

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบ และพัฒนา เครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็กเพื่อใช้ในการวิจัย Design and development of small cheese making machine for research purpose

นาย นรศักดิ์ นาคคำ
นาย มงคล สกฤตทองอร่าม
นาย วีรศักดิ์ ตั้งกมลสถาพร

รฟว.
๙๖ ๒๔๑ ๗
๒๕๕๐

เลขานุ.....
เลขทะเบียน.....**82978**.....
วัน,เดือน,ปี...**๙-๑-๒๕๕๑**.....

b. 11958๖98
i.

**ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๐**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ และพัฒนา เครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็กเพื่อใช้ในการวิจัย
Design and development of small cheese making machine for research
purpose



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง การออกแบบ และพัฒนา เครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็กเพื่อใช้ในการวิจัย

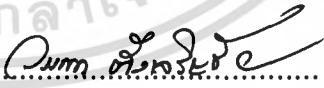
Design and development of small cheese making machine for research purpose

ผู้จัดทำ

1. นาย นราศักดิ์ นาคหน้า รหัสประจำตัว 47010364
2. นาย มงคล สกุดทองอร่าม รหัสประจำตัว 47010581
3. นาย วีรศักดิ์ ตั้งกมลสถาพร รหัสประจำตัว 47010727


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.ปานมนัส สิริสมบูรณ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. วรณา ตั้งเจริญชัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ และพัฒนา เครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็กเพื่อใช้ในการวิจัย

นาย นราศักดิ์ นาคน้ำ	47010364
นาย มงคล สกุลทองอร่าม	47010581
นาย วีรศักดิ์ ตั้งกมลสถาพร	47010727
รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบุญ	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร. วรรณมา ตั้งเจริญชัย	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็กเพื่อใช้ในการงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย 1) cheese vat ขนาดถังภายนอก กว้าง ยาว สูง 30 x 54 x 18.5 cm สูงจากพื้น 5.5 cm ความหนา 4 cm ถึงภายใน สูง 13.5 cm จุน้ำได้ 6.8 ลิตร ถึงถังนอกหุ้มด้วยฉนวนไฟเบอร์กลาส เก็บกักความร้อนได้ดี, 2) เครื่องอัดเนยแข็ง โดยประกอบด้วยแม่พิมพ์ทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 cm สูง 11.5 cm และแม่พิมพ์สี่เหลี่ยม มีขนาด กว้าง ยาว สูง 14 x 14 x 11.5 cm, 3) เครื่องกวนความกว้างของเครื่อง 60 cm ความสูง 28 cm และ Motor Gear 220 V AC 25W ความเร็วรอบ 0-48 rpm มีแกน 10 mm หน้ากว้าง 8 x 8 cm ต่อผ่านเข้าตัวควบคุม และใบกวน กับใบตัดเครื่องขนาดแกนเพลลา ยาว 16.5 cm เส้นผ่าศูนย์กลาง 14 mm ใบกวนและใบตัด ความกว้าง ยาว 8.5 x 11 cm และ 4) ถังควบคุมอุณหภูมิตัวทำความร้อนขนาด 3000 W 220 V 15 A ถังควบคุมอุณหภูมิ กว้าง ยาว สูง 15 x 20 x 30 cm ได้ทดลองการผลิตเนยแข็ง 1. เนยแข็งเชดด้า 2. เนยแข็งเชดด้าผสมมะขงชิด 3. เนยแข็งเชดด้าผสมสตอเบอรี่ 4. เนยแข็งเชดด้าผสมมะละกอ 5. เนยแข็งอีแควม และ 6. เนยแข็งเกาด้า พารามิเตอร์ที่วัดได้แก่ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็งที่ทำเองกับเนยแข็งที่ซื้อมา (การชิม) มี 8 ค่า ได้แก่ 1. ความหยาบของพื้นผิว (ตาจู) 2 ความชื้น 3. ความยืดหยุ่น (จากการเคี้ยว) 4. ความแน่นเนื้อ 5. ความร่วน 6. การติดฟัน 7. การละลาย 8. ความชื้นในปาก โดยการทดสอบค่าสี่และค่านื้อ สัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis ได้แก่ Springiness, Gumminess, Chewiness, Resilience, Cohesiveness, Adhesiveness, Stringiness

จากการทดลองสรุปได้ดังนี้ 1) การชิม เนยแข็งที่ซื้อมาได้คะแนนดีกว่าเนยแข็งที่ผลิตเอง 2) การวัดค่าสี่ บ่งบอกว่า เนยแข็งที่ผลิตได้นั้นส่วนใหญ่ออกสีขาวและเหลือง แต่เนยแข็งที่ผสมเนื้อผลไม้จะออกสีตามเนื้อผลไม้ 3) ค่านื้อสัมผัสที่มาตรวัดค่าความยืดหยุ่นพบว่า เนยแข็งเกาด้ามีค่าความยืดหยุ่นแบบเดียวกับแบบหมากฝรั่ง มากกว่าชนิดอื่นๆ 4) เนยแข็งอีแควมและเนยแข็งเชดด้า มีความคล้ายคลึงกัน ในค่าความยืดหยุ่นต่างๆ ทั้งๆที่กระบวนการผลิตแตกต่างกัน

Design and development of small cheese making machine for research purpose

Mr. Narasuk Narkchum

Mr. Mongkol Skunthongarlam

Mr. Veerasuk Tunggamolsatoporn

Assoc. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon Advissor

Mr. Veerachai Limpornchaijaroen Advisor

Assoc. Prof. Dr Wanna Tungjaroenchai Advisor

Abstract

This study involved designing and development of cheese making machine for research purpose. A cheese vat was 30x54x18.5 cm, 5.5 cm above ground and covered with fiber glass for heat insulation purpose. Cheese compress unit consisted of 2 moulds. The cylindrical mould had 14 cm diameter and 11.5 cm height. The rectangular mould was 14x14x11.5 cm. The agitator was 60 cm wide and 28 cm height. The agitator driving motor is 220V, AC 25MW and 0-48 rpm. Stirrer paddle and curd cutter paddle size was 8.5 x 11 cm. A heater controller with was 3000Watt, 220V, 15A and had a dimension of 15 x 20 x 30 cm. In experiment the variety of cheeses such as; (1) cheddar, (2) cheddar mix with strawberry, (3) cheddar mix with mayongchid, (4)cheddar mix with papaya, (5) edam cheese and (6) gouda cheese. The sensory test was done on market cheeses and self-made cheeses were cooked that included eight texture terms: surface roughness, surface moisture, elasticity, firmness, friability, adhesiveness, solubility and moisture in mouth and other test the physical properties included color and textural properties by texture profile analysis (springiness test, gumminess test, chewiness test, resilience test, cohesiveness test, adhesiveness test, and stringiness test) were evaluated on self-made cheeses

Conclusively, (1) market cheeses tasted better than self-made cheeses. (2) Most cheeses are white or yellow with exception of fruit cheeses, whose color changed according to the input fruits. (3) Gouda cheese had greater value of chewiness test then others. (4) Edam cheese and cheddar cheese was resembled in textural properties although cheese making process was different.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ไม่อาจจะสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือให้คำแนะนำจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ปริญญาบัตรนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้ ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบุญ อ.วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ รศ.ดร. วรณา ตั้งเจริญชัย ที่ช่วยแนะแนวทาง ให้คำปรึกษาตลอดจนดูแลเอาใจใส่ ตั้งแต่ต้นจนเสร็จสิ้นปริญญาบัตร ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่น้อง เจ้าหน้าที่ และคณาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสุดซึ้ง แด่คุณพ่อ คุณแม่ ของข้าพเจ้า ซึ่งเป็นบุคคลสำคัญที่สุดในของชีวิตข้าพเจ้า ทำให้ข้าพเจ้าได้มีวันนี้ ที่เลี้ยงข้าพเจ้าจนเติบโตใหญ่ดูแลเอาใจใส่และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีที่สุด พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาแก่ข้าพเจ้าอย่างเต็มที่ตลอดมา ข้าพเจ้าจะขอระลึกพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณ ไว้ ณ ที่นี้

ขอคุณพระศรีรัตนตรัยจงช่วย คลบบันดาล ปกป้องรักษาให้ทุกท่านที่ข้าพเจ้าเฝ้าถึงมีสุขภาพและพลานามัยที่แข็งแรงและมีความสุขตลอดไป

ขอขอบคุณ

นาย นราศักดิ์ นาคฉำ

นาย มงคล สุกุลทองอร่าม

นาย วีรศักดิ์ ตั้งกมลสถาพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ที่มาและความสำคัญ	1
1.2. วัตถุประสงค์	2
1.3. ขอบเขตการศึกษา	2
1.4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 กระบวนการผลิตเนยแข็ง	5
2.1.1 หลักการพื้นฐานของการผลิตเนยแข็ง	5
2.1.2 ขั้นตอนทั้ง 4 ขั้นตอน	6
2.1.2.1 การรับน้ำนมดิบ	6
2.1.2.2 ปฏิบัติการขึ้นต้นกับน้ำนมดิบ	7
2.1.2.2.1 การทำให้น้ำนมสะอาด (Clarification)	7
2.1.2.2.2 การพาสเจอร์ไรเซชัน และการกำจัดแบคทีเรีย	7
2.1.2.2.3 การปรับมาตรฐานของส่วนประกอบ (Standardization)	7
2.1.2.2.4 การเติมสารเคมี	8
2.1.2.3 การตกตะกอน (Curd Making)	8
2.1.2.3.1 การใส่เรนเนต (Renetting)	8
2.1.2.3.2 การตัดเคิร์ด (Curd Cutting)	9
2.1.2.3.3 การกวน (Stirring)	9
2.1.2.3.4 การแยกหางเนย (Whey Drainage)	10
2.1.2.3.5 การให้ความร้อน (Heating)	10
2.1.2.3.6 การกวนครั้งสุดท้าย	10
2.1.2.4 การทำให้เคิร์ดเป็นรูปร่าง (Molding the Curd)	11
2.2 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบเครื่องผลิตเนยแข็ง	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
2.3 ทฤษฎีกระบวนการถ่ายเทความร้อน	15
2.3.1 การพาความร้อน (Convection)	15
2.3.2 การนำความร้อน (Conduction)	16
2.3.3 การแผ่รังสี (Radiation)	18
2.4. การะที่มีการสูญเสียความร้อนผ่านผนัง	19
2.5. รายละเอียดการคำนวณภาวะความร้อน	20
2.5.1 ปริมาณความร้อนที่ใช้ต้มของเหลวหรือสารละลาย	20
2.5.2 ปริมาณความร้อนที่ให้กับโครงสร้างหรือตัวของถังต้ม	21
2.6 ทฤษฎีสกรูส่งกำลัง	21
2.6.1 คำจำกัดความ	22
2.6.2 ชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง	23
2.6.3 เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ไอเอสไอ	24
2.6.4 การให้ชื่อ	25
2.6.5 โหมดบังคับสำหรับหมุนสกรูส่งกำลัง	26
2.6.6 ประสิทธิภาพของสกรูส่งกำลัง	29
2.7 การออกแบบสกรูส่งกำลัง	30
2.8 สแตนเลส (Stainless Steel)	33
2.9 การเขียนแบบเครื่องทำ Cheese ด้วยโปรแกรม Solid works	33
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	34
3.1 แนวทางการออกแบบ	34
3.1.1 แนวทางการออกแบบ Cheese vat	34
3.1.2 แนวทางการออกแบบ เครื่องอัดเนยแข็ง	34
3.1.3 แนวทางการออกแบบ ไบควน	34
3.2 การคำนวณเพื่อการออกแบบ	35
3.2.1 การออกแบบถัง Cheese Vat	35
3.2.2 การคำนวณภาวะความร้อนทั้งหมดที่ใช้อุณหภูมิเพื่อเลือก Heater	41
3.2.3 การเลือกขนาด ฮีตเตอร์	46
3.3 การออกแบบ เครื่องอัดเนยแข็ง	46
3.3.1 การหาขนาดสกรูส่งกำลัง	46
3.3.2. การหาขนาดของ โมลครูปร่างของ Cheese press	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
3.4 การออกแบบใบกวน	50
3.4.1. ลักษณะของใบกวน	50
3.4.2. ส่วนประกอบของระบบการกวน	51
3.4.3 การคำนวณหาขนาดแกนใบกวน	51
3.4.4. หาขนาดเพลลาของวงล้อสายพาน	56
3.4.5. การเลือก Timing Belt Pulleys	57
3.4.6. การเลือก Timing Belt	58
3.4.7. โครงฐานและส่วนประกอบโครงสำหรับใส่อุปกรณ์สำหรับระบบกวน	58
3.4.8. Bushing ของเพลลาวงล้อสายพาน	61
3.4.9. ตัวควบคุมมอเตอร์	63
3.4.10. มอเตอร์ส่งกำลัง	64
3.4.11. Couplings	66
3.5 แบบส่วนประกอบของ Cheese Vat	66
3.5.1 แบบ Cheese Vat หน่วย cm	66
3.5.2 แบบเรื่องอัดเนยแข็ง	67
3.5.3 แบบเกลียวอัด	68
3.5.4 แบบโมลด์ทรงกระบอก	68
3.5.5 แบบโมลด์ทรงสี่เหลี่ยม	69
3.5.6 แบบ โครงเครื่องกวนเนยแข็ง	70
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	71
4.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี	71
4.2 อุปกรณ์	71
4.3 ขั้นตอนการดำเนินการและวิธีการทดลอง	75
4.3.1 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งเชดด้า	75
4.3.2 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งเชดด้าผสมสตรอเบอร์รี่	76
4.3.3 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งเชดด้าผสมมะละกอ	76
4.3.4 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งเชดด้าผสมมะขงชิด	77
4.3.5 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งเกาด้า	77
4.3.5 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งอีเคม	78
4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
4.4.1 วิธีทดสอบการซึมแบบให้ระดับ	79
4.5 การทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลข	82
4.5.1 ระบบการวัดค่าสี	82
4.5.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis)	84
บทที่ 5 ผลการทดลอง	87
5.1 ศึกษาการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง	87
5.2 การศึกษาการทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลขของการวัดค่าสี	87
5.3 การศึกษาการทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลขของค่าเนื้อสัมผัส	87
5.4 การทดสอบค่าสีและค่าเนื้อสัมผัสด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ	90
5.5 การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม	95
5.5.1 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน	95
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	98
6.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง	98
6.2 การทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลขของการวัดค่าสี	98
6.3 การทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลขของค่าเนื้อสัมผัส	98
6.4 การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม	98
6.5 ข้อเสนอแนะ	99
ภาคผนวก	
ก	100
ข	101
ค	113
ง	119
จ	131
ฉ	134
เอกสารอ้างอิง	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 การผลิตเนยแข็ง	6
รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของเอนไซม์เรนเนท	8
รูปที่ 2.3 การตกตะกอน	9
รูปที่ 2.4 การตัดเคิร์ด	9
รูปที่ 2.5 การกวน	10
รูปที่ 2.6 การแยกหางเนย	10
รูปที่ 2.7 การอัดครั้งแรก	11
รูปที่ 2.8 การตัดและบรรจุแบบ	12
รูปที่ 2.9 การอัดครั้งสุดท้าย	12
รูปที่ 2.10 ตะแกรงที่ตั้นในตัว	12
รูปที่ 2.11 การอัดให้แน่น	13
รูปที่ 2.12 การหั่น	13
รูปที่ 2.13 การเค็มเกลือ	13
รูปที่ 2.14 การนำความร้อนผ่านผนังหนึ่งชั้น	17
รูปที่ 2.15 ผนัง 3 ชั้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังซึ่งมีความหนาและค่า K เท่ากัน	18
รูปที่ 2.16 สกรูเพรส	22
รูปที่ 2.17 สกรูเพรส	22
รูปที่ 2.18 เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู	22
รูปที่ 2.19 มุมหีด	23
รูปที่ 2.20 ขนาดต่างๆของเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู	25
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการใช้สกรูส่งกำลังเป็นแม่แรง	27
รูปที่ 3.1 Vessel ที่ต้องการแบบสี่เหลี่ยม	35
รูปที่ 3.2 Vessel ได้เปลี่ยนไปตามความสามารถของการกวน	36
รูปที่ 3.3 การออกแบบ Vessel	36
รูปที่ 3.4 การออกแบบ Jacket ด้านส่วนโค้ง ทั้งสองด้าน	38
รูปที่ 3.5 การออกแบบ Jacket ด้านประกอบสองด้าน	39
รูปที่ 3.6 การออกแบบ Jacket ทั้งหมด	40
รูปที่ 3.7 Fiberglass ขนาด 1 นิ้ว	44
รูปที่ 3.8 ฮีตเตอร์แบบแขวนสามารถนำมาใช้ได้ตามแบบถึงต่างๆ	46
รูปที่ 3.9 ไบกวน	51

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 3.10 ใบตัดเคิร์ด	51
รูปที่ 3.11 เพลลาของวงล้อสายพาน	56
รูปที่ 3.12 ตัวโครงสร้างที่ใส่ส่วนประกอบของของระบบใบกวน1	58
รูปที่ 3.13 ตัวโครงสร้างที่ใส่ส่วนประกอบของของระบบใบกวน2	59
รูปที่ 3.14 ตัวโครงสร้างที่ใส่ส่วนประกอบของของระบบใบกวน3	59
รูปที่ 3.15 ฝาครอบโครงเครื่องกวน1	60
รูปที่ 3.16 ฝาครอบโครงเครื่องกวน2	60
รูปที่ 3.17 เพลลาหมุนอยู่กลางแบร์ริง	61
รูปที่ 3.18 มอเตอร์ส่งกำลัง	64
รูปที่ 3.19 สายไฟที่ต่อเข้ากับตัวมอเตอร์ส่งกำลัง	65
รูปที่ 3.20 ถังปิ้ง	64
รูปที่ 4.1 Cheese Vat	72
รูปที่ 4.2 เครื่องอัดเนยแข็ง	72
รูปที่ 4.3 เครื่องกวนและใบกวน	73
รูปที่ 4.4 ใบกวนนม	74
รูปที่ 4.5 ใบกวนตัดเคิร์ด	73
รูปที่ 4.6 หัวกด	74
รูปที่ 4.7 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ	74
รูปที่ 4.8 ตัวทำความร้อนภายใน Cheese Vat	75
รูปที่ 4.9 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE LAB ในรูป สามมิติ	83
รูปที่ 4.10 การวัดสีด้าน Top Left Right ของเนยแข็งทดสอบแบบวงกลม	83
รูปที่ 4.11 การวัดสีด้าน Top Left Right ของเนยแข็งทดสอบแบบสี่เหลี่ยม	84
รูปที่ 4.12 กราฟ TPA แสดงการหาค่าความยืดหยุ่นแบบต่างๆ	85
รูปที่ 5.1 กราฟแท่งค่าความสว่างของเนยแข็งชนิดต่างๆ	90
รูปที่ 5.2 กราฟแท่งค่าสีแดง เขียวของเนยแข็งชนิดต่างๆ	90
รูปที่ 5.3 กราฟแท่งค่าสีเหลือง น้ำเงินของเนยแข็งชนิดต่างๆ	91
รูปที่ 5.4. กราฟแท่งค่าความเกาะกุ่มของเนยแข็งชนิดต่างๆ	91
รูปที่ 5.5 กราฟแท่งค่าความเหนียวคล้ายเชือกของเนยแข็งชนิดต่างๆ	92
รูปที่ 5.6 กราฟแท่งค่าความยืดหยุ่นแบบสปริงของเนยแข็งชนิดต่างๆ	92
รูปที่ 5.7 กราฟแท่งค่าความกลับสู่สภาพเดิมของเนยแข็งชนิดต่างๆ	93

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 5.8 กราฟแท่งค่าความยืดหยุ่นหมากฝรั่งของเนยแข็งชนิดต่างๆ	93
รูปที่ 5.9 กราฟแท่งค่าความยืดหยุ่นแบบเดี่ยวของเนยแข็งชนิดต่างๆ	94
รูปที่ 5.10 กราฟแท่งค่าการยืดตัวของเนยแข็งชนิดต่างๆ	94
รูปที่ 5.11 กราฟการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	97
รูปที่ ข1 แผนภูมิสำหรับตัวแปรความหนาฟิล์มน้อยที่สุด	110
รูปที่ ข2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับอุณหภูมิ	111
รูปที่ ข3 แผนภูมิสำหรับหาตัวแปรสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	112
รูปที่ ค1 เกลือ	113
รูปที่ ค2 เรนเนท	113
รูปที่ ค3 เชื้อ R-704	113
รูปที่ ค4 นมแพะ	114
รูปที่ ค5 เชื้อ CHN-22	114
รูปที่ ค6 มะละกอ	114
รูปที่ ค7 สตรอเบอร์รี่	115
รูปที่ ค8 อุปกรณ์ต่างๆ	115
รูปที่ ค9 ถุงมือ	115
รูปที่ ค10 หม้อสเตนเลส	116
รูปที่ ค11 เครื่องวัดอุณหภูมิเชิงกล	116
รูปที่ ค12 เครื่องวัดสี	117
รูปที่ ค13 เครื่องวัดความเร็วรอบ	117
รูปที่ ค14 Clamp Meter	117
รูปที่ ค15 เครื่องชั่งน้ำหนัก	118
รูปที่ จ1 Specification Cheese vat	131
รูปที่ จ2 Specification ก่อองควบคุมอุณหภูมิ	131
รูปที่ จ3 การวางตัวของตัวทำความร้อนใน Cheese vat	132
รูปที่ จ4 Specification เครื่องอัดเนยแข็ง	132
รูปที่ จ5 Specification เครื่องกวน	133
รูปที่ จ6 Specification ไบกวน	133

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 1.1 การนำเข้า Cheese and Curd ของประเทศไทยประจำปี 2006	1
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมบางชนิด	47
ตารางที่ 3.2 มิติมูลฐานของเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ISO 2904-1977(E)	48
ตารางที่ 3.3 ตารางการการปรับเปอร์เซ็นต์การจ่ายไฟกับความเร็วรอบ	63
ตารางที่ 5.1 สรุปผลคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง	88
ตารางที่ 5.2 ผลทดสอบค่าสี	89
ตารางที่ 5.3 ผลค่าความยืดหยุ่นแบบต่างๆ	89
ตารางที่ ก1 การใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องผลิตเนยแข็ง	100
ตารางที่ ข1 ขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน	103
ตารางที่ ข2 ค่าตัวประกอบความถี่	104
ตารางที่ ข3 ค่าความปลอดภัย	104
ตารางที่ ข4 สัมประสิทธิ์การหน่วงบวมวัตถุใน 3 มิติ อ้างอิงพื้นที่ฉายด้านหน้า ($Re \geq 10^3$)	105
ตารางที่ ข5 Timing Pulleys T5 Type	108
ตารางที่ ข6 Timing Belts T5/T10 Type	109
ตารางที่ ข7 ค่าหน่วยแรง P สำหรับเจอร์นัลแบร์ริง	110
ตารางที่ ข8 คุณสมบัติของวัสดุแบร์ริง	111
ตารางที่ ข9 ประสิทธิภาพของรอยต่อสายพาน	111
ตารางที่ ง1 แสดงผลทดสอบด้วยการชิม	119
ตารางที่ ง2 ผลทดสอบค่าสี	128
ตารางที่ ง3 ผลค่าความยืดหยุ่นแบบต่างๆ	129
ตารางที่ ง4 แสดงค่า Mean SD และ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย	130
ตารางที่ ฉ1 การเปรียบเทียบเครื่องผลิตเนยแข็งที่ออกแบบกับของต่างประเทศ	134

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

การพัฒนาการผลิตนมโคและการบริโภคนมน้ำนมดิบ โตขึ้นเนื่องจากความช่วยเหลือในการบูรณาการอาชีพการเลี้ยงโคนมในโครงการความแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ดังจะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตทำนมโคในระหว่างปี 2540-2544 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละแปดต่อปี ปัจจุบันปริมาณนมโคที่ผลิตได้ไม่เพียงพอต่อการบริโภค จึงมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์นมที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตนมพร้อมดื่ม เช่น นมผง รวมทั้งผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณค่าทางโภชนาสูงแต่ยังขาดเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิต เช่น เนยแข็ง จึงเห็นได้ว่าความต้องการนม และนมแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เฉพาะ ยังเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

ผู้บริโภคส่วนมากรู้จักนมน้ำนมวัวและผลิตภัณฑ์นมวัว ขณะที่น้ำนมแพะและผลิตภัณฑ์กำลังได้รับความสนใจในเชิงของคุณภาพทางโภชนาการ แพะเป็นสัตว์เศรษฐกิจตัวใหม่ของประเทศไทย รวมทั้งประเทศในเอเชียและ ออฟริกา การเลี้ยงดูแพะมีต้นทุนที่ต่ำเพื่อการผลิตน้ำนมและเนื้อแพะ มีข้อเปรียบเทียบที่น่าสนใจระหว่างนมแพะและนมวัวในเรื่องของโภชนาการสำหรับผู้บริโภค เช่น โปรตีนในนมแพะถูกร่างกายย่อยได้เร็วกว่าหรือง่ายกว่า มีงานวิจัยที่รายงานถึงการลดอาหารภูมิแพ้ด้วยการบริโภคนมแพะและผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการดูดซับ Micro nutrient ในร่างกายได้ดีกว่า จากข้อได้เปรียบดังกล่าวจึงทำให้นักวิชาการให้ความสนใจในการศึกษานมแพะเพื่อให้ความเข้าใจ และใช้ประโยชน์จากจากสิ่งเหล่านี้ให้มากยิ่งขึ้น

เนยแข็ง (Cheese) เป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยโปรตีน และไขมัน ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก ปัจจุบันการผลิตเนยแข็งในประเทศยังมีน้อยมาก ดังตารางที่ 1.1 คุณภาพ ผลิตภัณฑ์เนยแข็งที่ผลิตได้ในประเทศยังมีข้อจำกัดของการยอมรับ เทคนิคการผลิตเนยแข็งจำเป็นต้องใช้ศาสตร์และศิลป์ที่เหมาะสมจึงจะสามารถผลิตเนยแข็งที่มีคุณภาพที่ดีและเป็นที่ยอมรับ จำเป็นต้องมีการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ถูกต้อง แก่ผู้ผลิต และผู้ที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 1.1 การนำเข้า Cheese and Curd ของประเทศไทยประจำปี 2006

HS-Code	04.06...more - Cheese and curd.	
	DEC 2006	JAN - DEC 2006
COUNTRY	CIF Value (Baht)	CIF Value (Baht)
AUSTRALIA	17,528,807	172,490,954
BELGIUM	0	829,011
BRAZIL	0	21,117
SWITZERLAND	3,550,088	22,588,668
GERMANY	0	2,616,297
DENMARK	5,135,542	39,978,947
SPAIN	0	829,619
FRANCE	3,414,592	26,927,431

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HS-Code	04.06...more	- Cheese and curd.	
		DEC 2006	JAN - DEC 2006
COUNTRY		CIF Value (Baht)	CIF Value (Baht)
UNITED KINGDOM		91,755	346,197
HONG KONG		0	60,638
HUNGARY		0	23,166
INDONESIA		0	38,419,801
INDIA		0	4,325,939
ITALY		2,272,563	14,060,208
JAPAN		1,389,556	4,858,095
MALAYSIA		0	11,056
HS-Code	04.06...more	- Cheese and curd.	
		DEC 2006	JAN - DEC 2006
COUNTRY		CIF Value (Baht)	CIF Value (Baht)
NETHERLANDS		2,139,968	34,817,845
NEW ZEALAND		13,936,033	185,983,475
PHILIPPINES		0	2,596
SINGAPORE		1,152,500	4,187,186
UNITED STATES		0	6,877,871
Grand Total		50,611,404	560,256,117

ที่มา: กรมศุลกากร 2550 [1]

แต่นมแพะนั้นก็ยังไม่เป็นที่นิยมในการบริโภคจึงทำให้มีปริมาณเหลือ ด้วยเหตุนี้การนำนมแพะมาแปรรูปนั้นเป็นวิธีการหนึ่ง ในการใช้วัตถุดิบให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งนมแพะเหมาะที่จะนำมาทำเนยแข็ง เพราะโปรตีนในนมแพะนั้นจะมีมากกว่านมวัว เนยแข็งจากนมแพะจัดเป็นเนยแข็งที่มีคุณภาพสูงถึงกับมีการตรวจสอบว่ามีนมวัวปลอมปนอยู่หรือไม่ซึ่งกำหนดโดยกฎของยุโรป (European law) เกี่ยวกับการป้องกัน การปนเปื้อนของวัตถุดิบ (Protected Designation of Origin, PDO) [2] เราพบว่าในร้านอาหารที่ใช้เนยแข็งที่มีมาตรฐานและอุตสาหกรรมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์นมได้นำเนยแข็งมาใช้ในประเทศไทยจำนวนมาก อ้างอิงจากรายที่ 1 การนำเข้า Cheese and Curd ของประเทศไทยประจำปี 2006 จะเห็นได้ว่าต้องสูญเสียเงินออกนอกประเทศกว่า 500 ล้านบาทต่อปี เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพสูงมากในการผลิตวัตถุดิบ (นม) ในการทำเนยแข็ง แต่ในประเทศไทยทุกวันนี้ยังไม่มีแหล่งผลิตเนยแข็งที่ได้มาตรฐาน การวิจัยเกี่ยวกับการผลิตเนยแข็งที่เป็นแบรนด์ของคนไทย จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและจำเป็นหากต้องการจะทำให้เกิดอุตสาหกรรมนี้ในประเทศไทย แต่ราคานำเข้าเครื่องผลิตเนยแข็งเพื่อใช้ในการวิจัยมีราคาสูงมาก (กว่าล้านบาท) เพราะฉะนั้น โครงการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็กเพื่อใช้ในการงานวิจัยและฝึกอบรมการผลิตเนยแข็งสำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (SME) และขนาดกลาง (MME) และการทดลองและวิจัยเกี่ยวกับการผลิตเนยแข็งนั้นจึงมีความสำคัญ และหากสามารถทำเนยแข็งจากนมแพะให้มีมาตรฐานนั้นจะเป็นการสร้างคู่แข่งทางเศรษฐกิจจากนมแพะ ทำให้นมแพะนั้นมีมูลค่าเพิ่มขึ้น ยังจะช่วยลดการนำเข้าเนยแข็งของประเทศไทยอีกด้วย การเริ่มต้นโครงการดังกล่าวในมหาวิทยาลัยในการสร้างต้นแบบเครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็ก และทำการวิจัยนำร่องจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อวงการอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทย ในต่างประเทศมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาเนยแข็ง ยกตัวอย่างใน University of Wisconsin-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Madison มี นักวิจัยหลายกลุ่ม ทำการวิจัยเกี่ยวกับเนยแข็ง เช่น Castillo et al., 2006 [3], Yu and Gunasekaran, 2005 [4] ฯลฯ และให้การอบรมการผลิตเนยแข็งแก่ผู้ประกอบการ เช่น University of Wisconsin-Madison และ University of California ซึ่งผู้เข้าร่วมอบรมเป็นผู้ที่อยู่ในวงการอุตสาหกรรมนมซึ่งต้องการพัฒนาเทคนิคการผลิตให้ได้มาตรฐาน รวมทั้งผู้ที่มีโครงการจะประกอบธุรกิจการผลิตเนยแข็ง

โครงการวิจัยนี้จะดำเนินการศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็กเพื่อใช้ในงานวิจัยและฝึกอบรมการผลิตเนยแข็งสำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (SME) และขนาดกลาง (MME) โดยอาศัยหลักการ ทฤษฎีการผลิตเนยแข็ง ทฤษฎีการให้ความร้อนของเครื่องผลิตเนยแข็ง ผลของอุณหภูมิที่ไหลอยู่ในเครื่องผลิตเนยแข็งต่อการผลิตเนยแข็ง ซึ่งประกอบด้วย ถึงกระบวนการขนาดบรรจุประมาณ 10 ลิตร อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนที่สามารถเพิ่มระดับอุณหภูมิได้ อุปกรณ์กวนนมที่ปรับความเร็วได้ อุปกรณ์ช่วยตัด Curd และมีอุปกรณ์อัดขึ้นรูปเนยแข็ง ซึ่งเครื่องผลิตเนยแข็งนี้สามารถปรับสภาวะของกระบวนการผลิตเนยแข็งได้สะดวกและแม่นยำ ซึ่งการทดลองและวิจัยการผลิตเนยแข็งด้วย

