2.4	แสดงเครื่องคอมเพรสเซอร์	7
2.5	แสดงคอนเดนเซอร์	8
2.6	แสดงวาล์วขยายตัวแบบอัดโนมิตี	9
2.7	แสดงแผนภาพความดัน-เอนทัลปีของน้ำยาทำความเย็น R-12	10
2.8	แสดงการถ่ายเทพลังงานของวงจรระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	13
2.9	แสดงวิธีการแช่แข็งแบบลมเป่า	14
2.10	แสดงเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่อง	15
2.11	แสดงเครื่องแช่แข็งแบบแผ่น	16
2.12	แสดงเครื่องแช่แข็งแบบการจุ่ม	17
3.1	แสดงขั้นตอนการทดลองแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย	24
3.2	แสดงขั้นตอนการทดลองแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	25
3.3	แสดงขั้นตอนการทดลองแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตอาหารแช่แข็งของประเทศไทย ข้าวโพดอ่อนแช่แข็งนับเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้ให้แก่ประเทศเป็นอย่างมากชนิดหนึ่ง ในภาคการผลิต ผู้ผลิตต้องหากรรมวิธีการผลิตที่สามารถลดต้นทุนการผลิตให้ได้มากที่สุด ทั้งนี้เพื่อการแข่งขันในตลาดการค้าเสรี ดังนั้นผู้ผลิตจำเป็นต้องเลือกเทคนิคการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งเทคนิคการแช่แข็งมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การแช่แข็งแบบใช้ลมเป่า แบบการสัมผัสโดยอ้อมและการแช่แข็งแบบจุ่ม (Roy J Dossat, 1997) แต่ละเทคนิคจะใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน รวมถึงใช้พลังงานที่แตกต่างกันมีผลต่อน้ำหนักสูญเสียที่แตกต่างกัน เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งแตกต่างกัน โดยปัจจัยดังกล่าวมีผลเกี่ยวข้องกับต้นทุนในการผลิตทั้งสิ้น

ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่ว่า การเปรียบเทียบเทคนิคการผลิตที่แตกต่างกัน ในสายการผลิต จะมีผลต่อการใช้พลังงาน น้ำหนักสูญเสีย เวลาในการแช่แข็ง และต้นทุนที่ต่างกันอย่างไร การวิจัยครั้งนี้จึงได้ดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลจากเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตจริง เพื่อให้ได้ผลที่ครอบคลุมถึงปัจจัยต่างๆที่จะมีผลกระทบต่อทั้งหมด อันจะเป็นประโยชน์อย่างมากแก่ผู้ผลิตในภาคอุตสาหกรรมในการตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตอย่างถูกต้องเหมาะสม อันจะเป็นการช่วยให้เกษตรกรของไทยสามารถขายผลผลิตทางเกษตรได้มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเทคนิคการผลิตข้าวโพดอ่อนแช่แข็งในภาคปฏิบัติจริง
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงาน น้ำหนักสูญเสีย และเวลาในการแช่แข็ง
- 1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 การทำความเย็น (รุ่งนภา, 2535)

อุณหภูมิมีบทบาทสำคัญต่อการเก็บรักษาคุณภาพของอาหาร การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาที่จะก่อให้เกิดอาหารเสื่อมเสีย อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เอนไซม์ หรือจากจุลินทรีย์

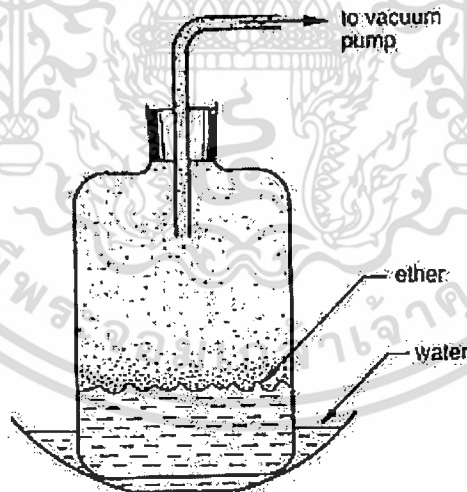
ดังนั้นการทำความเย็นจึงเป็นปฏิบัติการในการแปรรูปและเก็บรักษาอาหาร การกำจัดความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง หรือจากของแข็งไปยังของเหลวก็ตามจำเป็นต้องอาศัยความรู้ในด้านการถ่ายเทความร้อนเป็นหลักเบื้องต้น เพื่อให้เข้าใจถึงการออกแบบและการทำงานของระบบทำความเย็น

ในอดีตมักใช้น้ำแข็งเป็นตัวลดอุณหภูมิ โดยห้องที่บรรจุอาหารจะมีฉนวนกันแล้วปล่อยให้ น้ำแข็งละลาย น้ำแข็งจะใช้พลังงานความร้อนแฝง (333 kJ/kg) ในการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเหลว โดยดึงพลังงานนี้จากอาหารที่มีอยู่ในห้อง ทำให้อุณหภูมิจากอาหารลดลง

การลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องนั้น จำเป็นต้องกำจัดความร้อนและป้องกันความร้อนที่จะเกิดขึ้นซึ่งผ่านขอบเขตของระบบอัตราความร้อนที่กำจัดออกไปจากระบบ เพื่อให้ระบบมีอุณหภูมิตามต้องการนั้น จะเรียกว่าโหลดของการทำความเย็น (refrigeration load) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดขนาดของระบบทำความเย็น เมื่อการกำจัดความร้อนออกจากระบบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาหนึ่ง ระบบทำความเย็นทางกลจะกระทำตัวเป็นตัวปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ และส่งถ่ายความร้อนนี้ไปยังส่วนอื่นของระบบที่จะกระจายความร้อนไปยังสิ่งแวดล้อม การกระทำดังกล่าวนี้จำเป็นต้องใช้พลังงาน และถ้าระบบมีการออกแบบที่ดีแล้ว จะกำจัดความร้อนได้มากที่สุด ขณะที่เสียค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานที่ใช้น้อยที่สุด

ในปัจจุบันเราจะใช้ระบบการทำความเย็นทางกล (mechanical refrigeration system) ซึ่งอาศัยหลักการทำงานของฮีทปั๊ม (heat pump) จากกฎข้อที่สองทางเทอร์โมไดนามิกส์ซึ่งกล่าวว่า ความร้อนจะไหลไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำลงเท่านั้น แต่ในระบบที่ต้องรักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่า อุณหภูมิห้อง ความร้อนจะถูกบังคับให้ไหลไปในทิศตรงกันข้าม ระบบทำความเย็นจึงถูกพิจารณาให้เป็นปั๊มที่ถ่ายเทความร้อนจากที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังที่มีอุณหภูมิสูงดังกล่าวมาแล้ว โดยที่ ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำของระบบทำความเย็นจะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าระบบที่ต้องการทำความเย็น เพื่อให้ความร้อนไหลเข้าไปในระบบทำความเย็นเอง และด้านที่มีอุณหภูมิสูงจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าห้อง เพื่อสามารถปล่อยความร้อนที่ดูดเก็บไว้ไปยังสิ่งแวดล้อมได้

การคงอุณหภูมิทั้งสูงและต่ำในระบบทำความเย็นนี้ กระทำได้โดยใช้สารทำความเย็น ซึ่งจะหมุนเวียนตลอดเวลาในระบบสารทำความเย็น (refrigerant) หรืออาจเรียกว่าน้ำยาทำความเย็น จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ ในการนี้จำเป็นต้องใช้พลังงาน ซึ่งจะได้จากอาหาร เช่นกัน ตัวอย่างของสารทำความเย็น ได้แก่ แอมโมเนียซึ่งมีจุดเดือดที่ -33.3°C ที่ความดันบรรยากาศ อย่างไรก็ตาม จุดเดือดของสารทำความเย็น สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความดัน เช่น ถ้าต้องการเพิ่มจุดเดือดของแอมโมเนียเป็น 0°C ความดันที่ใช้จะสูงถึง 428.5 kPa.



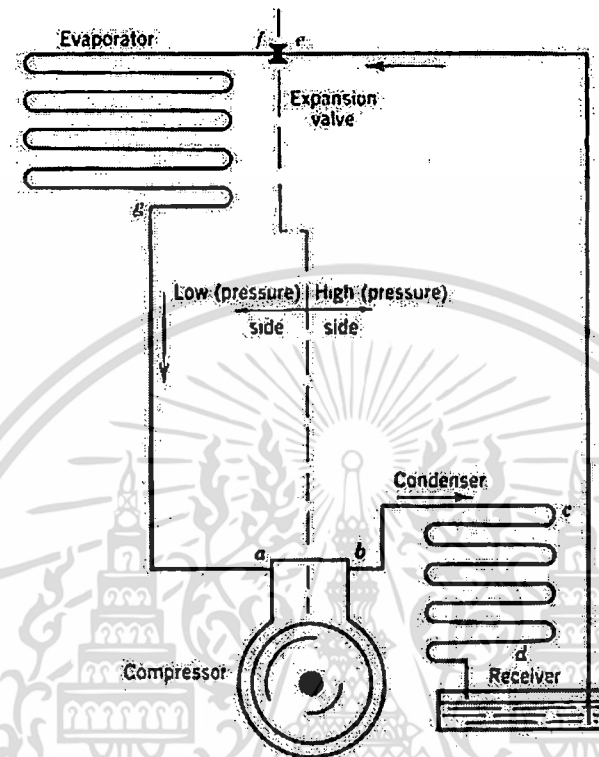
รูปที่ 2.1 แสดงการทำน้ำเย็นโดยของเหลวระเหยง่าย
ที่มา : Roger Kinsky , 1988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 องค์ประกอบของระบบทำความเย็น (component of refrigeration system)

ดังกล่าวมาแล้วในตอนต้นว่าการรักษาอุณหภูมิที่สูงและต่ำของระบบทำความเย็นนั้นจะใช้สารทำความเย็น โดยที่อุณหภูมิของจุดเดือดและจุดควบแน่นของสารทำความเย็นจะขึ้นกับความดันสัมบูรณ์เมื่อลดความดันจะทำให้จุดเดือดต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงเกิดการดูดความร้อนจากห้องที่ต้องการทำให้เย็นในรูปของความร้อนของการระเหยของสารทำความเย็น ขณะที่ระเหยที่ความดันและอุณหภูมิต่ำ ไอที่เกิดขึ้นนี้จะควบแน่นที่อุณหภูมิสูงเมื่อถูกอัดให้มีความดันสูง และเครื่องคอนเดนเซอร์จะดูดความร้อนที่สารทำความเย็นปล่อยออกมา เนื่องจากควบแน่นกลับเป็นของเหลวที่อุณหภูมิและความดันสูง ดังนั้นองค์ประกอบหลัก ๆ ของระบบทำความเย็นอย่างง่าย ๆ จะแสดงในภาพที่ ๑ ขณะที่สารทำความเย็นจะอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวอิ่มตัวภายใต้ความดันสูง และมีอุณหภูมิต่ำกว่า หรือเทียบเท่ากับอุณหภูมิที่ควบแน่นวาล์วที่ใช้ขยายตัวนี้จะเป็นตัวแยกส่วนที่เป็นความดันสูง และต่ำออกจากกัน เมื่อสารทำความเย็นผ่านวาล์วนี้ที่จุด e แล้ว ความดันจะลดต่ำลงและอุณหภูมิก็ต่ำลงด้วย ซึ่งความดันที่ลดต่ำลงนี้ มีผลให้สารทำความเย็นในสถานะของเหลวบางส่วนที่เปลี่ยนเป็นไอ ซึ่งจะเรียกของผสมของของเหลว / ก๊าซที่ออกจากวาล์วที่ใช้ขยายตัวนี้ว่า ฟลัชก๊าซ (flash gas)

ของผสมของของเหลว/ก๊าซนี้ จะเข้าสู่ขดลวดเครื่องระเหย (evaporator-coils) ที่จุด f ในเครื่องระเหย (evaporator) สารทำความเย็นจะเปลี่ยนเป็นก๊าซอย่างสมบูรณ์ที่จุด g โดยใช้ความร้อนจากตัวกลางที่มีอยู่รอบ ๆ ขดลวดเครื่องระเหย ไออิ่มตัวที่เกิดขึ้นอาจจะถูกทำให้ร้อนมากขึ้น (superheat) โดยรับความร้อนเพิ่มขึ้นจากสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

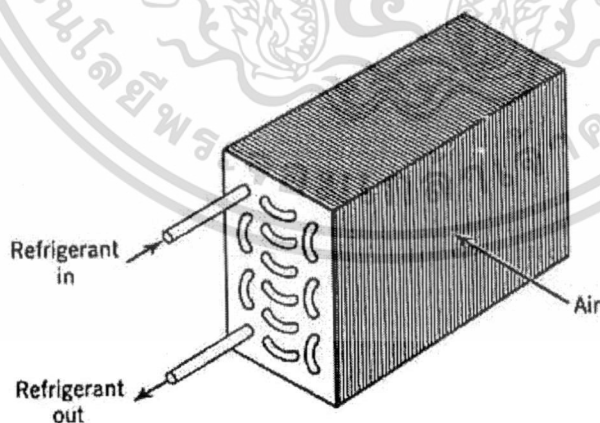
ที่มา : Henderson and Perry , 1976

ไอที่อึดตัวหรือถูกทำให้ร้อนขึ้นนี้ จะเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ที่จุด a ซึ่งสารทำความเย็นนี้ จะถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้น แต่ความดันนี้จะต้องต่ำกว่าความดันวิกฤตของสารทำความเย็น และต้องสูงมากพอที่จะทำให้เกิดการควบแน่นขึ้น การควบแน่นนี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศ หรือน้ำที่ใช้ระบายความร้อนในเครื่องคอนเดนเซอร์ ในเครื่องคอมเพรสเซอร์นี้ ขณะที่ความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น สารทำความเย็นจะได้รับความร้อนปริมาณมาก ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นมากด้วย

ไอหรือก๊าซที่ร้อนจัดนี้จะส่งไปยังคอนเดนเซอร์ ซึ่งอาจเป็นคอนเดนเซอร์ที่ทำให้เย็นด้วยอากาศหรือน้ำ สารทำความเย็นจะให้ความร้อนแก่ตัวกลางที่ล้อมรอบแล้วควบแน่นกลับเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ทั้งหมด สารทำความเย็นอาจจะมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิควบแน่นเนื่องจากมีปริมาณความร้อนบางส่วนถูกกำจัดออกไปด้วยตัวกลางที่ล้อมรอบ จากนั้น สารทำความเย็นเหลวจะส่งไปยังที่เก็บ (receiver) ของเหลวอิมพัลจะเข้าสู่วาล์วที่ใช้ขยายตัว จากนั้นวงจรก็จะดำเนินต่อไป หัวใจของระบบทำความเย็นจะอยู่ที่เครื่องคอมเพรสเซอร์

2.1.1.1 เครื่องระเหย (evaporator)

ในระบบทำความเย็น การทำให้เกิดความเย็นในห้องเย็นนั้นได้จากการควบคุมการเดือดหรือการระเหยของสารทำความเย็น โดยการควบคุมความดันที่การระเหยเกิดขึ้น ซึ่งมีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิที่ระเหย สารทำความเย็นจะระเหยอยู่ภายในท่อคอยล์ หรือภาชนะอื่น และในกรณีที่เป็นคอยล์ของห้องที่จะทำให้เย็น อากาศภายในห้องจะถูกบังคับให้ผ่านผิวภายนอกของคอยล์ คอยล์พัดลม (fan coil unit) จะเรียกว่าเครื่องระเหย (evaporator) ความร้อนจะถ่ายเทจากห้องไปยังเครื่อง โดยบังคับให้ลมภายในห้องผ่านผิวด้านนอกของเครื่องระเหยจากนั้นความร้อนจะส่งผ่านท่อไปยังสารทำความเย็นซึ่งจะดูดความร้อนไว้โดยการระเหย(การเดือด) ซึ่งจะเหมือนกับน้ำในหม้อก๋วน้ำเดือดที่ระเหย หรือการเดือดของสารทำความเย็น จะเกิดขึ้นที่ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าของน้ำเป็นอย่างมากคำว่าเครื่องระเหยจึงหมายถึง คอยล์เย็นเพราะสารทำความเย็นระเหยภายในคอยล์



รูปที่ 2.3 แสดงเครื่องระเหย

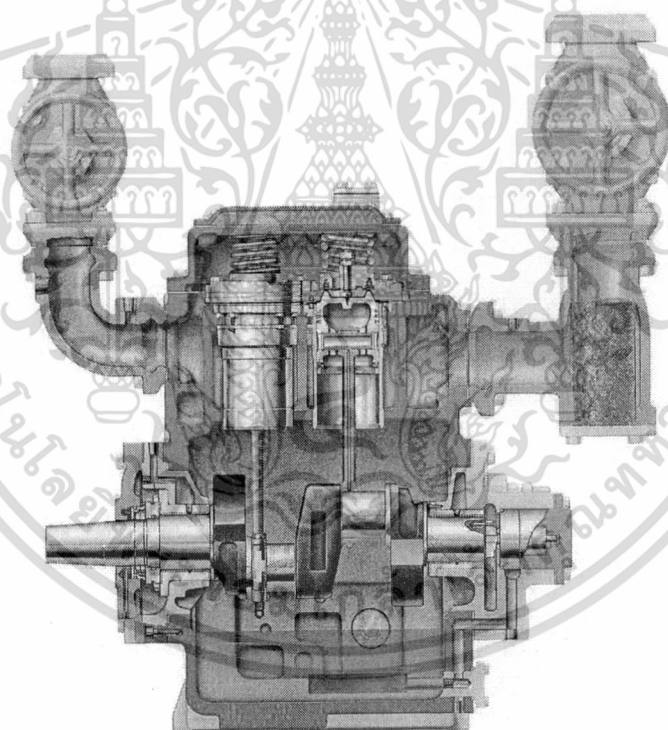
ที่มา : Roy J. Dossat , 1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 คอมเพรสเซอร์ (compressor)

หลังจากสารทำความเย็นในสภาพของเหลวระเหยเป็นก๊าซ เพื่อให้เกิดความเย็นขึ้นในห้องเย็นตามที่ต้องการแล้ว สารทำความเย็นจำเป็นต้องเปลี่ยนกลับมาเป็นของเหลวเพื่อใช้ในเครื่องระเหยอีกเนื่องจากราคาของสารแพงนั่นเอง โดยการอัดก๊าซด้วยเครื่องคอมเพรสเซอร์จากความดันที่ระเหยไปยังระดับความดันที่สูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิจุดเดือด และจุดควบแน่นจะขึ้นกับความดันที่กระทำต่อสารค่าความเย็น การอัดไอก็มีผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วยทำให้ไอควบแน่นกลับมาเป็นของเหลว โดยความร้อนจะถูกกำจัดออกไปโดยอากาศหรือน้ำ

กล่าวได้ว่า หัวใจสำคัญในระบบเครื่องทำความเย็นแบบการอัดไอนั้น คือ เครื่องคอมเพรสเซอร์ซึ่งมีหน้าที่ดูดและอัดก๊าซ



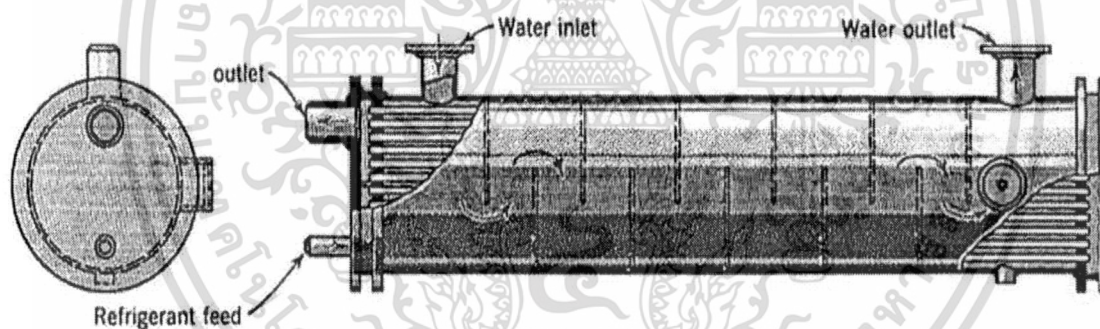
รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องคอมเพรสเซอร์

ที่มา : Mycom , 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 คอนเดนเซอร์ (condenser)

หลังจากที่ก๊าซของสารทำความเย็นถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นในคอมเพรสเซอร์แล้ว จึงจะไหลไปยังภาชนะหรือขดลวดที่เรียกว่า คอนเดนเซอร์ ความดันที่เพิ่มขึ้นนี้ (ซึ่งทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย) จะสูงพอที่ตัวกลาง เช่น น้ำหรืออากาศ จะยอมให้ความร้อนจากก๊าซของสารทำความเย็นควบแน่นกลับมาอยู่ในรูปของเหลว นั่นคือในระบบทำความเย็น คอนเดนเซอร์มีหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็นไปยังตัวกลางอื่น เช่น อากาศหรือน้ำ หลังจากปลดปล่อยความร้อนออกไปแล้ว สารทำความเย็นในสถานะก๊าซจะเปลี่ยนเป็นของเหลวภายในคอนเดนเซอร์



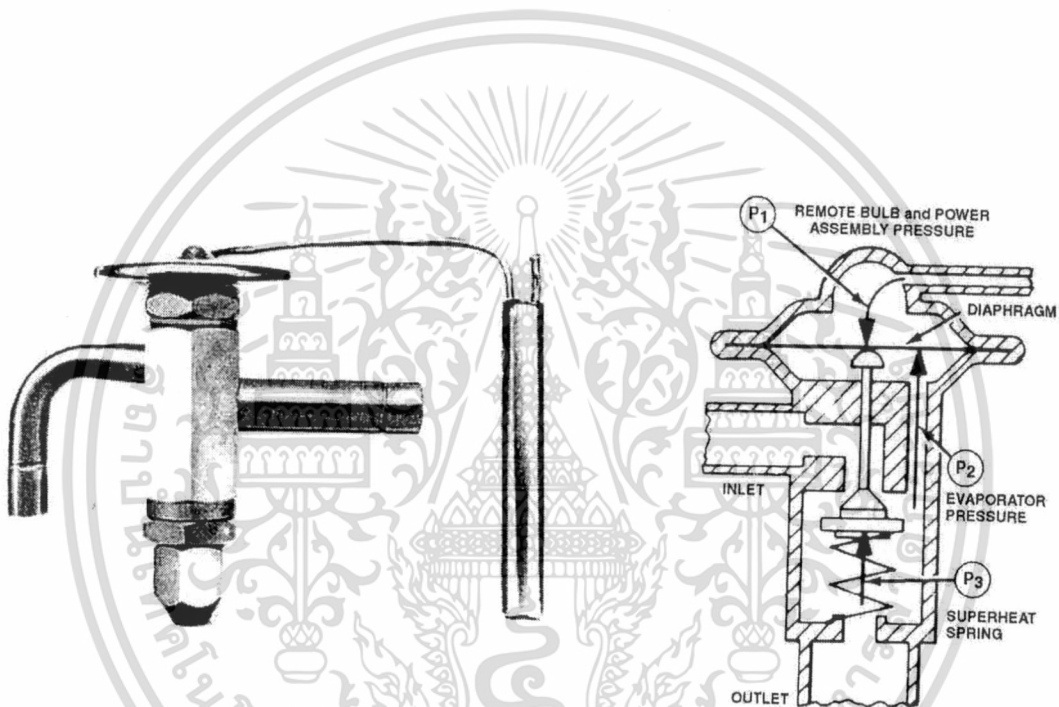
รูปที่ 2.5 แสดงคอนเดนเซอร์

ที่มา : Roy J. Dossat , 1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 วาล์วที่ใช้ในการขยายตัว (expansion valve)

วาล์วชนิดนี้เป็นเครื่องวัด (metering device) ที่ใช้ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเหลวไปยังเครื่องระเหยหรือคอยล์เย็น วาล์วนี้อาจมีระบบทำงานโดยใช้มือ (manually) หรือเครื่องเซนส์เซอร์ตรวจสอบความดันหรืออุณหภูมิที่ตำแหน่งอื่นที่ต้องการในระบบทำความเย็น



รูปที่ 2.6 แสดงวาล์วขยายตัวแบบอัตโนมัติ

ที่มา : Billy C. Langley, 1995

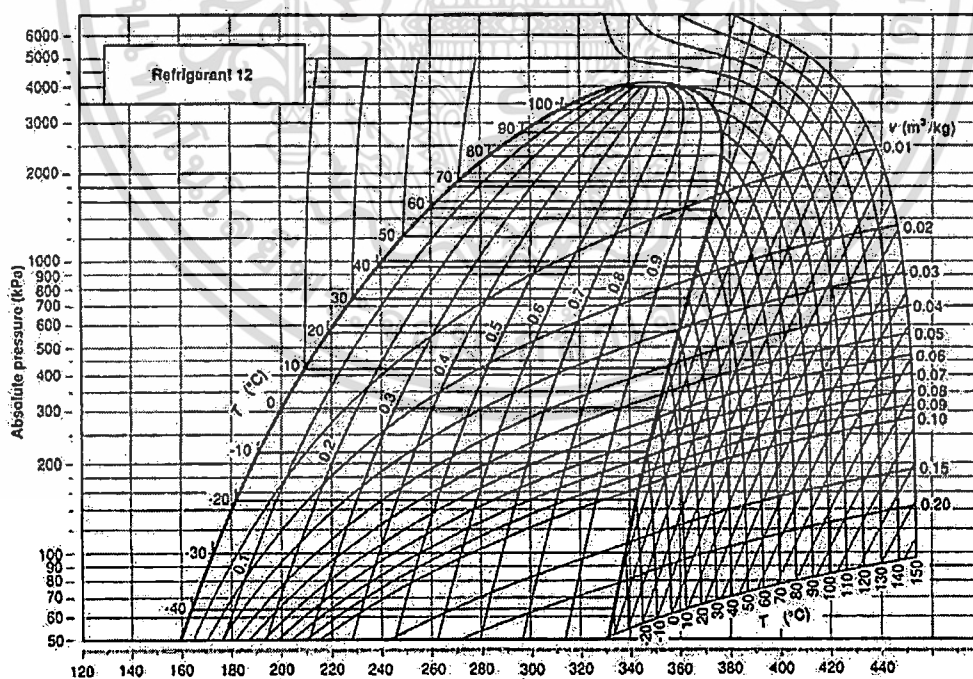
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 แผนภาพความดันและเอนทัลปี (pressure-enthalpy charts)

คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำความเย็น เมื่อแสดงในแผนภาพความดันและเอนทัลปีจะใช้หาความจุ (capacity) และกำลังงานที่ต้องใช้ในระบบทำความเย็น

ค่าความดันและเอนทัลปีของสารทำความเย็นจะเปลี่ยนไป ขณะที่สารทำความเย็นเคลื่อนที่ผ่านองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบทำความเย็น ในเครื่องระเหยและคอนเดนเซอร์นั้น ค่าเอนทัลปีของสารทำความเย็นจะเปลี่ยนไปและความดันมีค่าคงที่ ระหว่างขั้นตอนของการอัดนั้น จะมีงานกระทำต่อเครื่องคอมเพรสเซอร์ ทำให้ค่าเอนทัลปีของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ขณะที่ความดันเพิ่มขึ้น วาล์วที่ใช้สำหรับการขยายตัวเป็นกระบวนการที่ค่าเอนทัลปีคงที่ ทำให้สารทำความเย็นเหลว ภายใต้อุณหภูมิสูงผ่านไปยังส่วนที่มีความดันต่ำของระบบทำความเย็นด้วยอัตราที่ควบคุมค่าได้

แผนภาพความดัน-เอนทัลปี (P-H) ของสารทำความเย็นแต่ละชนิดมีประโยชน์ต่อการออกแบบและวิเคราะห์ระบบทำความเย็นแบบอัดก๊าซ วงจรของการทำความเย็นทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยเครื่องระเหย คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ และวาล์วสำหรับการขยายตัว สามารถวาดลงบนแผนภาพความดัน - เอนทัลปีได้



รูปที่ 2.7 แสดงแผนภาพความดัน-เอนทัลปีของน้ำยาทำความเย็น R-12

ที่มา : Roger Kinsky , 1988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การแช่แข็งอาหาร (food freezing)

การเก็บรักษาอาหารด้วยการแช่แข็งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากวิธีนี้สามารถรักษากลิ่น รส สี และคุณค่าทางอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อปฏิบัติอย่างถูกต้อง กลไกของการเก็บรักษาโดยการแช่แข็งเกิดขึ้นได้หลายอย่าง เมื่อผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิลดลงจนต่ำกว่า 0°C ทำให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์และการเสื่อมเสีย เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลงอย่างมาก รวมทั้งปฏิกิริยาทางเคมีอื่น ๆ อันเนื่องมาจากเอนไซม์และออกซิเดชันด้วย นอกจากนี้ การเกิดผลึกน้ำแข็งภายในผลิตภัณฑ์ จะทำให้น้ำที่เหลือที่จะทำปฏิกิริยาที่จะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียลดลงนั่นเอง

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าคุณภาพของอาหารที่ได้จากการแช่แข็งจะสูง แต่ก็ขึ้นกับกระบวนการแช่แข็งและ สภาพการณ์เก็บในสภาพแช่แข็งด้วย อัตราการแช่แข็งหรือเวลาที่ใช้ลดอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งเริ่มต้นไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ในลักษณะต่างกันขึ้นกับชนิดของอาหาร เช่น ในบางผลิตภัณฑ์ต้องการแช่แข็งอย่างรวดเร็วจะเรียกว่าการแช่แข็งอย่างรวดเร็ว (rapid freezing) (เวลาแช่แข็งสั้น) เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่ได้เล็กมากภายในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อสัมผัส (texture) น้อยที่สุด แต่บางผลิตภัณฑ์อาจไม่มีผลต่อการเปลี่ยนโครงสร้าง และในบางผลิตภัณฑ์อาจจะมีรูปสัณฐานและขนาดที่ไม่เหมาะกับการแช่แข็งอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ สภาวะอุณหภูมิต่ำเกินไปก็มีผลต่อคุณภาพของอาหารแช่แข็งมาก ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปเพิ่มขึ้นหรืออุณหภูมิต่ำเกินไปมีการขึ้น ๆ ลง ๆ (fluctuation) จะยิ่งทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์แย่มากขึ้น

จากที่กล่าวแล้วข้างต้น สรุปได้ว่ากระบวนการแช่แข็งที่เหมาะสมจะขึ้นกับลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงมีระบบแช่แข็งมากมายที่ออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับอาหารและทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงสุด

2.2.1 เวลาของการแช่แข็ง (freezing time)

เวลาของการแช่แข็งหรืออัตราการแช่แข็งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้ระบบแช่แข็ง เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม เวลาของการแช่แข็งจะเป็นตัวบ่งบอกความจุ (capacity) ของระบบด้วยและยังมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของอาหารแช่แข็งดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้นวิธีหาเวลาของการแช่แข็งจึงมีความสำคัญ เพื่อให้แน่ใจว่าได้คัดเลือกระบบแช่แข็งที่มีประสิทธิภาพตามต้องการ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแช่แข็งคือ

- (1) ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผลิตภัณฑ์ และตัวกลางทำให้เย็น (cooling medium)
- (2) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากผลิตภัณฑ์ หรือภายในผลิตภัณฑ์
- (3) ขนาด ชนิด และรูปร่างของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์
- (4) ขนาด รูปร่าง และคุณสมบัติทางด้านความร้อนของผลิตภัณฑ์

สิ่งที่สำคัญต่อการเวลาในการแช่แข็งคือ ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนโดยมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเป็น

$$1/h_s = 1/h_c + (x / k) + 1/h_r$$

เมื่อ h_s = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวทั้งหมด
(total surface heat transfer coefficient) (W / m² .K)

h_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการพา
(convective heat transfer coefficient) (W / m² .K)