1.2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องสำหรับผลิตเนยแข็งขนาดเล็กเพื่อใช้ในงานวิจัยและนำไปพัฒนาเป็นเครื่องผลิตเนยแข็งที่สามารถใช้ได้ในครัวเรือน
- 2) เพื่อนำผลิตภัณฑ์จากนมแพะมาศึกษาและแปรรูปเนยแข็งเพื่อเพิ่มค่าให้กับผลิตภัณฑ์จากนมแพะ ให้เป็นที่แพร่หลายในท้องตลาด

1.3. ขอบเขตการศึกษา

การศึกษารอบแบบและพัฒนาเครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็ก เพื่อใช้ในงานวิจัย ซึ่งไม่ได้รวมถึงการพัฒนาเพื่อการผลิตเนยแข็งในอุตสาหกรรม จะศึกษาวิจัยและทำการทดลองเฉพาะการทำเนยแข็ง ที่ทำจากนมแพะเท่านั้น

1.4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเนยแข็ง ทฤษฎีการให้ความร้อนภายในเครื่องผลิตเนยแข็ง การไหลของน้ำภายในเครื่องผลิตเนยแข็ง การหมุนของใบกวนเนยแข็ง และหาแรงกดที่กระทำต่อเนยแข็ง และนำไปออกแบบและสร้างเครื่องผลิตเนยแข็งจนเสร็จสมบูรณ์แล้ว เครื่องผลิตเนยแข็งนี้จะสามารถนำไปผลิตเนยแข็งเพื่อใช้ในงานวิจัยเพื่อผลิตเนยแข็งที่มีคุณภาพได้

- 2) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม ได้รับคุณประโยชน์ในการใช้นมแพะ มาผลิตเนยแข็งที่ได้มาตรฐานและลดการนำเข้าเนยแข็ง ช่วยให้เศรษฐกิจไทยไม่ขาดดุลทางการค้า
- 3) เครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็กนี้จะสามารถนำไปผลิตเนยแข็งในงานวิจัยเพื่อผลิตเนยแข็งที่มีคุณภาพได้และสามารถใช้ฝึกอบรมการผลิตเนยแข็งสำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (SME) และขนาดกลาง (MME)
- 4) เพื่อใช้เป็นต้นแบบนำไปพัฒนาเป็นเครื่องผลิตเนยแข็งในระดับงานอุตสาหกรรม
- 5) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เนยแข็งจากนมแพะเพื่อเป็นการนำร่องของการเพิ่มขีดความสามารถใช้ประโยชน์จากนมแพะ ของอุตสาหกรรมการเลี้ยงแพะในเขตภาคกระบี่-หนองจอก
- 6) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม ได้รับคุณประโยชน์ในการใช้นมแพะ มาผลิตเนยแข็งที่ได้มาตรฐานและลดการนำเข้าเนยแข็ง ช่วยให้เศรษฐกิจไทยไม่ขาดดุลทางการค้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กระบวนการผลิตเนยแข็ง [5]

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (F.A.O.) ได้กำหนดคำจำกัดความของคำว่า เนยแข็งหรือ Cheese ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตกตะกอนของนํ้านม ครีม หางนม หางเนยเหลว หรือส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยหลังจากการตกตะกอนแล้วจะมีการแยกเอาหางเนยออก ด้วย ส่วนประกอบที่สำคัญของเนยแข็ง ได้แก่ โปรตีนในนํ้านมหรือที่เรียกว่า เคซีน ไขมัน นํ้า และเกลือ ส่วนประกอบเหล่านี้จะมีปริมาณแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของเนยแข็ง เนยแข็งเป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีการผลิตมากชนิดที่สุด จนอาจจะกล่าวได้ว่า ทุกชาติที่มีการผลิตและผลิตนํ้านม มักจะมีการผลิตเนยแข็งของตนขึ้น จากการคัดแปลงไปตามความนิยมของแต่ละท้องถิ่น ทำให้เกิดมีเนยแข็งมากมายหลายรูปแบบ จนแทบจะไม่มีลักษณะเนยแข็งดั้งเดิมเหลืออยู่โดยมีชนิดที่เหมือนเนยแข็ง เป็นชนิดที่อ่อนนุ่ม (Soft cheese) หรือใช้หางนมทำ แทนที่จะใช้นํ้านมทำเช่นคอตเตจชีส (Cottage cheese) เนื่องจากการจำแนกเนยแข็งทำได้ยาก เพราะมีความแตกต่างกันมากทั้งวิธีทำทั้งวัตถุดิบที่ใช้ จึงมีการจำแนกโดยอาศัยหลักเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

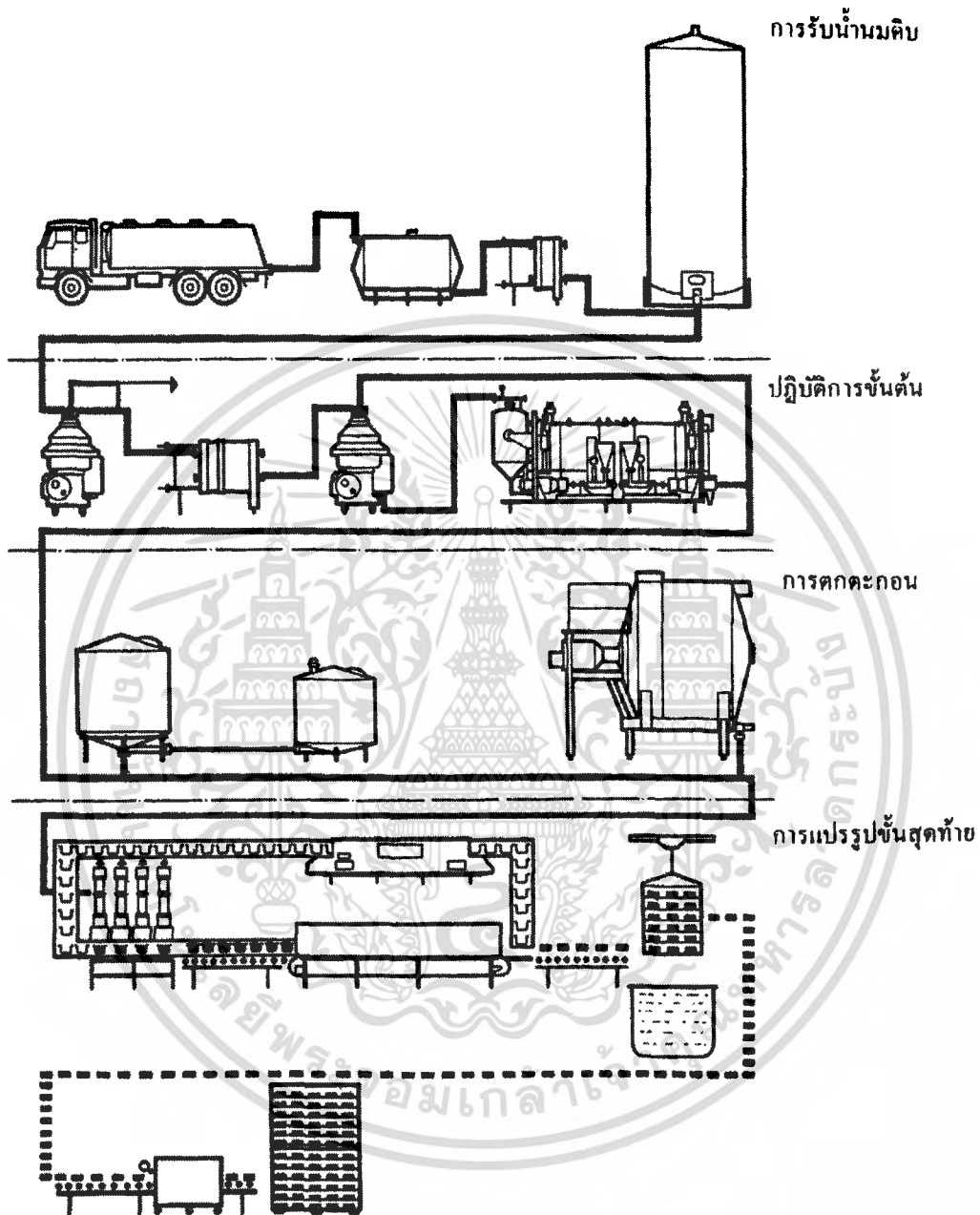
- 1) การตกตะกอน ตามปกติจะมีการตกตะกอนโดย เรนเนท แต่ต่อมาได้มีการตกตะกอนโดยกรด และบางครั้งใช้ทั้งเรนเนทและกรดควบกันก็มี
- 2) ปริมาณนํ้า การมีนํ้ามากหรือน้อย มีผลต่อความแข็ง ปานกลาง หรือนุ่มของเนยแข็ง ดังนั้น การแยกชนิดของเนยแข็งว่าชนิดไหนเป็นเนยแข็ง เนยแข็งปานกลาง หรือเนยแข็งแบบอ่อน จะอาศัยปริมาณนํ้าเป็นเครื่องชี้
- 3) จุลินทรีย์ที่ใช้ ในกระบวนการผลิตเนยแข็งจะมีจุลินทรีย์มาเกี่ยวข้องหลายชนิด จุลินทรีย์ที่ใช้ทำให้แยกชนิดของเนยแข็งได้
- 4) ลักษณะเนื้อของเนยแข็ง ลักษณะเนื้อของเนยแข็งแตกต่างกันมากระหว่างเนยแข็งกับเนย นุ่มเนยแข็งบางชนิดจะมีรูอากาศปรากฏให้เห็นชัดเจน

2.1.1 หลักการพื้นฐานของการผลิตเนยแข็ง

พื้นฐานของการผลิตเนยแข็ง ประกอบด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การรับนํ้านมดิบ
- 2) ปฏิบัติการขึ้นต้นกับนํ้านมดิบ
- 3) การตกตะกอน

4) การแปรรูปขั้นสุดท้าย



รูปที่ 2.1 การผลิตเนยแข็ง [5]

2.1.2 ชั้นตอนทั้ง 4 ชั้น

2.1.2.1) การรับน้ำนมดิบ น้ำนมดิบที่จะรับมาผลิตเนยแข็งจะต้องเป็นน้ำนมที่มีคุณภาพดี นอกจากคุณภาพจะต้องดีแล้ว ส่วนประกอบจะต้องไม่แตกต่างกันมาก การทดสอบคุณภาพของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำนมจะต้องกระทำกันที่ฟาร์มเพื่อความแน่ใจก่อนที่จะส่งน้ำนมเข้าโรงงาน นอกจากนี้จะมีคุณภาพดีในแง่ของจุลินทรีย์และความสม่ำเสมอ ด้านส่วนประกอบแล้ว ยังจะต้องเป็นน้ำนมที่ปราศจากสารปฏิชีวนะโดยเด็ดขาด เพราะสารปฏิชีวนะนี้จะมีผลกระทบต่อการใช้ในการผลิตเนยแข็งเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนั้นน้ำนมที่มีนมม่านเหลือง (Colostrum) ปนมาก็ใช้ไม่ได้ หรือน้ำนมจากสัตว์ป่วยเป็นโรคก็ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ได้ด้วย สมบัติที่สำคัญของน้ำนมดิบที่ใช้ คือความสามารถในการตกตะกอน ถ้าน้ำนมใดที่ส่งเข้ามาไม่สามารถตกตะกอนด้วยเอนไซม์เรนเนทก็หมายความว่า ใช้ในการผลิตไม่ได้ บ่อยครั้งที่น้ำนมจากวัวต่างฝูง หรือต่างฤดูกาลทำให้มีผลกระทบต่อการใช้ในการผลิตเนยแข็ง โรงงานหลายแห่งจึงนิยมเติมสารแคลเซียมคลอไรด์ เพื่อช่วยในการตกตะกอน

2.1.2.2) ปฏิบัติการขั้นต้นกับน้ำนมดิบ หลังจากการรับน้ำนมดิบที่มีคุณภาพตามที่ต้องการแล้ว จำเป็นต้องมีปฏิบัติการอีกหลายขั้นตอน ก่อนที่น้ำนมจะพร้อมที่จะใช้ ขั้นตอนต่างๆ มีดังนี้

2.1.2.2.1) การทำให้น้ำนมสะอาด (Clarification) เพื่อให้ให้น้ำนมปราศจากสิ่งแปลกปลอม รวมทั้งเนื้อเยื่อที่ติดออกมา (Leucocytes) ถูกกำจัดออกไปในขณะที่ทำการปั่นแยกไขมัน เพื่อให้ได้ปริมาณไขมันมาตรฐาน การทำความสะอาดอาจจะกระทำทันทีที่น้ำนมดิบมาถึง หรือบางแห่งอาจจะกระทำหลังจากการเก็บน้ำนมไว้ระยะหนึ่ง การทำความสะอาดมีบทบาทสำคัญ ในการผลิตเนยแข็งที่ต้องการมีรูอากาศเพราะการทำความสะอาดที่ดีจะทำให้มีผลที่จะทำให้น้ำนมเนยแข็งมีรูอากาศที่กลม และมีขนาดสม่ำเสมอ

2.1.2.2.2) การพาสเจอร์ไรเซชัน และการกำจัดแบคทีเรีย (Bactofuge Treatment) พาสเจอร์ไรเซชันที่นิยมใช้คือ ระบบ HTST โดยใช้อุณหภูมิ 71-72 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 วินาที จะเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่จะไปรบกวนการทำงานของเครื่องตกตะกอน การใช้ น้ำนมดิบทำการผลิตเนยแข็งพบว่าให้น้ำนมเนยแข็งที่มีกลิ่นหอมดีกว่า แต่ก็ยังไม่น่าเสี่ยงกับโรคภัยที่อาจจะติดมากับน้ำนมดิบ ส่วนใหญ่จึงทำการพาสเจอร์ไรส์ก่อนเสมอ แต่ก็มีผู้พยายามคิดค้นที่จะทำการแยกจุลินทรีย์ โดยเฉพาะสปอร์ที่ปนอยู่ในน้ำนมออกโดยระบบการปั่น (Centrifuge) ปรากฏว่าด้วยการปั่นที่มีประสิทธิภาพสูงจะทำให้สปอร์และแบคทีเรีย ถูกปั่นออกไปถึง 90% เรียกวิธีนี้ว่า แบคโตฟิวจ์ (Bactofuge Treatment)

2.1.2.2.3) การปรับมาตรฐานของส่วนประกอบ (Standardization) เนื่องจากส่วนประกอบของน้ำนมมักจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยเฉพาะไขมันและเคซีน ปริมาณของส่วนประกอบทั้งสองมักจะกลับกัน กล่าวคือ ถ้าปริมาณไขมันมาก ปริมาณเคซีนต่ำ แต่ถ้าปริมาณไขมันน้อย ปริมาณเคซีนสูง ดังนั้น ก่อนที่จะดำเนินการการผลิตจะต้องมีการปรับมาตรฐานของปริมาณไขมันและเคซีนให้ได้ตามที่กำหนดไว้ก่อนเสมอ

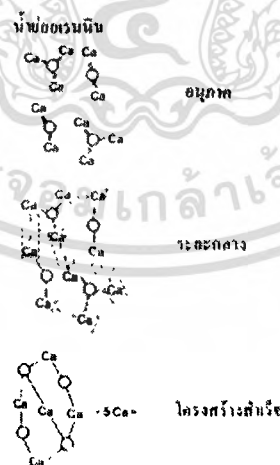
2.1.2.2.4) การเติมสารเคมี เพื่อช่วยให้การทำงานของเอนไซม์ เรนเนทมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนได้ดีขึ้น เพราะในบางครั้งการตกตะกอนจะไม่แน่นอน ทำให้เวลาตัดจะแตกออกเป็นเสี่ยงๆ ทำให้มีการตกตะกอนดีขึ้น แต่การใส่มากเกินไปก็จะทำให้แข็งเกินไป ทำให้การตัดยากขึ้น ถ้าต้องการการตกตะกอนที่จะให้แข็งมากขึ้นอาจจะเติมสารเคมีอีกตัวหนึ่งคือ ไคโอเคียมฟอสเฟต ในปริมาณ 10 -20 กรัม ต่อน้ำนม 1 กก. โดยเติมก่อนที่จะเติมแคลเซียมคลอไรด์

ปกติสีของเนยแข็งจะปรากฏตามสีของไขมันของน้ำนม ซึ่งอาจจะมีสีเหลืองอ่อนๆ หรือเหลืองมากก็ได้

2.1.2.3) การตกตะกอน (Curd Making) ผลของการตกตะกอนของน้ำนม เรียกว่า เคิร์ด (Curd) การทำให้เคิร์ด มีหลายขั้นตอน ดังนี้

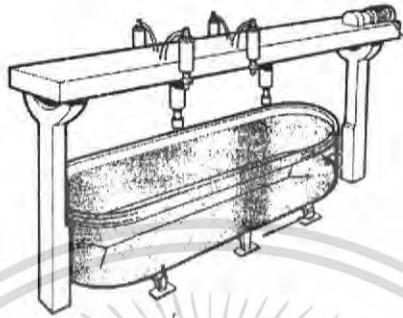
2.1.2.3.1) การใส่เรนเนท (Renetting) การตกตะกอน (Coagulation) เป็นขั้นตอนพื้นฐานของการผลิตเนยแข็ง การตกตะกอนจะเกิดขึ้นจากเติมเรนเนทลงไปในน้ำนม pH เคซีนจะตกตะกอนคือ 4.6 - 4.7 (Isoelectric Point)

เรนเนทมีเอนไซม์เรนนินเป็นส่วนประกอบสำคัญ เอนไซม์เรนนินจะทำปฏิกิริยา 2 ชั้น คือ เปลี่ยนเคซีนเป็นพาราเคซีนแล้วทำการตกตะกอนพาราเคซีน พาราเคซีนจะดูดเอาแคลเซียมไอออนส์เข้าไปแล้วทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น ซึ่งเท่ากับเป็นการอธิบายว่าเหตุใดการตกตะกอนจึงดีขึ้น เมื่อมีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการตกตะกอน คือ อุณหภูมิ ความเป็นกรด และปริมาณของแคลเซียมไอออนส์อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการตกตะกอน คือ 40 องศาเซลเซียส หรืออาจจะต่ำกว่านี้เล็กน้อย



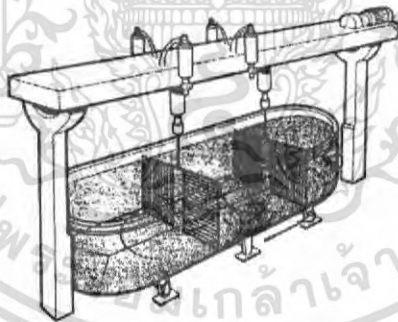
รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของเอนไซม์เรนเนท [5]

เรนเนทเป็นสารที่สกัดมากจากกระเพาะของลูกวัว ซึ่งมีจำหน่ายในรูปของของเหลวและผง อัตราส่วนที่ใช้ประมาณ 1 : 10,000 ถึง 1 : 15,000 ของเรนเนทกับน้ำนม ในเวลา 40 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในปัจจุบันมีผู้พยายามผลิตเรนเนทจากพืช และจากจุลินทรีย์ ปรากฏว่าเรนเนทจากพืช มักจะทำให้เนยแข็งมีรสขม แต่เรนเนทจากจุลินทรีย์ให้ผลดีเท่ากับเรนเนทจากลูกวัว



รูปที่ 2.3 การตักตะกอน[5]

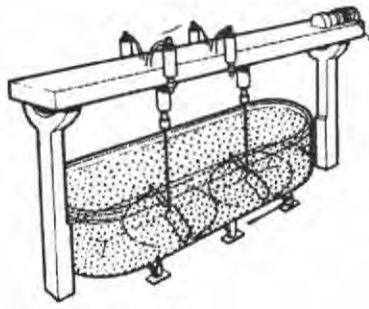
2.1.2.3.2) การตัดเคิร์ด (Curd Cutting) เมื่อการตกตะกอนถึงจุดจะมีลักษณะแน่น ต่อไปก็จะเป็นการตัด เหตุที่จะต้องตัดเคิร์ดก็เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ของเคิร์ดให้มากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้เคิร์ดปล่อยหางเนยออกให้มากที่สุด การตัดเคิร์ดเป็นขั้นตอนที่สำคัญและต้องระมัดระวังมาก เครื่องมือที่ใช้จะออกแบบเป็นพิเศษอาจจะมีลักษณะเป็นใบมีด หรือเป็นเส้นลวดก็ได้ เครื่องตัดเคิร์ดจะตัดให้เป็นก้อนสี่เหลี่ยมเล็กๆ อย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.4 การตัดเคิร์ด[5]

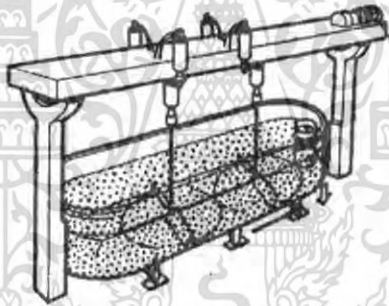
2.1.2.3.3) การกวน (Stirring) หลังจากการตัดเรียบร้อยแล้ว ต่อไปก็จะทำการกวน ซึ่งในปัจจุบันนี้มักจะผลิตเครื่องมือให้ใช้ด้วยกัน โดยการเปลี่ยนหัวจากเครื่องตัดมาเป็นเครื่องกวนแล้วเดินเครื่องช้าๆ เครื่องกวนก็จะหมุนช้าๆ และเคลื่อนไปมาตลอดทั้งเวต (Vat) สิ่งที่ต้องสังเกตระหว่างการกวนก็คือ ทุกส่วนจะต้องได้รับการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อให้แต่ละชิ้นแยกกันอยู่ตลอดเวลา เพราะถ้าปล่อยให้เกาะรวมกันนานเข้าเคิร์ดจะเกาะกันเป็นก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การกวน[5]

2.1.2.3.4) การแยกหางเนย (Whey Drainage) เมื่อกวนจนได้ที่ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 10 – 15 นาที หางเนยส่วนใหญ่จะแยกออกจากเคิร์ดจึงควรปล่อยออก หางเนยที่แยกออกครั้งแรกนี้อาจจะมีมากประมาณ 35 – 50% ของปริมาณน้ำนม การปล่อยหางเนยออก อาจจะกระทำโดยที่ไม่ต้องหยุดการกวน แต่ถ้าจะมีการหยุดจะต้องรีบปล่อยหางเนยออกโดยเร็ว เพราะไม่เช่นนั้นเคิร์ดจะจับตัวกันเป็นก้อนโต การแยกหางเนยออกอาจจะกระทำ โดยการดูดไซฟอนออก หรือบางแนวจะมีรูปปล่อยออกข้างล่างโดยมีตะแกรงรอง ป้องกันไม่ให้เคิร์ด ไหลออกไปด้วย



รูปที่ 2.6 การแยกหางเนย [5]

2.1.2.3.5) การให้ความร้อน (Heating) หลังจากทีปล่อยเอาหางเนยออกไปแล้ว จะมีการเพิ่มความร้อนขึ้น เพื่อให้เคิร์ดปล่อยหางเนยออกมาอีก ระหว่างเพิ่มความร้อนขึ้น จะต้องกวนเร็วและแรงขึ้นกว่าเดิม โดยเฉพาะที่บริเวณก้นถัง อย่าปล่อยให้เคิร์ด กองอยู่ จะทำให้เกิดการเกาะกันเป็นก้อน อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะประมาณ 35 -38 องศาเซลเซียส แล้วแต่ชนิดของเนยแข็งที่จะผลิต ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะเป็นการกระตุ้นปฏิกิริยาของแบคทีเรีย แต่พอเพิ่มอุณหภูมิถึง 44 องศาเซลเซียส จะชะงักการทำงานของแบคทีเรีย การเพิ่มอุณหภูมิในลักษณะเช่นนี้ จึงเป็นการควบคุมการผลิตกรดของแบคทีเรียไปในตัว

2.1.2.3.6) การกวนครั้งสุดท้าย หลังจากการเพิ่มความร้อน จะต้องกวนต่อไปอีกชั่วระยะเวลาหนึ่งระยะนี้จะเป็นระยะที่มีการแยกเอาน้ำออกจากเคิร์ดมากที่สุด การกำหนดที่จะให้เนย

แข็งนุ่มหรือแข็ง จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่กวนครั้งสุดท้ายนี้ ถ้ากวนนานมากจะทำให้ได้เนยแข็งที่มีลักษณะเนื้อแข็งมาก แต่ถ้าทำให้เนยแข็งแห้งมากเกินไป จะทำให้การทำเนยแข็งเป็นรูปร่างยากขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ ระยะเวลาที่กวน ทางเนยที่ถูกแยกออก และอื่นๆ ทุกขั้นตอนนี้จะมีผลต่อคุณภาพของเนยแข็ง ดังนั้นขั้นตอนการผลิตนี้จำเป็นต้องใช้ประสบการณ์สูง จึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอ

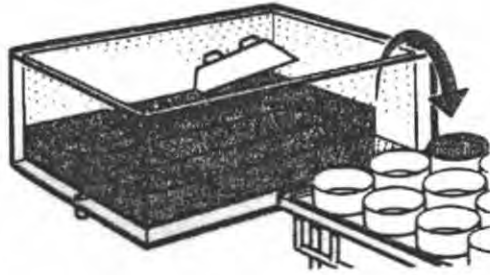
2.1.2.4) การทำให้เคิร์ดเป็นรูปร่าง (Moulding the Curd) ขั้นตอนการผลิตเนยแข็งทุกแบบ มักจะเริ่มคั้นคล้ายคลึงกันในขั้นแรกๆ ตั้งแต่ำนนมดิบจนถึงขั้นตกตะกอน การทำให้เคิร์ดเป็นรูปร่างจะใช้กับเนยแข็งประเภทที่เรียกว่า ราวนด์-อายด์ (Round-eyed) แกรนูลาร์ (Granular) และประเภทเนื้อแน่น (Close-textured) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก. เนยแข็งประเภทราวนด์-อายด์ เป็นเนยแข็งที่ถูกอัดให้แน่น โดยอากาศเข้าไปไม่ได้ ในขณะที่อัดแน่นยังมีหางนมอยู่ด้วย ทำให้ช่องว่างจากอากาศภายนอกไม่มีเลย แต่หลังจากเก็บเนยแข็งไว้ครั้งแรกจะทำการอัดทั้งแวนเดิล (ดังรูปที่ 2.7) หลังจากการอัดครั้งแรกแล้ว จึงทำการตัดให้ได้ขนาดเท่ากับแบบที่มีหรือถ้าแบบเป็นแบบกลม ให้ตัดเล็กกว่าแบบแล้วจึงนำไปอัดอีกครั้งหนึ่งต่อไป

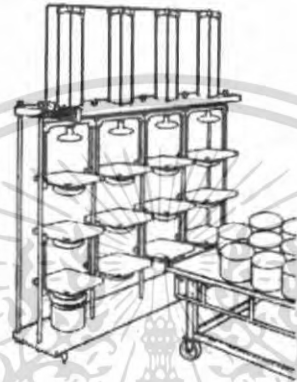


รูปที่ 2.7 การอัดครั้งแรก [5]

ข. ประเภทแกรนูลาร์ ในขณะที่อัดให้แน่นนั้นจะมีอากาศเข้าได้ โดยการแยกเอาหางเนยออกก่อนที่ใส่ลงไปในแบบ แต่ก็ยังมีหางเนยปนมากับเคิร์ดด้วยในขณะที่บรรจุ ดังนั้นในขณะที่จะบรรจุลงไปในแบบนี้จะต้องใช้เครื่องมือพิเศษที่เรียกว่า ตะแกรงที่สั่นในตัว (Vibratory Strainer) เมื่อเทเคิร์ดกับหางเนยลงบนตะแกรง หางเนยก็จะไหลผ่านตะแกรงออกไป ส่วนเคิร์ดที่อยู่บนตะแกรงที่สั่นอยู่ตลอดเวลาจะค่อยไหลลงบรรจุในแบบที่เตรียมไว้รองรับเมื่อบรรจุจนเต็มแบบแล้วจึงนำไปอัดต่อไป



รูปที่ 2.8 การตัดและบรรจุแบบ [5]



รูปที่ 2.9 การอัดครั้งสุดท้าย [5]

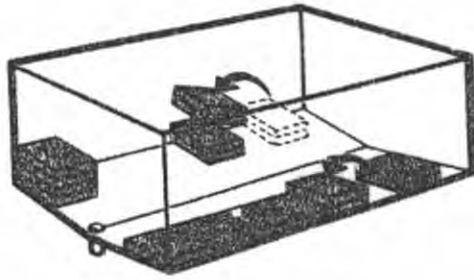


รูปที่ 2.10 ตะแกรงที่สั่นในตัว [5]

ค. ประเภทเนื้อแน่น เนยแข็งพวกนี้เป็นเนยแข็งต้นแบบของเนยแข็งทั้งหมด เนยแข็งที่มีชื่อเสียงของประเภทเนื้อแน่นนี้ เรียกว่า เชดดาร์ (Cheddar) เป็นเนยแข็งที่มีกำเนิดมาจากเมืองเล็ก ๆ ของเกาะอังกฤษ ชื่อเมืองเชดดาร์ ในขณะที่เนยแข็งชนิดนี้ได้รับความนิยมทั่วโลก มีการผลิตในหลายๆประเทศ เครื่องจักรที่ใช้ผลิตในโรงงานใหญ่ๆ ส่วนมากจะเป็นระบบอัตโนมัติ ระบบการผลิตพื้นฐาน ในระยะต้นจะเหมือนกับทั้ง 2 แบบแรก แต่ในตอนจะเริ่มอัดจะแตกต่างกัน โดยแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้จะแยกเอาหางเนยออกจนหมดแล้วจึงเริ่มกระบวนการอัด รายละเอียด เป็นขั้นตอนดังภาพประเภท ซึ่งแสดงเป็นชั้นๆ



รูปที่ 2.11 การอัดให้แน่น [5]



รูปที่ 2.12 การหัน [5]



รูปที่ 2.13 การเติมเกลือ [5]

หลังจากปล่อยหางเนยให้ไหลออกไปหมดแล้วปล่อยไว้อีก 15 นาที ตัดเป็นชั้นๆ เป็นสี่เหลี่ยมแล้วจับวางซ้อนกันเป็นคู่ๆ เพื่อจับหางเนยออกอีกประมาณ 20 นาที แล้วเพิ่มเป็นชั้น 3 ชั้น โดยเอาอันล่างขึ้นข้างบน และเพิ่มชั้นทุกๆ 15 นาที ในระหว่างนี้ การสร้างกรดภายในเคิร์ดยังคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดำเนินไปเรื่อยๆจนหมด ต่อจากนั้นจึงสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยเครื่องสับเติมเกลือแล้วเครื่องคลุกให้เข้ากันจนได้ที่แล้วจึงบรรจุลงแบบ เพื่อไปทำการอัด

การอัดอาจจะใช้วิธีหาวัตถุหนักๆมาทับหรือใช้น้ำหนักของเนยแข็งเอง วิธีนี้จะใช้กับเนยชนิดนุ่ม โดยมีความชื้นสูง แต่ถ้าต้องการให้มีความชื้นน้อยลงจึงใช้น้ำหนักขึ้นทับอัตราความกดดันที่ใช้ประมาณ 40 – 50 kPa ใช้เวลา ประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง สำหรับเนยที่มีความชื้นปานกลาง ส่วนพวกที่มีความชื้นน้อยจะใช้แรงกดประมาณ 100 – 150 kPa เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่บางชนิด ก็ใช้ความกด 40 – 50 kPa แต่ใช้ เวลา 24 – 48 ชั่วโมง

การเติมเกลือ

เกลือที่ใช้เติมลงไปเนยแข็ง เป็นเกลือธรรมดาที่ใช้กันทั่วไป โซเดียมคลอไรด์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการเติมดังนี้

ก. เพื่อเป็นตัวควบคุมการผลิตกรดในเนยแข็ง โดยที่จุลินทรีย์ให้เป็นไปตามต้องการ จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความทนต่อปริมาณเกลือไม่เท่ากัน เช่น แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก สามารถทนต่อความเข้มข้นของเกลือได้สูงกว่า 0.5% ถ้าการเติมเกลือได้ทำในตอนแรกๆ ของกระบวนการผลิต ดังนั้น การเติมเกลือจึงมีบทบาทมากในการพัฒนาลักษณะต่างๆ ของเนยแข็ง แบคทีเรียที่ผลิตกรดบิวทีริกสามารถทนกรดได้ ถึง 2% ดังนั้นการป้องกันการผลิตกรดบิวทีริกนี้จะได้โดยการเพิ่มปริมาณเกลือขึ้น