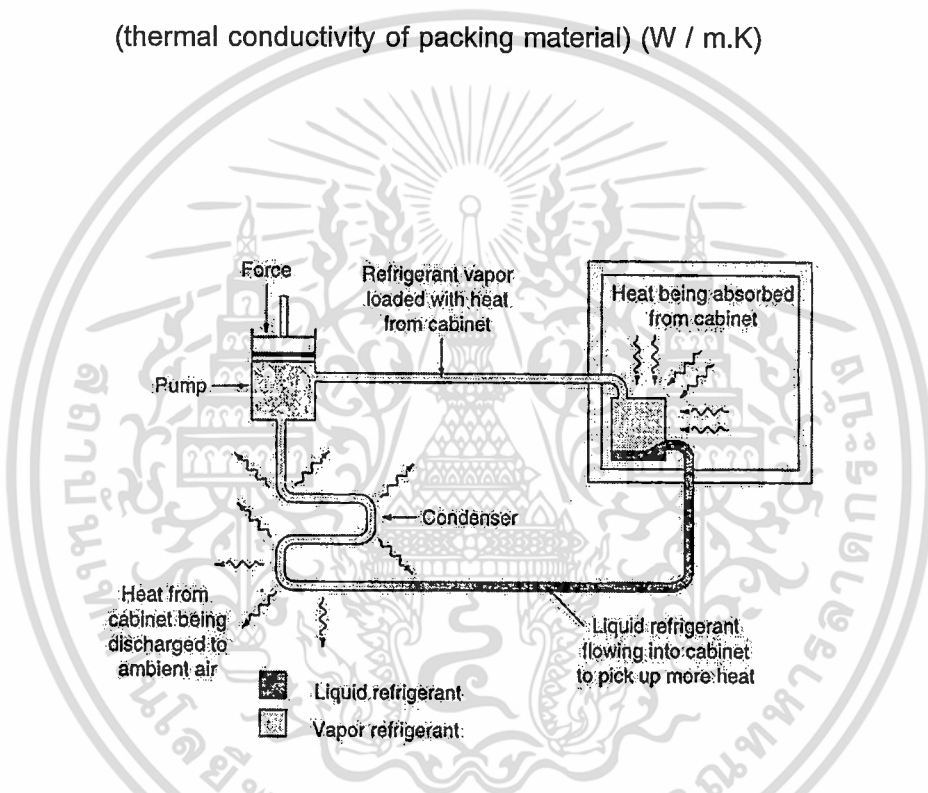
h_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสี

(radiation heat transfer coefficient) ($W / m^2 \cdot K$)

x = ความหนาของวัสดุที่ใช้บรรจุ (m)

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุบรรจุ

(thermal conductivity of packing material) ($W / m \cdot K$)



รูปที่ 2.8 แสดงการถ่ายเทพลังงานของวงจรระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ที่มา : Billy C. Langley, 1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

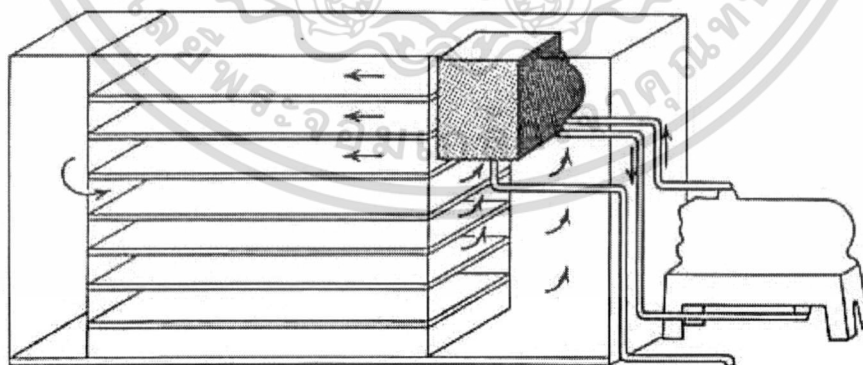
2.2.2 ระบบแช่แข็งและเครื่องแช่แข็ง (freezing systems and freezers)

เมื่อต้องการแช่แข็งผลิตภัณฑ์อาหารจำเป็นต้องให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำช่วงเวลาหนึ่งเพื่อกำจัดความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝงของการหลอมเหลวออกจากผลิตภัณฑ์ อันมีผลให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์นั้นลดลง และน้ำภายในเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง (น้ำแข็ง) (โดยทั่วไป มักจะมีน้ำในสถานะของเหลวเหลืออยู่ประมาณ 20% ณ อุณหภูมิที่เก็บอาหารแช่แข็ง) ดังนั้นตัวกลางที่ให้ความเย็นนี้จะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอย่างมากเพื่อให้กระบวนการแช่แข็งใช้เวลาสั้นที่สุดรวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบพาต้องมามีค่าสูงด้วย

2.3 วิธีการแช่แข็ง (freezing methods) (Roy J Dossat, 1997)

อาหารแช่แข็งอาจสามารถทำได้โดยวิธีการแช่แข็งแบบช้าๆหรือแบบรวดเร็ว การแช่แข็งแบบช้าๆทำโดยนำอาหารไปวางในห้องเย็นที่รักษาอุณหภูมิระหว่าง 0°F ถึง -40°F โดยที่อากาศที่หมุนวนโดยทั่วไปจะเป็นชนิดการพาแบบธรรมชาติ จะใช้เวลาระหว่าง 3 ชั่วโมงถึง 3 วันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและระบบของเครื่องแช่แข็ง

การแช่แข็งแบบรวดเร็ว ทำได้ 3 วิธี ได้แก่ แบบใช้ลมเป่า (air blast) แบบการสัมผัสโดยอ้อม (indirect contact) และแบบการจุ่ม (immersion)



รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการแช่แข็งแบบลมเป่า

ที่มา : Roy J. Dossat , 1997

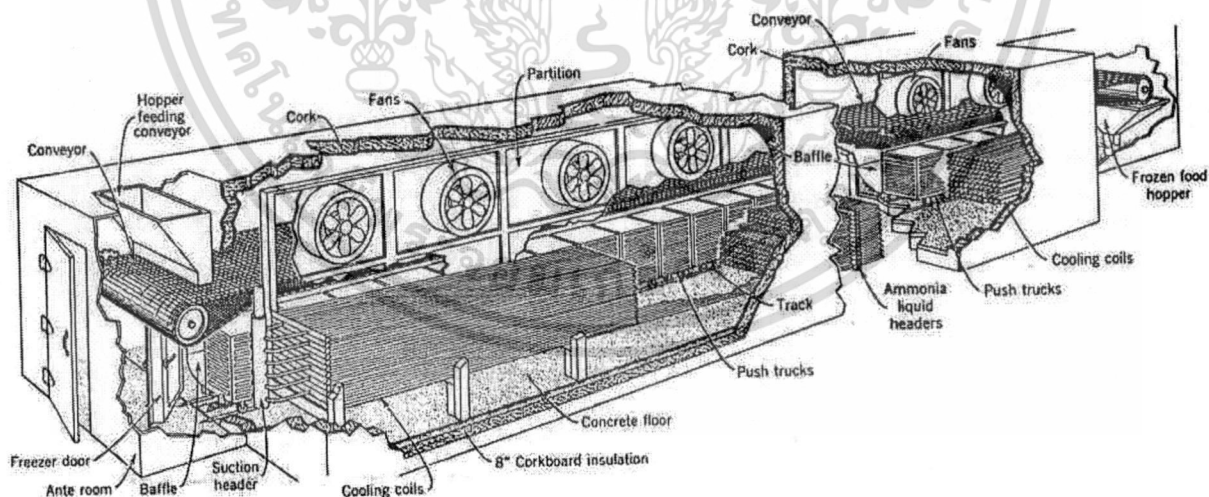
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การแช่แข็งแบบใช้ลมเป่า (air-blast freezing)

การแช่แข็งแบบใช้ลมเป่าเป็นการใช้ประโยชน์ร่วมกันระหว่างการใช้อุณหภูมิต่ำและลมความเร็วสูงเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนจากอาหาร ข้อสำคัญคือลมจะต้องไหลวนอยู่บริเวณรอบๆ ชิ้นของอาหารที่ต้องการจะแช่แข็ง

เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบง่าย ๆ ได้แก่ ห้องเย็น (refrigerated room) โดยผลิตภัณฑ์จะวางอยู่ในห้องและอากาศเย็นจะหมุนเวียนอยู่ภายในห้องรอบ ๆ ผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาแช่แข็ง วิธีนี้จะเป็นแบบกะ

เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าอาจออกแบบให้อาหารลำเลียงบนสายพานที่เป็นลวดถักอย่างช้าๆ เข้าไปในอุโมงค์หมุนวนที่มีลมเป่าอยู่ภายใน เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าชนิดสายพานหมุนวน (spiral belt freezer) เป็นที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน ที่กำลังผลิตอยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 12,000 ปอนด์ต่อชั่วโมง โดยเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งอยู่ระหว่าง 10 นาทีถึง 3 ชั่วโมง



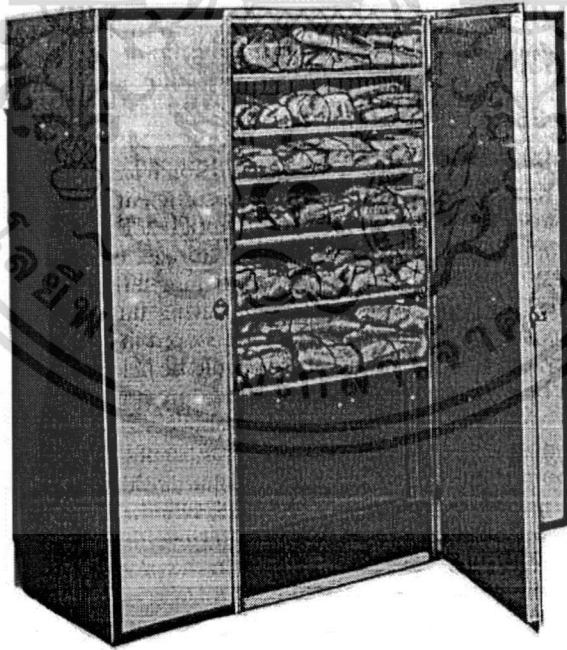
รูปที่ 2.10 แสดงเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่อง

ที่มา : Roy J. Dossat , 1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การแช่แข็งแบบสัมผัสโดยอ้อม(indirect contact freezing)

การแช่แข็งแบบสัมผัสโดยอ้อม มักจะเป็นเครื่องแช่แข็งแบบแผ่น(plate freezer) อาหารจะสัมผัสกับแผ่นโลหะและเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องจึงขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่แลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องแช่แข็งชนิดนี้จึงใช้สำหรับการแช่แข็งที่มีปริมาณอาหารไม่มาก เครื่องแช่แข็งประเภทนี้ประกอบด้วยแผ่นโลหะหลาย ๆ แผ่นจัดเรียงเป็นชั้น ๆ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์จะถูกแช่แข็งขณะที่วางอยู่ระหว่างแผ่นทำความเย็นสองแผ่น ซึ่งจะคงอุณหภูมิแช่แข็งที่ต้องการทำให้การแช่แข็งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยออกแบบให้แผ่นทำความเย็นสัมผัสกับสารทำความเย็น ซึ่งระเหยในเครื่องระเหยของระบบทำความเย็นนั่นเอง โดยทั่วไปตัวกันนี้อาจจะเป็นแผ่นทำความเย็นอย่างเดียว หรือแผ่นทำความเย็นกับภาชนะบรรจุก็ได้ การถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกัน (แผ่นทำความเย็นและภาชนะบรรจุ) ในบางกรณี อาจจะใช้แผ่นทำความเย็นเพียงแผ่นเดียวที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์และถ่ายเทความร้อนผ่านผิวของภาชนะบรรจุเพียงด้านเดียว ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องจะน้อยกว่าแต่มีข้อดีคือต้นทุนในการปฏิบัติการต่ำกว่า



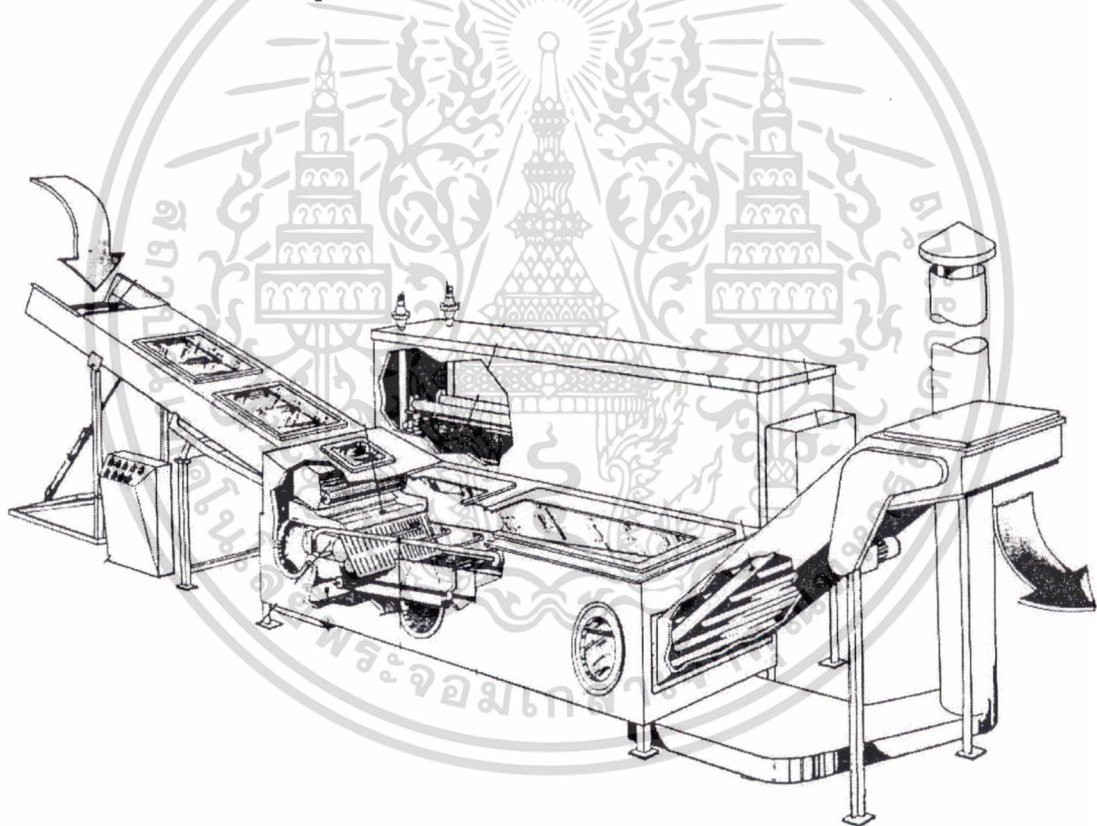
รูปที่ 2.11 แสดงเครื่องแช่แข็งแบบแผ่น

ที่มา ; Roy J. Dossat , 1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การแช่แข็งแบบการจุ่ม (immersion freezing)

การแช่แข็งแบบการจุ่มทำได้โดยนำอาหารจุ่มในน้ำยาทำความเย็นเหลวได้แก่ ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว สารละลายเกลือหรือน้ำตาลที่มีอุณหภูมิต่ำ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่ผิวผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างมาก เมื่อจุ่มผลิตภัณฑ์อาหารลงในสารทำความเย็นเหลว ถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กมาก กระบวนการแช่แข็งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในผลิตภัณฑ์บางชนิดเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งจะน้อยกว่าระบบที่ใช้ลมเป่า หรือฟลูอิดไดส์เบด ผลิตภัณฑ์จะถูกนำเข้าไปในอ่างของสารทำความเย็นเหลว และเคลื่อนผ่านของเหลว



รูปที่ 2.12 แสดงเครื่องแช่แข็งแบบการจุ่ม

ที่มา : Singh and Heldman, 1984

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุ

3.1.1.1 ข้าวโพตผักอ่อน

3.1.1.2 คาร์บอนไดออกไซด์เหลว

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย

3.1.2.1.1 คอมเพรสเซอร์

ยี่ห้อ Grasso รุ่น RC9312 ชนิด Two-Stage Compressor

กำลังทำความเย็น 184 kW

ความเร็วรอบ 965 rpm

มอเตอร์ 160 kW

3.1.2.1.2 เครื่องระเหย

ยี่ห้อ Helpman รุ่น ZT16.8-12-480-B-Q

ระยะห่างของครีป 12 mm

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 1205.1 m²

มอเตอร์ 11.25 kW

3.1.2.1.3 คอนเดนเซอร์

ชนิด Shell and Tube

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 760 mm ยาว 3,000 mm

อัตราการไหลของน้ำเย็น 120 m³/hr

กำลังการระบายความร้อน 410 kW

(ณ อุณหภูมิแตกต่างกัน 5 °C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.1.4 ระบบหล่อเย็นสำหรับระบบเครื่องทำความเย็น

คอมเพรสเซอร์	ยี่ห้อ BKK รุ่น 200RT	
อัตราการไหล	2,770	l/min
มอเตอร์	7.5	kW
ปั๊มน้ำหล่อเย็น	ยี่ห้อ Calpeda รุ่น NM 80/160C	
อัตราการไหล	120	m ³ /hr
Head	25	m
มอเตอร์	11	kW

3.1.2.1.5 ปั๊มน้ำยาแอมโมเนีย

ยี่ห้อ	SIHI รุ่น ZSK 2502-DN90L	
อัตราการไหล	8	m ³ /hr
Head	30	m
มอเตอร์	3	kW

3.1.2.1.6 ถังเก็บน้ำยาแอมโมเนีย

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 760 mm ยาว 3,600 mm

3.1.2.1.7 เครื่องแช่แข็งแบบต่อเนื่อง ชนิด Tunnel Freezer

สายพานสแตนเลสหน้ากว้าง	1,320	mm
เส้นลวดสายพานเบอร์ 17 ขนาด 1/8 นิ้ว ระยะห่าง 3/4 นิ้ว		
ฝาปิดด้านข้างกว้าง	20	mm
ความเร็วสูงสุด	17	m/s
ความเร็วต่ำสุด	2	m/s
มอเตอร์	2.2	kW
ปรับความเร็วรอบ	3-33 rpm	โดย Inverter
ผนังห้องเครื่องทำด้วย Polyurethane	หนา 6	นิ้ว
พลังไฟฟ้ามอเตอร์รวม	195	kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

ยี่ห้อ Hydrogas รุ่น PODB-LIC ชนิด Single Belt Linear Tunnel

สายพานสแตนเลสหน้ากว้าง	1,220	mm
ความยาวเครื่อง	13,610	mm
ความยาวสายพาน	12,000	mm
พื้นที่ในการแช่แข็ง	14.64	m ²
ความสูงช่องทางเข้า-ออก	120	mm
จำนวนพัดลมหมุนเวียน	12	ตัว
จำนวนพัดลมระบายอากาศทั้ง	2	ตัว
มอเตอร์ขับสายพาน	0.75	kW
มอเตอร์พัดลม	4.44	kW
มอเตอร์พัดลมระบายก๊าซทั้ง	3.0	kW
พลังไฟฟ้ามอเตอร์รวม	8.19	kW

3.1.2.3 เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะ ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (Cabinet Freezer)

ยี่ห้อ Hydrogas รุ่น BF-7x13x21-S ชนิด Single Box

ขนาดห้องวัดภายใน กว้าง x ยาว x สูง	148 x 150 x 220	cm
ขนาดรถเข็น กว้าง x ยาว x สูง	67 x 107 x 187	cm
ขนาดถาด กว้าง x ยาว x สูง	61 x 105 x 3	cm
ขนาดรูตะแกรง	เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm	
	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง 17 mm	

จำนวนถาดต่อรถเข็น	28	ถาด
จำนวนรถเข็นต่อเครื่อง	2	คัน
จำนวนพัดลมหมุนเวียน	4	ชุด
มอเตอร์พัดลม	6	kW
พลังไฟฟ้ามอเตอร์รวม	6	kW

3.1.2.4 ชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ แบบเทอร์โมคัปเปิล ชนิด T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการผลิตข้าวโพดอ่อนแช่แข็งโดยเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบ ต่อเนื่องชนิดน้ำยาแอมโมเนีย

3.2.1 การเตรียมข้าวโพดฝักอ่อน

ข้าวโพดฝักอ่อนคัดขนาดกลาง ขนาดฝักเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2 เซนติเมตร ความยาว 7-10 เซนติเมตร แหล่งปลูกจังหวัดกาญจนบุรี นำมาล้างในอ่างสแตนเลส และส่งต่อเนื่องเข้าเครื่อง ลวกฆ่าเชื้อ(blancher) อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 7 นาที จากนั้นผ่านระบบหล่อเย็น ด้วยน้ำเย็น จดบันทึก

3.2.2 การเตรียมเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย

3.2.2.1 ปิดฝาปรับระดับลมของเครื่องทั้งสองด้าน ปิดประตูเครื่อง เปิด heater ประตู

3.2.2.2 เปิดสวิตช์ตู้ควบคุม เปิดสวิตช์เครื่องคอมเพรสเซอร์ เปิดสวิตช์ระบบคูลิ่งของ ระบบเครื่องเย็น ค่อยๆเปิดวาล์วด้านดูด เปิดปั๊มน้ำยา

3.2.2.3 เปิดวาล์วน้ำยาเข้าคอลล์เย็น จนอุณหภูมิที่คอลล์ได้ 0 °C เปิดพัดลมที่คอลล์เย็น รอจนกระทั่งอุณหภูมิห้องเครื่องได้ -30 °C เครื่องพร้อมทำการผลิต

3.2.3 การผลิตข้าวโพดฝักอ่อนแช่แข็งโดยเครื่องแช่แข็งแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย

3.2.3.1 ปรับความเร็วของสายพานให้มีความเร็วคงที่ 0.88 เมตรต่อนาที แบ่งข้าวโพด อ่อนที่ผ่านกระบวนการเตรียมมาแล้วใส่ลงตะกร้าพลาสติกซึ่งน้ำหนัก 15 กิโลกรัมเท่าๆกันทุกตะกร้า จดบันทึก

3.2.3.2 โรยข้าวโพดอ่อนเข้าเครื่องให้กระจายเต็มหน้าสายพาน เริ่มจับเวลา และ ควบคุม เวลาในการโรยให้หมดตะกร้าภายในเวลา เท่าๆกันทุกตะกร้า จดบันทึก

3.2.3.3 รอจนกระทั่งข้าวโพดอ่อนแช่แข็งไหลออกมาจากเครื่อง ชั่งน้ำหนักและวัดอุณหภูมิ จดบันทึก

3.2.3.4 ป้อนวัตถุดิบที่เตรียมไว้ทั้งหมด รวมน้ำหนักข้าวโพดอ่อนที่ป้อนเข้าเครื่องทั้งหมด จดบันทึก

3.2.3.5 รอจนกระทั่งผลิตภัณฑ์จะออกมาจากเครื่องทั้งหมด รวมน้ำหนักข้าวโพดอ่อนแช่แข็ง ที่ได้ทั้งหมด จดบันทึก

3.2.3.6 ปิดวาล์วจ่ายน้ำยาเข้าคอลล์เย็น ปิดพัดลมคอลล์เย็น เปิดน้ำล้างคอลล์เย็น ปิดเครื่อง คอมเพรสเซอร์ ปิดวาล์วด้านดูด ปิดระบบคูลิ่งระบบเครื่องเย็น

3.3 ขั้นตอนการผลิตข้าวโพดอ่อนแช่แข็งโดยเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

3.3.1 การเตรียมข้าวโพดฝักอ่อน

ข้าวโพดฝักอ่อนคัดขนาดกลาง ขนาดฝักเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2 เซนติเมตร ความยาว 7-10 เซนติเมตร แหล่งปลูกจังหวัดกาญจนบุรี นำมาล้างในอ่างสแตนเลส และส่งต่อเนื่องเข้าเครื่อง ลวกฆ่าเชื้อ(blancher) อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 7 นาที จากนั้นผ่านระบบหล่อเย็น ด้วยน้ำเย็น จดบันทึก

3.3.2 การเตรียมเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

3.3.2.1 ปิดฝาเครื่องทั้งสองด้าน

3.3.2.2 เปิดสวิตช์ตู้ควบคุม เปิดสวิตช์วาล์วระบายก๊าซทิ้ง เปิดสวิตช์สายพานปรับความเร็ว สายพานคงที่ 0.70 เมตรต่อนาที เปิดสวิตช์พัดลม

3.3.2.3 จดบันทึกน้ำหนักน้ำยาที่ถังเก็บ ตั้งอุณหภูมิเครื่อง เปิดวาล์วน้ำยาเข้าเครื่อง เครื่องพร้อมทำการผลิต

3.3.3 การผลิตข้าวโพดฝักอ่อนแช่แข็งโดยเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

3.3.3.1 แบ่งข้าวโพดอ่อนที่ผ่านกระบวนการเตรียมมาแล้วใส่ลงตะกร้าพลาสติกชั่งน้ำหนัก 15 กิโลกรัมเท่าๆกันทุกตะกร้า จดบันทึก

3.3.3.2 โรยข้าวโพดอ่อนเข้าเครื่องให้กระจายเต็มหน้าสายพาน เริ่มจับเวลา และ ควบคุมเวลาในการโรยให้หมดตะกร้าภายในเวลาเท่าๆกันทุกตะกร้า จดบันทึก

3.3.3.3 รอจนกระทั่งข้าวโพดอ่อนแช่แข็งไหลออกมาจากเครื่อง ชั่งน้ำหนักและวัดอุณหภูมิ จดบันทึก

3.3.3.4 ป้อนวัตถุดิบที่เตรียมไว้ทั้งหมด รวมน้ำหนักข้าวโพดอ่อนที่ป้อนเข้าเครื่องทั้งหมด จดบันทึก

3.3.3.5 รอจนกระทั่งผลิตภัณฑ์จะออกมาจากเครื่องทั้งหมด รวมน้ำหนักข้าวโพดอ่อนแช่แข็งที่ได้ทั้งหมด จดบันทึก

3.3.3.6 ปิดวาล์วจ่ายน้ำยา ปิดพัดลม จดบันทึกน้ำหนักของน้ำยาในถังเก็บ

3.4 ขั้นตอนการผลิตข้าวโพดอ่อนแช่แข็งโดยเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

3.4.1 การเตรียมข้าวโพดฝักอ่อน

ข้าวโพดฝักอ่อนคัดขนาดกลาง ขนาดฝักเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2 เซนติเมตร ความยาว 7-10 เซนติเมตร แหล่งปลูกจังหวัดกาญจนบุรี นำมาล้างในอ่างสแตนเลส และส่งต่อเนื่องเข้าเครื่องลวกฆ่าเชื้อ(blancher) อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 7 นาที จากนั้นผ่านระบบหล่อเย็นด้วยน้ำเย็น จดบันทึก

3.4.2 การเตรียมเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

3.4.2.1 เปิดสวิตช์ตู้ควบคุม

3.4.2.2 ตั้งโปรแกรมการทำงานที่หน้าจอบริการ โดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการ ตั้งค่าเวลาในการแช่แข็ง

3.4.2.3 จดบันทึกน้ำหนักน้ำยาที่ถึงเก็บ เครื่องพร้อมทำการผลิตได้ทันที โดยวาล์วจ่ายน้ำยาจะเปิดเมื่อเปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน และจะถูกควบคุมตามโปรแกรมที่ตั้งไว้

3.4.3 การผลิตข้าวโพดฝักอ่อนแช่แข็งโดยเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

3.4.3.1 แบ่งข้าวโพดอ่อนที่ผ่านกระบวนการเตรียมมาแล้วใส่ลงถาดตะแกรงซึ่งน้ำหนัก 15 กิโลกรัมเท่าๆกันทุกตะแกรง จดบันทึก

3.4.3.2 โรยข้าวโพดอ่อนให้กระจายเต็มหน้าตะแกรง

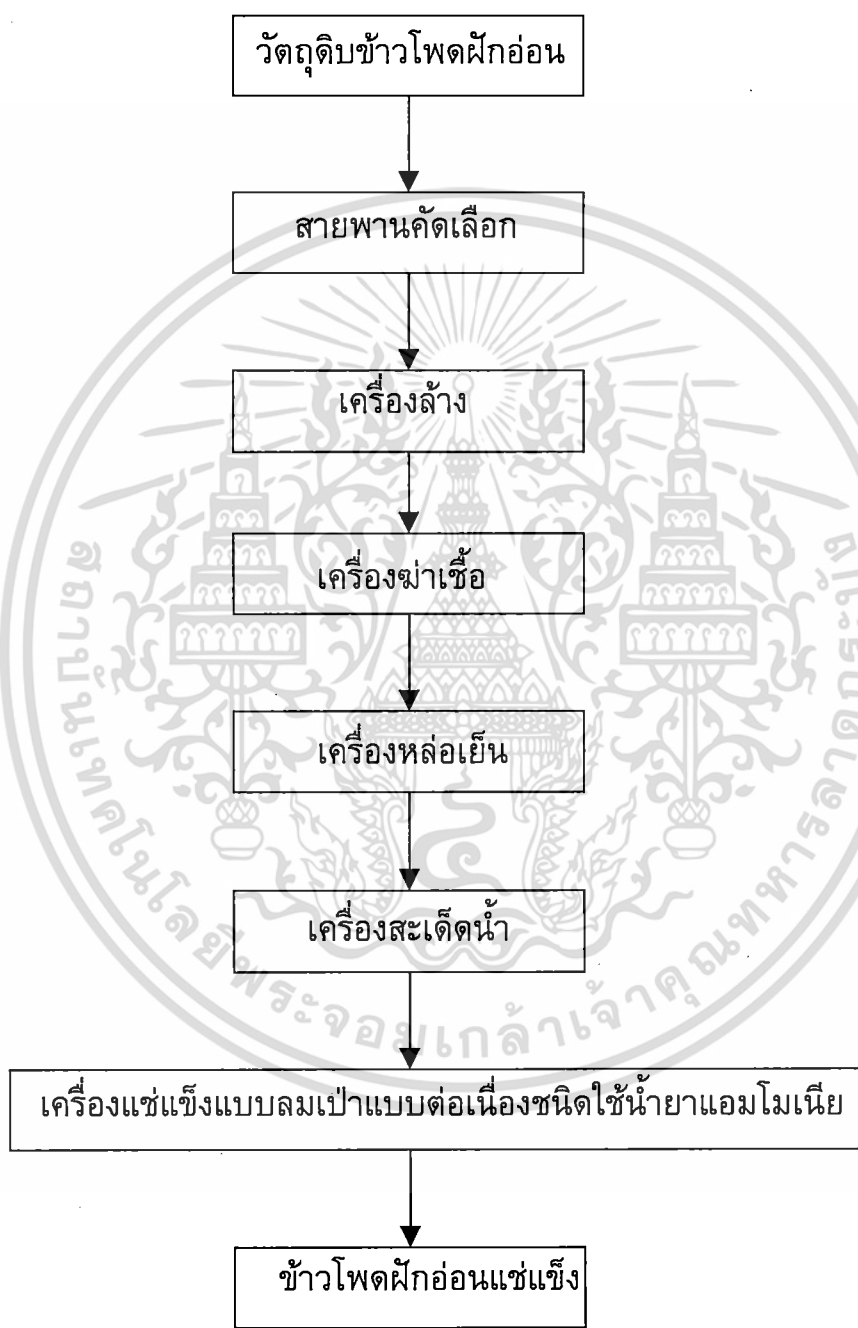
3.4.3.3 จัดเรียงตะแกรงวางซ้อนบนรถเข็น ซึ่งน้ำหนักและวางสายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิข้าวโพดหวานขณะถูกแช่แข็ง จดบันทึก

3.4.3.4 เข็นรถวัดอุณหภูมิที่เตรียมไว้ ป้อนเข้าเครื่องทั้งหมด จากนั้นปิดฝาประตูเครื่อง