ข. เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเนื้อให้ดีขึ้น การที่เนื้อของเนยแข็งจะมีความแน่นและสม่ำเสมอขึ้นอยู่กับ การละลายของพาราเคซีน (Paracasein) เนื่องจากพาราเคซีนจะละลายได้ดี ถ้ามีปริมาณเกลือประมาณ 5% ดังนั้นจึงมักจะเติมเกลือ ในปริมาณดังกล่าว

ค. เพื่อปรับปรุงให้กลิ่นดีขึ้น ตามปกติเกลือนับได้ว่าเป็นเครื่องชูรสในอาหารอย่างหนึ่งอยู่แล้ว โดยเฉพาะเนยแข็งเป็นอาหารที่มีปริมาณ โปรตีนสูง ถ้ามีเกลือจะทำให้รสชาติดีขึ้น ปริมาณเกลือที่ใช้จะปรับให้เข้ากับระยะของการบ่มและกลิ่นเนยที่มีกลิ่นอ่อนจะใส่เกลือน้อยกว่าเนยที่มีกลิ่นแรง

2.2 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบเครื่องผลิตเนยแข็ง [6]

1. นำนมสดพร้อมไขมันผ่านกระบวนการ Pasteurize 65 °C นาน 30 นาที และทำให้เย็นลงรวดเร็วถึง 4 °C เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

2. ทำนมพาสเจอร์ไรซ์มาอุ่นที่อุณหภูมิ 32 °C โดยใช้การให้ความร้อนผ่านทางน้ำไปสู่อุณหภูมิที่เป็นภาชนะบรรจุนม pasteurize และเติมเชื้อจุลินทรีย์ (starter cultures) และ Enzyme (rennet)

เพื่อให้นมมีค่าความเป็นกรด โดยน้ำตาล lactose ในน้ำนมจะเกิดการเปลี่ยนเป็นกรด lactic แล้วคนเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์และ Enzyme ผสมในน้ำนมก่อน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 32 °C นาน 30 นาที เพื่อให้นมจับตัวกันเป็นก้อนลิมที่เรียกว่า Curd และมีของเหลวแยกออกมาเรียกว่า Whey

3. ตัดก้อน Curd ที่จับตัวกันและคนตลอดเวลานาน 15 นาที เพิ่มอุณหภูมิของส่วนผสมของ Curd กับ Whey ให้เป็น 36.7 °C นาน 1 ชม. กับ 15 นาที ปล่อยทิ้งไว้ให้ก้อน Curd จับตัวกันแน่นภายใต้ Whey ประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นถ่าย Whey ออกจากภาชนะจนหมด

4. ก้อน Curd จะจับตัวกันแน่นเป็นแผ่น ให้ตัดให้เป็นชิ้น ทิ้งไว้จนกระทั่งนำไปวัดค่า pH ให้ได้ตามที่ต้องการ แล้วบดชิ้น Curd ให้เป็นชิ้นเล็กๆ

5. นำ Curd ชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในแม่พิมพ์ทรงกระบอก และนำไปอัดด้วยความดัน 40 ปอนด์/ตารางนิ้ว นาน 30 นาที ด้วยเครื่องอัด Hydraulic จะได้เป็นก้อน Cheese หรือก้อนเนยแข็ง

6. นำก้อนเนยแข็งไปแช่ในน้ำเกลืออิ่มตัว ที่มีอุณหภูมิ 30 °C นาน 48 ชั่วโมง

7. นำชิ้นมาจากน้ำเกลือ แล้วเคลือบไข (Wax) และนำไปห่อสุญญากาศ แล้วจึงนำไปเก็บบ่มในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 7 °C เป็นเวลานานแล้วแต่ต้องการ ช่วงอายุการเก็บบ่มมีตั้งแต่ 2-3 สัปดาห์ จนถึง 24 เดือน

2.3 ทฤษฎีกระบวนการถ่ายเทความร้อน [7]

การถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบ

2.3.1 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนคือ การให้ความร้อนแก่ตัวกลาง (โดยส่วนมากเป็นของไหล เช่น อากาศหรือน้ำ) จากนั้นก็จะพาตัวกลางที่ทำให้ร้อนเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมาย ข้อเสียของวิธีนี้คือ ความร้อนของวัสดุเป้าหมายจะขึ้นช้า และจะมีการสูญเสียความร้อนมาก อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังคงเป็นที่นิยมที่สุดเนื่องจากเป็นระบบที่ง่ายแก่การเข้าใจ สามารถหาแหล่งความร้อนได้ง่าย เช่น น้ำมัน ก๊าซ หรือฮีตเตอร์ต่างๆไป

1) การพาโดยบังคับ (Force convection)

การพาโดยธรรมชาติ คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็ง โดยกลไกภายนอกเช่น พัดลม

2) การพาโดยธรรมชาติ (Free of natural convection)

การพาโดยธรรมชาติ คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระห่างผิวของแข็งและของไหลโดยไม่มีกลไกใดๆ ที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้ผิวของของแข็งก็อาจจะเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพา ดังนี้ คือ

$$q = h_c A (T_h - T_c) \quad (2.1)$$

เมื่อ q = อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

A = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนเคลื่อนที่ (m^2)

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)

T_h = อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (K)

T_c = อุณหภูมิที่เย็นกว่า (K)

2.3.2 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน จะคล้ายกับการพาความร้อน แต่จะใช้ตัวกลางที่มีการนำความร้อนได้ดีซึ่งมักจะเป็นโลหะ ความร้อนจะถูกนำมาจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งโดยที่ตัวกลางเองจะไม่เคลื่อนที่

หลักการคำนวณของการนำความร้อนถูกตั้งขึ้นโดย โจเซฟ โฟริเออร์ (Joseph Fourier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส โฟริเออร์ ได้เสนอสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณ อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำ ในปี ค.ศ. 1822 โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองดังนี้

$$Q = -kA \left[\frac{dT}{dx} \right] \quad (2.2)$$

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

k = ค่าการนำความร้อน ($W/m K$)

A = พื้นที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทาง

ก. การนำความร้อนผ่านผนังราบชั้นเดียว

เราพิจารณาเฉพาะการเคลื่อนที่ของความร้อนในทิศทาง X หรือ อาจกล่าวได้ว่า อุณหภูมิ เปลี่ยนเฉพาะในทิศทาง X และอุณหภูมิมีค่าคงที่ในทิศทาง Y และ Z และในผนังไม่มีแหล่งจ่าย พลังงานอื่น จากเงื่อนไขเหล่านี้ และจากสถานะสมำเสมอเราได้ว่า

$$Q = \left[\frac{kA}{l} \right] (T_1 - T_2) \quad (2.3)$$

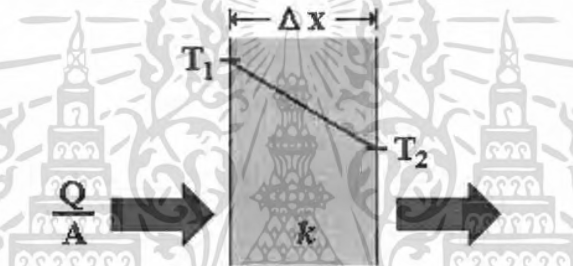
เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

k = ค่าการนำความร้อน (W/m K)

A = พื้นที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน (m^2)

$T_1 - T_2$ = ความแตกต่างของอุณหภูมิ (K)

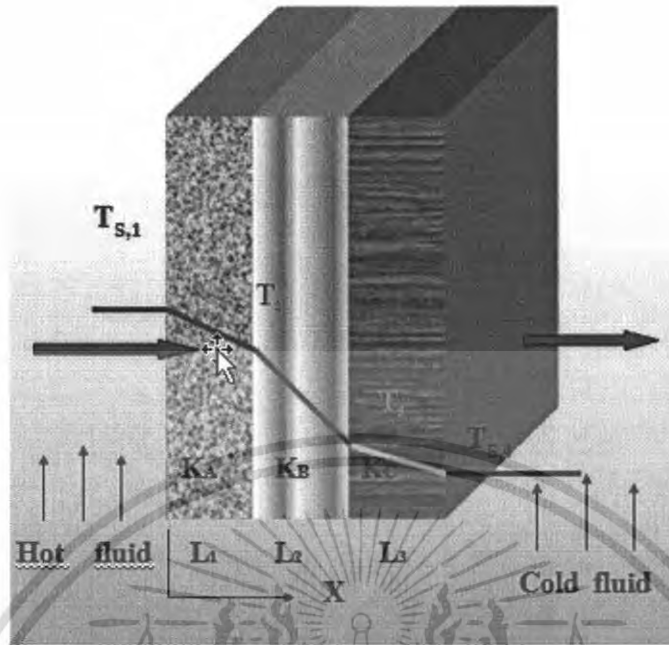
l = ความยาวหรือความหนา (m)



รูปที่ 2.14 การนำความร้อนผ่านผนังหนึ่งชั้น [7]

ข. การนำความร้อนผ่านผนังหลายชั้น

โดยปกติแล้วเรามักจะต้องการให้มีการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด ซึ่งก็จะทำได้โดยการใช้ ผนังที่ทำด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนความร้อน นั่นก็คือ วัสดุที่มีค่า k ต่ำ แต่วัสดุที่มีค่า k ต่ำมากมักจะ ไม่แข็งแรง ไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นโครงสร้าง ในทางปฏิบัติมักใช้วัสดุชนิดมากกว่า 1 ชนิดในการสร้าง ผนัง ซึ่งมักประกอบด้วยวัสดุที่แข็งแรง เช่น โลหะ แล้วนำฉนวน ฉนวนความร้อน ดังนั้นจึงควรมี สมการที่จะใช้คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังที่มีหลายชั้น



รูปที่ 2.15 ผนัง 3 ชั้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังซึ่งมีความหนาและค่า K เท่ากัน [7]

$$q_x = \left[\frac{T_{s,1} - T_{s,4}}{\sum R_r} \right]$$

$$R_r = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{K_A A} + \frac{L_2}{K_B A} + \frac{L_3}{K_C A} + \frac{1}{h_4 A}$$

(2.4)

เมื่อ q_x = อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ในแนวแกน X

$T_{s,1} - T_{s,4}$ = ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}$ K)

A = พื้นที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน (m^2)

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)

K = ค่าการนำความร้อน ($W/m.K$)

2.3.3 การแผ่รังสี (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน คือ พลังงานที่ถูกส่งออกไปโดยที่อุณหภูมิจำกัดแน่นอนจนถึงแม้ว่าเราจะเน้นการแผ่รังสีจากวัตถุแข็งก็ตาม การส่งออกของรังสีอาจเกิดขึ้นได้จากของเหลวและก๊าซ ดังนั้นโดยไม่คำนึงถึงรูปของสาร การส่งออกรังสี หรือว่า เป็นการเปลี่ยนการจัดเรียงตัวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนขององค์ประกอบอะตอม หรือ โมเลกุล พลังงานของสนามการแผ่รังสีนั้นจะถูกนำออกไปโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่การถ่ายพลังงานโดยการนำหรือการพาต้องการวัตถุตัวกลางแต่การแผ่รังสีไม่ต้องการ ในความเป็นจริงการถ่ายเทโดยการแผ่รังสีเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดในสุญญากาศ

ใน ค.ศ. 1884 สตีเฟนและโบลซ์แมน (Stefen and Boltsman) ได้เสนอสมการในการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนสูงสุด ในการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีพื้นที่ A และอุณหภูมิ T ดังนี้

$$Q = \epsilon \sigma AT^4 \quad (2.5)$$

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

ϵ = ค่าการแผ่รังสี (Emissivity)

σ = ค่าคงที่ของ สตีเฟนและ โบลซ์แมน ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

A = พื้นที่ผิวของตัวแผ่รังสี (m^2)

T = อุณหภูมิของตัวแผ่รังสี (K)

2.4. ภาวะที่มีการสูญเสียความร้อนผ่านผนัง [8]

คือ การสูญเสียความร้อนที่ผ่านผนังโดยการนำความร้อนจากภายในสู่ภายนอก เนื่องจากไม่มีฉนวนที่สมบูรณ์ในการป้องกันการนำความร้อนจากภายในมายังภายนอกห้อง

การคำนวณหาตัวประกอบของความร้อนที่ผ่านผนัง

ปริมาณความร้อนที่สูญเสียในบริเวณผนังต่อหน่วยเวลา เป็นฟังก์ชันของตัวประกอบ 3 ตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการดังต่อไปนี้

$$Q = UA\Delta T \quad (2.6)$$

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

U = พื้นที่ผิวของผนังที่มีการถ่ายเทความร้อน (m^2)

A = สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด ($\text{W/m}^2\text{K}$)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิว (K)

การคำนวณหาตัวประกอบ U

ตัวประกอบ U ของวัสดุชนิดใดๆที่ใช้ทำผนังประกอบด้วยค่าของ Conductivity หรือ Conductance ดังตาราง เป็นค่าของ Conductivity หรือ Conductance ของวัสดุที่ใช้บ่อยๆ

Thermal conductivity หรือตัวประกอบ “k” ของวัสดุกำหนดในหน่วยวัตต์ต่อเมตรต่อองศาเคลวิน (W/m K) และตัวประกอบ “k” ใช้กับวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งหมด และกำหนดค่าความหนาของวัสดุ 1 เมตร ส่วน Thermal conductance หรือ ตัวประกอบ “c” ใช้ได้กับวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน และวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีหน่วยเป็น W/m²K

สำหรับวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน Thermal conductance คำนวณ ได้โดยเอาความหนาของวัสดุ ดังกล่าวไปหารตัวประกอบ k

$$\text{เพราะฉะนั้น } c = \frac{k}{x}$$

เมื่อ $x =$ ความหนาของวัสดุ (m)

ถ้าอัตราความร้อนที่แพร่กระจายผ่านวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ความต้านทานของผนังหรือวัสดุในการให้ความร้อนไหลผ่านเป็นสัดส่วนกลับกับความสามารถของผนังหรือวัสดุในการให้ความร้อนผ่าน ดังนั้นความต้านทานความร้อนทั้งหมดของผนังสามารถที่จะแสดงจำนวนตัวเลขตรงกันข้ามกับสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านความร้อนทั้งหมด ส่วนความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดสามารถที่จะแสดงตัวเลขกลับกับ Conductivity หรือ conductance ด้วย

$$\text{ความต้านทานความร้อนทั้งหมด, } R = \frac{1}{U}$$

$$\text{ความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด } r = \frac{1}{k} \text{ หรือ } \frac{1}{c} \text{ หรือ } \frac{x}{k}$$

เมื่อผนังมีวัสดุหลายชั้นที่ใช้ทำและแตกต่างกัน ความต้านทานความร้อนทั้งหมดของผนัง เป็นผลรวมของความต้านทานของวัสดุแต่ละชนิดในโครงสร้างของผนังดังนี้

$$\frac{1}{U} = \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \dots + \frac{x}{k_n}$$

เพราะฉะนั้น

$$U = \frac{1}{\frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \dots + \frac{x}{k_n}}$$

2.5.รายละเอียดการคำนวณภาวะความร้อน [9]

2.5.1 ปริมาณความร้อนที่ใช้ต้มของเหลวหรือสารละลาย คำนวณจากสมการดังนี้

$$Q = mC\Delta T \quad (2.7)$$

เมื่อ m = มวลของสารละลาย

C = ความจุความร้อนจำเพาะของของเหลว

ΔT = อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ถึงอุณหภูมิที่ต้องการ)

ทั้งนี้อัตราของความร้อนป้อนเข้าก็คือปริมาณความร้อนที่ต้องการหารด้วยระยะเวลาอุ่นถึงต้มจนถึงจุดใช้งาน

2.5.2 ปริมาณความร้อนที่ให้กับโครงสร้างหรือตัวของถังต้ม คำนวณจากสมการดังนี้

$$Q = mC\Delta T$$

เมื่อ m = มวลของโลหะที่ใช้ทำถังต้ม

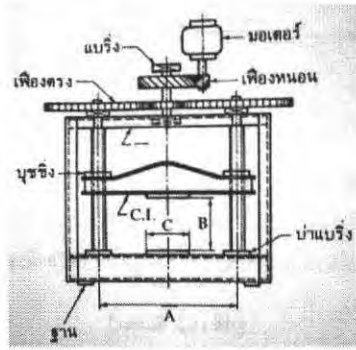
C = ความจุความร้อนจำเพาะของโลหะ

ΔT = อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของโลหะ

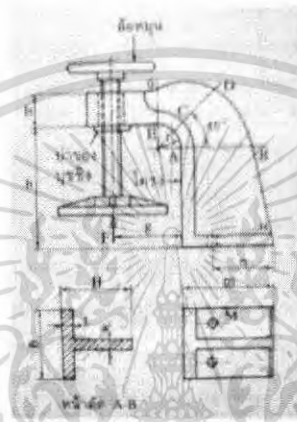
โดยทั่วไปปริมาณความร้อนส่วนนี้มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนส่วนอื่นๆ และสามารถตัดทิ้งได้

2.6 ทฤษฎีสกรูส่งกำลัง [10]

สกรูส่งกำลัง (Power screws) เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในเครื่องจักรกลเพื่อเปลี่ยนการหมุนเป็นการเลื่อน ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สกรูเลื่อน (Translation screws) นอกจากนี้จะใช้เปลี่ยนการหมุนเป็นการเลื่อนแล้ว สกรูส่งกำลังยังใช้ในการยกน้ำหนักที่ตัวสกรูรับอยู่อีกด้วย ตัวอย่างของสกรูส่งกำลังที่ใช้ในเครื่องจักรกลต่างๆ ได้แก่ สกรูเพรส (Screw Press) สำหรับใช้กดรีนงานให้มีรูปร่างตามต้องการ ดังรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17



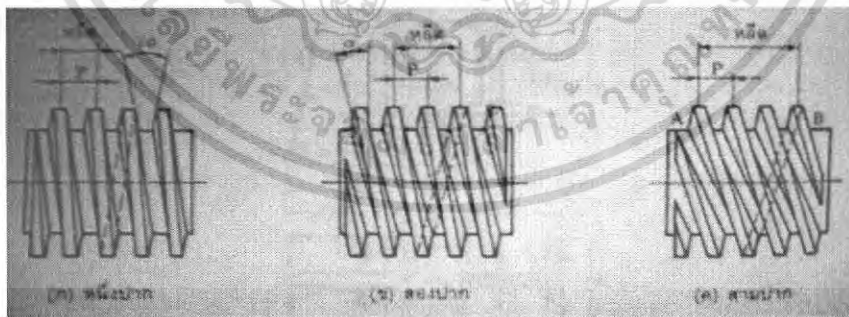
รูปที่ 2.16 สกรูเพรส [10]



รูปที่ 2.17 สกรูเพรส [10]

2.6.1 คำจำกัดความ

ก่อนที่จะกล่าวถึงชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง จำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจกับคำจำกัดความบางคำซึ่งจะต้องใช้อยู่เสมอโดยพิจารณาจากรูปที่ 2.5 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.18 เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู [10]

ระยะพิทช์ ; P หมายถึงระยะทางที่วัดตามแนวแกนของสกรูจากจุดหนึ่งบนเกลียวหนึ่ง ไปยังจุดเดียวกันของเกลียวที่อยู่ถัดไป

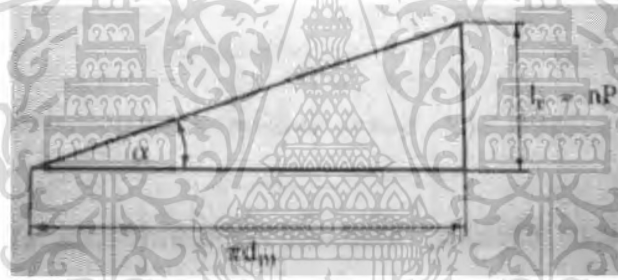
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลิศ (Lead) ; l_c คือระยะทางที่สกรูเคลื่อนที่ได้ตามแนวแกนของสกรู ในขณะที่สกรูหมุนไปหนึ่งรอบ ถ้าเป็นสกรูหนึ่งปาก (Single thread) ระยะของหลิศมีค่าเท่ากับระยะพิตซ์ สำหรับสกรูสองปาก (Double thread) เกลียวจะมีปากคาบระหว่างเกลียวสองเกลียว ดังรูปที่ 2.5 (ข) ดังนั้นเมื่อสกรูหมุนไปหนึ่งรอบ การเคลื่อนที่ในแนวแกนของสกรูจึงเป็นสองเท่าของระยะพิตซ์ ในทำนองเดียวกันสำหรับสกรูสามปาก (Triple thread) หลิศจะมีค่าเป็นสามเท่าของระยะพิตซ์ ถ้าสกรูเป็นแบบ n ปากระยะของหลิศคือ

$$l_c = np \quad (2.8)$$

มุมฮิลิกซ์หรือมุมหลิศ (Helix or lead angle) ; α หมายถึงมุมระหว่างระนาบที่สัมผัสกับความเอียงของเกลียวและระนาบที่ตั้งฉากกับแกนของสกรู ถ้าให้ d_m เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของสกรู และนำส่วนที่สกรูเคลื่อนที่ไปในขณะที่หมุนหนึ่งรอบมาเคลื่อนออก ก็จะได้อัตลักษณ์ดังรูปที่ 2.6 และมุมหลิศคือ

$$\tan \alpha = \frac{l_c}{\pi d_m} \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.19 มุมหลิศ [10]

เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของสกรู ซึ่งนับรวมถึงความสูงของเกลียวด้วย ขนาดระบุ (Nominal size) ของสกรูส่งกำลังจะบอกโดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เสมอ

เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของสกรู

2.6.2 ชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง

สกรูส่งกำลังที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ส่วนมากจะมีขนาดตามหน่วยระบบอังกฤษ ส่วนเครื่องจักรที่จะผลิตออกมาในอนาคตจะค่อยๆเปลี่ยนแปลงไปใช้ในระบบหน่วยเอสไอ ซึ่งสำหรับสกรูส่งกำลังแล้วรูปร่าง และขนาดของเกลียวจะเป็นไปตามมาตรฐานระหว่างประเทศ ในที่นี้จะ

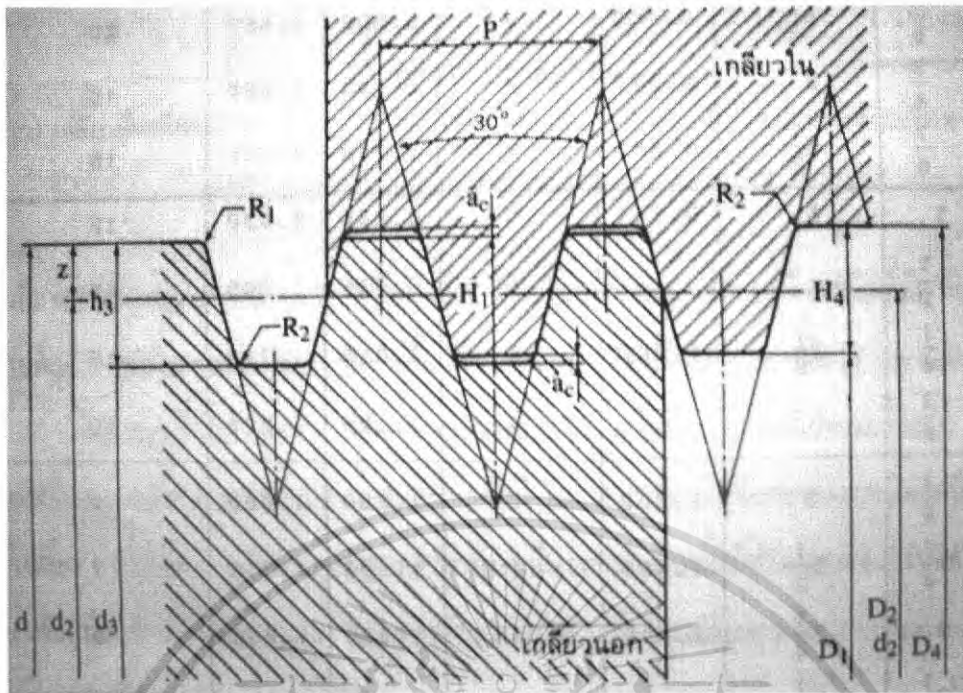
กล่าวถึงเกลียวที่มีใช้กันมากในระบบหน่วยอังกฤษและเกลียวที่มีอยู่ตามมาตรฐานระหว่างประเทศเท่านั้น

เกลียวแอกมี (Acme thread) หรือเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นเกลียวชนิดที่มีการใช้งานมาเป็นเวลานานที่สุด รูปร่างของเกลียวเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยมีมุมของเกลียว (Thread angle) 2Φ เท่ากับ 29° เนื่องจากตัดเกลียวได้ง่ายจึงมีการนำมาใช้งานเรื่อยมา ประสิทธิภาพของเกลียวชนิดนี้จะน้อยกว่าเกลียวสี่เหลี่ยม ถ้าเกิดความสึกหรอหลังจากใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่งก็สามารถที่จะปรับให้เกลียวของสกรูกับเกลียวตัวเมียได้สนิทเหมือนเดิม โดยการขันเกลียวตัวเมียซึ่งเป็นแบบ Split nut เข้าไปให้กระชับกับเกลียวของตัวสกรูได้

2.6.3 เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ไอเอสโอ

ขนาดเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ไอเอส โอ บอ ก มิ ตี ต่ า ง ๆ เป็น mm และมีมุมของเกลียว 2Φ เท่ากับ 30° ขนาดต่างๆของสกรูส่งกำลังชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.7 คำนวนได้จากสมการต่อไปนี้คือ

$$\begin{aligned} H_1 &= 0.5p & D_4 &= d+2a_c \\ H_4 &= H_1+a_c = 0.5P+a_c & d_3 &= d-2h_3 \\ h_3 &= H_1+a_c & R_{1max} &= 0.5a_c \\ z &= 0.25p = \frac{H_1}{2} & R_{2max} &= a_c \\ D_1 &= d-2H_1 = d-p & d_2 &= D_2 = d-2z = d-0.5P \end{aligned}$$



รูปที่ 2.20 ขนาดต่างๆของเกิลียวที่เหลี่ยมคางหมู

- โดยที่
- a_c คือช่องว่างบนยอดฟัน
 - D_4 คือเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ของเกิลียวใน
 - D_1 คือเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยของเกิลียวใน
 - D_2 คือเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเกิลียวใน
 - d คือเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ของเกิลียวนอก (เป็นขนาดครุรูปด้วย)
 - d_3 คือเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยของเกิลียวนอก
 - d_2 คือเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเกิลียวนอก
 - H_1 คือความสูงเหลื่อม (Overlapping) ของเกิลียว
 - H_4 คือความสูงของฟันเกิลียวใน
 - h_3 คือความสูงของฟันเกิลียวนอก
 - p คือระยะพิตช์

2.6.4 การให้ชื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบอกขนาดของสกรูส่งกำลังตามมาตรฐานระหว่างประเทศ ซึ่งมีเกลียวเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูทำได้ดังนี้คือ

สำหรับเกลียวหนึ่งปาก ให้ใช้อักษร Tr แล้วตามด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่และระยะพิตช์เป็น nm(นาโนเมตร) โดยมีเครื่องหมาย x คั่น ตัวอย่างเช่น

สกรูส่งกำลังแบบเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูหนึ่งปาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ 52 nm ระยะพิตช์ 8 nm เรียกว่า Tr 52x8

สำหรับสกรูส่งกำลังที่มีมากกว่าหนึ่งปาก ให้ใช้อักษร Tr แล้วตามด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ความยาวของหลิต และตามด้วยระยะพิตช์ ซึ่งใส่ไว้ในวงเล็บ ตัวอย่างเช่น

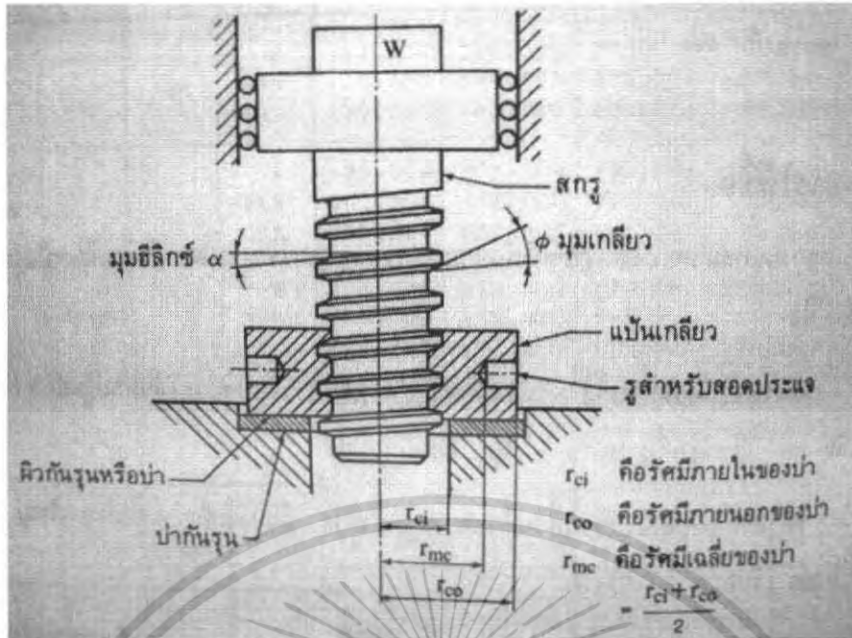
สกรูส่งกำลังแบบเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูสองปาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ 52 nm ความยาวของหลิต 16 nm และระยะพิตช์ 8 nm (จำนวนปาก = $1/p = 16/8 = 2$) เรียกว่า Tr 52x16 (p8)

สกรูส่งกำลังแบบเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูสามปาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ 52 nm ความยาวของหลิต 24 nm และระยะพิตช์ 8 nm เรียกว่า Tr 52x24 (p8)

การบอกขนาดของสกรูส่งกำลังดังกล่าวมาแล้วนี้ เป็นการบอกถึงขนาดของเกลียวชนิดเกลียวขวา ซึ่งการหมุนเข้าไปในทิศตามเข็มนาฬิกา ถ้าต้องการจะบอกถึงเกลียวชนิดเกลียวซ้ายให้เพิ่มอักษร LH ไปที่ตอนท้าย เช่น Tr 52x16 (p8) LH เป็นต้น

2.6.5 โหมดบีตสำหรับหมุนสกรูส่งกำลัง

พิจารณาสกรูส่งกำลังดังรูปที่ 2.8 ซึ่งมีมุมเฮลิคัล α องศา และมุมเกลียวของสกรู Φ องศา ในการยกน้ำหนัก W ขึ้นลง ทำได้โดยการหมุนแป้นเกลียวซึ่งตั้งอยู่บนที่รองรับ เรียกว่า บ่า (Collar) สมมติให้แรง F ที่ใช้ยกน้ำหนักขึ้นกระทำอยู่บนเกลียวที่มีรัศมีเฉลี่ยของสกรู $r_m = (r_o + r_i)/2$ ณ ตำแหน่ง 0 ในขณะที่ยกน้ำหนักขึ้นจะมีแรงเสียดทาน F_f กระทำบนผิวหน้าของเกลียวด้านการเคลื่อนที่ของสกรู



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการใช้สกรูส่งกำลังเป็นแม่แรง [10]

- โดยที่ F_n คือแรงปฏิกิริยาซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับผิวหน้าของเกลียว
 OA คือเวกเตอร์ของแรงที่มีขนาดเท่ากับน้ำหนัก W แต่ทิศทางตรงข้าม
 OB คือเวกเตอร์ของแรงรวมระหว่างแรง F_f และ OA
 f_s คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าของเกลียวและเป็นเกลียว
 รวมแรงในแนวตั้งจะได้

$$F_n \cos \Phi_n \cos \alpha = W + F_f \sin \alpha$$

แต่ $F_f = f_s \times F_n$ แทนค่าลงในสมการข้างบนนี้จะได้ว่า

$$F_n = \frac{W}{\cos \Phi_n \cos \alpha - f_s \sin \alpha} \quad (2.10)$$

ในการหาโมเมนต์บิดที่เกิดจากการใช้แรง F เพื่อยกน้ำหนักขึ้น ให้รวมโมเมนต์รอบแกนกลางของสกรู

$$T_R = Fr_m = r_m \{ F_f \cos \alpha + F_n \cos \Phi_n \sin \alpha \}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_R = r_m \{ f_s F_n \cos \alpha + F_n \cos \Phi_n \sin \alpha \}$$

แทนค่า F_n จากสมการที่ (2.10) ลงในสมการข้างบน และให้ d_m แทนเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของสกรู จะได้โมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนัก

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left\{ \frac{f_s \cos \alpha + \cos \Phi_n \sin \alpha}{\cos \Phi_n \cos \alpha - f_s \sin \alpha} \right\}$$