3.4.3.5 เปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน รอจนกระทั่งผลิตภัณฑ์ได้อุณหภูมิตามต้องการ รวมน้ำหนักข้าวโพดอ่อนแช่แข็งที่ได้ทั้งหมด จดบันทึก

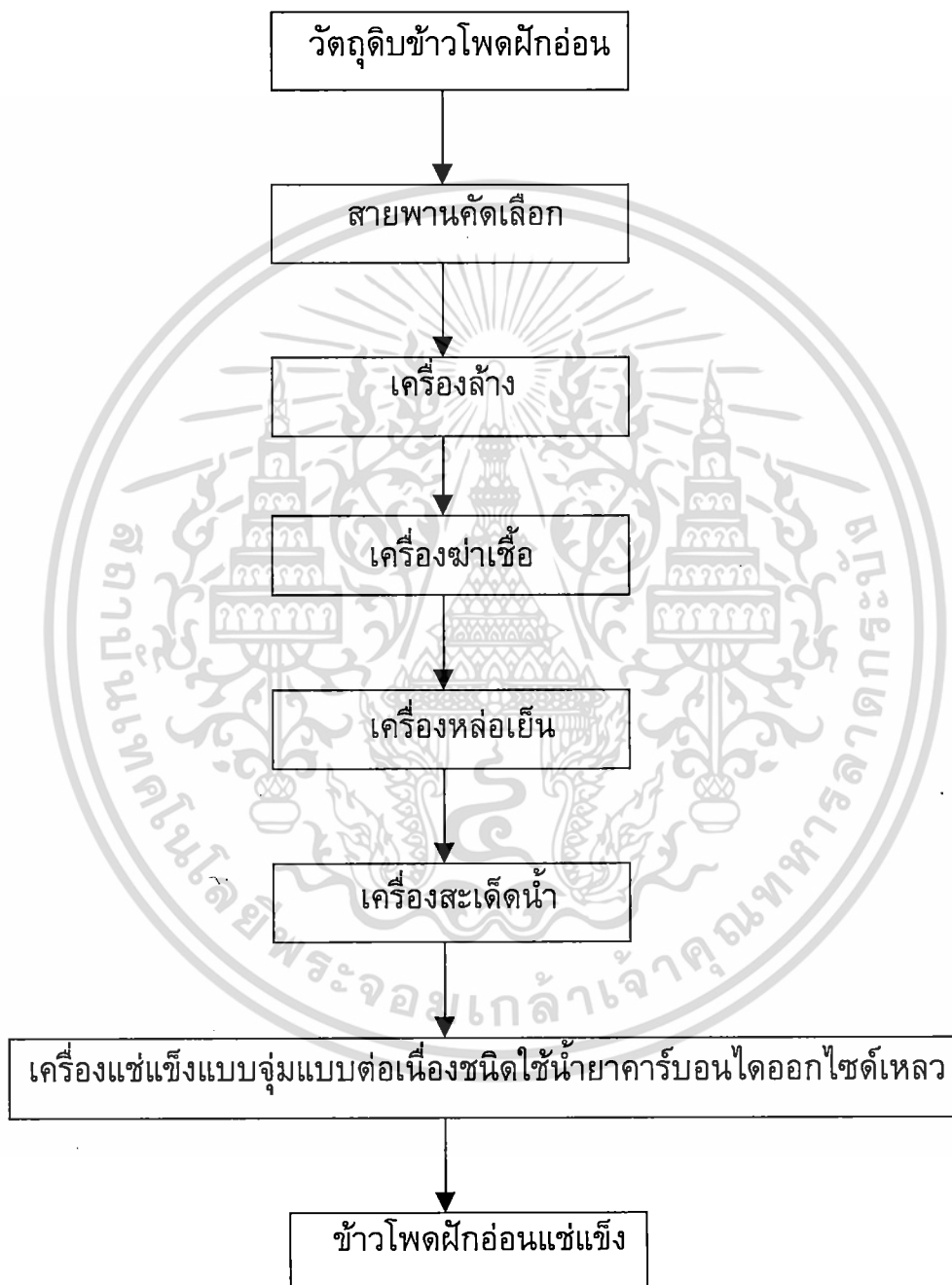
3.4.3.6 ปิดวาล์วจ่ายน้ำยา จดบันทึกน้ำหนักของน้ำยาในถังเก็บ

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทดลองแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย



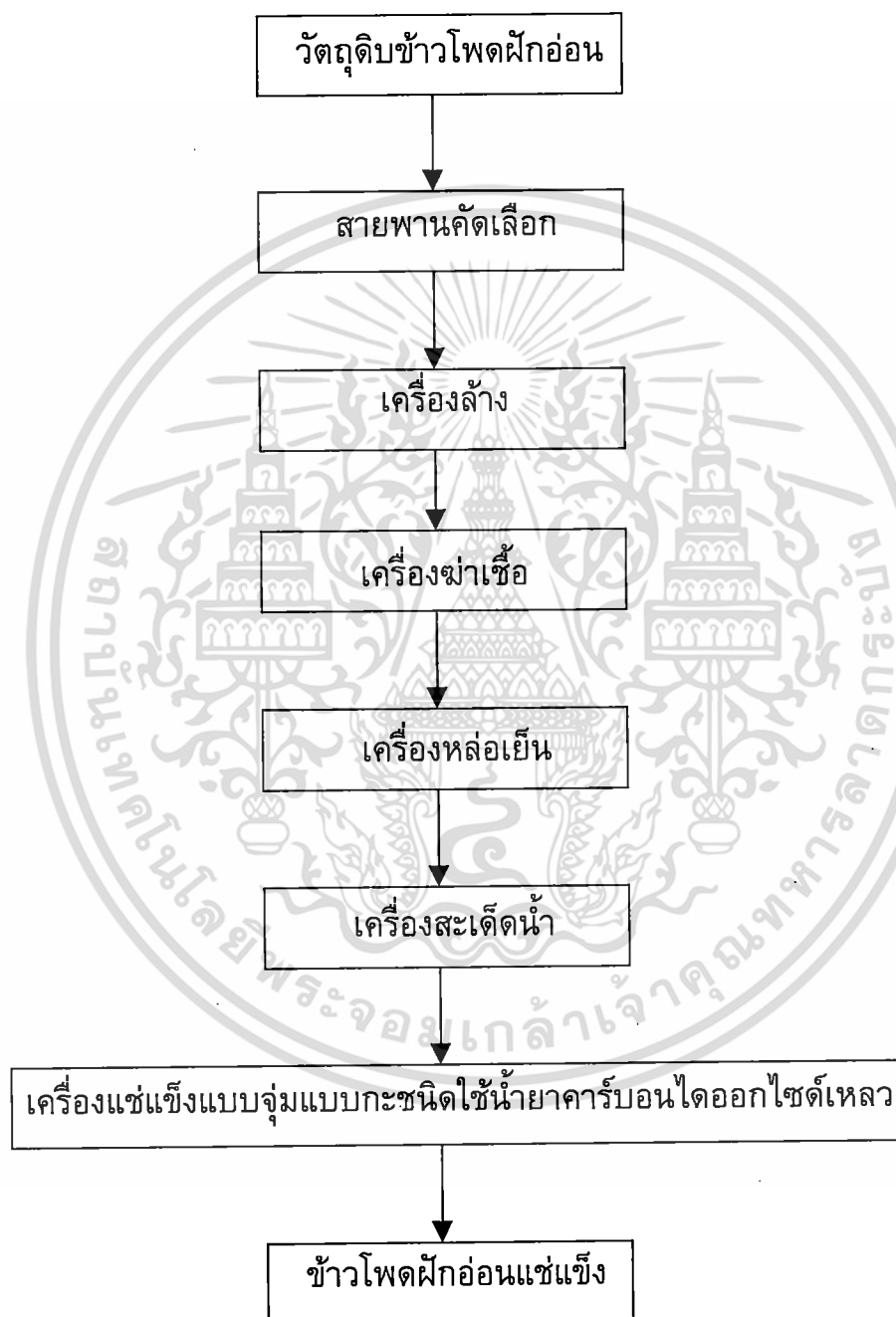
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทดลองแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการทดลองแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง วิเคราะห์และวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

จากผลการบันทึกข้อมูลการทดลองตามตารางที่ ค.1 ค.2 ค.3 ค.4 และ ค.5 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 พลังงานที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย

พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (kW.hr)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (kg)	อัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ (kW.hr/kg)
94.41	344.2	0.27
90.21	432.8	0.21

ตารางที่ 4.2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (kW.hr)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (kg)	อัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ (kW.hr/kg)
4.77	208.5	0.023
4.88	352.0	0.014

ตารางที่ 4.3 พลังงานจากน้ำยาที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

พลังงานจากน้ำยาที่ใช้ (kW.hr)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (kg)	อัตราส่วนพลังงานจากน้ำยาต่อผลิตภัณฑ์ (kW.hr/kg)
93.93	208.5	0.451
163.90	352.0	0.466

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 พลังงานรวมที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

พลังงานรวมที่ป้อนเข้า (kW.hr)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (kg)	อัตราส่วนพลังงานรวมต่อผลิตภัณฑ์ (kW.hr/kg)
98.70	208.5	0.474
168.78	352.0	0.480

ตารางที่ 4.5 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (kW.hr)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (kg)	อัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ (kW.hr/kg)
4.2	393.6	0.0107

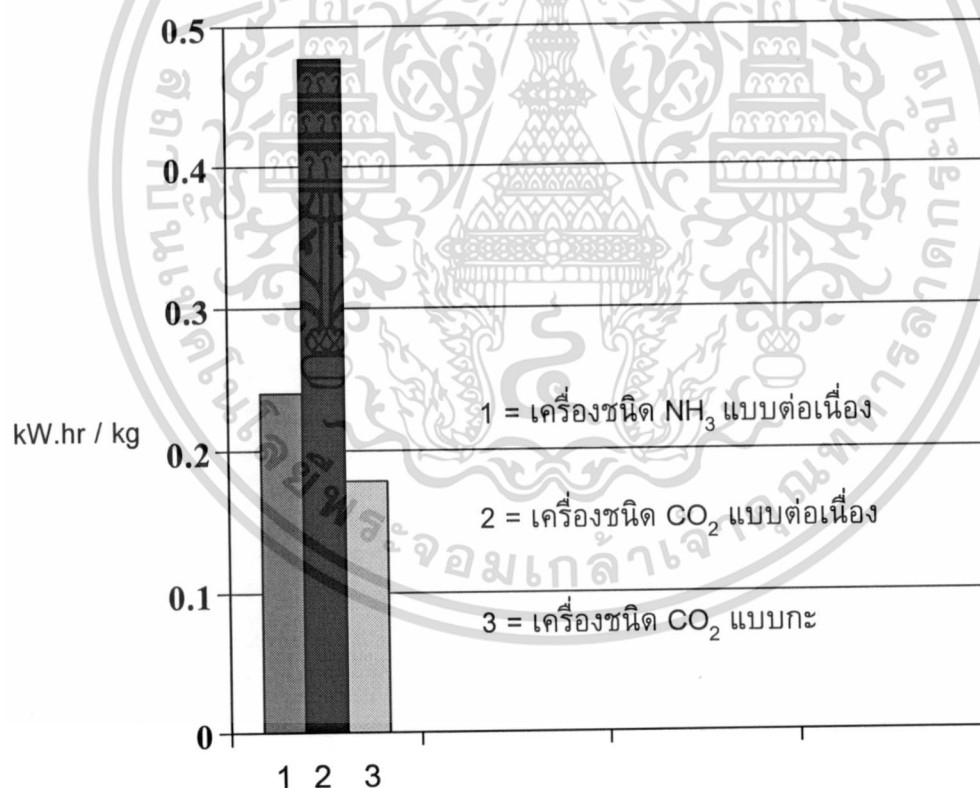
ตารางที่ 4.6 พลังงานจากน้ำยาที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

พลังงานจากน้ำยาที่ป้อน (kW.hr)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (kg)	อัตราส่วนพลังงานจากน้ำยาต่อผลิตภัณฑ์ (kW.hr/kg)
66.06	393.6	0.168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 พลังงานรวมที่ใช้ของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาकारบอนไดออกไซด์เหลว

พลังงานรวมที่ป้อน (kW.hr)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (kg)	อัตราส่วนพลังงานจากน้ำยาต่อผลิตภัณฑ์ (kW.hr/kg)
70.26	393.6	0.179



รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ในการแช่แข็งของเครื่องแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์น้ำหนักสูญเสีย

จากผลการทดลองตามข้อมูลในตารางที่ ค.1 ค.2 ค.3 ค.4 และ ค.5 สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 น้ำหนักสูญเสียของเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย

ปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้า (ก.ก.)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ก.ก.)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย (%)
365.2	344.2	5.75
460.0	432.8	5.91

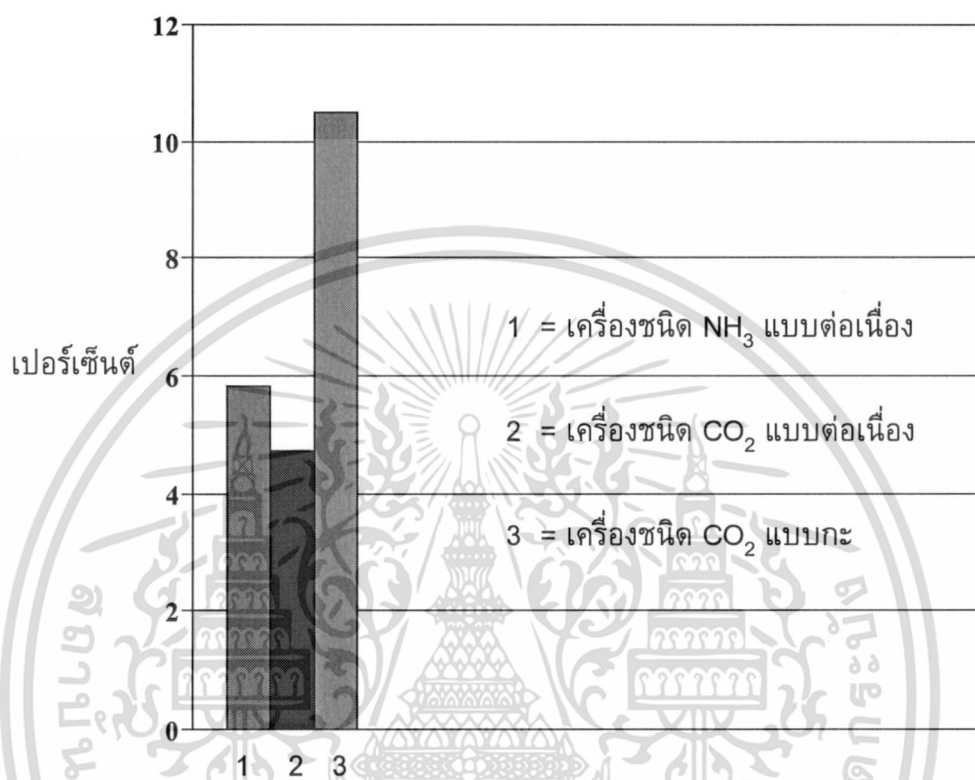
ตารางที่ 4.9 น้ำหนักสูญเสียของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

ปริมาณวัตถุดิบป้อนเข้า (ก.ก.)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ก.ก.)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย (%)
218.5	208.5	4.57
370.0	352.0	4.86

ตารางที่ 4.10 น้ำหนักสูญเสียของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

ปริมาณวัตถุดิบป้อนเข้า (ก.ก.)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ก.ก.)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย (%)
440	393.6	10.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียของเครื่องแช่แข็งแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ต้นทุนพลังงาน

จากข้อมูลผลการทดลองตารางที่ ค.1 ค.2 ค.3 ค.4 และค.5 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.11 ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (บาท)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ก.ก.)	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ (บาท/ก.ก.)
218.93	344.2	0.636
209.19	432.8	0.483

ตารางที่ 4.12 ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (บาท)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ก.ก.)	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ (บาท/ก.ก.)
11.06	208.5	0.053
11.32	352.0	0.032

ตารางที่ 4.13 ค่าพลังงานจากน้ำยาของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