หรือ

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left\{ \frac{f_s + \cos \Phi_n \tan \alpha}{\cos \Phi_n - f_s \tan \alpha} \right\} \quad (2.11)$$

ในการใช้สมการที่ (2.11) จำเป็นที่จะต้องทราบมุม Φ_n ซึ่งสามารถหาได้ ดังนี้

$$\tan \Phi_n = \frac{BC}{OB}$$

แต่ $BC = AE = OA \tan \Phi = OB \cos \alpha \tan \Phi$

เพราะฉะนั้น $\tan \Phi_n = \cos \alpha \tan \Phi$ (2.12)

โดยปกติแล้วมุมฮิลิกซ์ α จะมีค่าน้อย (ประมาณ 2° ถึง 6°) ดังนั้นค่าของ $\cos \alpha$ จึงเกือบเท่ากับ 1 ฉะนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณต่างๆ ไปจึงอนุญาตให้ใช้ $\Phi_n = \Phi$ ได้ ซึ่งทำให้เขียนสมการที่ (2.11) ใหม่ได้เป็น

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left\{ \frac{f_s + \cos \Phi \tan \alpha}{\cos \Phi - f_s \tan \alpha} \right\} \quad (2.13)$$

ในกรณีของสกรูส่งกำลังที่มีเกลียวสี่เหลี่ยม มุม $\Phi = 0^\circ$ จากสมการที่ (2.13) จะได้โมเมนต์บิดที่ใช้ยกน้ำหนัก W เท่ากับ

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left\{ \frac{f_s + \tan \alpha}{1 - f_s \tan \alpha} \right\} \quad (2.14)$$

ถ้าพิจารณาแล้ว จะเห็นได้ว่าในกรณีของเกลียวสี่เหลี่ยม แรง F_n จะเท่ากับ OB ซึ่งถ้าให้นำเกลียวจำนวนหนึ่งรอบมาคลี่ออกแล้วจะได้ระบบของแรงที่เห็นได้ชัดเจนกว่า โดยที่มุม β เรียกว่า มุมความเสียดทาน ซึ่ง $\tan \beta = f_s$

เมื่อรวมแรงในแนวตั้งและแนวระดับ จะได้

$$W = R \cos(\alpha + \beta)$$

$$F = R \sin(\alpha + \beta)$$

หรือ $F = W \tan(\alpha + \beta)$

ดังนั้น
$$T_R = \frac{Fd_m}{2} = \frac{Wd_m}{2} \tan(\alpha + \beta)$$

$$= \frac{Wd_m}{2} \left(\frac{\tan \beta + \tan \alpha}{1 - \tan \beta \tan \alpha} \right)$$

หรือ
$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left(\frac{f_s + \tan \alpha}{1 - f_s \tan \alpha} \right) = \frac{Wd_m}{2} \tan(\beta + \alpha)$$

ซึ่งเหมือนกับสมการที่ (2.14) ที่ได้หามาแล้ว

ในการหมุนสกรูเพื่อยกน้ำหนักลงแรง F และ f_s จะกลับทิศทาง การหาสูตรก็ทำได้ในทำนองเดียวกันกับการยกน้ำหนักขึ้น ซึ่งจะได้สมการดังนี้คือ

สำหรับสกรูที่มุมเกลียว Φ องศา

$$T_L = \frac{Wd_m}{2} \left(\frac{f_s - \cos \Phi \tan \alpha}{\cos \Phi - f_s \tan \alpha} \right) \quad (2.15)$$

สำหรับเกลียวสี่เหลี่ยม

$$T_L = \frac{Wd_m}{2} \tan(\beta - \alpha) = \frac{Wd_m}{2} \left(\frac{f_s - \tan \alpha}{1 + f_s \tan \alpha} \right) \quad (2.16)$$

นอกจากแรงที่กระทำต่อสกรูส่งกำลังดังที่ได้กล่าวมาแล้ว สกรูในรูปที่ 2.8 ยังมีแรงเสียดทานที่บ่งรองรับอีกด้วย แรงเสียดทานนี้ทำให้ต้องให้แรงหรือ โมเมนต์บิดในการยกน้ำหนักขึ้นหรือลงมากขึ้น ถ้าให้ F_c แทนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าของบ่งรองรับและเป็นเกลียว แรงเสียดทานจะมีค่าเท่ากับ

$$F_c = f_c W \quad (2.17)$$

ถ้าสมมุติให้แรงเสียดทานนี้กระทำที่รัศมีเฉลี่ยของบ่งรองรับ r_{mc} โมเมนต์บิดที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะความเสียดทานนี้คือ

$$T_{fc} = r_{mc} f_c W \quad (2.18)$$

2.6.6 ประสิทธิภาพของสกรูส่งกำลัง

ประสิทธิภาพของสกรูส่งกำลัง (Power screw efficiency) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนักในขณะที่ไม่มีความเสียดทาน กับ โมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนักในขณะที่มีความเสียดทาน

จากสมการที่ (2.13), (2.14), (2.17) และ (2.18) จะเห็นได้ว่าเมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน $f_s = f_c = 0$ โมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนักคือ

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \tan \alpha \quad (2.19)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (2.17), (2.18) และ (2.19) ประสิทธิภาพของสกรูส่งกำลังเมื่อคิดความเสียดทานที่บารองรับด้วยคือ

สำหรับเกลียวทั่วไป

$$\eta = \frac{d_m \tan \alpha}{d_m \left(\frac{f_s + \cos \Phi \tan \alpha}{\cos \Phi - f_s \tan \alpha} \right) + d_{mc} f_c} \quad (2.20)$$

สำหรับเกลียวสี่เหลี่ยม

$$\eta = \frac{d_m \tan \alpha}{d_m \left(\frac{f_s + \tan \alpha}{1 - f_s \tan \alpha} \right) + d_{mc} f_c} \quad (2.21)$$

โดยที่ d_{mc} เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของบารองรับ ซึ่งเท่ากับ $2r_{mc}$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับวัสดุต่างๆที่ใช้ทำสกรู ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น การหล่อลื่น ความเรียบของผิวหน้าเกลียว การกระจายของแรงบนเกลียว ตลอดจนพิถีพิถันเพื่อและการตั้งศูนย์ สำหรับสกรูที่ผลิตด้วยฝีมือที่ดีก็ควรจะใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่าน้อย แต่ถ้าผลิตด้วยฝีมือไม่ดีก็ควรจะใช้ค่ามาก

2.7 การออกแบบสกรูส่งกำลัง

การคำนวณหาความเค้นในส่วนต่างๆของสกรูส่งกำลังโดยใช้สมการเบื้องต้นเป็นการประมาณค่าของความเค้นที่เกิดขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรขบกันระหว่างเกลียวของสกรูและแป้นเกลียว ตลอดจนการกระจายของแรงบนเกลียวว่าจะเข้าใกล้กับสภาพที่ได้สมมติเอาไว้เพียงใด เกลียวที่อยู่ใกล้กับน้ำหนักอาจจะรับแรงมากกว่าเกลียวที่อยู่ห่างออกไป ความหลวมระหว่างสกรู

และเป็นเกลียวอาจทำให้แรงกระจายไม่สม่ำเสมอ หรือการ โกงของเกลียวอาจทำให้เกลียวบาง เกลียวรับแรงมากเกินไป เป็นต้น แต่สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ไม่อาจจะทราบได้อย่างแน่นอน ในการ ออกแบบควรจะคิดถึงสิ่งต่างๆดังต่อไปนี้

ก. ความเค้นวิกฤติ (Critical or bucking stress) ในการคำนวณหาขนาดของสกรูที่รับแรงกด แต่เพียงอย่างเดียว ถ้าเป็นสกรูสั้นก็สามารถที่จะใช้สมการของความเค้นกด

$$\sigma_c = \frac{W}{A_r} \quad (2.22)$$

เนื่องจากพื้นเกลียวก็จะช่วยรับแรงนี้ด้วย ดังนั้นพื้นที่รับแรง A_r ก็ควรจะมีความใหญ่กว่า พื้นที่ซึ่งคิดที่เส้นผ่านศูนย์กลางน้อย ซึ่งอาจจะประมาณได้ว่าควรจะเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยและเส้นผ่านศูนย์กลางพิทซ์ เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงขอ แนะนำให้ใช้พื้นที่ของเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย

คำว่าสกรูสั้นในที่นี้หมายถึง สกรูซึ่งมีอัตราส่วนความเพริช $L_e/k < 40$ ถ้าหากสกรูมี อัตราส่วนความเพริชมากกว่านี้ สกรูอาจจะเกิดการ โกงงอขึ้นได้ก่อนที่ความเค้นจะถึงค่าที่กำหนด เอาไว้ก็ได้ ในกรณีเช่นนี้การออกแบบสกรูต้องใช้สูตรของเสาแทนสมการที่ (2.17)

สำหรับสกรูที่มีความยาวปานกลางให้ใช้สูตรของจอห์นสัน

$$W = \frac{A_r \sigma_y}{N} \left(1 - \frac{\sigma_y (L_e/k)^2}{4\pi^2 E} \right) \quad 40 < \frac{L_e}{k} < 110 \quad (2.23)$$

สำหรับสกรูยาวให้ใช้สูตรของออยเลอร์

$$W = \frac{\pi^2 EI}{NL_e^2} \quad \frac{L_e}{k} > 110 \quad (2.24)$$

ถ้าวัสดุที่ใช้ทำตัวสกรูไม่ใช่เหล็กกล้า ค่าของความเพริชที่แบ่งระหว่างการใช้สูตรของออยเลอร์และจอห์นสันจะคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{L_e}{k} = \left(\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.25)$$

ข. ความเค้นผสม ถ้าสกรูยาวไม่มากนั้นก็จะไม่เกิดการ โกงงอขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้แรงกดหรือใน บางกรณีสกรูส่งกำลังอาจจะใช้รับแรงดึงก็ได้ นอกจากนี้แล้วก็ยังมีความเค้นเฉือนอันเนื่องมาจาก

การบิดของสกรูอีกด้วย การคำนวณในกรณีเช่นนี้ต้องใช้ความเค้นผสมซึ่งมีอยู่หลายทฤษฎี สำหรับทฤษฎีที่ปลอดภัยและใช้ได้ง่ายก็คือ ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดซึ่งมีสมการเป็น

$$\tau_d = \left(\left(\frac{\sigma}{2} \right)^2 + \tau^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.26)$$

โดยที่ τ_d เป็นค่าความเค้นเฉือนใช้งาน และ

$$\tau = \frac{T_r}{J} = \frac{16T}{\pi d_r^3}$$

โดยที่ d_r คือเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย

ในการใช้ทฤษฎีนี้กับตัวสกรู ขอแนะนำให้ใช้ $\tau_y = 0.6\sigma_y$ แทนที่จะใช้ $\tau_y = 0.5\sigma_y$ ดังเช่นที่กล่าวไว้ในทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ทั้งนี้เป็นเพราะเกลียวของสกรูก็จะช่วยในการรับแรงด้วย แต่มิได้นำมาคิดในการหาความเค้นในตัวสกรู

ค. ความเค้นอัด ความเค้นอัดในที่นี้ หมายถึงความเค้นที่เกิดจากการที่ผิวหน้าของฟันเกลียวของตัวสกรูอัดกับผิวหน้าของฟันเกลียวหรือส่วนที่เป็นเกลียวตัวเมีย ดังรูปที่ 2.6 ในการคำนวณหาความเค้นอัดนี้ให้ใช้พื้นที่ภาพฉายของเกลียวส่วนที่อัดกันอยู่ ถ้าจำนวนเกลียวดังกล่าวนี้เท่ากับ n เกลียวพื้นที่นี้คือ

$$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_r^2) n$$

ดังนั้นความเค้นอัด

$$\sigma_c = \frac{4W}{\pi (d^2 - d_r^2) n} \quad (2.27)$$

ง. ความเค้นเฉือนในฟันเกลียว นอกจากความเค้นต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว ในฟันเกลียวยังเกิดความเค้นดัดและความเค้นเฉือนที่โคนฟันเกลียวอีกด้วย เนื่องจากความสูงของฟันเกลียวมีค่าน้อย ดังนั้น โมเมนต์ดัดที่โคนฟันเกลียวจึงมีค่าน้อยด้วย ฉะนั้นเกลียวส่วนมากจึงทนต่อความเค้นดัดได้ ส่วนความเค้นเฉือนอาจจะมีค่ามาก จากทฤษฎีกลศาสตร์วัสดุ ความเค้นเฉือนสูงสุดสำหรับพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่ากับ

$$\tau = \frac{3W}{2A}$$

ให้ b เป็นความหนาของโคนฟันเกลียว ดังนั้นพื้นที่รับแรงเฉือน

$$A = \pi d_r b n$$

เพราะฉะนั้น

$$\tau_d = \frac{3W}{2\pi d, bn} \quad (2.28)$$

อิมค่า d , นี้ต้องเลือกใช้ที่โคนพื้นเกลียวของสกรูหรือเป็นเกลียว แล้วแต่จะตรวจสอบที่ส่วนไหน

2.8 สแตนเลส (Stainless Steel) [7]

สแตนเลส เป็น โลหะเปลือยประเภท Ferrous Metal ซึ่งมีส่วนประกอบด้วย เหล็ก โครเมียม นิกิล และธาตุอื่นๆอีกเล็กน้อย สแตนเลส มีหลายชนิดสามารถที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความ ต้องการ ได้ โดยปกติผิวของสแตนเลส จะมีสีคล้ายเงินและลักษณะเป็นมัน

สแตนเลส นิยมใช้ทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ภาชนะใส่อาหาร หรืองานเกี่ยวกับ สถาปัตยกรรมอย่างละเอียดที่ต้องการความสวยงามให้ได้ดีทั้งภายนอกภายในตัวอาคารโดยไม่ต้อง ทาสี หรือเคลือบผิวหน้าเพื่อป้องกันการกัดกร่อนด้วยวัสดุอื่นใดทั้งสิ้น คุณสมบัติทาง กายภาพของ สแตนเลส ก็เหมือนโลหะผสมชนิดอื่นๆขึ้นอยู่กับส่วนผสมลงไป สแตนเลส เป็น โลหะที่มีราคาแพงแต่อายุการใช้งานจะนานมาก ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี และเสียค่าใช้จ่ายในการ บำรุงรักษาถูกอีกด้วย เมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่นๆดังนั้น ในการทำงานควรเลือกสแตนเลสให้ เหมาะสมกับการทำงานด้วย

2.9 การเขียนแบบเครื่องทำ Cheese ด้วยโปรแกรม Solid works [11]

การเขียนแบบ โครงสร้างของตัวถังบรรจุนมที่จะทำ Cheese จะต้องใช้โปรแกรมเพื่อสร้าง แบบของตัวถัง ส่วนประกอบต่างๆของตัวถัง เพื่อแสดงให้เห็นถึงขนาด ความกว้าง ความยาว ความ จุกของจริงของเครื่องทำ cheese ดังนั้นจึงต้องนำโปรแกรมมาวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อให้เห็นถึง ลักษณะ องค์ประกอบของชิ้นงาน โดยโปรแกรมที่เลือกใช้คือ Solid works

Solid works มีข้อดีที่ชัดเจนที่สุดเห็นจะเป็นความสามารถในการสร้างชิ้นงาน 3 มิติได้ง่าย และสั่งถอดแบบแปลนอย่างอัตโนมัติ เพียบพร้อมไปด้วยคำสั่งที่ประยุกต์ไปกับงานแต่ละประเภท อีกด้วย เช่น งานสร้างชิ้นงาน 3 มิติ, งานโครงสร้างเหล็ก, งานประกอบชิ้นส่วน, งานโลหะแผ่น, งานแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เป็นต้น

ผู้ออกแบบ สามารถตัดสินใจและคิด ในการเลือกขนาดของชิ้นงานให้เหมาะสม บางครั้ง ตรวจสอบความผิดพลาด หรืออาจจะเปลี่ยนแปลง ความคิดในตอนต้นไปเลย เพราะขณะทำการเขียน นั้น ผู้ออกแบบจะเห็นรูปร่างชิ้นงาน และลักษณะการประกอบชิ้นงานไปพร้อมๆกัน จึงทำให้ สามารถตรวจสอบความพอใจในชิ้นงาน หรือเปลี่ยนแปลงการออกแบบได้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

3.1 แนวทางการออกแบบ

3.1.1 แนวทางการออกแบบ Cheese vat

1. ต้องการขนาดถังสำหรับใช้ในงานวิจัย แบบบนโต๊ะทดลอง
2. ตัวถัง Cheese vat มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส
3. ความสูงตัวถังไม่เกิน 17cm
4. เน้นความยาวของตัวถังไม่ต่ำกว่า 45 cm
5. ใช้น้ำในการให้ความร้อน ประมาณ 5 ลิตร
6. ถังสามารถบรรจุนมได้ ประมาณ 10 ลิตร
7. วัสดุของ Cheese vat ทุกชิ้นต้องเป็นสิ่งที่ใช้กับอาหารได้ เช่น SS 304

3.1.2 แนวทางการออกแบบ เครื่องอัดเนยแข็ง

1. ต้องการเครื่องอัดเนยแข็งเป็นรูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยมและกลม
2. เครื่องอัดเนยแข็งสามารถอัดเนยแข็งทุกชนิดที่ความดันสูงสุด 110 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)
3. สามารถเปลี่ยน โมลด์ ได้ 2 แบบจากแท่นอัดชุดเดียว
4. ขนาดของเนยแข็งที่ได้ต้องมีรูปทรงสมส่วนไม่หนาเกินไป
5. วัสดุของเครื่องอัดเนยแข็งทุกชิ้นต้องเป็นสิ่งที่ใช้กับอาหารได้ เช่น SS 304

3.1.3 แนวทางการออกแบบใบกวน

1. ต้องการ ใบกวนสอบบแบบได้แก่ แบบที่สามารถกวนเนื้อให้เข้ากับน้ำมันและ แบบที่สามารถตัดเนื้อเคิร์ดได้
2. รัศมีขนาดไม่เกิน 11 cm เนื่องจากความกว้างขนาดถังกว้าง 11 cm
3. ความสูงของใบพัดไม่เกิน 14.5 cm เนื่องจากความสูงของถังสูง 14.5 cm
4. ความเร็วในการกวนอยู่ที่ 30 rpm ซึ่งเป็นความเร็วที่เหมาะสมในการทำ Cheese โดยส่วนใหญ่

5. สามารถกวนได้ทั่วทั้งถัง
6. วัสดุของใบกวนทั้ง 2 แบบ ต้องเป็นสิ่งที่ใช้กับอาหารได้ เช่น SS 304

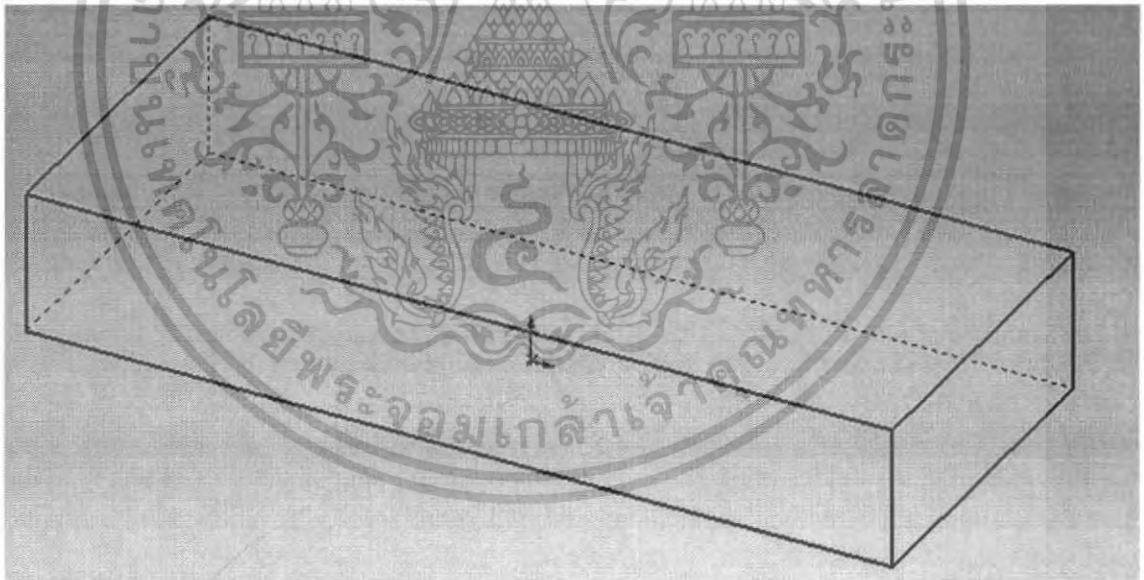
3.2 การคำนวณเพื่อการออกแบบ

3.2.1 การออกแบบถัง Cheese Vat

ก. การหาขนาด Vessel

ได้ทำการออกแบบ ถัง Cheese Vat ให้สามารถทำความร้อนที่จะผลิตเนยแข็ง ทั้งนี้ถังที่ออกแบบจะต้องสามารถรองรับปริมาตรของนมที่จะใช้ในระบบ ดังนั้นถังที่ได้ออกแบบมาจึงเป็นถังที่มีขนาดเล็กสำหรับใช้ในงานวิจัย ไม่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปจึงต้องสั่งทำเป็นพิเศษ ในการคำนวณขนาดของถังดังนี้

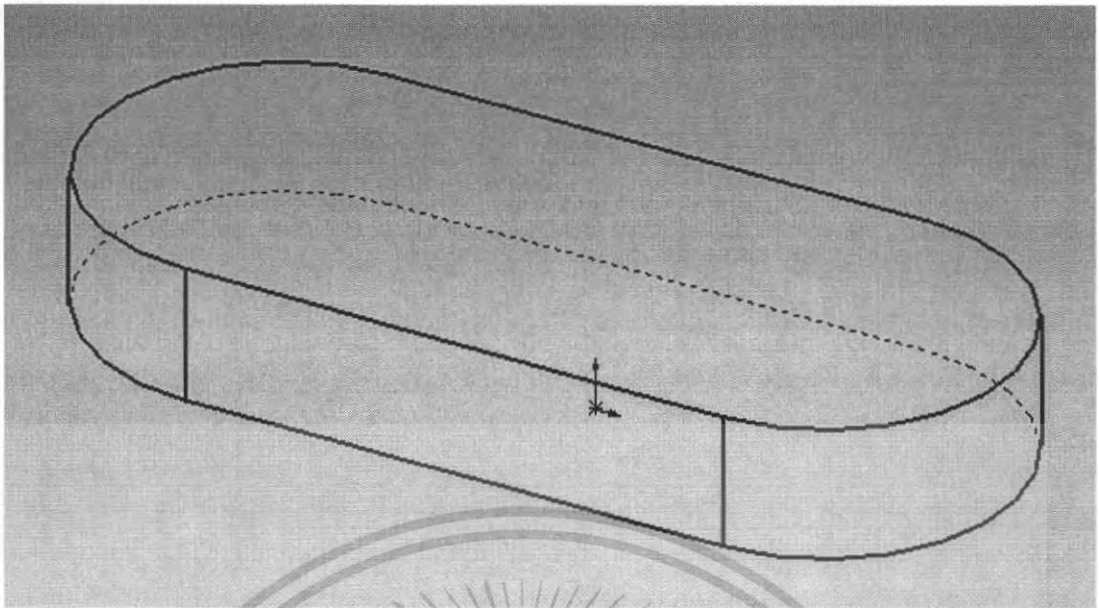
เมื่อต้องการให้ถังสามารถรองรับปริมาตรของนมได้ 10 ลิตร คิดเป็นปริมาตร 0.01 m^3 แต่เนื่องจาก เราคิดระยะเพื่อในขณะเดิมนม นั้นจะไม่เต็มพอดีกับขอบถัง เราจึงได้ปริมาตรถังสำหรับใส่นม ประมาณ 12.5 ลิตร คิดเป็นปริมาตร 0.0125 m^3



รูปที่ 3.1 Vessel ที่ต้องการแบบสี่เหลี่ยม

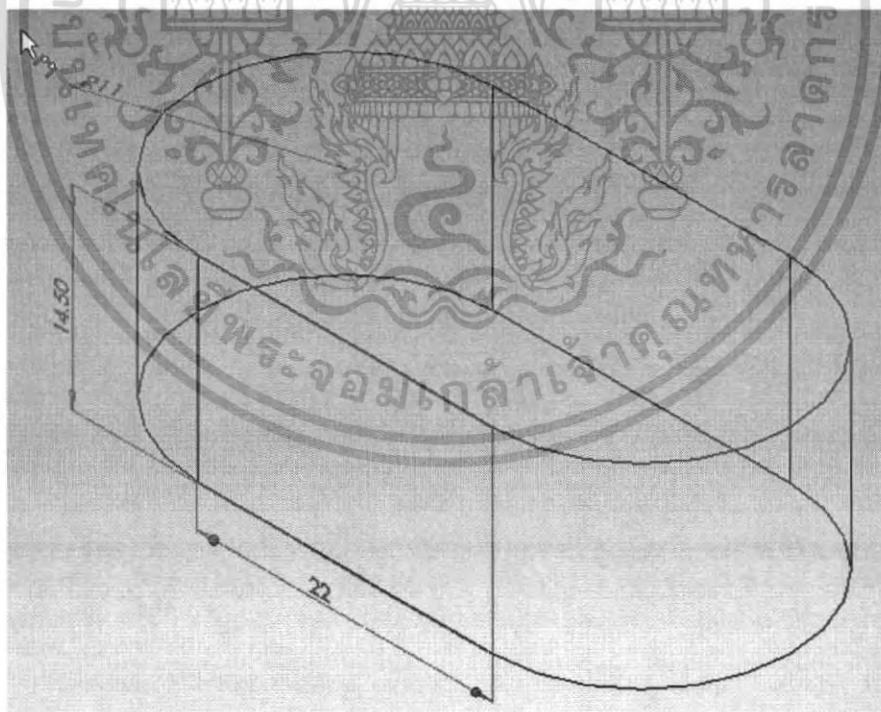
จากรูปที่ 1 จำลอง รูปร่างของถังจากแนวคิด ให้ออกแบบเป็น สี่เหลี่ยมจัตุรัสก่อน จึงได้ค่าความสูงของถัง Cheese vat ไว้ประมาณ 14.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 Vessel ได้เปลี่ยนไปตามความสามารถของการกวน

แต่เนื่องจาก เมื่อพิจารณารูปแบบการกวนนั้นจะพบว่า การกวนโดยใช้ใบพัด จากด้านบน นั้นไม่สามารถกวนทั่วถึงเราจึงออกแบบถังให้รูปร่างเหมาะสมกับการกวน โดยให้มีลักษณะดังรูปที่ 2 ซึ่งจะใช้ใบกวน สองใบโดยกวนจากด้านบน



รูปที่ 3.3 การออกแบบ Vessel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจึงหา ความยาวของถัง และความกว้างของถังจากสูตร

$$V = (\pi r^2 + D^2) \times h \quad (3.1)$$

เมื่อ $V =$ ปริมาตรของถัง (m^3)

$r =$ รัศมีของถัง (m)

$D =$ เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของถัง (m) ($D = 2r$)

$h =$ ความสูงของถัง (m)

แทนค่า ปริมาตรและความสูง จะได้

$$0.0125 = (\pi r^2 + D^2) \times 0.145$$

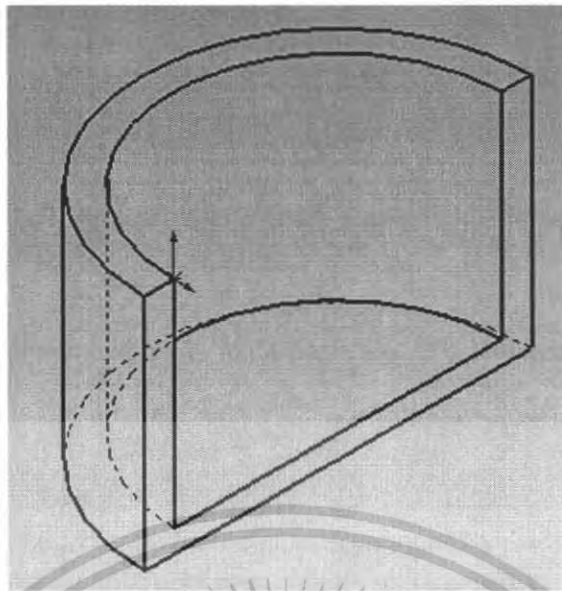
$$r = 0.11 \text{ m}$$

$$D = 0.22 \text{ m}$$

ซึ่งก็จะได้ตามรูปที่ 3

ข. การหาขนาดของ Jacket

การจะคำนวณขนาดของ Jacket ซึ่งเป็นส่วนที่บรรจุน้ำร้อนในการอุ่นนมภายในถังนั้น เกิดจากการคำนวณความร้อนของน้ำร้อน ซึ่งเราต้องการน้ำร้อนประมาณ 5 ลิตร ในการทำความร้อนแก่นมภายในถัง



รูปที่ 3.4 การออกแบบ Jacket ด้านส่วนโค้ง ทั้งสองด้าน

ข.1 หาความหนาที่จะทำเป็น Jacket ในส่วนโค้งก่อนโดยไม่คิดความหนาของถังด้านล่าง

จากสูตร

$$V = \pi(r_2^2 - r_1^2) \times h \quad (3.2)$$

เมื่อ $V =$ ปริมาตร (m^3)

$r_2 =$ รัศมีวงกลมนอก (m)

$r_1 =$ รัศมีวงกลมใน (m)

$h =$ ความสูง (m)

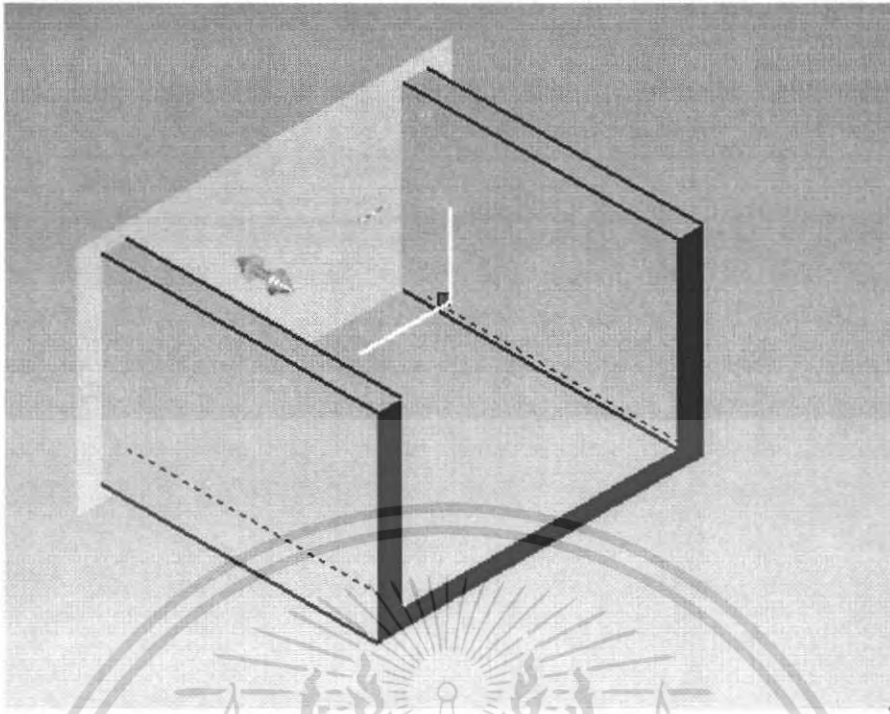
แทนค่า ความสูง รัศมีภายใน จากการหาขนาดถัง และรัศมีภายนอกจากการเดาสุ่ม ความหนา โดยไม่ต่ำกว่า 8 มิลลิเมตรเพื่อมีที่ว่างสำหรับใส่ Heater

$$V = \pi(0.13^2 - 0.11^2) \times 0.145$$

$$V = 0.002187 m^3$$

หรือคิดเป็น ปริมาตร 2.187 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การออกแบบ Jacket ด้านประกอบสองด้าน

ข.2. หาความหนาที่จะมาทำเป็น Jacket ของด้านอีกสองด้านประกอบ โดยไม่คิดความหนาของถังด้านล่าง

จากสูตร

$$V = h \times l \times t \times 2 \quad (3.3)$$

เมื่อ $V =$ ปริมาตรของ Jacket (m^3)

$h =$ ความสูง (m)

$l =$ ความยาว (m)

$t =$ ความหนาของ jacket (m)

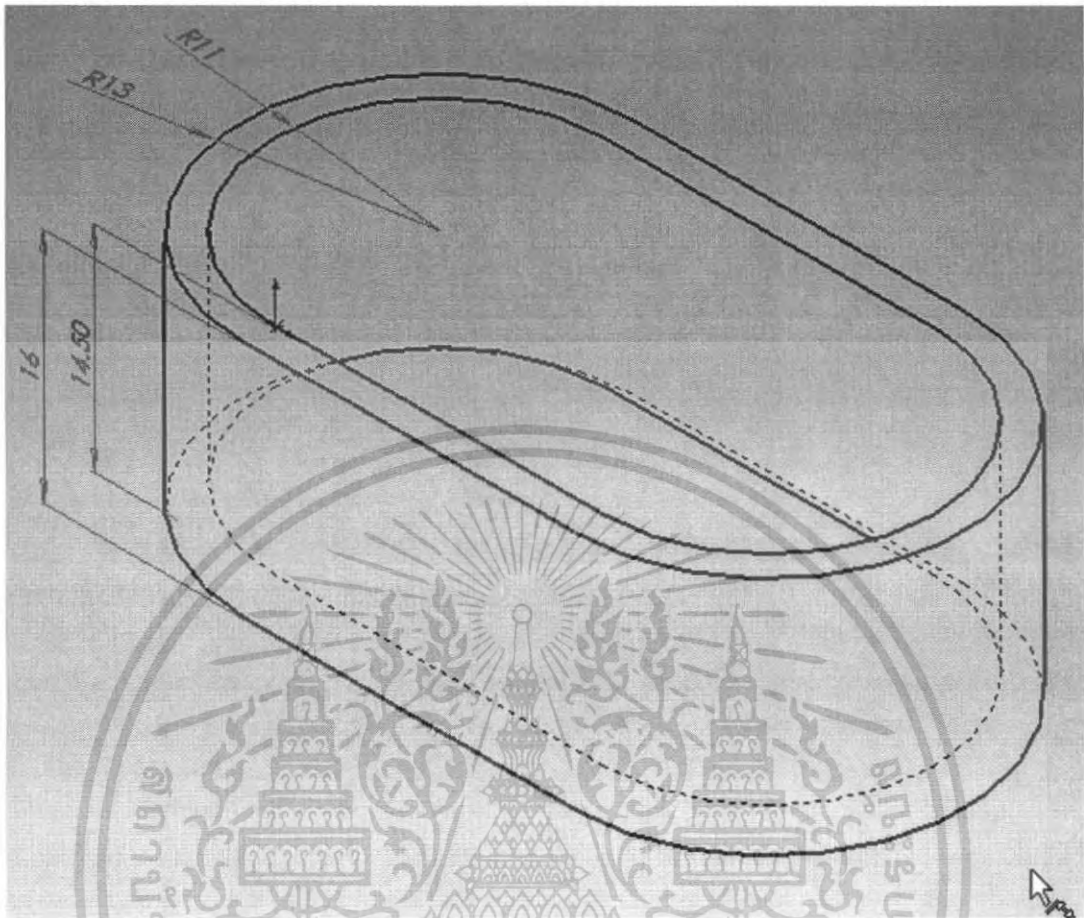
แทนค่า ความสูงของ Vessel ความยาวของด้านจากการหาขนาดถัง และความหนาของ jacket จากการหาปริมาตรของ jacket ด้านโค้ง

$$V = 0.145 \times 0.22 \times 0.02 \times 2$$

$$V = 0.00127 \text{ m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือคิดเป็นปริมาตร 1.27 ลิตร



รูปที่ 3.6 การออกแบบ Jacket ทั้งหมด

ข.3. หาความหนาแน่นต่าง ที่จะมาทำเป็น Jacket

จากสูตรที่ (1) โดยความหนาของ jacket นั้นเกิดจากการเดาสุ่มเพื่อหาปริมาตรที่เหมาะสม

$$V = (\pi r^2 + D^2) \times h$$

เมื่อ V = ปริมาตรของ jacket (m^3)

r = รัศมีภายนอก (m)

D = ความยาวของถังด้านข้าง (m)

h = ความหนาของ jacket ด้านล่าง (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า รัศมีภายนอกจากการคิดความหนา Jacket ความยาวของถังด้านข้างจากการหาขนาดถัง และความหนาของjacket ด้านล่างจากการเดาสุ่ม

$$V = (\pi 0.13^2 + 0.22^2) \times 0.015$$

$$V = 0.00152\text{m}^3$$

หรือคิดเป็นปริมาตร 1.52 ลิตร

ข.4. หาปริมาตรรวมทั้งหมดของ Jacket

นำปริมาตร ทั้งสามของJacket มาคิดรวมกันจะได้ $1.52 + 1.27 + 2.19 = 4.98$ ลิตร

ซึ่งใกล้เคียงกับความต้องการของเราที่ ต้องการออกแบบ Jacket ให้รองรับน้ำเพื่อใช้ในการอุ่นนม เป็นปริมาตร 5 ลิตร

3.2.2 การคำนวณภาระความร้อนทั้งหมดที่ใช้อุ่นนมเพื่อทำเป็นเนยแข็งเพื่อใช้ในการเลือก Heater

ภาระความร้อนทั้งหมด = (ความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิของนม) + (ความร้อนสูญเสียจากผนังรอบCheese Vat) + (ความร้อนสูญเสียจากการกวน)

ก. ความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิของนม

สำหรับการหาน้ำหนักของนมหาได้จากสมการ

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (3.4)$$

เมื่อ V = ปริมาตรของนม (m^3)

m = น้ำหนักของนม (kg)

ρ = ความหนาแน่นของนม (kg/m^3) = 1033 (kg/m^3) [12]

แทนค่า ปริมาตรของนมที่ใช้ และความหนาแน่นของนม

$$0.01 = \frac{m}{1033}$$

$$m = 10.33 \text{ kg}$$

ดังนั้น น้ำหนักของนม จึงเท่ากับ 10.33 kg

หาภาระความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิของนม จากสูตร

$$Q = mC\Delta T \quad (3.5)$$

เมื่อ $Q =$ ค่าความร้อน (kJ)

$m =$ มวลของนม (kg)

$C =$ ความจุความร้อนจำเพาะของนม (kJ/kg.°C)

$\Delta T =$ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ถึงอุณหภูมิที่ต้องการ)(°C)

จากกระบวนการผลิตเนยแข็งนั้นการอุ่นนมมีสองช่วงเวลาคือ ช่วงเวลาที่หนึ่งคือ อุ่นนมจากอุณหภูมิห้องปกติไปยังอุณหภูมิ 32 °C ใช้เวลา 40 นาที เวลาที่สองคือ อุ่นนมจากอุณหภูมิประมาณ 30°C ไปยังอุณหภูมิ 40°C ใช้เวลา 20 นาที ซึ่งต้องเปรียบเทียบค่า Power (W) ที่ได้ว่า ช่วงเวลาใดใช้พลังงานมากที่สุด ดังนี้

แทนค่า ช่วงเวลาที่ 1 น้ำหนักของนม 10.33 kg ความจุความร้อนจำเพาะของนม 3.93 kJ/kg.°C [13] อุณหภูมิปกติ 28 °C อุณหภูมิที่ต้องการ 32 °C

$$Q = 10.33 \times 3.93 \times (32 - 28)$$

$$Q = 162.39 \text{ kJ}$$

เมื่อต้องการทราบค่า Power (W) ของช่วงเวลาที่ 1 โดยใช้เวลา 40 นาที คิดเป็น $40 \times 60 = 2400$ วินาที ดังนั้นค่า Power (W) ที่ใช้ในเวลาที่ 1 มีค่าเท่ากับ $162.39 \times 1000 \div 2400 = 67.662 \text{ W}$

แทนค่า ช่วงเวลาที่ 2 น้ำหนักของนม 10.33 kg ความจุความร้อนจำเพาะของนม 3.93 kJ/kg.°C

อุณหภูมิปกติ 30 °C อุณหภูมิที่ต้องการ 40 °C

$$Q = 10.33 \times 3.93 \times (40 - 30)$$

$$Q = 405.97 \text{ kJ}$$

เมื่อต้องการทราบค่า Power (W) ของช่วงเวลาที่ 2 โดยใช้เวลา 20 นาที คิดเป็น $20 \times 60 = 1200$ วินาที ดังนั้นค่า Power (W) ที่ใช้ในเวลาที่ 1 มีค่าเท่ากับ $(405.97 \times 1000) \div 1200 = 338.31$ W

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่า Power ของทั้งสองช่วงเวลาก็จะเห็นว่า ช่วงเวลาที่ 2 มีค่ามากกว่า ช่วงเวลาที่ 1 จึงนำช่วงเวลาที่ 2 มาคิดหา Power ที่ใช้ในการเลือก Heater ต่อไป

ข. ความร้อนสูญเสียที่ผนังรอบ Cheese Vat

จากสูตร

$$Q = UA\Delta T \quad (3.6)$$

เมื่อ $Q =$ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

$A =$ พื้นที่ผิวของผนังที่มีการถ่ายเทความร้อน (m^2)

$U =$ สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด ($W/m^2 K$)

$\Delta T =$ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิว (K)

ข.1 หาพื้นที่ผิวของผนังที่มีการถ่ายเทความร้อน

จากสูตร

$$A = (2\pi r_2 h) + (2Dh) \quad (3.7)$$

เมื่อ $A =$ พื้นที่ผิวที่ใช้ถ่ายเทความร้อน (m^2)

$r_2 =$ รัศมีภายนอก (m)

$h =$ ความสูงของ Vessel (m)

$D =$ ความยาวด้านข้างของ Vessel (m)

แทนค่า $r_2 = 0.13$ m, $h = 0.145$ m, $D = 0.22$

$$A = (2 \times \pi \times 0.13 \times 0.145) + (2 \times 0.22 \times 0.145)$$

$$A = 0.1821 \text{ m}^2$$

ข.2 สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด

วัสดุที่ใช้ทำผนังของถัง Cheese vat มีสองชนิดคือ Stainless Steel AISI 304 และ Fiber Glass เป็นฉนวน โดยมีความหนา 1 mm และ 1 inch ตามลำดับ ความหนาที่กำหนดมานั้นเป็น ค่าที่ทางร้านแนะนำมา ในการสั่งสร้างชิ้นงานอุตสาหกรรมทั่วไป

ขั้นตอนการถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อน ไปยัง SS 304 Fiber Glass และ SS304 เป็นจำนวน 3 ชั้น



รูปที่ 3.7 Fiberglass ขนาด 1 นิ้ว

ดังนั้นค่า k หรือค่า Thermal conductivity ของ Stainless Steel AISI 316L มีค่าเท่ากับ 16.2 W/m K และ ค่า k ของ Fiber Glass มีค่าเท่ากับ 0.04 W/m K

จากสูตร

$$U = \frac{1}{\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}}$$

(3.8)

เมื่อ U = สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (W/m² K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x_1 = ความหนาของ Stainless Steel AISI 304 (m)

x_2 = ความหนาของ Fiber Glass (m)

x_3 = ความหนาของ Stainless Steel AISI 304 (m)

k_1 = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ Stainless Steel AISI 304 (W/m K)

k_2 = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ Fiber Glass (W/m K)

k_3 = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ Stainless Steel AISI 304 (W/m K)

แทนค่า

$x_1 = 0.01$ m, $x_2 = 0.0254$ m, $x_3 = 0.01$ m, $k_1 = 16.2$ W/m K, $k_2 = 0.04$ W/m K, $k_3 = 16.2$ W/m K

$$U = \frac{1}{\frac{0.001}{16.2} + \frac{0.0254}{0.04} + \frac{0.001}{0.04}}$$

$$\therefore U = 1.573 \text{ W/m}^2\text{K}$$

ข.3 การหา ΔT

คาดการณ์ว่า อุณหภูมิภายนอกอยู่ที่หุ้มฉนวนแล้ว จะมีอุณหภูมิ 30°C และ อุณหภูมิของผิวอีกด้านหนึ่ง มีค่าเท่ากับ 76 °C คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนนั่นเอง ดังนั้น ΔT จึงมีค่าเท่ากับ 76-30 = 46 °C

แทนค่า $U = 1.573$, $A = 0.1821 \text{ m}^2$, $\Delta T = 46^\circ\text{C}$

$$Q = 1.573 \times 0.1821 \times 46$$

$$Q = 13.179 \text{ W}$$

ดังนั้นความร้อนสูญเสียที่ผนังรอบถังต้ม มีค่าเท่ากับ Power 13.179 W

3.2.3 การเลือกขนาด ฮีตเตอร์

จากการคิด ค่า Power ของภาระความร้อนทั้งหมด มารวมกันจะได้ เท่ากับ 351.50 W แต่เรา ยังไม่ได้คิดภาระความร้อนจากไบกวน และคิดค่า Safety Factor ดังนั้นเราจึง คิดค่า Safety Factor ให้มีค่าเท่ากับ 3 ดังนั้น ค่าภาระความร้อนที่ได้ จึงมีค่าเท่ากับ $351.50 \times 3 = 1054.50 \text{ W}$

ดังนั้น เราจึงเลือก ขนาดฮีตเตอร์ ตั้งแต่ 1000 W ขึ้นไป ซึ่งการเลือก ฮีตเตอร์ นั้นต้องเลือก แบบ ขดให้อยู่ภายใน Jacket ได้ด้วย เพื่อกระจายความร้อนได้ทั่วถึง โดยมีรูปแบบของฮีตเตอร์ดัง รูป



รูปที่ 3.8 ฮีตเตอร์แบบขดสามารถนำมาขดได้ตามแบบต่างๆ

3.3 การออกแบบ เครื่องอัดเนยแข็ง

3.3.1 การหาขนาดสกรูส่งกำลัง

การคำนวณหาขนาดของสกรูส่งกำลังที่ใช้ในการทำ Cheese press ใช้ข้อมูลและวิธีคำนวณ จากหนังสือ Machine Design การออกแบบเครื่องจักรกลของ ศ.ดร. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์

เริ่มคำนวณ โดยการหาภาระทั้งหมดที่เครื่อง Cheese press จะได้รับในการกด โดยมีค่า

P (pressure) ที่เครื่องจะต้องสามารถรับได้สูงสุดเท่ากับ $110 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$ โดยมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ $14 \times 14 \text{ cm}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \frac{F}{A}$$

(3.9)

$$110 \frac{lb}{in^2} = \frac{110}{2.54 \times 2.54} \frac{lb}{cm^2} = 17.05 \frac{lb}{cm^2}$$

$$F = 17.05 \frac{lb}{cm^2} \times (14)^2 \text{ cm}^2$$

$$F = 3341.8 \text{ lb} = 1519 \text{ kg}$$

เพราะฉะนั้นมี load ทั้งหมดเท่ากับ 1519 kg

สมมุติใช้ Stainless steel Austenitic (cold worked) เบอร์ 304 มีโหลดทั้งหมด 1519 kg ฉ.

ระยะ 5 cm (ให้หาค่า safety factor = 3) เริ่มต้นหาค่า yield strength จากการเปิดตาราง 3.1

UNS Type	Tensile Strength, ksi			Yield Strength, ksi		Elong. in 2 in., %		Reduction of Area, %		Brinell Hardness, HBS			Impact Strength, (Temp., FT-L)		Endurance Limit, ksi		Machinability (Based on 15% @ 100)	Metallography		
	Tempered	Cold Rolled	Hardened & Tempered	As-rolled	Cold Worked	Stripped & Tempered	Max. Age	Max. Age	As-rolled	Cold Worked	As-rolled	Cold Worked	As-rolled	Cold Worked	As-rolled	Cold Worked				
ALUMINUM																				
302	85	110	-	35	75	40	25	70	60	115	240	-	170	-	24	-	55	ดีเลิศ		
304	85	110	-	35	75	50	50	70	60	149	240	-	150	90	24	-	55	ดีเลิศ		
310, 310S	95	-	-	45	-	80	-	85	-	179	-	-	90	-	-	-	50	ดีเลิศ		
316	90	90	-	35	80	60	15d	70	60	148	200	-	110	-	55	40d	50	ดีเลิศ		
321	95	100	-	35	85	55	20d	85	60	160	210	-	110	-	28	-	55	ดีเลิศ		
347, 348	80	100	-	35	85	60	20d	80	60	165	230	-	110	-	29	-	50	ดีเลิศ		
MAGNESIUM																				
AZ62	75*	-	110	45*	-	95	20*	20	70	55	-	225	90	-	70	40	-	Fair	ไม่ดี	
AZ63	75	100	110	40	95	85	40*	22	70	60	185	225	85	70	40	-	55	Fair	พอใช้	
AZ63A	110*	150*	160*	95*	115*	127*	17*	13*	60	50	225	270*	-	50	48*	45*	-	50	Fair	พอใช้
AZ63B	75	100*	110	45	85	85	20	18	60	55	155	200*	70	20*	35	40	50	40	Fair	พอใช้
AZ63C	85	100*	120	50	85	88	15	18	60	55	165	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63D	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63E	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63F	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63G	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63H	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63I	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63J	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63K	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63L	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63M	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63N	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63O	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63P	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63Q	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63R	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63S	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63T	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63U	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63V	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63W	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63X	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63Y	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
AZ63Z	125	150*	165*	95	110*	125*	15	18	60	55	160	210*	90	-	10	40	-	45	Fair	พอใช้
TITANIUM																				
CP	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP2	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP3	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP4	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP5	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP6	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP7	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP8	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP9	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP10	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP11	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP12	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP13	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP14	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP15	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP16	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP17	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP18	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP19	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP20	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP21	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP22	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP23	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP24	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP25	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP26	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP27	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP28	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP29	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP30	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP31	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-	25*	-	-	-	40	-	Fair	ดีเลิศ
CP32	45*	85	-	40*	70	27*	20	60	60	150	185	-								

$$W = \sigma_{cd} A_r = \sigma_{cd} \left(\frac{\pi}{4} d_r^2 \right)$$

(3.10)

$$1519 \times 9.81 = 172.375 \left(\frac{\pi}{4} d_r^2 \right)$$

$$d_r = 10.49 \text{ mm}$$

จากตารางที่ 3.2 ทดลองเลือกขนาดสกรูขนาด 11 mm

ขนาดระบุ			ระยะพิทช์ P	$d_2 = D_2$	D_4	d_3	D_3
ช่อง 1	ช่อง 2	ช่อง 3					
8	9		1.5	7.250	8.300	6.200	6.500
			*2	8.250	9.300	7.200	7.500
10	11		1.5	9.250	10.300	8.200	8.500
			*2	9.000	10.500	7.500	8.000
12	14		2	10.000	11.500	8.500	9.000
			*3	9.500	11.500	7.500	8.000
16	18		2	11.000	12.500	9.500	10.000
			*3	10.500	12.500	8.500	9.000
20	24		2	13.000	14.500	11.500	12.000
			*3	12.500	14.500	10.500	11.000
24	28		2	15.000	16.500	13.500	14.000
			*4	14.000	16.500	11.500	12.000
30	36		2	17.000	18.500	15.500	16.000
			*4	16.000	18.500	13.500	14.000
36	42		2	19.000	20.500	17.500	18.000
			*4	18.000	20.500	15.500	16.000
ขนาดเป็น mm						19.500	19.000

ตารางที่ 3.2 มิติมาตรฐานของเกลียวดีที่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ISO 2904-1977(E) [10]

$$P = 3 \text{ mm}$$

$$d_3 = d_r = 7.5 \text{ mm}$$

สมมติให้ปลายสกรูมีการรับแรงทั้งสองด้านในลักษณะที่ใกล้เคียงกับ SC (Sample-supported-clamped) ให้ L คือระยะที่สกรูจะต้องกดลงมามีค่าเท่ากับ 50 mm ซึ่ง

$$L_e = 0.707L = 0.707 \times 50 = 35.35 \text{ mm}$$

$$\text{รัศมีใจเรซัน} \quad k = \frac{d_r}{4} = \frac{7.5}{4} = 1.875 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น $\frac{L_e}{k} = \frac{35.35}{1.875} = 18.85$

$\frac{L_e}{k}$ มีค่าน้อยกว่า 40 mm เพราะฉะนั้นอยู่ในช่วงสกรูสั้น

$$W = \sigma_{cd} A_r$$

$$W = 172.375 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 11^2\right) \text{ N}$$

$$W = 16373.04 \text{ N}$$

$$m = 1669.02 \text{ kg}$$

สกรูที่เลือกสามารถออกแรงกดมวลได้มากกว่าที่กำหนดเพราะฉะนั้นสามารถเลือกใช้ได้

จึงเลือกใช้สกรู Tr11×3

3.3.2. การหาขนาดของโมลด์รูปร่างของ Cheese press

การคำนวณขนาดของโมลด์รูปร่างของ Cheese press นั้นจะเริ่มคำนวณจากการทราบ ปริมาตรของชีสทั้งหมดที่เราจะต้องอัดได้ โดยปริมาตรของชีสนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 1 ลิตร

- โมลด์ทรงสี่เหลี่ยม

$$x^2 \times h = 1000 \text{ cm}^3$$

กำหนดขนาดของความกว้างและความยาวของโมลด์เท่ากับ 14×14

$$14 \times 14 \times h = 1000 \text{ cm}^3$$

$$h = 5.1 \text{ cm}$$

จะได้ชีสทรงสี่เหลี่ยมขนาด 14×14×5.1 cm³ ซึ่งถือว่าสมส่วนตามต้องการ

- โมลด์ทรงกระบอก

$$\pi \times r^2 \times h = 1000 \text{ cm}^3$$

กำหนดขนาดของรัศมีของโมลด์เท่ากับ 7 cm

$$\pi \times 7^2 \times h = 1000 \text{ cm}^3$$

$$h = 6.5 \text{ cm}$$

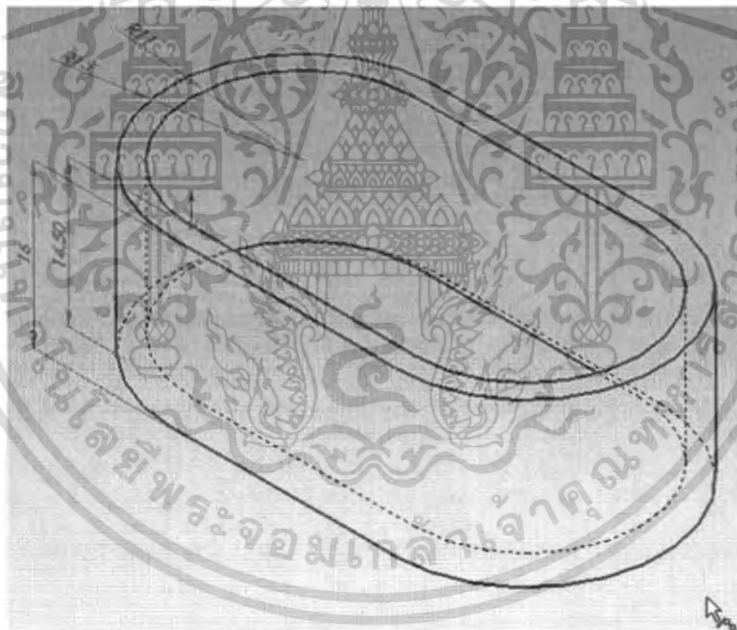
จะได้ชีสทรงกระบอกขนาดรัศมี 7cm สูง 6.5cm ซึ่งถือว่าสมส่วนตามต้องการ

โดยการออกแบบขนาดของโมลด์นั้นเราจะต้องออกแบบให้สูงกว่าที่เราคำนวณเอาไว้พอสมควรเพื่อเว้นที่ไว้สำหรับการนำ Cheese ที่ยังเป็น Curd มาใส่ลงไปซึ่งจะมีปริมาณมากกว่าขนาด Cheese ที่เราต้องการ

3.4 การออกแบบใบกวน [ตารางหาค่าต่างๆจากภาคผนวก ข]

3.4.1. ลักษณะของใบกวน

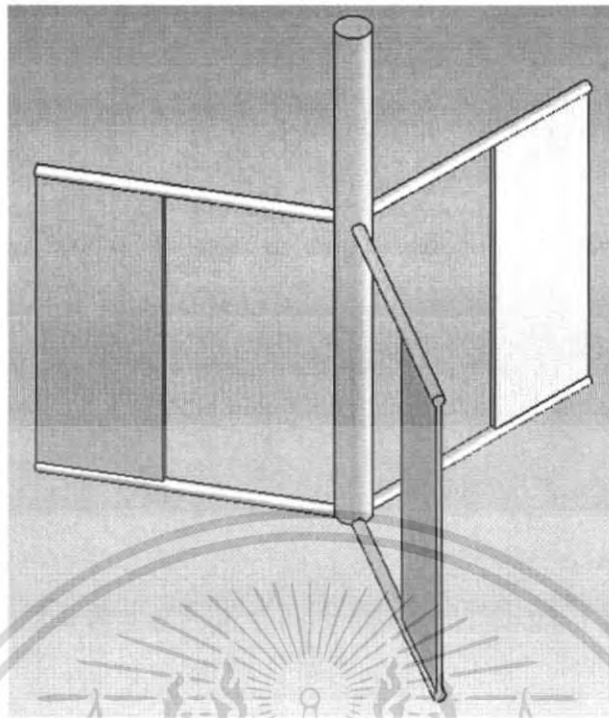
เนื่องด้วยการทำ Cheese นั้นจะต้องทำการกวนเชื้อให้ผสมเข้ากับนม โดยที่การกวนนั้นจะเป็นไปอย่างช้าๆ และต้องกระจายเชื้อให้ทั่วถึง จึงต้องมีลักษณะใบพัดเป็นแบบ paddle และจากรูปแบบของถังที่ออกแบบไว้



จึงต้องใช้ใบพัด 2 ตัว ติดตั้งทางด้านซ้ายและขวา ในกระบวนการทำ Cheese จะต้องมี การตัดก้อนเคิร์ดหลังจากที่เราทำการกวนเชื้อให้ผสมกับนมในครั้งแรกและปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดลิ่มนํ้านม หรือเคิร์ดขึ้น คั้งนั้นเราจึงต้องมีใบพัดอีกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับการตัดด้วย ซึ่งแบ่งเป็น

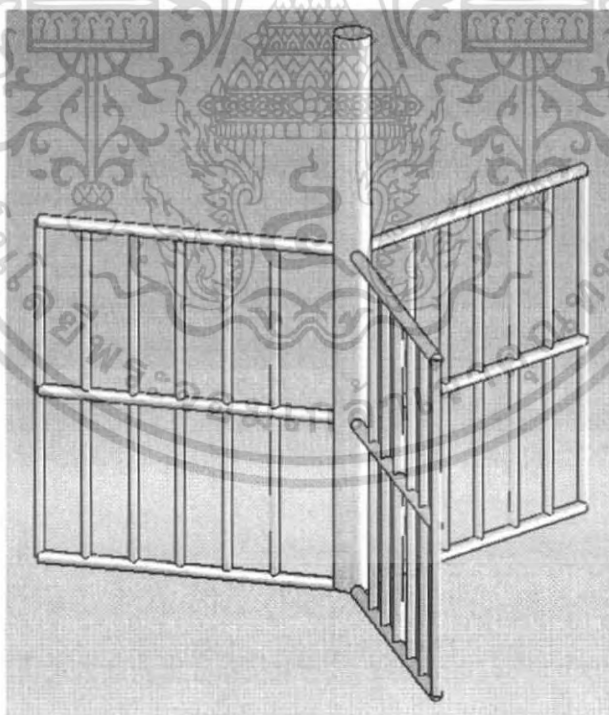
ใบพัดกวนเชื้อหรือส่วนประกอบอื่นๆ ให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ใบกาน

และใบพัดสำหรับตัดลิ้นนมหรือเคิร์ดให้ตกตะกอน



รูปที่ 3.10 ใบตัดเคิร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2. ส่วนประกอบของระบบการกวน

1. ใบพัดแบบกวนเชื้อ 2 ใบ ตัวแกนสูง 180 mm ครีบบใบพัดสูง 110 mm กว้าง 40 มี 3 ครีบบ
2. ใบพัดแบบตัดเคิร์ดตัวแกนสูง 180 mm มีแกนแขนง 3 แขน ยาว 100 mm มีซี่ลวด 6 ซี่ ยาวซี่ละ 110 mm
3. สายพานส่งกำลังแบบดินตะขาบ เบอร์ 525T5 2 เส้น
4. มอเตอร์กระแสสลับ 200 V 25 W รุ่น 5RK25RGUC ขนาดแกน 10 mm หน้ากว้าง 8 × 8 cm
5. Control Speed Motor ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ AC 220 V
6. Timing Belt Pulleys T5 Type จำนวนฟัน 22 ซี่ 4 ตัว
7. เฟลากลมตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm
8. Coupling แบบ Set Screw Type 1 ตัว
9. Bushing ใช้พลาสติกแบบPolyethylene
10. โครงสร้างที่สำหรับใส่ส่วนประกอบต่างๆในระบบการกวน

3.4.3 การกำหนดหาขนาดแกนใบกวน [14]

สำหรับเฟลากลมตัน การกำหนดหาขนาดของเฟลามาตรฐาน ASME คือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{\frac{1}{2}}$$

โดย d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเฟลา

τ = ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด

T = โมเมนต์บิด

M = โมเมนต์ตัด

สำหรับเฟลาที่ใช้งานธรรมดาทั่วไป การออกแบบเฟลาตามมาตรฐานของ ASME ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนการใช้งานคือ

$\tau_d = 55 \text{ N/mm}^2$ สำหรับเพลลาที่ไม่มีร่องลิ้ม

$\tau_d = 41 \text{ N/mm}^2$ สำหรับเพลลาที่มีร่องลิ้ม

1 ค่าแรงต้านที่เกิดขณะไหลวนหมุน

สำหรับการไหลผ่านแผ่นราบเรียบจะเป็นการไหลที่ไม่มีค่าความดันแตกต่างเกิดขึ้น ดังนั้นแรง
หน่วงที่เกิดขึ้นบนผิวของแผ่นราบ แรงหน่วงดังกล่าวสามารถหาได้จากสูตร

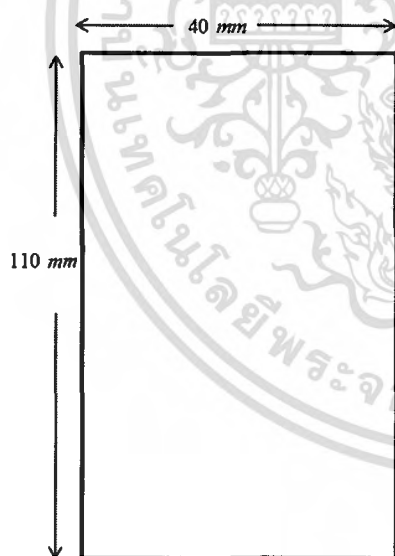
$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

F_D = ค่าความหน่วง (N)

ρ = ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)

C_D = ค่าสัมประสิทธิ์แรงหน่วง

A = คือพื้นที่ผิวที่ไหลสัมผัสทั้งหมด



หาสภาพการณีไหลเพื่อตรวจสอบว่าเป็นการไหลแบบใดโดย

$$\text{Re} = \frac{\rho V w}{\mu}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

w = ความกว้างของแผ่นราบ

μ = ความหนืดสัมบูรณ์

ρ = 1033 kg/m^3

w = 0.04 m

μ = $2.1 \times 10^{-3} \text{ N-s/m}^2$

หาค่า V โดย

$$V = \omega R$$

R = ระยะจุดศูนย์กลางของเพลลาใบพัดถึงจุดเซ็นทรอย

R = 0.08 m

อัตราเร็วรอบที่กำหนดไว้คือ 30 rpm ดังนั้น

$$\omega = 30 \left(\frac{2\pi}{60} \right) = 3.14 \text{ rad/s}$$

$$V = \omega R = 3.14 \times 0.08 = 0.25 \text{ m/s}$$

ดังนั้นค่า Re ที่ได้คือ

$$Re_3 = \frac{1033 \times 0.25 \times 0.04}{2.1 \times 10^{-3}} = 4.92 \times 10^3$$

D_1 = จากค่า Re ที่ได้แสดงว่าทุกครีบของใบพัดเป็นการไหลแบบราบเรียบ

จากค่า Re ที่ได้จึงใช้ตารางการหน่วงของวัตถุแบบที่ 2

$$\frac{b}{t} = 2.75$$

เทียบจากตารางที่ ข4 เอาค่าใกล้เคียง ได้ค่า $C_D = 1.20$

จะได้ค่าแรงหน่วงแต่ละครีบคือ

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A$$

$$F_D = 1.20 \times \frac{1}{2} \times 1033 \times (0.25)^2 (0.04 \times 0.11) = 0.170 \text{ N}$$

ใบพัดมี 3 แขน ดังนั้นแรงทวนที่เกิดขึ้นจากใบพัดขณะหมุนคือ $3(0.170) = 0.51 \text{ N}$