ค่าพลังงานน้ำยาที่ป้อนเข้า (บาท)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ก.ก.)	ค่าพลังงานน้ำยาต่อผลิตภัณฑ์ (บาท/ก.ก.)
2,168.8	208.5	10.402
3,784.5	352.0	10.751

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ค่าพลังงานรวมของเครื่องแซ่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

ค่าพลังงานรวมที่ป้อนเข้า (บาท)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ก.ก.)	ค่าพลังงานรวมต่อผลิตภัณฑ์ (บาท/ก.ก.)
2,179.86	208.5	10.455
3,795.82	352.0	10.783

ตารางที่ 4.15 ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องแซ่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (บาท)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ก.ก.)	ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ (บาท/ก.ก.)
9.74	393.6	0.025

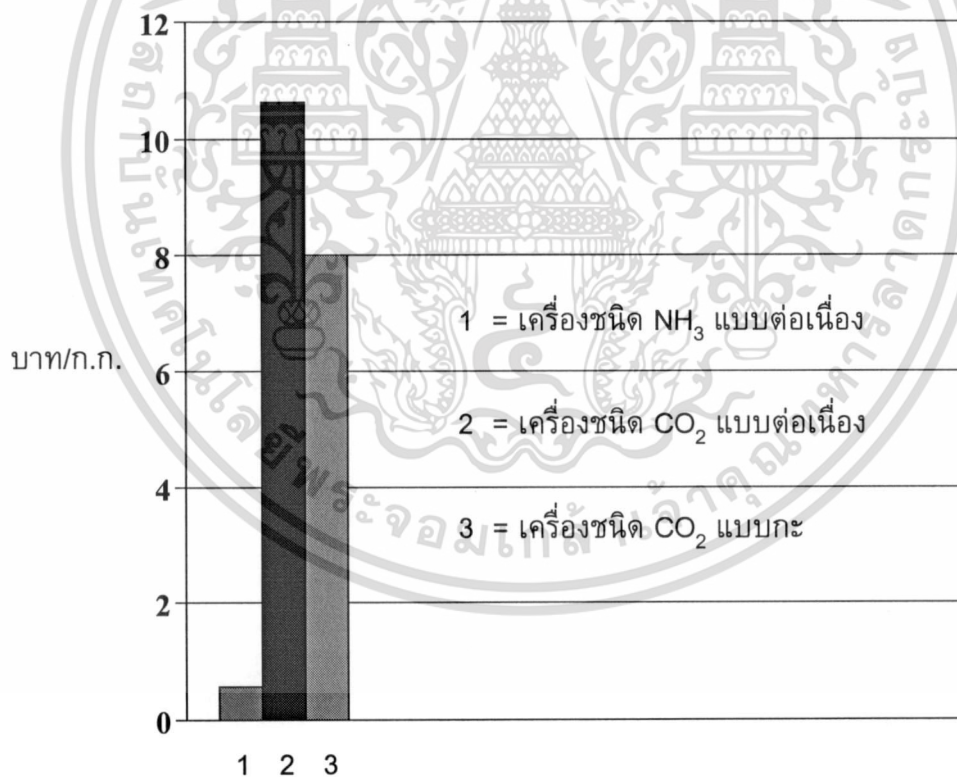
ตารางที่ 4.16 ค่าพลังงานจากน้ำยาที่ใช้ของเครื่องแซ่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

ค่าพลังงานน้ำยาที่ป้อนเข้า (บาท)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ก.ก.)	ค่าพลังงานน้ำยาต่อผลิตภัณฑ์ (บาท/ก.ก.)
3,145.77	393.6	7.992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ค่าพลังงานรวมของเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

ค่าพลังงานรวมที่ป้อนเข้า (บาท)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ก.ก.)	ค่าพลังงานรวมต่อผลิตภัณฑ์ (บาท/ก.ก.)
3,155.51	393.6	8.017



รูปที่ 4.2 แสดงเปรียบเทียบต้นทุนค่าพลังงานของเครื่องแช่แข็งแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิจารณ์ผล

ผลการทดลองคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีความแตกต่างกันและจากผลการวิเคราะห์

4.3.1 จากรูปที่ 4.1 สามารถเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมเฉลี่ยของวิธีการแช่แข็งข้าวโพดอ่อนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ จากมากไปน้อยตามลำดับดังนี้ การแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว(0.477 kW.hr/hr) การแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย(0.24 kW.hr/hr) และการแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว(0.179 kW.hr/hr)

4.3.2 จากรูปที่ 4.2 สามารถเปรียบเทียบน้ำหนักสูญเสียเฉลี่ยของวิธีการแช่แข็งข้าวโพดอ่อนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ จากมากไปน้อยตามลำดับดังนี้ การแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว(10.5 %) การแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย(5.83 %) และการแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว(4.72 %)

4.3.3 จากรูปที่ 4.3 สามารถเปรียบเทียบต้นทุนค่าพลังงานรวมเฉลี่ยของวิธีการแช่แข็งข้าวโพดอ่อนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ จากมากไปน้อยตามลำดับดังนี้ การแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว(10.619 บาท/ก.ก.) การแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว(8.017 บาท/ก.ก.)และการแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย(0.56 บาท/ก.ก.)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาน้ำหนักสูญเสียนพบว่า การแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว จะมีน้ำหนักสูญเสียน้อยกว่าการแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย โดยเฉลี่ยประมาณ 1.11 เปอร์เซ็นต์ และการแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย จะมีน้ำหนักสูญเสียน้อยกว่าการแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว โดยเฉลี่ยประมาณ 4.67 เปอร์เซ็นต์ สิ่งสำคัญที่ทำให้มีน้ำหนักสูญเสียนแตกต่างกันเกิดจากเวลาในการแช่แข็งแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าการแช่แข็งโดยเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลวจะใช้เวลาในการแช่แข็งน้อยที่สุด ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสูญเสียนต่ำสุด

จากการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบเทคนิคการแช่แข็งสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวโพดอ่อนแช่แข็ง โดยพิจารณาด้านต้นทุนด้านพลังงานพบว่า การแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย จะมีต้นทุนด้านพลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าการแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว โดยเฉลี่ยประมาณ 10.06 บาทต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ และการแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว จะมีต้นทุนด้านพลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าการแช่แข็งโดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว โดยเฉลี่ยประมาณ 2.63 บาทต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้สิ่งสำคัญที่ทำให้ต้นทุนพลังงานต่างกันอย่างชัดเจนเกิดจาก ค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละเทคนิคมีมูลค่าที่ต่างกันมาก กล่าวคือต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าจะมีมูลค่าต่ำกว่าต้นทุนค่าพลังงานจากน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว นอกจากนี้เทคนิคการแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องและแบบกะก็จะมีต้นทุนค่าพลังงานจากน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลวแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องของทั้งสองแบบแตกต่างกันในระหว่างการแช่แข็ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากการทดลองเปรียบเทียบเทคนิคการแช่แข็งในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการใช้เครื่องที่ออกแบบจากผู้ผลิตเฉพาะราย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีการออกแบบที่อาจจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน หรือมีการออกแบบที่อาจจะมีความสูญเสียจากตัวเครื่องที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลทำให้ต้นทุนด้านพลังงานอาจจะแตกต่างกันไปได้

5.2.1 เนื่องจากต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้า คำนวณจากอัตราค่าไฟฟ้าที่กำหนดโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งอัตราค่าไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสถานประกอบการผลิตและการเลือกใช้อัตราการเก็บค่าไฟฟ้าแบบ TOD หรือ TOU ด้วย อันจะเป็นผลทำให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าอาจจะเปลี่ยนแปลงไปได้เช่นกัน

5.2.3 เนื่องจากต้นทุนค่าน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลวต่อกิโลกรัม กำหนดโดยผู้ผลิตและจำหน่าย ซึ่งอาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งของผู้ผลิตและจำหน่าย ดังนั้นต้นทุนค่าพลังงานจากน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลวอาจจะเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน

5.2.4 เนื่องจากอุณหภูมิภายในเครื่องขณะแช่แข็งของวิธีการแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว มีอุณหภูมิต่ำกว่าวิธีการแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย ทำให้เวลาแช่แข็งสั้นกว่าและมีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียน้อยกว่า ดังนั้นถ้ามูลค่าของผลิตภัณฑ์มีสูง ถึงแม้ว่าวิธีการแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องจะมีต้นทุนค่าพลังงานต่ำกว่า 10 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ก็จริง แต่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียที่มากกว่า 1.11 เปอร์เซ็นต์ อาจจะทำให้ต้นทุนค่าวัตถุดิบมีผลมากกว่าก็ได้

เอกสารอ้างอิง

- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Roy J. Dossat. 1997. 4th ed. Principle of Refrigeration. Printice-hall. New Jersey. USA.
- Roger Kinsky. 1988. 3rd ed. Heat Engineering. McGraw-hill Book Company. Sydney.
- Singh R.P. and D.R. Heldman. 1984. Introduction to Food Engineering. Academic Press. New York. USA.
- Heldman D.R. and R.P. Singh. 1981. Food Process Engineering. 2nd ed. AVT Publishing Co. Westport. Connecticut.
- Hydrogas limited. 2001. P.O. Box 273. Twickenham.
- Mayekawa Australia Pty. Ltd. 2001. P.O. Box 12106. Auckland. New Zealand.
- Grasso Products B.V. 2002. Parallelweg 27. P.O. Box 343. Netherlands.
- Billy C. Langley. 1995. Fundamentals of Refrigeration. Delmar Publishers Inc. USA.
- C. Thomas Olivo. 1990. 3rd ed. Principles of Refrigeration. Delmar Publishers Inc. USA.
- Carl E. Salas. P.E. and Marianne Salas. 1992. Guide to Refrigeration CFC's. The Fairmont Press Inc. USA.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้คือพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์ที่ใช้ในระบบเครื่องทั้งหมด

ก. 1.1 เครื่องแซ่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย

พลังไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์รวม	195	kW
คิดที่ภาระ 70 %	136.5	kW

ก. 1.2 เครื่องแซ่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

พลังไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์รวม	8.19	kW
คิดที่ภาระ 70 %	5.73	kW

ก. 1.3 เครื่องแซ่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

พลังไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์รวม	6.0	kW
คิดภาระที่ 70 %	4.2	kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 2 ค่าพลังงานไฟฟ้า

คิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD สำหรับแรงดันส่ง 22 kV

- ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดช่วง peak load ต่อ kW	285.05	บาท
คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย kW.hr (เฉลี่ยจาก 1 เดือนเท่ากับ 30 วัน วันละ 24 ชม.)	0.396	บาท
- ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อ kW.hr	1.703	บาท
- ค่า ft ต่อ kW.hr	0.219	บาท
ดังนั้นค่าพลังงานไฟฟ้ารวมต่อ kW.hr	2.319	บาท

ก. 3 พลังงานจากน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

ค่าพลังงานความร้อนของน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์จากตาราง ง.1

ก. 3.1 การทดลองเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่องชนิดน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลวครั้งที่ 1

อุณหภูมิภายในเครื่องแช่แข็งเฉลี่ย	-57.5	°C
ค่าพลังงานความร้อนแฝงของน้ำยา	545.41	kJ/kg
ปริมาณน้ำยาที่ใช้ทั้งหมด	620	kg
ค่าพลังงานความร้อนแฝงรวม	338,154.2	kJ
	93.932	kW.hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 3.2 การทดลองเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบต่อเนื่องชนิดน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์
เหลวครั้งที่ 2

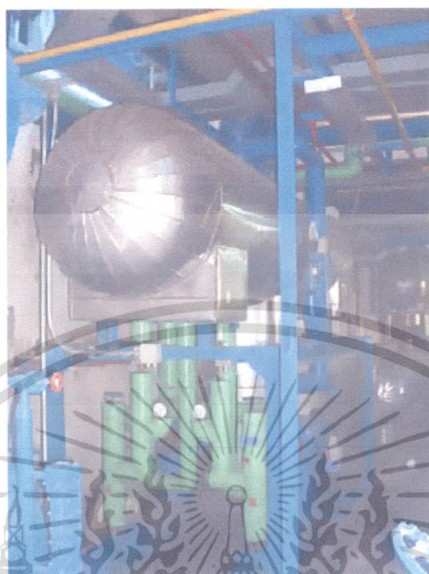
อุณหภูมิภายในเครื่องแช่แข็งเฉลี่ย	-58.0	°C
ค่าพลังงานความร้อนแฝงของน้ำยา	546.32	kJ/kg
ปริมาณน้ำยาที่ใช้ทั้งหมด	1,080	kg
ค่าพลังงานความร้อนแฝงรวม	590,025.6	kJ
	163.896	kW.hr

ก. 3.3 การทดลองเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะชนิดน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

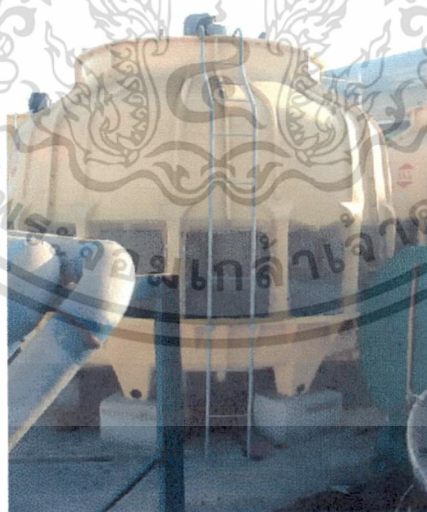
อุณหภูมิภายในเครื่องแช่แข็งเฉลี่ย	-11.10	°C
ค่าพลังงานความร้อนแฝงของน้ำยา	264.24	kJ/kg
ปริมาณน้ำยาที่ใช้ทั้งหมด	900	kg
ค่าพลังงานความร้อนแฝงรวม	237,819.96	kJ
	66.061	kW.hr

ก. 2 ข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์เหลว(บริษัท ไฮโดรแก๊ส จำกัด,2545)

น้ำหนักโมเลกุล	44
ลักษณะปรากฏของก๊าซ	ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส
ลักษณะปรากฏของของเหลว	ใส ไม่มีสี
ลักษณะปรากฏของของแข็ง	สีขาวทึบ
จุดสมดุลย์สามสถานะ	-56.6 °C ที่ 5.18 บาร์
จุดวิกฤต	31 °C ที่ 73.83 บาร์
ราคาขาย	3.50 บาท/ก.ก.