ค่าโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นจากแรงกดของการหมุนผ่านของไหล

$$T = F_D R$$

$$T = F_D R = 0.170 \times 0.25 = 0.0425 \text{ N}$$

ดังนั้น มี 3 แขน $T = 3(0.0425) = 0.128 \text{ N}$

ค่าโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์

จากสมการ

$$T = \frac{W_p(60)}{2\pi N}$$

$$T = \frac{25(60)}{2\pi 30} = 7.95 \text{ N}$$

2 ค่าโมเมนต์บิดสูงสุดเกิดขึ้นจากมอเตอร์

เนื่องจากส่วนเพลลาของใบพัดต่อเข้ากับเพลลาของวงล้อสายพานจึงไม่มีค่าโมเมนต์ตัด

แกนของใบพัดใช้แบบไขเข้ากับเพลลาของวงล้อสายพาน ดังนั้นจึงเลือกค่า τ_d เป็นแบบมีร่องลิ้น

สำหรับเพลลาที่มีร่องลิ้น $\tau_d = 41 \text{ N/mm}^2$

จากตาราง เลือกค่า $C_m = 1.5$ และ $C_t = 1.0$

ดังนั้น $d^3 = \frac{16}{\pi \tau} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{\frac{1}{2}}$

$$d^3 = \frac{16}{\pi 41} [(1.5 \times 7.95)^2 + 0]^{\frac{1}{2}} = 1.48$$

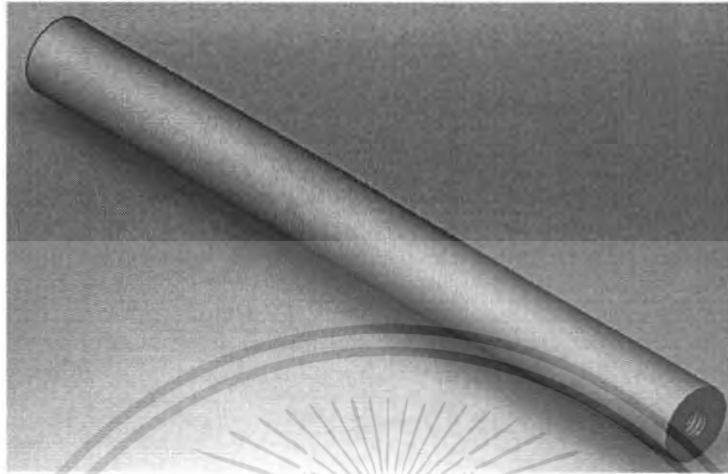
$$d = 1.13 \text{ mm}$$

เลือกค่าความปลอดภัย $n = 4$

ดังนั้นได้ค่า $d = 4.52 \text{ mm}$

จากตารางที่ ข1 เลือกใช้เพลาดันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm

3.4.4. หาขนาดเพลลาของวงล้อสายพาน



รูปที่ 3.11 เพลลาของวงล้อสายพาน

เพลลาของวงล้อสายพานทำจาก Stainless Steel 316L มีค่า yield strength = 165 MPa หรือ 23.9 ksi

ดังนั้น $\sigma_y = 23.9 \times 6.895 = 164.79 \text{ N/mm}^2$

ความต้านแรงเฉือนคราก $\tau_y = 0.6\sigma_y$

แรงที่กระทำต่อเพลลานั้นคือแรงกระทำซ้ำ 2 ทิศทาง จากตารางที่ 3 เลือก $n = 4$

ความเค้นเฉือนออกแบบ $\tau_d = \frac{0.6 \times 164.79}{4} = 24.72 \text{ N/mm}^2$

จากสมการ

$$T = \frac{W_p(60)}{2\pi N}$$

$$T = \frac{25(60)}{2\pi 30} = 7.95 \text{ N}$$

ความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

โดยที่

r = รัศมีภายนอกเพลลา

J = โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่

$$= \frac{\pi}{32} d^4 \quad \text{สำหรับท่อนกลมตัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\pi}{32}(d^4 - d_i^4) \text{ สำหรับท่อนกลมกลวง}$$

d = คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก

d_i = คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

โดยเราต้องการเพลากลวงเพื่อที่จะสามารถนำเพลาของใบพัดมาต่อเข้ากับเพลาของวงล้อสายพานส่งกำลังและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในจะต้องมีค่าใกล้เคียง 6 mm

ดังนั้น ให้อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{d}{d_i} = 2$

$$\text{ดังนั้น} \quad J = \frac{\pi}{32} [(2d_i)^4 - d_i^4]$$

$$J = \frac{15\pi d_i^4}{32}$$

$$\text{ความเค้นเฉือนสูงสุด} \quad \tau = \frac{Tr}{J} = \frac{T(d/2)}{J} = \frac{Td_i}{J}$$

$$= \frac{32T}{15\pi d_i^3}$$

$$\text{แทนค่า} \quad 24.72 = \frac{32 \times 7.95 \times 1000}{15\pi d_i^3}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad d_i = 7 \text{ mm}$$

$$\text{และ} \quad d = 2 \times 7 = 14 \text{ mm}$$

ดังนั้น ขนาดเพลาที่ใช้คือเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm และมีรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 mm แต่เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนใบพัดมีขนาด 6 mm จึงจำเป็นต้องปรับให้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูเพลาเป็น 6 mm เพื่อสามารถไขใบพัดที่มีปลายแกนเป็นหัวน็อตเข้าไปได้

3.4.5. การเลือก Timing Belt Pulleys

โดยเลือกจาดตาราง Timing Pulleys T5

เลือกแบบ B shape เนื่องจากไม่ต้องการเจาะร่องลิ้ม

จากขนาดของเพลาคำนวณไว้มีขนาด 14 mm ดังนั้นจาดตารางจะต้องมีค่า dH7 ตั้งแต่ 14 ขึ้นไป

ดังนั้นเลือกแบบฟัน 25 ซี่ ซึ่งสามารถทำให้เจาะรูเพื่อใส่เพลาขนาด 14 mm ได้

3.4.6. การเลือก Timing Belt

จากค่าที่ได้นำไปหาความยาวของสายพานส่งกำลังซึ่งจากการเลือก Timing Belt Pulleys ทำให้เราต้องเลือกสายพานที่มีความกว้างประเภทเบอร์ T5150 หรือสายพานแบบดินตะขบกว้าง 15 mm ซึ่งมีความยาวขั้นต่ำ 590 mm

จากระยะห่างระหว่างเพลลาของ Timing Pulleys กับเพลลาของมอเตอร์ส่งกำลังจากภาพที่เป็น

$$\sqrt{210^2 + 110^2} = 237\text{mm} \quad \text{มุมล้อยสายพาน} = 180^\circ \text{ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Timing Belt Pulleys ที่}$$

เลือกคือ 39 mm ความยาวของสายพานคือ

$$2\pi r + 2(237) = 2\pi(19.5) + 2(237) = 596.46\text{mm}$$

ดังนั้นสามารถเลือกสายพานจากตาราง Timing Belts T5/T10 Type เลือกเบอร์ 600T5 ซึ่งมีความยาว 600 mm

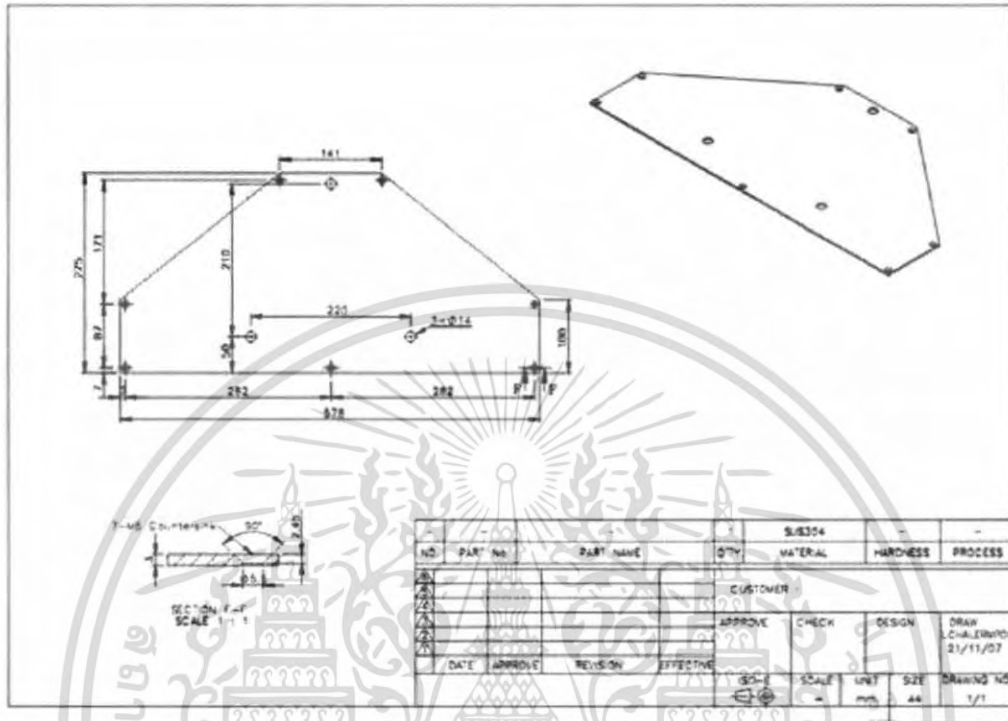
3.4.7. โครงสร้างและส่วนประกอบโครงสำหรับใส่อุปกรณ์สำหรับระบบควบ



รูปที่ 3.12 ตัวโครงสร้างที่ใส่ส่วนประกอบของของระบบควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีช่องสำหรับใส่เพลลา 3 ช่อง โดย 2 ช่องหน้าไว้สำหรับใส่เพลลาวงล้อสายพานเพื่อต่อเข้ากับแกนของใบพัดทางด้านล่างตามมุมด้านบนมีช่องสำหรับขันน็อตให้ยึดติดกับฝาปิดฐานตรงกลางที่อยู่ด้านหลังสำหรับวางมอเตอร์ และมีช่องสำหรับเพลลามอเตอร์



รูปที่ 3.15 ฝาครอบโครงเครื่องกวน 1

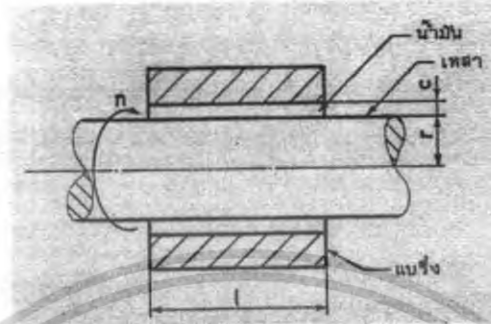


รูปที่ 3.16 ฝาครอบโครงเครื่องกวน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝาที่ปิดด้านบนเพื่อนำให้ดูเป็นระเบียบและไม่ให้สิ่งสกปรกเข้าไป ด้านบนเจาะช่องให้เพลลาโผล่ขึ้นมา เพื่อให้สามารถวัดความเร็วรอบได้

3.4.8. Bushing ของเพลลาวงล้อสายพาน



รูป 6.4 เพลลาหมุนอยู่กลางแหวน

รูปที่ 3.17 เพลลาหมุนอยู่กลางแหวน

จากตารางที่ 3 ค่าของ P ควรอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 1.5 MN/m²

$$P = \frac{W}{ld}$$

จากสมการ

โดย P = หน่วยแรง

W = กำลังงาน

l = ความยาว bushing

d = เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา

ถ้าให้ $l/d = 1/4$ แล้ว

$$l = d/4 = 14/4 = 3.5 \text{ mm}$$

ดังนั้น

$$P = \frac{25}{3.5 \times 14} = 0.51 \text{ N/mm}^2$$

ซึ่งเหมาะกับค่าที่แนะนำไว้ในตารางที่ 3 ดังนั้นให้เลือกใช้ $l/d = 1/4$ จากตารางที่ 3 ทดลองเลือก

ค่า $r/c = 500$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $r =$ รัศมีเพลลา

$c =$ เคลียร์รันซ์

แทนค่า
$$c = \frac{r}{500} = \frac{7}{500} = 0.014 \text{ mm}$$

เราต้องทราบค่าความหนาแน่นที่สุดของฟิล์มน้ำมันในการใช้งานหรือค่า h_o ใช้แทนในสมการ เพื่อให้ได้ค่าเลขจำนวนลักษณะแบร์ริงจากกราฟ โดยเราจะให้

$$h_o = 0.00025d$$

ซึ่งเป็นค่าสำหรับทดลองใช้ในการออกแบบที่นิยมใช้และสะดวกในการใช้ซึ่งแนะนำโดย Norton

โดยที่ d เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเจอร์นัล (เพลลา) อย่างไรก็ตาม ค่าของ h_o ไม่ควรน้อยกว่า 0.0025 mm ในทุกกรณี

ดังนั้น
$$h_o = 0.00025d = 0.00025(14) = 0.0035 \text{ mm}$$

$$\frac{h_o}{c} = \frac{0.0035}{0.014} = 0.25$$

จากกราฟที่ ข1 นำค่า $\frac{h_o}{c} = 0.25$ ไปหาเลขจำนวนแบร์ริงหรือ

$$S = \left(\frac{r}{c}\right)^2 \frac{\mu n}{P} = 0.4$$

$$(500)^2 \frac{30\mu}{(60)510000} = 0.4$$

$$\mu = 1.632 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 163.2 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

โดย $\mu =$ ค่าความหนืดของน้ำมัน

ซึ่งอุณหภูมิขณะใช้งานอยู่ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส

จากกราฟที่ ข2 จะเห็นได้ว่า ต้องเลือกใช้น้ำมัน SAE 30

หาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากกราฟที่ 3 ที่ $S = 0.4$

$$\frac{r}{c} f = 12$$

ดังนั้น $f = \frac{12}{500} = 0.024$

โมเมนต์บิดเนื่องจากความเสียดทานคือ

$$\begin{aligned} T &= fWr \\ &= 0.024(25)0.007 \\ &= 0.0042 \text{ N} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นกำลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทานจะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} W_p &= 2\pi nT \\ &= 2\pi \frac{30}{60} (0.0042) = 0.013 \text{ W} \end{aligned}$$

3.4.9. ตัวควบคุมมอเตอร์

ปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ AC ปรับช้า-เร็ว จากซ้ายไปขวา โดยเป็นช่องบอกเปอร์เซ็นต์การจ่ายไฟเข้าจากการทดลองใช้ทำให้ได้ความเร็วรอบต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.3 ตารางการปรับเปอร์เซ็นต์การจ่ายไฟกับความเร็วนรอบ

เปอร์เซ็นต์การจ่ายไฟเข้ามอเตอร์	ความเร็วรอบการหมุนของเพลา (rpm)
10	ไม่เกิดการหมุน
20	7.6
30	14.6
40	21.0
50	26.7
60	32.8

70	38.0
80	42.0
90	44.6
Max	48.0

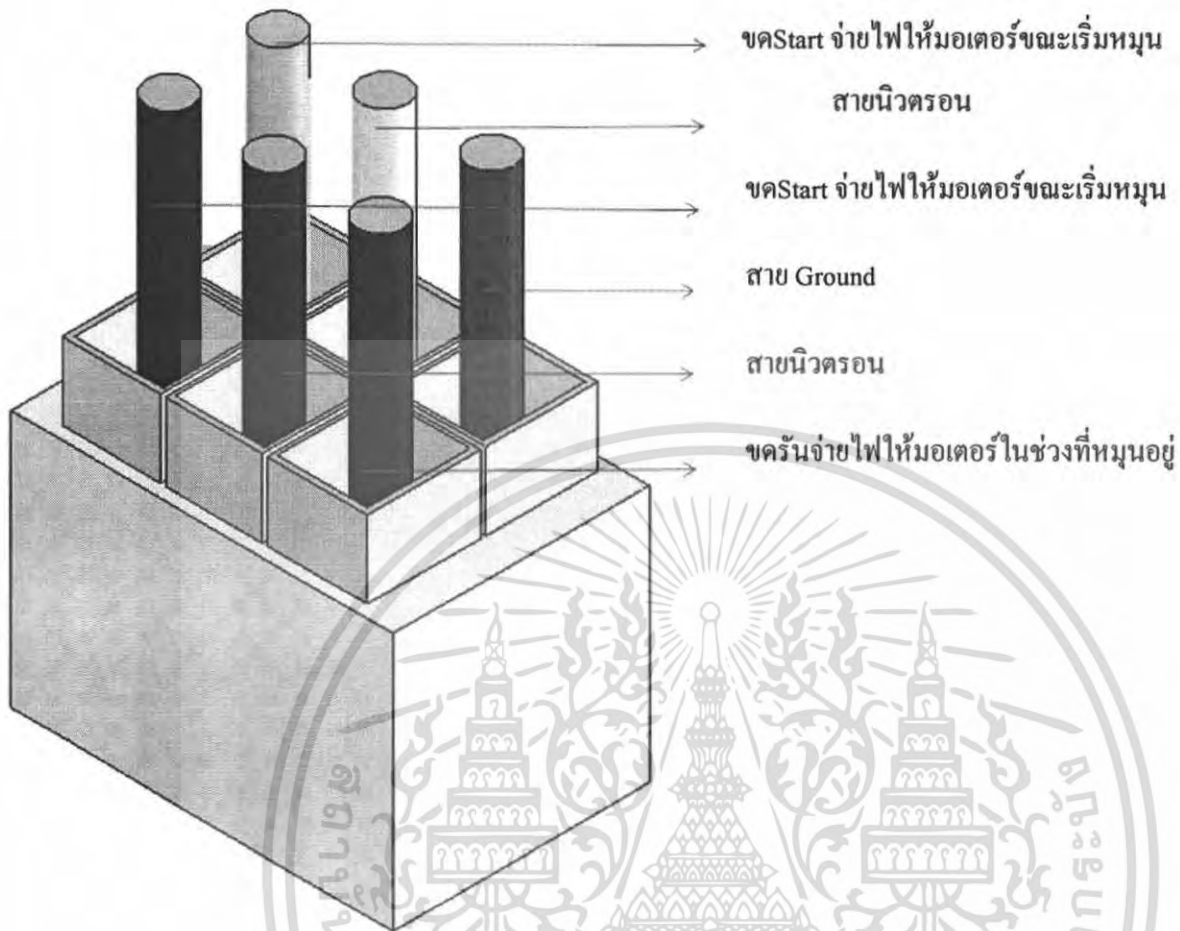
3.4.10. มอเตอร์ส่งกำลัง

เป็น Motor Gear 220 V AC 25W (รูปที่ 3.18) มีแกน 10 mm หน้ากว้าง 8 × 8 cm ความยาวรวมแกนทั้งหมด 18 cm ต่อผ่านเข้าตัวควบคุม โดยมีสายไฟ (รูปที่ 3.19) แบ่งเป็น



รูปที่ 3.18 มอเตอร์ส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 สายไฟที่ต่อเข้ากับตัวมอเตอร์ส่งกำลัง

โดยเราจะทราบว่ามอเตอร์ใช้ไฟเท่าไรโดยวัดจากเส้นสีแดง

- จากการวัดผ่านสายไฟจากมอเตอร์ที่ได้ผ่านตัวควบคุมมาแล้วได้ค่ากระแสไฟเท่ากับ 0.29

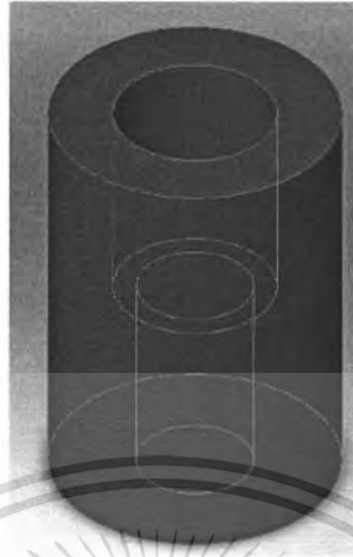
A

- และจากการวัดโดยไม่ผ่านตัวควบคุมได้ค่ากระแสไฟเท่ากับ 0.30 A

ดังนั้นแสดงว่ามีการสูญเสียไฟฟ้าที่ตัวควบคุม 0.01 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.11. Couplings



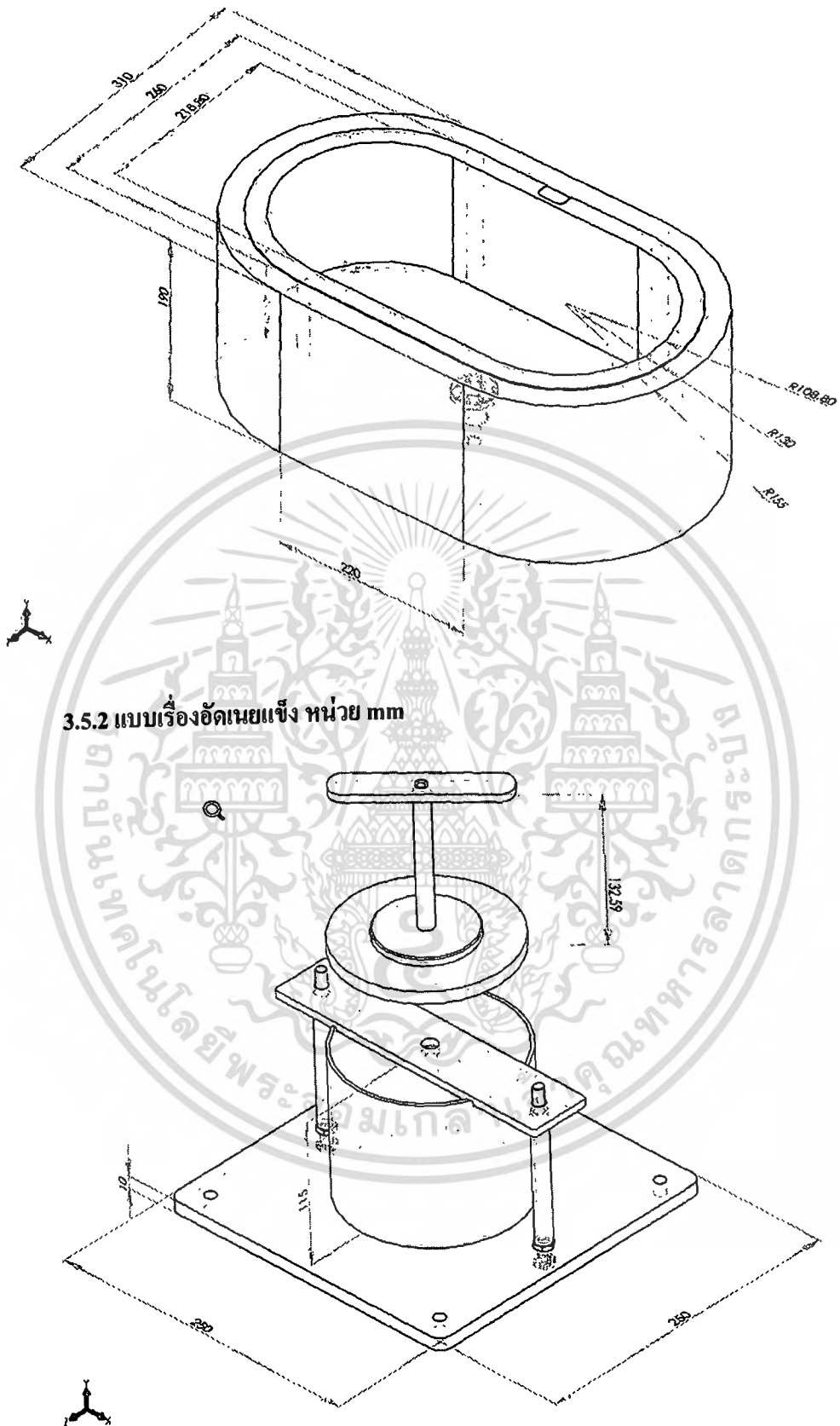
รูปที่ 3.20 คัปปลิ่ง

ใช้ยึดแกนมอเตอร์เข้ากับเพลาของมอเตอร์โดยเลือก Couplings (รูปที่ 3.20) แบบ Set Screw Type หรือ Clamping Type

3.5 แบบถ่านประกอบของ Cheese Vat

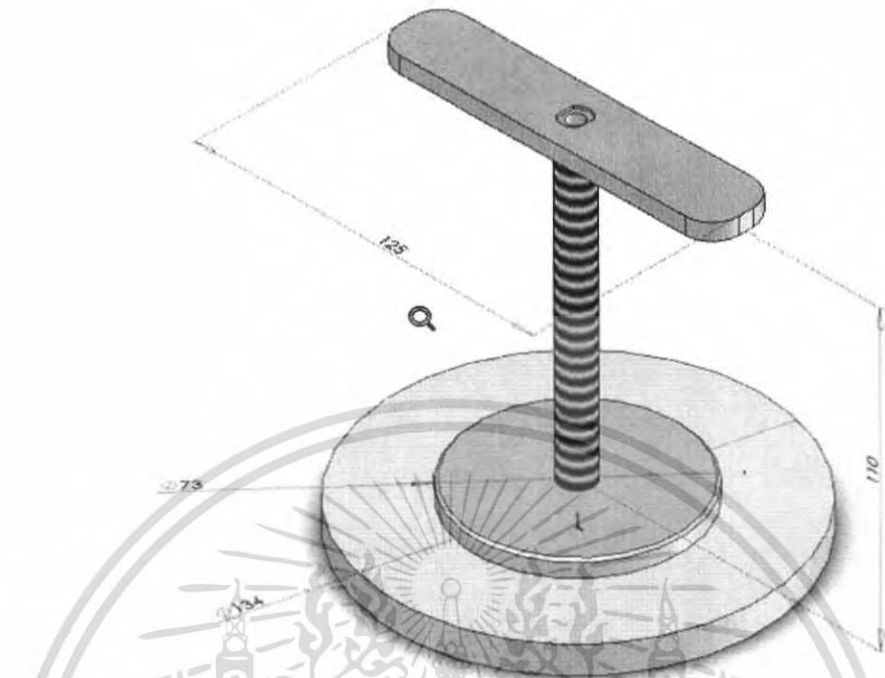
3.5.1 แบบ Cheese Vat หน่วย mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

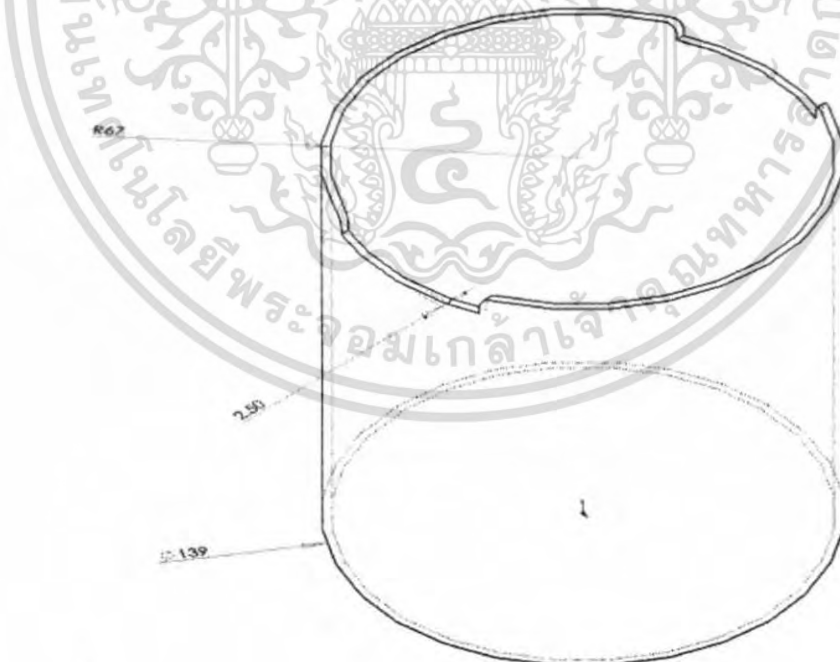


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 แบบเกลียวอัด หน่วย mm

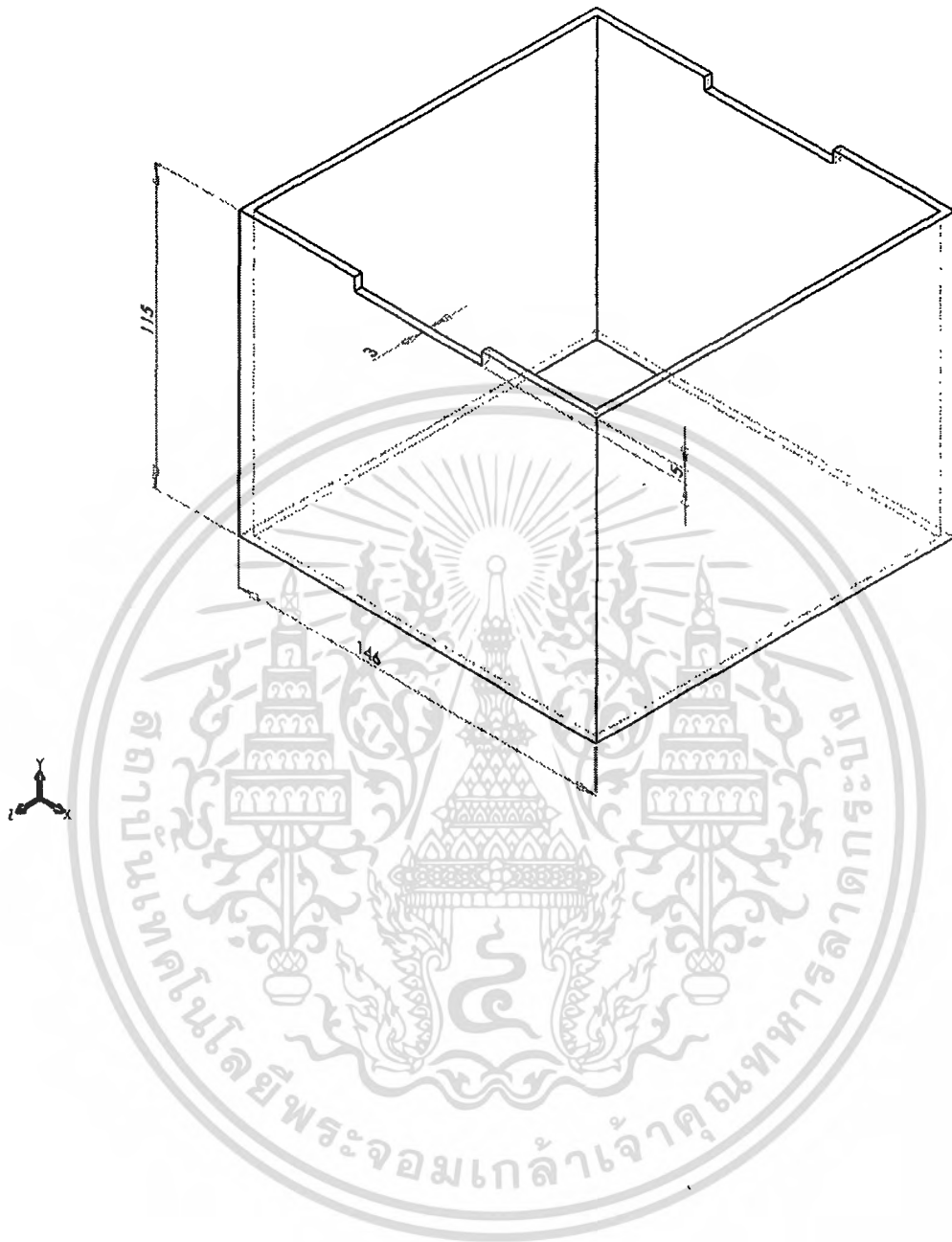


3.5.4 แบบโมดูลทรงกระบอก หน่วย mm



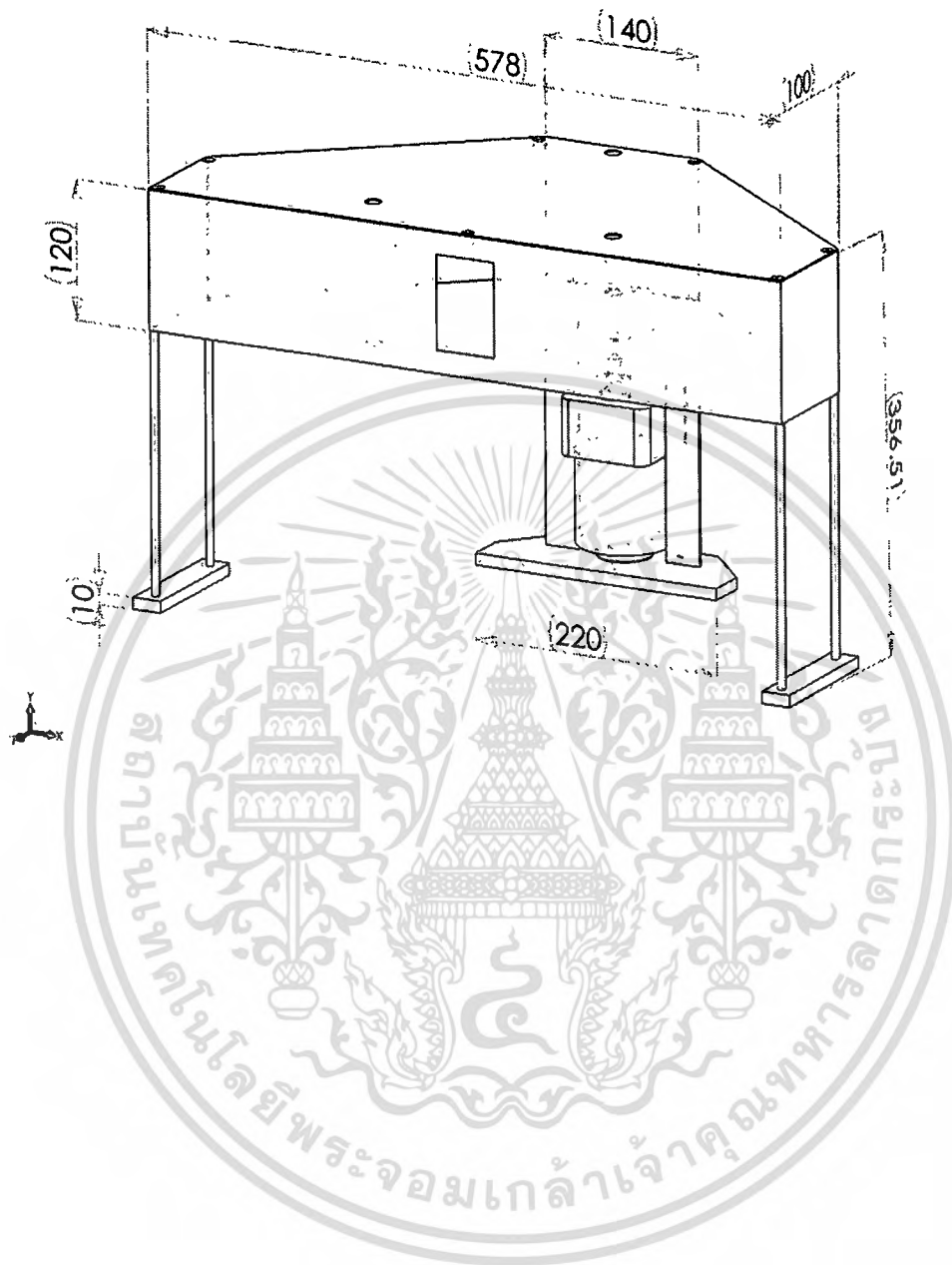
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 แบบโมลด์ทรงสี่เหลี่ยม หน่วย mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 แบบโครงเครื่องกวนเหนยแข็ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

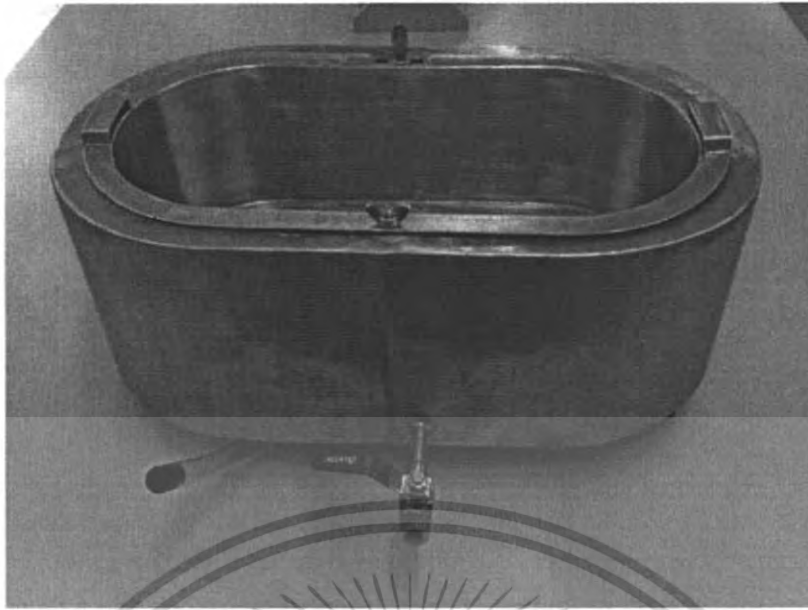
4.1 วัสดุและสารเคมี [ดูรูปในภาคผนวก ก]

1. เกลีส 1 ถัง
2. เรนเนท 1 ซอง
3. สตาร์ทเตอร์ (เชื้อ R-704) 1 ซอง
4. นมแพะ
5. สตาร์ทเตอร์ (เชื้อ CHN-22) 1 ซอง
6. มะละกอ
7. สตอร์เบอร์รี่
8. มะขงชิด

4.2 อุปกรณ์

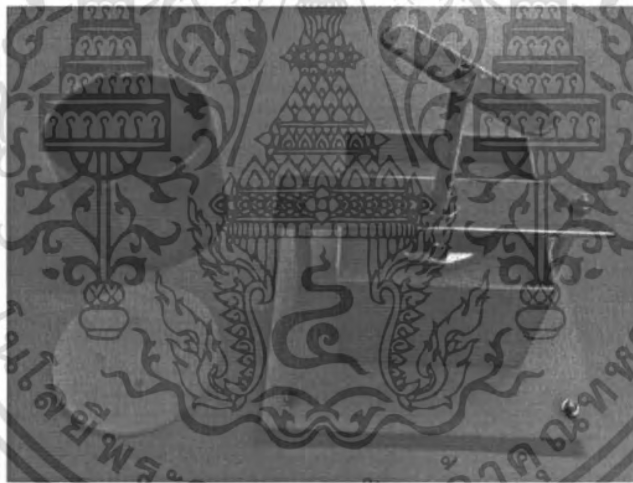
- 1) กระดาษทิชชูธรรมดา
- 2) กระดาษทิชชู Kimberly Clark สำหรับทำความสะอาดหัวกดและเครื่องวัดสี
- 3) บีกเกอร์ ขนาด 2000 ml จำนวน 2 ใบ
- 4) บีกเกอร์ ขนาด 250 ml จำนวน 2 ใบ
- 5) กรวยแก้ว จำนวน 1 ใบ
- 6) เทอร์โมมิเตอร์ จำนวน 2 อัน
- 7) มีด จำนวน 1 ด้าม
- 8) ทัพพี จำนวน 1 ด้าม
- 9) เขียง จำนวน 1 อัน
- 10) ถูมมือยาง
- 11) หม้อสแตนเลส ขนาด 14 ลิตร
- 12) Cheese Vat [ดู Specification ในภาคผนวก จ]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 Cheese Vat

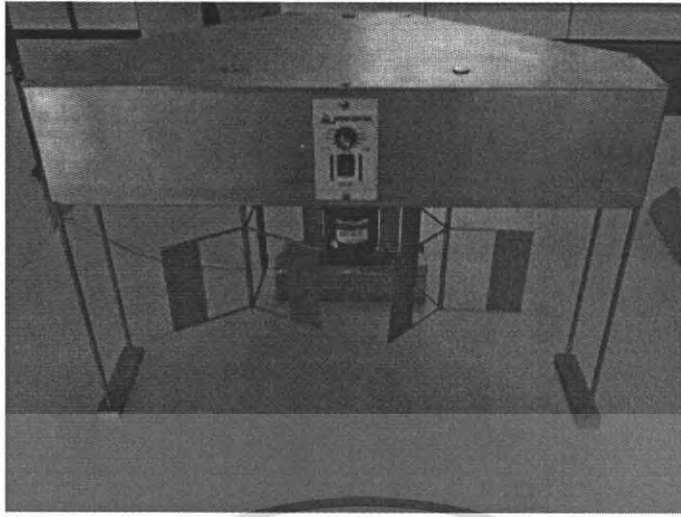
13) เครื่องอัดเนยแข็ง [ดู Specification ในภาคผนวก จ]



รูปที่ 4.2 เครื่องอัดเนยแข็ง

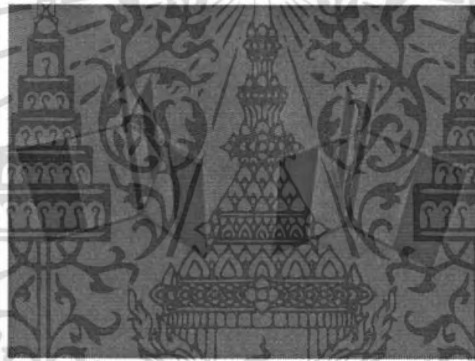
14) เครื่องกวนและไบกวน โดยเครื่องกวนมีตัวปรับเปอร์เซ็นต์การจ่ายไฟฟ้าแบบหมุน ซึ่งเครื่องกวนที่ใช้ นั้น ใช้การจ่ายไฟฟ้าประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ จะได้การหมุน 20 rpm [ดู Specification ในภาคผนวก จ]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



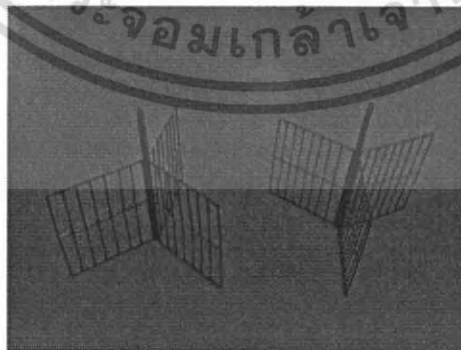
รูปที่ 4.3 เครื่องกวนและ ไบกวน

15) ไบกวนนม [ดู Specification ในภาคผนวก จ]



รูปที่ 4.4 ไบกวนนม

16) ไบกวนตัดเคิร์ด [ดู Specification ในภาคผนวก จ]



รูปที่ 4.5 ไบกวนตัดเคิร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 17) เครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกล (TA HD Plus , Stable Micro System, UK)
- 18) เครื่องวัดสี Colorimeter (Hunter Lab Mini Scan XE+Plus 45/O LAV, Reston, USA)
- 19) เครื่องวัดความเร็วรอบ นำมาทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การจ่ายไฟที่เหมาะสมสำหรับความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที
- 20) Clamp Meter เพื่อนำมาหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ และนำมาคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ใช้
- 21) หัวกดแบบ A/BE – d35 Back Extrusion Rig 35 mm DISC (รูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 หัวกด

- 22) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วยขั้วต่อเข้ากับตัวทำความร้อนและสายตรวจจับอุณหภูมิ หลอดไฟเขียวสว่างแสดงว่าเปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ หลอดไฟแดงสว่างแสดงว่าตัวทำความร้อนกำลังทำงาน มีตัวหมุนปรับเลือนอุณหภูมิตามที่ต้องการนั้น คลาดเคลื่อนที่ ± 10 องศาเซลเซียส [ดู Specification ในภาคผนวก จ]



รูปที่ 4.7 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23) ตัวทำความร้อน ขณะวางอยู่ใน Cheese vat [ดู Specification ในภาคผนวก จ]



รูปที่ 4.8 ตัวทำความร้อนภายใน Cheese Vat

24) เครื่องชั่งน้ำหนัก (Ohaus model Adventure น้ำหนักสูงสุด 3100 g ความละเอียด 0.01 g)

4.3 ขั้นตอนการดำเนินการและวิธีการทดลอง

4.3.1 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งชนิดดำ

- 1) นมผ่านเครื่องพาสเจอร์ไรส์ 72°C /15s (นม 10 ลิตร) ระหว่างรอให้นมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C กวนเบาๆ (30 rpm)
- 2) เมื่อนมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C แล้วจึงเติมสตาร์ทเตอร์ (เชื้อ R-704) จำนวน 0.25 กรัม ละลายในนม 10 มิลลิลิตร กวนต่ออีก 40 นาที
- 3) เติมเรนเนท 0.5 กรัมที่ละลายในน้ำ 5 มิลลิลิตร กวน 3 นาที และพักให้เกิดเคิร์ด 45 – 60 นาที
- 4) ตัดเคิร์ดเป็นชิ้นเล็ก โดยใช้ใบมีดกวน 25 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 38 – 40 °C และกวนเบาๆ ตลอดเวลา กวนต่ออีก 30 นาที
- 5) ปล่อน้ำเวย์ออกหมด พักให้เคิร์ดเกาะตัวเชื่อมกัน 30 นาที พลิกกลับก้อนเคิร์ดทุก 10 นาที กลับ 4 ครั้ง
- 6) ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยมีด คลุกเกลือ 20 กรัมและนวด 10 นาทีจนเกลือละลาย
- 7) บรรจุใส่พิมพ์ กดน้ำหนักทิ้งไว้ทั้งคืน ในตู้เย็น 4-7 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8) แคะเนยแข็งออกจากพิมพ์ทิ้งให้แห้ง 2 วันจากนั้นนำมาหั่นครึ่งหนึ่งไว้ทดสอบ ด้วย เครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกลและเครื่องวัดสี ส่วนที่เหลือนำไปทดสอบด้วยการชิม

4.3.2 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งเชดด้าผสมสตรอเบอรี่

- 1) นมผ่านเครื่องพาสเจอร์ไรส์ 72°C /15s (นม 10 ลิตร) ระหว่างรอให้นมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C กวนเบาๆ (30 rpm)
- 2) เมื่อนมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C แล้วจึงเติมสตาร์ทเตอร์ (เชื้อ R-704) จำนวน 0.25 กรัม ละลายในนม 10 มิลลิลิตร กวนต่ออีก 40 นาที
- 3) เติมเรนเนท 0.5 กรัมที่ละลายในน้ำ 5 มิลลิลิตร กวน 3 นาที และพักให้เกิดเคิร์ด 45 – 60 นาที
- 4) ตัดเคิร์ดเป็นชิ้นเล็กโดยใช้ใบมีดกวน 25 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 38 – 40 °C และกวนเบาๆ ตลอดเวลา กวนต่ออีก 30 นาที
- 5) ปล่อน้ำเวย์ออกหมด พักให้เคิร์ดเกาะตัวเชื่อมกัน 30 นาที พลิกกลับก้อนเคิร์ดทุก 10 นาที กลับ 4 ครั้ง
- 6) ตัดเป็นชิ้นเล็กๆด้วยมีด คลุกเกลือ 20 กรัม สตรอเบอรี่หั่นชิ้นเล็กๆ 120 กรัมและนวด 10 นาทีจนเกลือละลาย
- 7) บรรจุใส่พิมพ์ กดน้ำหนักทิ้งไว้ทั้งคืน ในตู้เย็น 4 -7 องศาเซลเซียส
- 8) แคะเนยแข็งออกจากพิมพ์ทิ้งให้แห้ง 2 วันจากนั้นนำมาหั่นครึ่งหนึ่งไว้ทดสอบ ด้วย เครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกลและเครื่องวัดสี ส่วนที่เหลือนำไปทดสอบด้วยการชิม

4.3.3 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งเชดด้าผสมมะละกอ

- 1) นมผ่านเครื่องพาสเจอร์ไรส์ 72°C /15s (นม 10 ลิตร) ระหว่างรอให้นมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C กวนเบาๆ (30 rpm)
- 2) เมื่อนมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C แล้วจึงเติมสตาร์ทเตอร์ (เชื้อ R-704) จำนวน 0.25 กรัม ละลายในนม 10 มิลลิลิตร กวนต่ออีก 40 นาที
- 3) เติมเรนเนท 0.5 กรัมที่ละลายในน้ำ 5 มิลลิลิตร กวน 3 นาที และพักให้เกิดเคิร์ด 45 – 60 นาที
- 4) ตัดเคิร์ดเป็นชิ้นเล็กโดยใช้ใบมีดกวน 25 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 38 – 40 °C และกวนเบาๆ ตลอดเวลา กวนต่ออีก 30 นาที

- 5) ปล่อน้ำวอร์มออกหมด พักให้เครื่องเกาะตัวเชื่อมกัน 30 นาที พลิกกลับก่อนเคิร์ดทุก 10 นาที กลับ 4 ครั้ง
- 6) ตัดเป็นชิ้นเล็กๆด้วยมีด คลุกเกลือ 20 กรัม มะละกอบั่นชิ้นเล็กๆ 180 กรัมและนวด 10 นาที จนเกลือละลาย
- 7) บรรจุใส่พิมพ์ กดน้ำหนักทิ้งไว้ทั้งคืน ในตู้เย็น 4 -7 องศาเซลเซียส
- 8) แกะเนยแข็งออกจากพิมพ์ทิ้งให้แห้ง 2 วันจากนั้นนำมาหั่นครึ่งหนึ่งไว้ทดสอบ ด้วยเครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกลและเครื่องวัดสี ส่วนที่เหลือนำไปทดสอบด้วยการชิม

4.3.4 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งเชดด้าผสมมะยงชิด

- 1) นมผ่านเครื่องพาสเจอร์ไรส์ 72°C /15s (นม 10 ลิตร) ระหว่างรอให้นมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C กวนเบาๆ (30 rpm)
- 2) เมื่อนมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C แล้วจึงเติมสตาร์ทเตอร์ (เชื้อ R-704) จำนวน 0.25 กรัม ละลายในนม 10 มิลลิลิตร กวนต่ออีก 40 นาที
- 3) เติมเรนเนท 0.5 กรัมที่ละลายในน้ำ 5 มิลลิลิตร กวน 3 นาที และพักให้เกิดเคิร์ด 45 – 60 นาที
- 4) ตัดเคิร์ดเป็นชิ้นเล็กโดยใช้ใบมีดกวน 25 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 38 – 40 °C และกวนเบาๆ ตลอดเวลา กวนต่ออีก 30 นาที
- 5) ปล่อน้ำวอร์มออกหมด พักให้เครื่องเกาะตัวเชื่อมกัน 30 นาที พลิกกลับก่อนเคิร์ดทุก 10 นาที กลับ 4 ครั้ง
- 6) ตัดเป็นชิ้นเล็กๆด้วยมีด คลุกเกลือ 20 กรัม มะยงชิดหั่นชิ้นเล็กๆ 190 กรัมและนวด 10 นาที จนเกลือละลาย
- 7) บรรจุใส่พิมพ์ กดน้ำหนักทิ้งไว้ทั้งคืน ในตู้เย็น 4 -7 องศาเซลเซียส
- 8) แกะเนยแข็งออกจากพิมพ์ทิ้งให้แห้ง 2 วันจากนั้นนำมาหั่นครึ่งหนึ่งไว้ทดสอบ ด้วยเครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกลและเครื่องวัดสี ส่วนที่เหลือนำไปทดสอบด้วยการชิม

4.3.5 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งเกด้า

- 1) นมผ่านเครื่องพาสเจอร์ไรส์ 72°C /15s (นม 10 ลิตร) ระหว่างรอให้นมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C กวนเบาๆ (30 rpm)

- 2) เมื่อนมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C แล้วจึงเติมสตาร์ทเตอร์ (เชื้อ CHN-22) จำนวน 0.5 กรัม ละลายในนม 10 มิลลิลิตร แคลเซียมคลอไรด์อิ่มตัว 2 มิลลิลิตร และโพแทสเซียมไนเตรด 0.75 กรัม กวนต่ออีก 40 นาที
- 3) เติมเรนเนท 0.5 กรัมที่ละลายในน้ำ 5 มิลลิลิตร กวน 3 นาที และพักให้เกิดเคิร์ด 45 – 60 นาที
- 4) ตัดเคิร์ดเป็นชิ้นเล็กโดยใช้ใบมีดกวน 25 นาที ระหว่างรอตัดเคิร์ด เตรียมน้ำร้อน 60 °C ประมาณ 1.5 ถึง ระบายน้ำเวย์ออก ครั้งที่ 1 ประมาณ 1/3 (1.75 ลิตร)
- 5) เติมน้ำร้อน 60 °C ที่เตรียมไว้ 1 – 1.5 ลิตรอย่างช้าๆ กวนด้วย ใช้เวลาเพิ่มอุณหภูมิเป็น 38 – 40 °C อย่างช้าๆ ประมาณ 20 นาที กวนต่ออีก 25 นาทีโดยใช้ใบมีดตัดเคิร์ดด้วย
- 6) ระบายน้ำเวย์ออกครั้งที่ 2 โดยปล่อยน้ำเวย์ออกเกือบหมดให้เหลือนมควมเคิร์ดประมาณ 1 ลิตร
- 7) ทับน้ำหนักด้วยถังใส่น้ำ 1/2 ถึงทิ้งไว้ 20 นาที
- 8) ตัดเคิร์ดมาใส่พิมพ์ นำไปกดอัดด้วยเครื่องอัดเนยแข็งเป็นเวลา 2 ชม.
- 9) แกะเนยแข็งออกจากพิมพ์จากนั้นนำมาหั่นครึ่งหนึ่งไว้ทดสอบด้วยเครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกลและเครื่องวัดสี ส่วนที่เหลือนำไปทดสอบด้วยการชิม

4.3.5 กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งอิตาลี่

- 1) นมผ่านเครื่องพาสเจอร์ไรส์ 72°C /15s (นม 10 ลิตร) ระหว่างรอให้นมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C กวนเบาๆ (30 rpm)
- 2) เมื่อนมได้อุณหภูมิ 30 – 32 °C แล้วจึงเติมสตาร์ทเตอร์ (เชื้อ CHN-22) จำนวน 0.5 กรัม ละลายในนม 10 มิลลิลิตร กวนต่ออีก 40 นาที
- 3) เติมเรนเนท 0.5 กรัมที่ละลายในน้ำ 5 มิลลิลิตร กวน 3 นาที และพักให้เกิดเคิร์ด 45 – 60 นาที
- 4) ตัดเคิร์ดเป็นชิ้นเล็กโดยใช้ใบมีดกวน 25 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 32 – 35 °C อย่างช้าๆ ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิและกวนเบาๆตลอดเวลา ใช้เวลาเพิ่มอุณหภูมิ 20 นาที กวนต่ออีก 30 นาที
- 5) ปล่อยน้ำเวย์เกือบไว้ในถัง พักให้เคิร์ดเกาะตัวเชื่อมกัน 30 นาที พลิกกลับก้อนเคิร์ดทุก 10 นาที กลับครั้งที่ 1, 2, 3,4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) ตัดเป็นชิ้นเล็กๆด้วยมีด คลุกเกลือ 20 กรัม
- 7) บรรจุใส่พิมพ์ กดน้ำหนักทิ้งไว้ 30 นาที
- 8) แกะเนยแข็งออกจากพิมพ์ นำไปป้อนกับน้ำเวย์อุณหภูมิ 52 - 54°C จากนั้นบรรจุใส่พิมพ์ กดน้ำหนักทิ้งไว้ทิ้งคืนในตู้เย็น ที่อุณหภูมิ 4 – 7 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาหั่นครึ่งหนึ่งไว้ทดสอบ ด้วยเครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกลและเครื่องวัดสี ส่วนที่เหลือนำไปทดสอบด้วยการชิม

4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง [15]

การทดสอบด้วยการชิมเพื่อประเมินผลอาหารมีมากมายหลายแบบ แต่ละแบบก็เหมาะที่จะใช้สำหรับปัญหาเฉพาะแต่ละอย่าง ดังนั้นการจะเลือกวิธีใดจึงมีความสำคัญ จะต้องทำความเข้าใจถึงลักษณะของวิธีทดสอบด้วยการชิมแต่ละแบบที่มีให้เลือกใช้ นอกจากนี้ยังต้องระมัดระวังในการวางแผนทางสถิติและในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย

สำหรับการทดสอบหาความชอบหรือการยอมรับนั้นจะเป็นเครื่องตัดสินความชอบของประชากรที่เป็นตัวแทนได้

การชิมแบบแบบให้ระดับหรือแสดงระดับ (Scoring) การใช้วิธีทดสอบแบบนี้ เป็นการให้ผู้ตัดสินให้ระดับ (ถ้าเป็นการหาความแตกต่าง) หรือแสดงระดับ (ถ้าเป็นการหาระดับความชอบ) ของตัวอย่างตามคุณสมบัติที่กำหนดให้ โดยผู้ทำหน้าที่วิเคราะห์ผล ได้กำหนดค่าแสดงลักษณะของระดับนั้นๆ ไว้เป็นตัวเลขแล้ว วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีความแตกต่างกันไป ง่ายแก่การใช้ และสะดวกแก่การนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ

4.4.1 วิธีทดสอบการชิมแบบให้ระดับ

- 1) ตัดเนยแข็งตัวอย่าง ให้มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง 1 x 1 x 1 cm ตามลำดับ โดยตัดห่างจากขอบเนยแข็งเป็นระยะ 1.5 cm จากเนยแข็งที่ทำเอง โดยทดสอบกับเนยแข็งที่ทำเองและที่ซื้อได้แก่ เนยแข็งเชดด้า, เนยแข็งอีแควม และเนยแข็งเกาด้าด้วย
- 2) หนึ่งตัวอย่างการทดลอง ใช้เนยแข็งตัวอย่าง จำนวน 2 ชิ้น

- 3) ค่าทางประสาทสัมผัสที่ใช้วัด มี 8 ค่า ได้แก่ 1. ความหยาบของพื้นผิว (ตาคลู) 2. ความชื้น 3. ความยืดหยุ่น (จากการเคี้ยว) 4. ความแน่นเนื้อ 5. ความร่วน 6. การติดฟัน 7. การละลาย 8. ความชื้นในปาก
- 4) การให้คะแนน ให้แบ่งเป็นระดับ 5 ระดับ (เช่น ระดับ 1 ไม่ชอบ, ระดับ 5 ชอบมาก) ด้วยการวัดทางประสาทสัมผัสให้ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง แล้วบันทึกผลการทดลอง
- 5) วิจัยและบันทึกผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่าง แบบบันทึกผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง

ชื่อคนชิม

ลักษณะ	ไม่ชอบ (1คะแนน)	ชอบน้อย (2คะแนน)	ชอบ (3คะแนน)	ชอบมาก (4คะแนน)	ชอบที่สุด (5คะแนน)
ความหยาบของผิว (ตาดู)					
ความชื้น					
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว					
ความแน่นเนื้อ					
ความร่วน					
การติดฟัน					
การละลาย					
ความชื้นในปาก					

แสดงความคิดเห็น

:

รหัสเนยแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

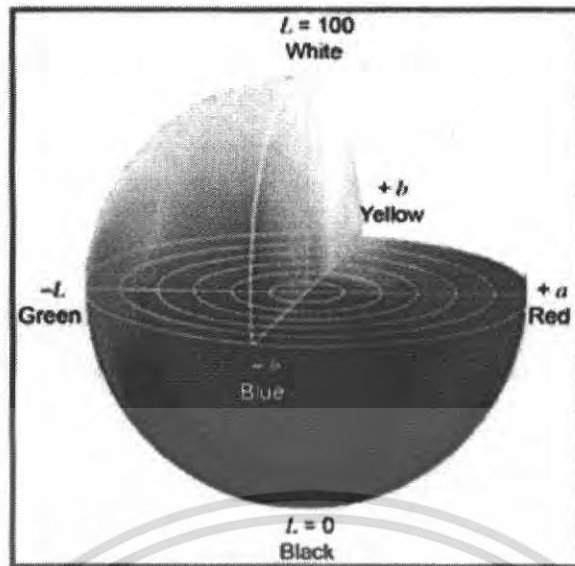
4.5 การทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลข

4.5.1 ระบบการวัดค่าสี

สีเป็นปัจจัยคุณภาพปัจจัยแรกที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจการยอมรับคุณภาพของอาหาร เพราะสีเป็นสิ่งที่คนเรารับรู้ได้ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับการรับรู้ทางประสาทสัมผัสชนิดอื่น สียังสามารถบอกถึงปัจจัยคุณภาพอื่น คือ ความแก่อ่อน ความสุก และความสด ซึ่งมนุษย์จะมีการจดจำความหมายของสีที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีค่าสีมาตรฐานเพื่อใช้บ่งชี้ว่าสีที่เราเห็นมีค่าเท่าใด เพื่อที่เกษตรกร ผู้ซื้อ ผู้ผลิตและผู้บริโภคได้เข้าใจตรงกันและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ

ซึ่งระบบการวัดค่าสีที่นิยมใช้ในงานวิจัยทางด้านอาหารจะนิยมใช้ระบบ Hunter Color (L^* , a^* , b^*) ซึ่งเป็นระบบที่มีการพัฒนามาจากค่าสีไอโอโทรสติมิวัลส์ (X, Y, Z) และค่าพิคคซีไอโอโครมาติซิตี (x, y, z) เพื่อให้สามารถบอกค่าความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งความหมายของค่า CIE L^* , a^* , b^* มีดังนี้ และแสดงไว้ดังรูปที่ 4.9 และ

- ค่า CIE L^* เป็นค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 โดยที่
 - ค่า CIE $L^* = 0$ แสดงถึงความเป็นสีดำอย่างสมบูรณ์
 - ค่า CIE $L^* = 100$ แสดงถึงความเป็นสีขาวอย่างสมบูรณ์
- ค่า CIE a^* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียว โดยที่
 - ค่า CIE a^* เป็นบวก แสดงความเป็นสีแดง
 - ค่า CIE a^* เป็นลบ แสดงความเป็นสีเขียว
- ค่า CIE b^* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือความเป็นสีน้ำเงิน โดยที่
 - ค่า CIE b^* เป็นบวก แสดงความเป็นสีเหลือง
 - ค่า CIE b^* เป็นลบ แสดงความเป็นสีน้ำเงิน



รูปที่ 4.9 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE LAB ในรูป สามมิติ

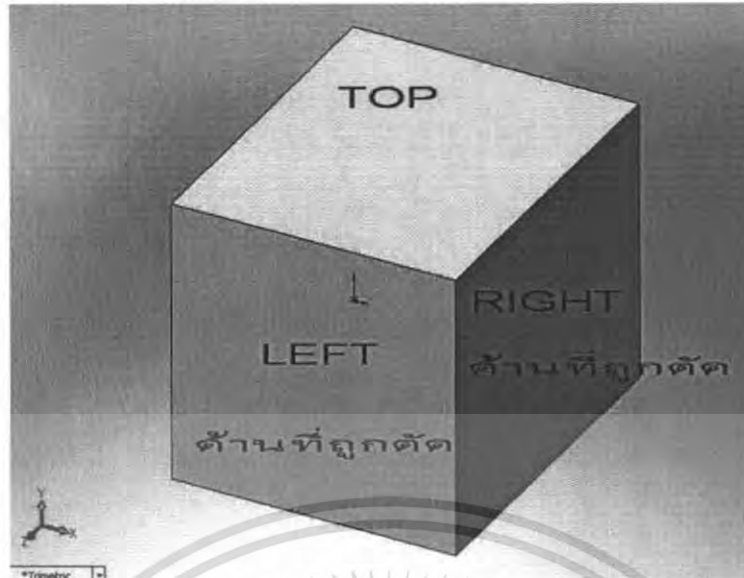
การวัดค่าสี (Colorimeter)

1. นำชิ้นตัวอย่างเนยแข็งที่ตัดแล้ว ได้รูปทรงดังรูปที่



รูปที่ 4.10 แสดงการวัดสีด้าน Top Left Right ของเนยแข็งทดสอบแบบวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงการวัดสีด้าน Top Left Right ของเนยแข็งทดสอบแบบสี่เหลี่ยม

2. เข้าโปรแกรมการวัดสี เลือกหน้าต่าง Master Color Data > Configure > Active View กด OK
3. กดปุ่ม Standardize Glass เพื่อนำแผ่น Black และ White ตั้งค่า Standardize กด OK
4. นำ Colorimeter มาทาบที่ละด้านดังรูปที่ จากนั้นกดปุ่ม Read Sample เพื่อให้ Colorimeter อ่านค่าสีของแต่ละด้าน จากนั้นตั้งชื่อค่าสีที่วัดไป ทำเช่นนี้ครบทั้งสามด้าน
5. เก็บผลการทดลองที่ได้จากตารางลงใน Excel เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4.5.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis)

เนื้อสัมผัส หมายถึง สิ่งที่เราได้โดยการสัมผัส เช่น การเคี้ยว การจับ การฟังเสียงขณะเคี้ยวว่ามีลักษณะอย่างไร เช่น ความแข็ง นุ่ม อ่อน นอกจากนี้ยังอาจหมายถึงลักษณะผิวที่มองเห็นจากภายนอกวัสดุ เช่น หยาบ ละเอียด เป็นต้น