ภาพที่ ข.3 แสดงถึงน้ำยาแอมโมเนียและปั้มน้ำยาแอมโมเนีย



ภาพที่ ข.4 แสดงคลังทาวเวอร์สำหรับระบบหล่อเย็นของระบบเครื่องทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

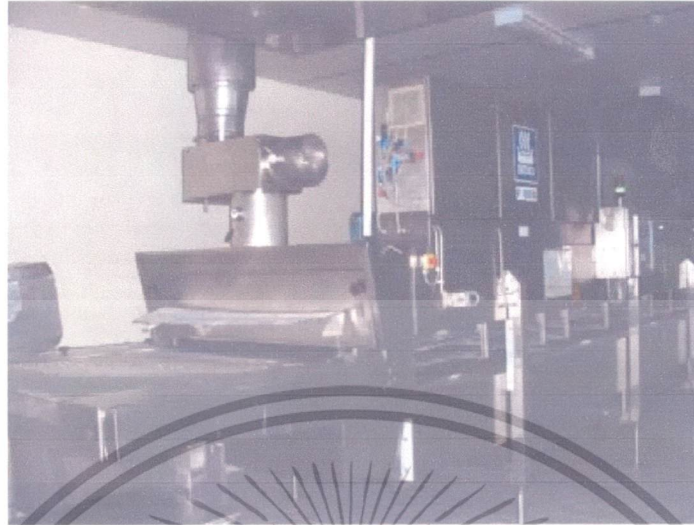


ภาพที่ ข.5 แสดงเครื่องแซ่แข็งแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย



ภาพที่ ข.6 แสดงฝาเปิดด้านข้างของเครื่องแซ่แข็งแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

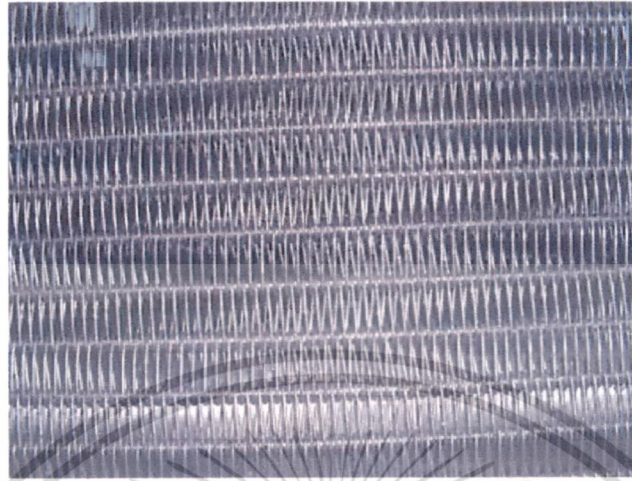


ภาพที่ ข.7 แสดงเครื่องแซ่แข็งแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว



ภาพที่ ข.8 แสดงถังเก็บน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.9 แสดงสายพานสแตนเลสของเครื่องแซ่แข็งแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย



ภาพที่ ข.10 แสดงสายพานสแตนเลสของเครื่องแซ่แข็งแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



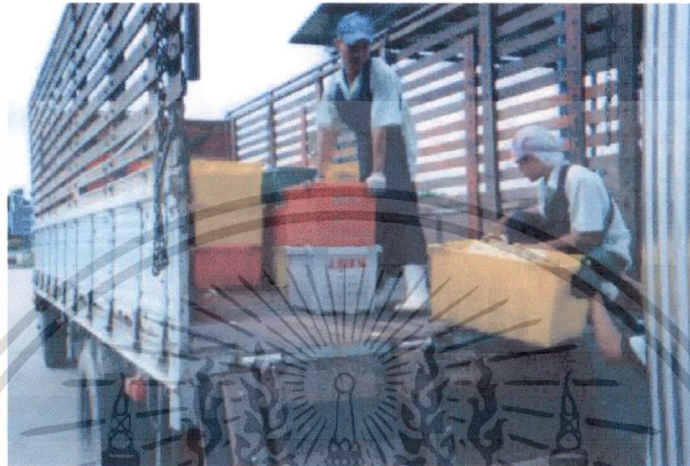
ภาพที่ ข.11 แสดงเครื่องแช่แข็งแบบกะชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว



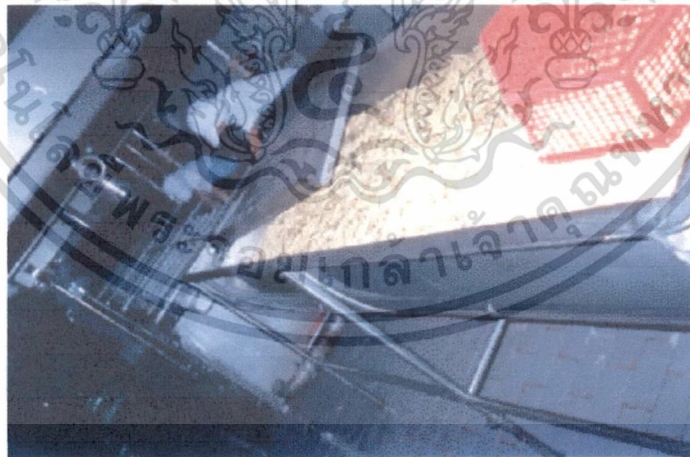
ภาพที่ ข.12 แสดงหัวฉีดและพัดลมของเครื่องแช่แข็งน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ภาพแสดงกระบวนการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนแช่แข็ง

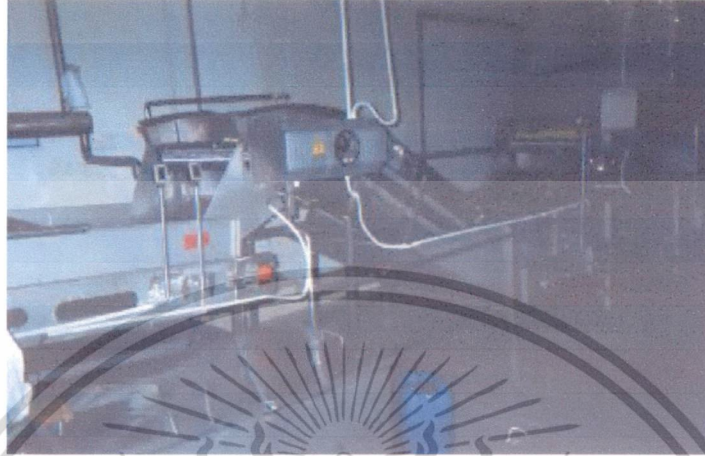


ภาพที่ ค.1 แสดงวัตถุดิบข้าวโพดฝักอ่อน



ภาพที่ ค.2 แสดงข้าวโพดฝักอ่อนผ่านกระบวนการล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.3 แสดงข้าวโพดฝักอ่อนผ่านกระบวนการหล่อเย็นหลังจากฆ่าเชื้ออย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ ค.4 แสดงข้าวโพดฝักอ่อนผ่านกระบวนการผลิตฆ่าเชื้อก่อนส่งไปยังระบบหล่อเย็นอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.5 แสดงข้าวโพดฝักอ่อนผ่านระบบการลวกฆ่าเชื้อ



ภาพที่ ค.6 แสดงข้าวโพดฝักอ่อนผ่านระบบการล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.7 แสดงการป้อนข้าวโพดอ่อนเข้าเครื่องแช่แข็งแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย



ภาพที่ ค.8 แสดงข้าวโพดอ่อนแช่แข็งที่ออกมาจากเครื่องแช่แข็งแบบต่อเนื่องชนิดใช้น้ำยาแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

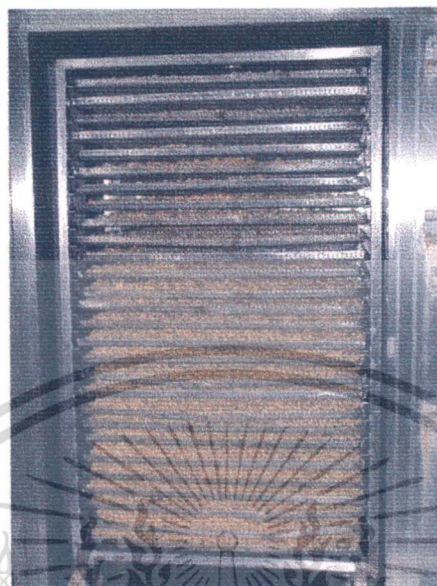


ภาพที่ ค.9 แสดงการป้อนข้าวโพดฝักอ่อนเข้าเครื่องแช่แข็งแบบต่อเนื่อง
ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว



ภาพที่ ค.10 แสดงข้าวโพดฝักอ่อนแช่แข็งที่ออกจากเครื่องแช่แข็งแบบต่อเนื่อง
ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.11 แสดงรถเข็นและถาดใส่วัตถุดิบสำหรับเครื่องแช่แข็งแบบกะ
ชนิดใช้น้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์เหลว



ภาพที่ ค.12 แสดงข้าวโพดฝักอ่อนที่ผ่านการแช่แข็ง โดยใช้เครื่องแช่แข็งแบบกะ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการเดินเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้ห้ายาแอมโมเนียครั้งที่ 1

เวลา(นาที)	อุณหภูมิเครื่อง บริเวณเข้า(°C)	อุณหภูมิเครื่อง บริเวณออก(°C)	อุณหภูมิห้อง ปฏิบัติงาน (°C)	ความเร็ว สายพาน(m/min)	อุณหภูมิ วัดจุดิบ(°C)	อุณหภูมิ ผลิตภัณฑ์(°C)
0	-24.5	-30.0	24.7	0.88	27.0	-
5	-24.5	-30.0	26.4	0.88	27.0	-
10	-21.0	-30.0	27.0	0.88	27.0	-
15	-19.0	-28.0	27.1	0.88	27.0	-
20	-18.3	-27.5	27.1	0.88	26.5	-23.0
25	-18.0	-26.0	28.3	0.88	27.0	-23.0
30	-17.0	-25.0	28.0	0.88	27.0	-22.1
35	-17.0	-25.0	27.4	0.88	26.5	-22.1
40	-17.0	-25.0	27.4	0.88	26.0	-22.1
45	-17.0	-25.0	28.0	0.88	26.0	-20.2
50	-18.0	-25.0	27.2	0.88	26.0	-20.2
55	-19.0	-25.5	27.2	0.88	26.0	-20.2

ควบคุมอัตราการป้อนคงที่ 528.0 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
 ปริมาณวัดจุดิบที่ป้อนเข้า 365.2 กิโลกรัม ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ 344.2 กิโลกรัม
 ระยะเวลาแช่แข็ง 20.625 นาที

ตารางที่ ค.2 ผลการเดินเครื่องแช่แข็งแบบลมเป่าแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้ไนฟายาแอมโมเนียครั้งที่ 2

เวลา(นาที)	อุณหภูมิเครื่อง บริเวณเข้า(°C)	อุณหภูมิเครื่อง บริเวณออก(°C)	อุณหภูมิห้อง ปฏิบัติงาน (°C)	ความเร็ว สายพาน(m/min)	อุณหภูมิ วัตถุดิบ(°C)	อุณหภูมิ ผลิตภัณฑ์(°C)
0	-24.0	-30.0	27.0	0.88	28.0	-
5	-24.0	-30.0	27.0	0.88	27.0	-
10	-24.0	-30.0	27.0	0.88	27.0	-
15	-22.0	-28.0	27.0	0.88	27.5	-
20	-22.0	-27.5	27.0	0.88	28.0	-19.2
25	-18.0	-26.0	28.0	0.88	27.0	-19.7
30	-18.0	-25.0	28.0	0.88	27.0	-19.0
35	-17.0	-25.0	27.5	0.88	27.5	-19.2
40	-18.0	-25.0	27.5	0.88	27.0	-19.0
45	-17.0	-25.0	28.0	0.88	27.0	-19.7
50	-18.0	-24.0	27.0	0.88	27.0	-19.2

ควบคุมอัตราการป้อนคงที่ 696.0 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
 ปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้า 460.0 กิโลกรัม ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ 433.0 กิโลกรัม
 ระยะเวลาแช่แข็ง 20.625 นาที

ตารางที่ ค.3 ผลการเดินเครื่องแช่แข็งแบบปุ่มเบตเพื่อห้อง ชนิดใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลว ครั้งที่ 1

เวลา(นาที)	อุณหภูมิเครื่อง บริเวณเข้า(°C)	อุณหภูมิเครื่อง บริเวณออก(°C)	อุณหภูมิห้อง ปฏิบัติงาน (°C)	ความเร็ว สายพาน(m/min)	อุณหภูมิ วัตถุติบ(°C)	อุณหภูมิ ผลิตภัณฑ์(°C)
0	-60.0	-55.0	29.0	0.70	28.0	-
5	-59.5	-55.0	29.5	0.70	28.0	-
10	-60.0	-55.0	29.0	0.70	28.0	-
15	-60.0	-55.0	29.0	0.70	27.5	-
20	-60.0	-55.5	29.5	0.70	27.5	-23.5
25	-60.5	-55.0	30.0	0.70	27.0	-23.5
30	-59.5	-55.0	30.0	0.70	27.0	-22.5
35	-60.0	-55.0	30.5	0.70	27.0	-22.7

ควบคุมอัตราการป้อนคงที่ 375 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ปริมาณวัตถุติบป้อนเข้า 218.5 กิโลกรัม ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ 208.5 กิโลกรัม

ระยะเวลาแช่แข็ง 15 นาที

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่ใช้ 620 กิโลกรัม

ตารางที่ ค. 4 ผลการเดินเครื่องแช่แข็งแบบกลุ่มแบบต่อเนื่อง ชนิดใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลว ครั้งที่ 2

เวลา(นาที)	อุณหภูมิเครื่อง บริเวณเข้า(°C)	อุณหภูมิเครื่อง บริเวณออก(°C)	อุณหภูมิห้อง ปฏิบัติงาน (°C)	ความเร็ว สายพาน(m/min)	อุณหภูมิ วัดจุดิบ(°C)	อุณหภูมิ ผลิตภัณฑ์(°C)
0	-63.0	-56.0	28.0	0.70	31.0	-
5	-60.5	-55.0	28.5	0.70	30.0	-
10	-60.0	-55.5	28.0	0.70	29.0	-
15	-60.0	-55.0	28.0	0.70	29.5	-
20	-61.0	-55.5	28.0	0.70	29.5	-20.5
25	-60.0	-55.5	28.0	0.70	29.0	-20.5
30	-60.5	-55.0	28.0	0.70	29.0	-19.5

ควบคุมอัตราการป้อนคงที่ 620 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
 ปริมาณวัดจุดิบป้อนเข้า 370.0 กิโลกรัม ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ 352.0 กิโลกรัม
 ระยะเวลาแช่แข็ง 15 นาที
 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่ใช้ 1,080.0 กิโลกรัม

ตารางที่ ค.5 ผลการเดินเครื่องแช่แข็งแบบจุ่มแบบกะ ชนิดใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลว

เวลา(นาที)	อุณหภูมิเครื่อง (°C)	อุณหภูมิห้อง ปฏิบัติงาน (°C)	อุณหภูมิ วัตถุดิบ(°C)	อุณหภูมิ ผลิตภัณฑ์(°C)	ตัวเลข CO ₂ เริ่มต้น(kg)	ตัวเลขCO ₂ สิ้นสุดท้าย(kg)
0	29.1	29.0	29.0	29.0	31,900	
5	24.3	29.0	29.0	28.0		
10	6.4	29.0	29.0	17.0		
15	2.9	29.0	29.0	13.0		
20	-5.6	29.0	29.0	5.0		
25	-12.5	29.0	29.0	-1.0		
30	-15.5	29.0	29.0	-1.0		
35	-18.5	29.0	29.0	-1.0		
40	-21.1	29.0	29.0	-4.0		
45	-25.5	29.0	29.0	-12.0		
50	-31.0	29.0	29.0	-15.0		
55	-38.7	29.0	29.0	-18.5		
60	-38.3	29.0	29.0	-20.0		31,000

ปริมาณวัตถุดิบป้อนเข้า 440 กิโลกรัม ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ 393.6 กิโลกรัม

ระยะเวลาแช่แข็ง 60 นาที

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่ใช้ 900 กิโลกรัม

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 คุณสมบัติของน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์

Table of properties for CO₂ liquid – vapour(Table: CO₂-Properties of saturated solid, liquid and vapour)

t, °C	T, K	p, bar	Density, kg/m ³		Enthalpy, kJ/kg		Latent heat of vaporization, kJ/kg	Entropy, kJ/(kg·K)	
			ρ_{liq}	ρ_{ga}	h_{liq}	h_{ga}		s_{liq}	s_{ga}
+31	304,15	73,83	466,0	466,0	558,94	558,94	0	4,6465	4,6465
+30	303,15	71,92	596,4	334,4	527,12	590,13	63,01	4,5444	4,7524
+25	298,15	64,32	705,8	240,0	497,39	616,84	119,45	4,4497	4,8504
+20	293,15	57,33	770,7	190,2	477,30	632,63	155,33	4,3827	4,9128
+15	288,15	50,93	817,9	158,0	460,97	641,29	180,32	4,3292	4,9551
+10	283,15	45,06	858,0	133,0	445,89	647,24	201,35	4,2781	4,9894
+ 5	278,15	39,72	893,1	113,0	431,66	650,84	219,18	4,2300	5,0179
0	273,15	34,85	924,8	96,3	418,68	653,69	235,01	4,1868	5,0472
-5	268,15	30,45	953,8	82,4	405,74	654,86	249,12	4,1480	5,0698
-10	263,15	26,47	980,8	70,5	393,94	655,65	261,71	4,0976	5,0924
-15	258,15	22,89	1006,1	60,2	382,84	656,07	273,23	4,0570	5,1154
-20	253,15	19,67	1029,9	51,4	372,33	656,36	284,03	4,0168	5,1380
-25	248,15	16,81	1052,6	43,8	362,28	655,95	293,67	3,9779	5,1615
-30	243,15	14,27	1074,2	37,0	352,49	655,49	303,00	3,9389	5,1854
-35	238,15	12,02	1094,9	31,2	342,82	654,77	311,95	3,8996	5,2096
-40	233,15	10,05	1115,0	26,2	333,23	653,62	320,62	3,8594	5,2348
-45	228,15	8,33	1134,5	21,8	323,64	652,68	329,04	3,8184	5,2607
-50	223,15	6,84	1153,5	18,1	314,05	651,34	337,29	3,7765	5,2883
-55	218,15	5,55	1172,1	14,8	304,46	649,88	345,42	3,7334	5,3172
-56,6	216,55	5,18	1177,9	13,8	301,32	649,33	348,01	3,7205	5,3273

at 0 °C: $h_{liq} = 418,68$ kJ/kg (= 100 kcal/kg) and $s_{liq} = 4,1868$ kJ/(kg · K)
 [(= 1 kcal/(kg · K)]

Table of properties for CO₂ solid – vapour(Table: CO₂-Properties of saturated solid, liquid and vapour)

t, °C	T, K	p, bar	Density, kg/m ³		Enthalpy, kJ/kg		Latent heat of vaporization, kJ/kg	Entropy, kJ/(kg·K)	
			ρ_{sol}	ρ_{ga}	h_{sol}	h_{ga}		s_{sol}	s_{ga}
-56,6	216,55	5,18	1512,4	13,84	105,55	649,33	543,78	2,8156	5,3273
-60	213,15	4,10	1521,9	10,97	99,27	649,21	549,94	2,7863	5,3671
-65	208,15	2,87	1534,6	7,74	89,97	648,41	558,44	2,7428	5,4261
-70	203,15	1,98	1546,1	5,39	82,02	646,94	564,92	2,7043	5,4860
-75	198,15	1,34	1556,5	3,71	75,07	645,02	569,95	2,6695	5,5467
-78,9	194,25	0,98	1564,0	2,74	70,05	643,18	573,13	2,6435	5,5948
-80	193,15	0,896	1566,1	2,51	68,71	642,63	573,92	2,6373	5,6095
-85	188,15	0,584	1574,8	1,672	62,72	639,99	577,27	2,6059	5,6748
-90	183,15	0,372	1582,2	1,087	56,90	637,06	580,16	2,5749	5,7435
-95	178,15	0,231	1588,9	0,693	51,20	633,97	582,77	2,5431	5,8150
-100	173,15	0,139	1595,2	0,428	45,55	630,74	585,19	2,5104	5,8908

at 0 °C: $h_{liq} = 418,68$ kJ/kg (= 100 kcal/kg) and $s_{sol} = 4,1868$ kJ/(kg · K)
 [(= 1 kcal/(kg · K)]

ที่มา : Hydrogas , 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 คุณสมบัติของน้ำยาทำความเย็นชนิดต่าง ๆ

Physical Characteristics of Eight Common Refrigerants										
Selected Physical Data (Performance based on evaporator pressure @ 5°F = 0.02396 psia and condensing pressure @ 86°F = 0.6154 psia)	Refrigerant R-11	Refrigerant R-503	Refrigerant 12**	Refrigerant 22	Ammonia R-717	Water R-718	Carbon Dioxide R-744	-R-502 Mixture of CHClF ₂ and COF ₂ CF ₃		
	CCl ₃ F	CHCl ₃ /CCl ₂ F ₂	CCl ₂ F ₂	CHClF ₂	NH ₃	H ₂ O	CO ₂			
1. Chemical Formula										
2. Molecular Weight	137.4	87.5	120.9	86.5	17.0	18	44.0	76		
3. Boiling Pt. (°F) at 1 Atm. Pressure	74.9	-126.1	-21.6	-41.4	-28.0	212	-109.3	-49.8		
4. Evaporator Pressure at 5°F (psig)	123.9	16.9	11.8	28.3	19.6	129.6	316.8	15.3*		
5. Condensing Pressure at 86°F (psig)	349	132.9	93.3	159.8	154.5	128.8	1028.3	282.7*		
6. Critical Temperature (°F)	388	67	234	205	271.4	706.1	87.8	179.9		
7. Critical Pressure (psi absolute)	640	632	597	716	1651.0	3208	1059.9	591.0		
8. Compressor Discharge Temp. (°F)	111	14	101	131	210.0	25.68	151.0	99		
9. Compression Ratio (86°F/5°F)	6.19	4.65	4.08	4.06	4.94	6.95	3.10	9.9*		
10. Specific Volume of Saturated Vapor at 5°F (cu. ft./lb.)	12.2	1.30	1.46	1.25	8.150	1.55 × 10 ⁻⁴	0.27	0.82		
11. Latent Heat of Vaporization at 5°F (Btu/lb.)	83.5	72.7	88.2	93.2	565	1219.9	117	70.75		
12. Net Refrig. Effect of Liquid — 86°F/5°F (Btu/lb.)	66.8	53.7	50.0	69.3	474.4	1009	55.5	45.3		
13. Specific Heat of Liquid at 86°F of 1 Atm. & 86°F	0.21	0.28	0.24	0.34	1.10	1.0	.77			
14. Specific Heat of Vapor at Constant Pressure of 1 Atm. & 86°F	0.14	0.14	0.15	0.15	0.52	0.5	0.2			
15. Coefficient of Performance	5.03	4.10	4.70	4.66	4.76	4.10	2.56	2.01*		
16. Horsepower/Ton Refrigeration	0.938	1.16	1.002	1.011	.99	0.62	1.8	2.35*		
17. Refrigerant Circulated/Ton Refrig. (lb./min.)	2.99	3.73	4.00	2.89	0.422	0.196	3.6	4.42*		
18. Liquid Circulated/Ton Refrig. (cu. in./min.)	56.6	81.6	85.6	69.0	19.6	5.4	167.0			
19. Compressor Displacement/Ton Refrig. (cfm)	36.5	4.83	5.83	3.60	3.44	476.6	0.97	7.17*		
20. Toxicity (Underwriter's Laboratories Group No.)	5	6	6	5A	2	No	No. 5	5A		
21. Flammability & Explosivity	None	None	None	None	Mod	No	No	No		
22. Type of Suitable Compressor	Centrif.	Recip.	Recip./Centrif.	Recip.	Recip.	Centrif.	Recip.	Recip.		

** R-12 is rapidly being replaced. Physical data is included pending complete changeover.

† inches of mercury vacuum.

* for evaporating temp. -20°F condensing temp. 120°F return gas temp. 65°F

ที่มา : C. Thomas Olivo, 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ความดันไอของน้ำยาทำความเย็นชนิดต่าง ๆ

Vapor Pressures of Common Refrigerants

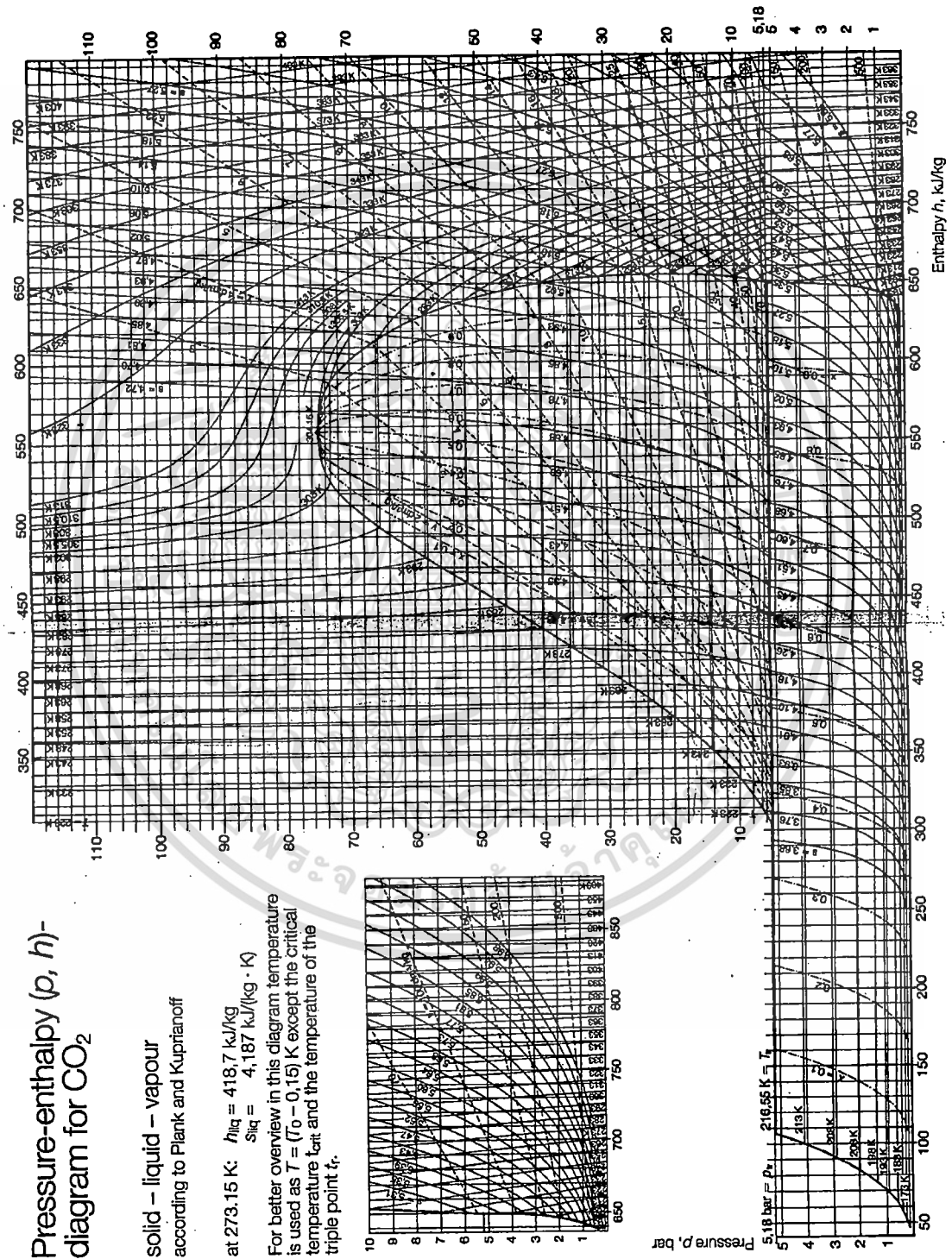
Temp. °F	Ammonia	Refrigerants			Water	Carbon Dioxide	R-502	R-503
		11	12	22				
-50	14.3*	28.9*	15.4*	6.0*		104	0.04	86.1
-45	11.7*		13.3*	2.6*		116	2.1	
-40	8.7*	28.4*	11.0*	0.6		131	4.3	107.9
-35	5.4*	28.1*	8.4*	2.7		147	6.7	120.0
-30	1.6*	27.8*	5.5*	5.0		163	9.4	132.9
-25	1.3	27.4*	2.3*	7.6		181	12.3	146.7
-20	3.6	27.0*	0.6	10.3	29.91*	200	15.5	161.5
-15	6.2	26.5*	2.4	13.3		221	19.0	177.2
-10	9.0	26.0*	4.5	16.6	29.90*	243	22.8	193.9
- 5	12.2	25.4*	6.7	20.2		267	26.8	211.7
0	15.7	24.7*	9.2	24.1	29.88*	291	31.2	230.6
5	19.6	23.9*	11.8	28.3	29.87*	318	36.0	250.6
10	23.8	23.1*	14.6	32.9	29.86*	346	41.1	271.8
15	28.4	22.1*	17.7	37.9		376	46.6	294.2
20	33.5	21.1*	21.0	43.3	29.82*	407	52.5	317.9
25	39.0	19.9*	24.6	49.0		441	58.7	342.9
30	45.0	18.6*	28.5	55.2	29.76*	476	65.4	369.4
35	52.6	17.2*	32.6	61.9		513	72.6	397.0
40	58.6	15.6*	37.0	69.0	29.71*	553	80.2	425.9
45	66.3	13.9*	41.7	76.6		594	88.3	456.3
50	74.5	12.0*	46.7	84.7	29.66*	638	96.9	488.6
55	83.4	10.0*	52.0	93.3		684	106.0	523.1
60	92.9	7.8*	57.7	102.5	29.40*	733	115.6	560.1
65	103.0	5.4*	63.8	112.2		784	125.8	600.0
70	114.0	2.8*	70.2	122.5	29.18*	838	136.6	
75	126.0	0.0	77.0	133.4		894	148.0	
80	138.0	1.5	84.2	145.0	28.89*	955	159.9	
85	152.0	3.2	91.8	157.2		1018	172.5	
90	166.0	4.9	99.8	170.1	28.50*		188.8	
95	181.0	6.8	108.3	183.7			199.7	
100	197.0	8.8	117.2	197.9	27.99*		214.4	
105	214.0	10.9	126.6	212.9			229.1	
110	232.0	13.2	136.4	228.7	27.32*		245.8	
115	252.0	15.6	146.8	245.3			262.7	
120	272.0	18.2	157.7	262.6	26.45*		280.3	
125	293.0	21.0	169.1				298.7	
130		24.0	181.0		25.39*		318.0	
135		27.1	193.5				338.1	
140		30.4	206.6		24.04*		359.1	
145		33.9	220.3				381.1	
150		37.7	234.6				403.9	

Vapor pressures are psig except those followed by *. Such pressures are in. Hg vac.
**While R-12 is rapidly being replaced, data is included pending complete changeover.

ที่มา : C. Thomas Olivo , 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง.4 แผนภาพความดัน-เอนทัลปี ของน้ำยาคาร์บอนไดออกไซด์



ที่มา : Hydrogas , 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง. 5 การคิดค่าไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดกลางและขนาดใหญ่

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรม วิทยาลัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

3.1 อัตราปกติ	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
3.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	175.70	1.6660
3.1.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	196.26	1.7034
3.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	221.80	1.7314

3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Off Peak	Peak	Off Peak	
3.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	74.14	1.1726	2.6136	1.1726	228.17
3.2.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	132.93	1.1914	2.6950	1.1914	228.17
3.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	1.2246	2.8408	1.2246	228.17

Peak : วันจันทร์-ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น.

Off-Peak : วันจันทร์-ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) วันวัน

อัตราขั้นต่ำ: ค่าไฟฟ้าค่าสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ 1. กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงดันของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณกิโลวัตต์ และหน่วยคิดเงินเพิ่มที่อื่นร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

2. ประเภทที่ 3.2 เป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 เป็นครั้งแรก ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าเดือน ตุลาคม 2543

3. ประเภทที่ 3.2 เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ไฟฟ้ารายเดิม เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 3.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

4. เมื่อได้ความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปก็ยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ วิทยาลัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate: TOD)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
	Peak	Partial	Off-Peak	
4.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	1.6660
4.1.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	285.05	58.88	0	1.7034
4.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	332.71	68.22	0	1.7314

Peak : เวลา 18.30 - 21.30 น. ของทุกวัน

Partial : เวลา 08.00 - 18.30 น. ของทุกวัน (ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า คิดเฉพาะส่วนที่เกิน Peak)

Off-Peak : เวลา 21.30 - 08.00 น. ของทุกวัน

4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Off-Peak	Peak	Off-Peak	
4.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	74.14	1.1726	2.6136	1.1726	228.17
4.2.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	132.93	1.1914	2.6950	1.1914	228.17
4.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	1.2246	2.8408	1.2246	228.17

Peak : วันจันทร์-ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น.

Off-Peak : วันจันทร์-ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) วันวัน

อัตราขั้นต่ำ: ค่าไฟฟ้าค่าสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ 1. ประเภทที่ 4.2 เป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ไฟฟ้ารายใหม่ หรือผู้ใช้ไฟฟ้าเดิมที่เคยใช้ TOU แล้ว

2. ประเภทที่ 4.2 เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ไฟฟ้ารายเดิมประเภทที่ 4.1 เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 4.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

3. เมื่อได้ความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ หรือการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1 หรือ 3.1 แล้วแต่กรณี

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้