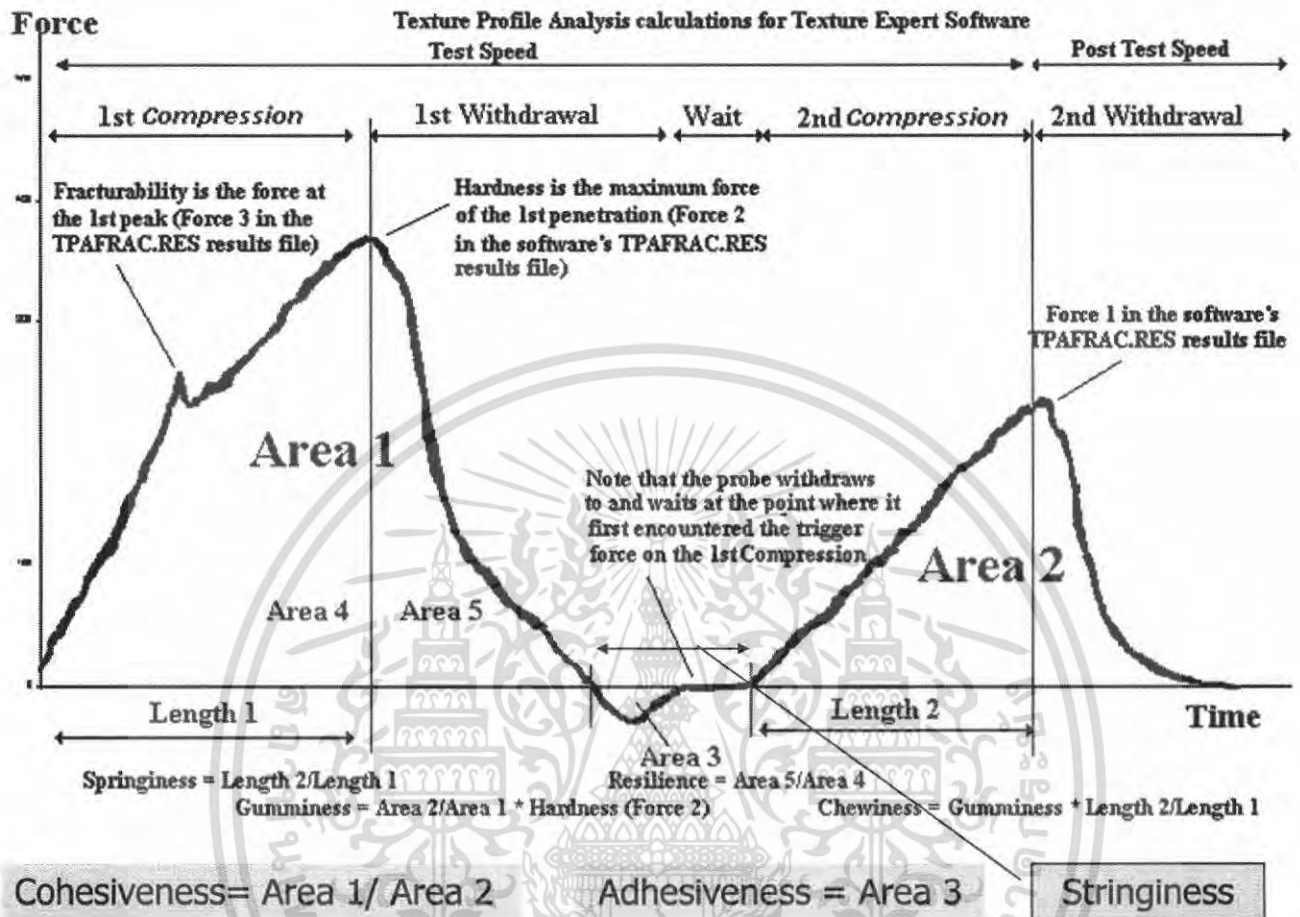
ค่าความยืดหยุ่นต่างๆที่วัดมีดังต่อไปนี้

1. Springiness ค่าความยืดหยุ่นแบบสปริง
2. Gumminess ค่าความยืดหยุ่นแบบหมากฝรั่ง
3. Chewiness ค่าความยืดหยุ่นแบบเคี้ยว
4. Resilience ค่าความกลับสู่สภาพเดิม
5. Cohesiveness ค่าการยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Adhesiveness ค่าความเกาะกุม

7. Stringiness ค่าความเหนียวคล้ายเชือก



รูปที่ 4.12 กราฟ TPA แสดงการหาค่าความยืดหยุ่นแบบต่างๆ

การวัดค่าเนื้อสัมผัสโดยใช้หัวกดแบบ A/BE - d35 เพื่อทดสอบ Texture

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เนยแข็งที่อัดแล้ว และตัดเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 2cm X 2cm X 2cm
- 2) เครื่องวัดสมบัติเชิงกล 1 เครื่อง พร้อมหัวกดแบบ A/BE - d35

วิธีการทดลอง

- 1) เปิดเครื่องวัดสมบัติเชิงกล เลือก New > Graph
- 2) เช็ดและทำความสะอาดเครื่องด้วยกระดาษทิชชู ก่อนเป็นอันดับแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เลือก T.A. > Calibrate > ทำการ Calibrate Force ตัวเครื่องวัดโดยใช้ท่อนเหล็กหนัก 2000 กรัม วางบนเครื่อง เมื่อ Calibrate เสร็จเก็บท่อนเหล็กให้เรียบร้อยและติดตั้งหัวกดแบบ แทน
- 4) เลือก T.A. > Calibrate > ทำการ Calibrate Height ตัวเครื่องวัดโดยกรอกข้อมูล ดังนี้ Return Distance 100 mm, Return Speed 20, Contact Force 0.5 g จากนั้นเลื่อนหัวกดมาใกล้กับ ฐานทดลอง เพื่อความสะดวก
- 5) เลือก T.A. > Library > Special Test > TPA จากนั้นกำหนดค่าดังต่อไปนี้ Test Speed 50 mm/min, Target Strain 25%, Auto Force, Trigger Force 0.04903N, Time 3sec จากนั้นจึง กดปุ่ม Update Project
- 6) เลือก T.A. > Run A Test กำหนดค่าดังต่อไปนี้ Check Auto Save และ สร้างโฟลเดอร์ที่ต้องการเก็บไฟล์ไว้ในไดรฟ์ที่เราต้องการ, กำหนด Probe Selection เป็นแบบ A/BE – d35 , กำหนด Parameter Area 400 mm² Length 20 mm Width 20 mm Height 20 mm
- 7) เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วนำเนยแข็งที่เตรียมไว้วางบนแท่นให้ได้ศูนย์กลางทั้ง 4 แนว
- 8) เลื่อนหัวกดลงมาในตำแหน่งที่สูงกว่าเนยแข็งเพียงเล็กน้อยเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการ ทดลอง
- 9) กดปุ่ม Run A Test ที่ค้างไว้จากข้อ 6 โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลจากหัวกดได้ เพื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างแรงกดและเวลา
- 10) เช็ดทำความสะอาดแผ่นหัวกดและฐานรองทุกครั้งก่อนที่จะเปลี่ยนชิ้นทดลองต่อไป
- 11) คำนวณหา Springiness, Gumminess, Chewiness, Resilience, Cohesiveness, Adhesiveness และ Stringiness ด้วย macro ที่สร้างขึ้นเองภายในโปรแกรม
- 12) สรุปผลการทดลอง

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง

ตารางที่ 5.1 สรุปผลคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง สรุป การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง นั้นทำในกลุ่มช่วงอายุ 20 – 28 ปีเป็นกลุ่มทดสอบ โดยกลุ่มทดสอบ นั้นได้แก่ นักศึกษาเป็นส่วนใหญ่ ได้แสดงความคิดเห็นในช่วงแรกของการชิม นั้นไม่อร่อย เมื่อชิมไปเรื่อยๆ จนเกิดความคุ้นเคยก็เห็นว่า เนยแข็ง นั้นรสชาติดีขึ้น ทั้งๆที่การทำเนยแข็งนั้นเหมือนกันเกือบจะทุกขั้นตอน ทั้งเนยแข็ง เชดด้า อีแคม และเกาด้า

คะแนนเฉลี่ยของเนยแข็งที่ทำเองนั้น ส่วนใหญ่คะแนนเกาะกลุ่มกันอยู่ในช่วง 21.5 – 23.6 ผ่าน ซึ่งน้อยกว่า เนยแข็งที่ซื้อมา ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง 27.0 – 32.4 ซึ่งจากความคิดเห็นของผู้ชิมส่วนใหญ่ บ่งชี้ว่าเนยแข็งที่ซื้อมานั้นรูปลักษณะจากการผ่านกระบวนการผลิตในโรงงานมาแล้วนั้น น่ากินกว่า รสชาติ ดีกว่าแบบทำเอง

5.2 การทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลขของการวัดค่าสี

จากตารางที่ 5.2 แสดงว่าเนยแข็งที่ทำเองส่วนใหญ่ออกสีขาว และค่อนข้างเหลือง ส่วนค่า a^* ซึ่งเป็นค่าแสดงถึงสีแดงและเขียวนั้นแตกต่างกันตามแต่ละชนิดของเนยแข็ง

5.3 การทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลขของค่าเนื้อสัมผัส

จากตารางที่ 5.3 แสดงว่า เนยแข็งส่วนใหญ่มีค่าความยืดหยุ่นแบบต่างๆ ใกล้เคียงกันยกเว้น ค่าความยืดหยุ่นหมากฝรั่ง และค่าความยืดหยุ่นแบบกล้วยที่ เนยแข็งแสดงผลออกมาแตกต่างกันชัดเจน

ตารางที่ 5.1 สรุปลักษณะทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง

เนยแข็งที่ทำเอง	คนชิมคนที่ 1	คนชิมคนที่ 2	คนชิมคนที่ 3	คนชิมคนที่ 4	คนชิมคนที่ 5	คนชิมคนที่ 6	คนชิมคนที่ 7	คนชิมคนที่ 8	คนชิมคนที่ 9	คนชิมคนที่ 10	ค่าเฉลี่ย
Cheddar	23.0	25.0	23.5	23.0	25.5	23.0	23.0	26.0	19.0	23.0	23.4
Cheddar Strawberry	22.0	22.5	26.0	26.0	25.0	26.0	24.0	24.0	20.0	19.0	23.5
Cheddar Mayongchid	23.0	26.0	23.0	23.5	27.0	27.5	15.0	19.0	26.5	25.0	23.6
Cheddar Papaya	26.0	23.5	23.0	17.5	29.0	22.5	22.5	21.0	18.5	16.5	22.0
Edam Cheese	27.0	18.0	23.5	22.5	25.5	24.5	26.0	23.5	26.0	23.0	24.0
Gouda Cheese	23.0	23.5	24.0	22.5	19.0	17.0	21.0	18.5	22.0	24.0	21.5
เนยแข็งที่ซื้อมา											
Cheddar	34.5	29.5	34.5	29.5	30.0	30.5	35.5	32.5	32.5	34.5	32.4
Edam Cheese	28.5	25.5	27.5	27.0	26.0	26.0	26.5	29.0	27.5	26.5	27.0
Gouda Cheese	28.5	25.0	28.5	24.5	29.5	25.0	27.5	26.5	27.5	27.0	27.0

*จากคะแนนเต็ม 40 คะแนน

ตารางที่ 5.2 ผลทดสอบค่าสี

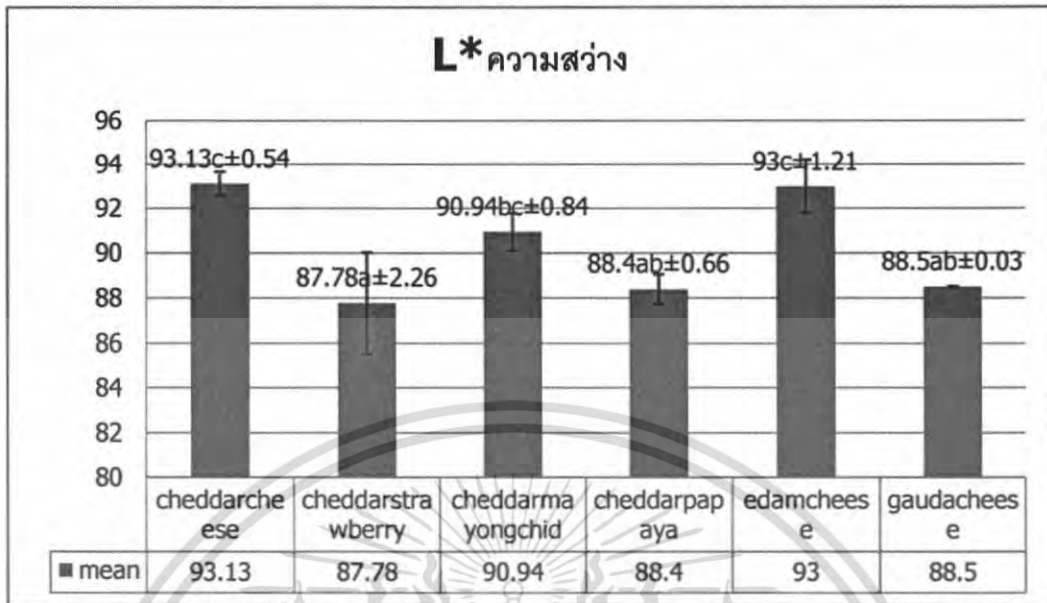
	L*	a*	b*
Cheddar	93.13	-1.92	11.35
Cheddar Strawberry	87.78	1.47	9.41
Cheddar Mayongchid	90.94	-0.46	14.92
Cheddar Papaya	88.40	3.05	15.58
Edam Cheese	93.00	-1.94	11.06
Gouda Cheese	88.50	-1.83	13.03

ตารางที่ 5.3 ผลค่าความยืดหยุ่นแบบต่างๆ

Cheese Type	adhesiveness	stringiness	springiness	resilience	gumminess	chewiness	cohesiveness
Cheddar	-0.174	8.848	0.671	0.249	1.510	1.016	1.770
Cheddar Strawberry	-0.206	9.053	0.691	0.268	1.476	1.063	1.773
Cheddar Mayongchid	-0.243	8.328	0.722	0.300	2.110	1.529	1.626
Cheddar Papaya	-0.408	9.148	0.663	0.220	1.452	0.971	1.997
Edam Cheese	-0.423	7.822	0.742	0.307	1.940	1.448	1.591
Gouda Cheese	-0.287	7.706	0.828	0.394	8.739	7.240	1.382

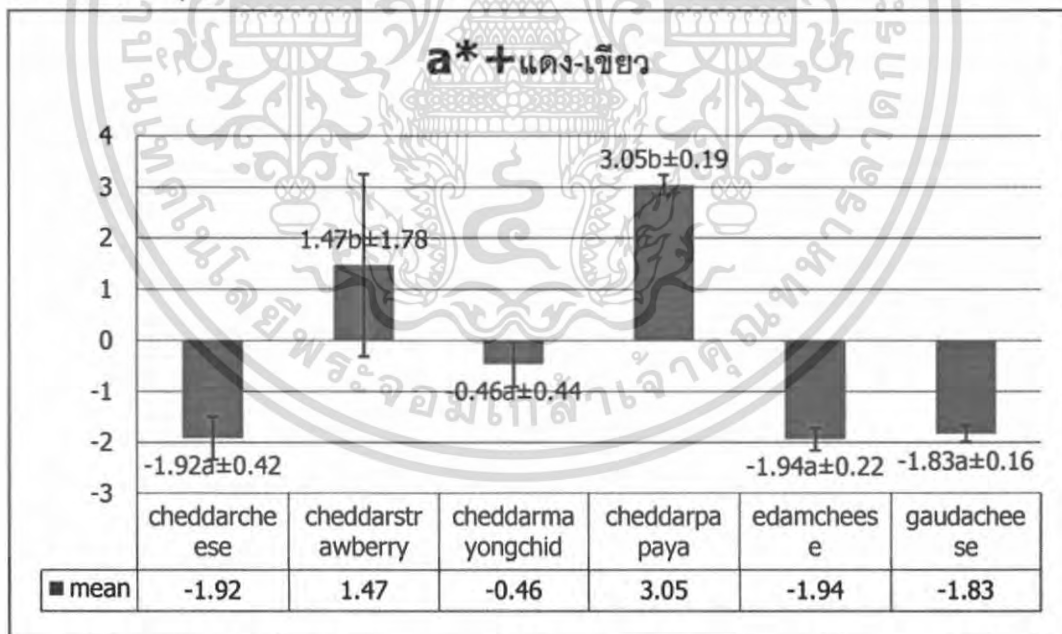
5.4 การทดสอบค่าสีและค่าเนื้อสัมผัสด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ

*ตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 5.1 กราฟแท่งค่าความสว่างของเนยแข็งชนิดต่างๆ

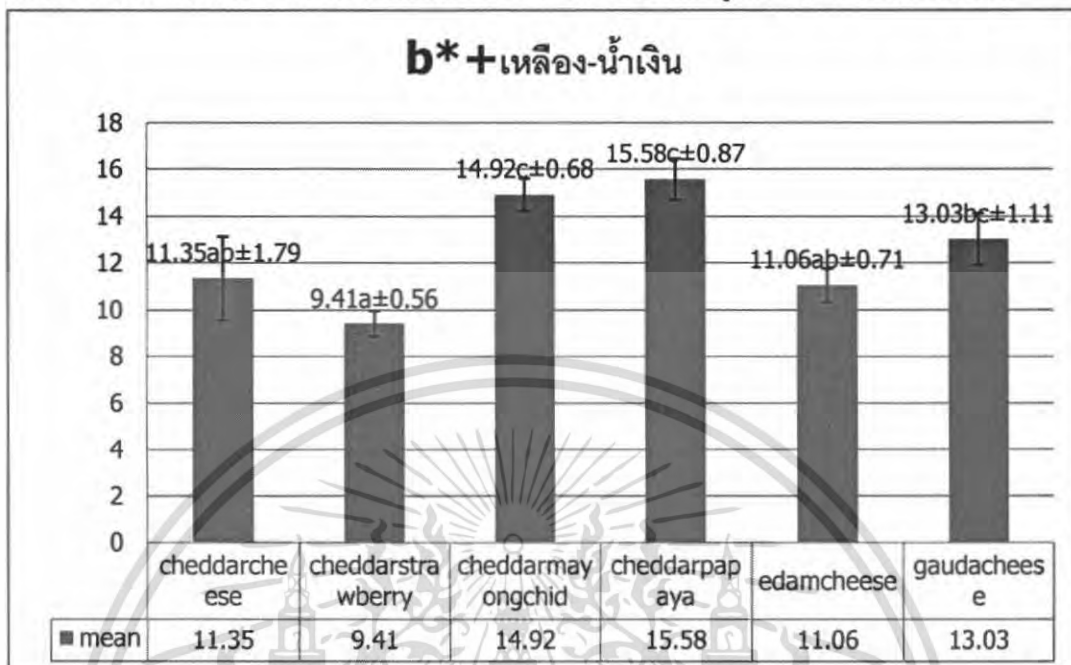
จากกราฟแท่งแสดงว่า เนยแข็งส่วนใหญ่ มีความสว่างไปทางสีขาวมาก โดยค่าความสว่างที่น้อยสุดก็ได้แก่ เนยแข็งที่ผสม สตรอเบอร์รี่ มะละกอก และเนยแข็งเกาด้าซึ่งไม่ได้ผสมก็ อยู่ในกลุ่มที่น้อยที่สุดเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับ เนยแข็งชนิดที่แตกต่างกัน



รูปที่ 5.2 กราฟแท่งค่าสีแดง เขียวของเนยแข็งชนิดต่างๆ

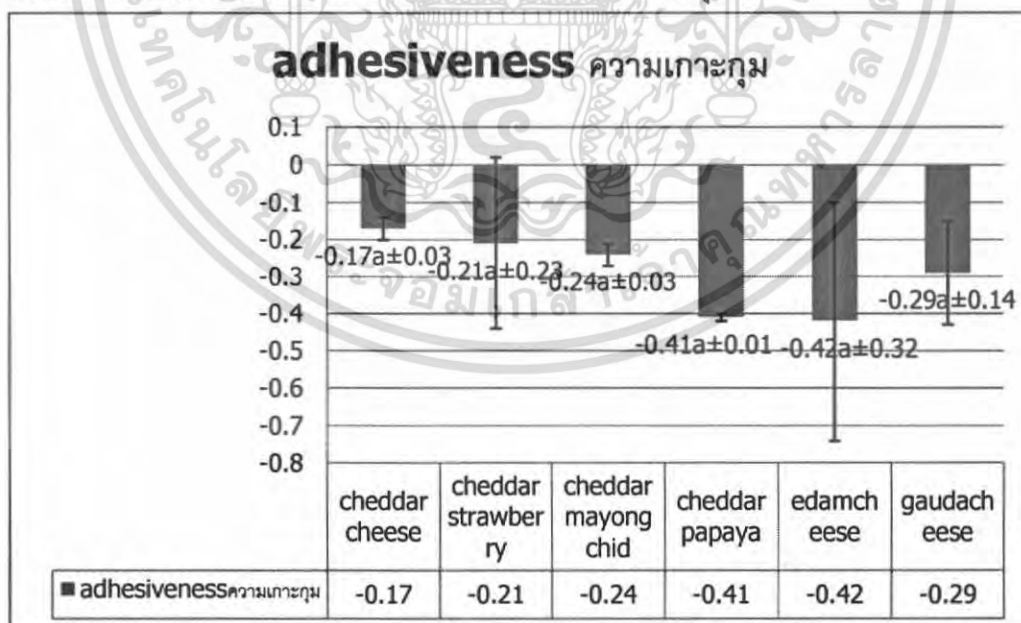
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแท่งแสดงว่า เนยแข็งชนิด เชดด้า อีแควม เกาด้า นั้นมีลักษณะค่อนข้างไปทางสีเขียว ซึ่งเป็นเนยแข็งที่ไม่ได้ผสมผลไม้ส่วนเนยแข็งชนิดที่ผสมผลไม้ นั้น จะแสดงผลในเชิงตรงกันข้าม คือ มีสีไปทางสีแดงเนื่องจากการผสมเนื้อผลไม้ ซึ่งยกเว้นมะขงชนิดที่อยู่ในระดับไปทางสีเขียวอ่อน



รูปที่ 5.3 กราฟแท่งค่าสีเหลือง น้ำเงินของเนยแข็งชนิดต่างๆ

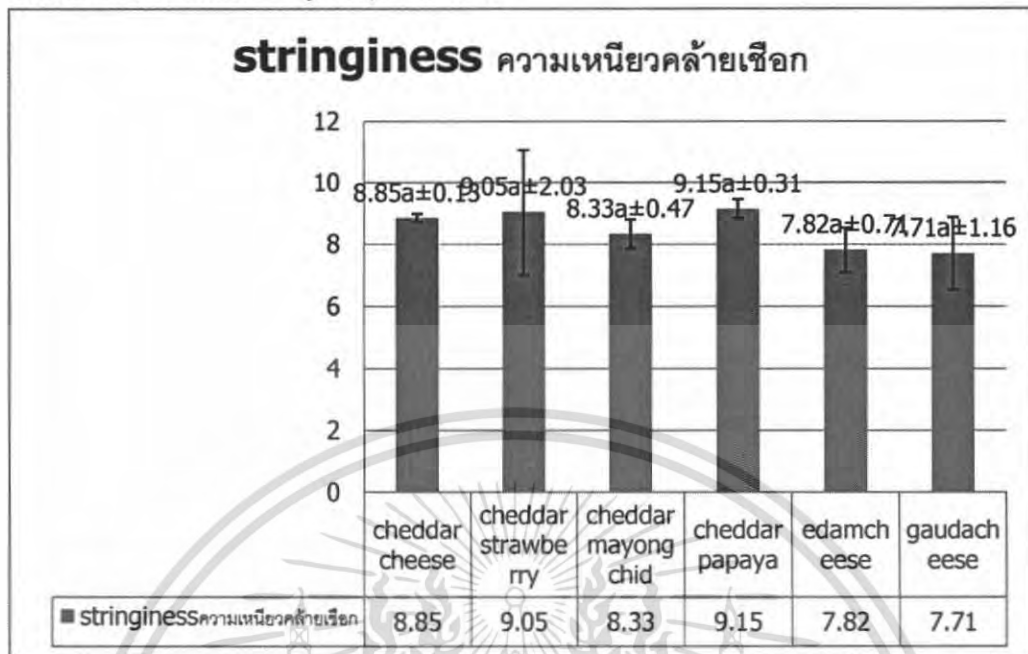
จากกราฟแท่งแสดงว่า เนยแข็งชนิด เชดด้า อีแควม เกาด้า นั้นอยู่ในกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน คือ ออกเหลือง ส่วนที่ออกสีเหลืองมากที่สุดคือ เนยแข็งชนิดที่ผสมเนื้อมะละกอ และรองลงมาคือเนยแข็งชนิดที่ผสมมะขงชนิด ส่วนเนยแข็งชนิดที่ผสมสตรอเบอรี่นั้นต่ำสุด



รูปที่ 5.4. กราฟแท่งค่าความเกาะกวมของเนยแข็งชนิดต่างๆ

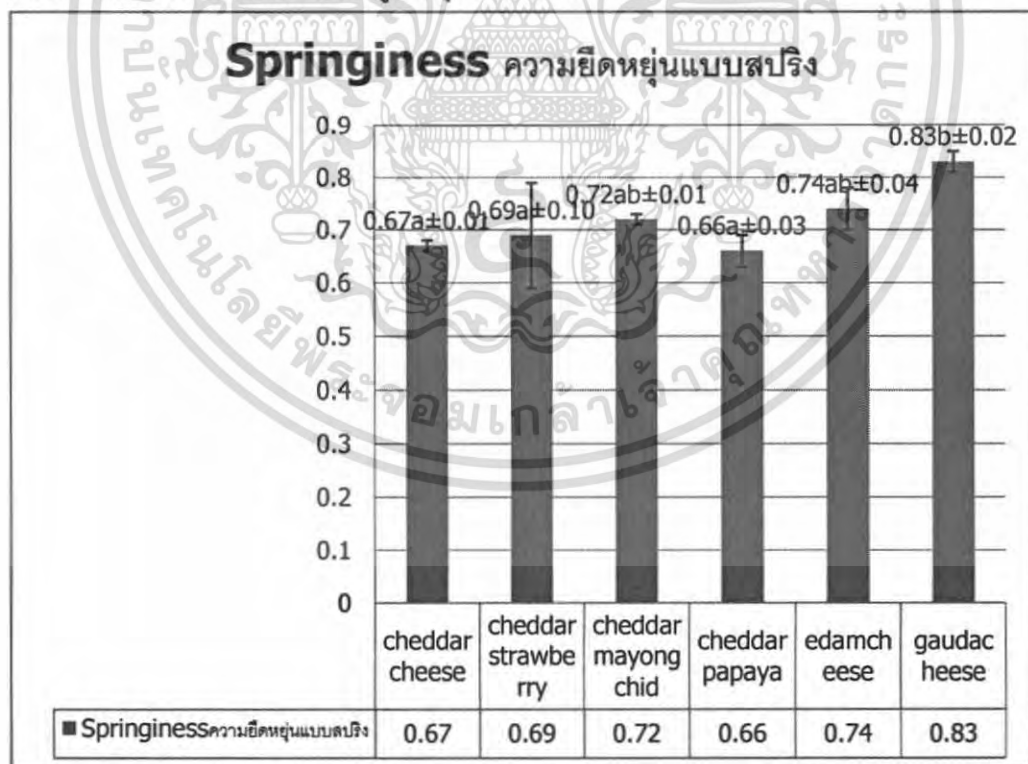
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแท่งแสดงว่า ความเคาะกุ่มของเนยแข็งทุกชนิดของค่าเฉลี่ยทางสถิติไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเพราะอยู่ในกลุ่ม a ทั้งหมด



รูปที่ 5.5 กราฟแท่งค่าความเหนียวคล้ายเชือกของเนยแข็งชนิดต่างๆ

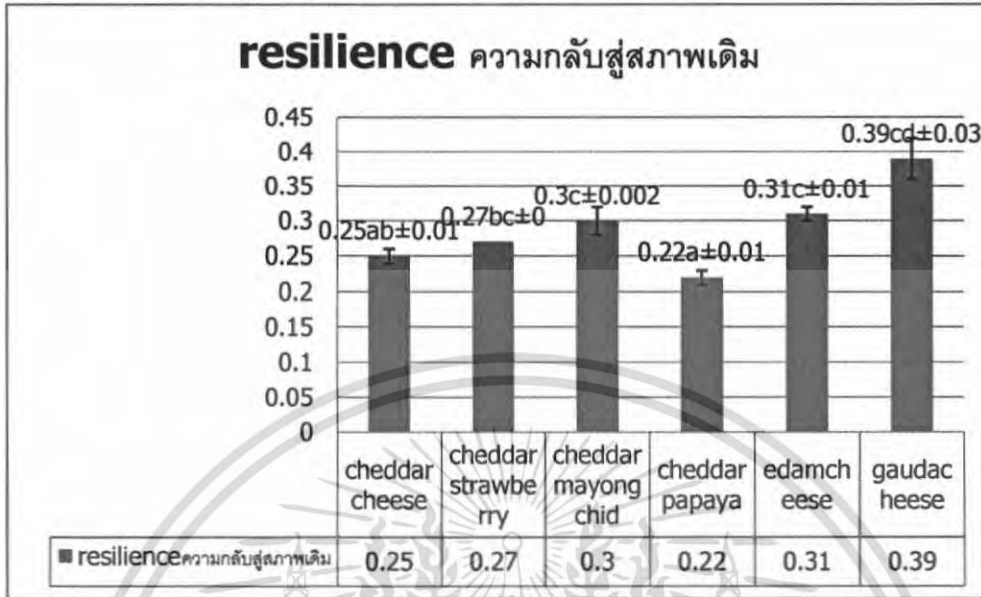
จากกราฟแท่งแสดงว่า ความเหนียวคล้ายเชือกของเนยแข็งทุกชนิดของค่าเฉลี่ยทางสถิติไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเพราะอยู่ในกลุ่ม a ทั้งหมด



รูปที่ 5.6 กราฟแท่งค่าความยืดหยุ่นแบบสปริงของเนยแข็งชนิดต่างๆ

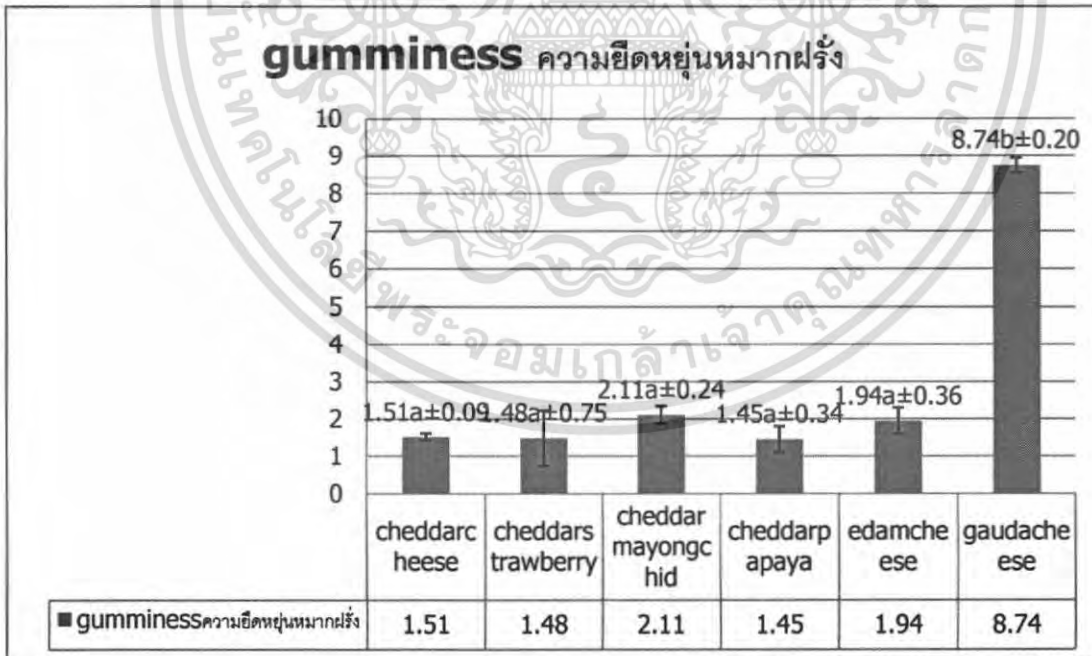
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแท่งแสดงว่า ความยืดหยุ่นแบบสปริงของเนยแข็งเชดด้า เชดด้าผสมสตรอเบอร์รี่ และผสมมะละกอมีความยืดหยุ่นแบบสปริงเกาะกลุ่มน้อยสุด ตามด้วย เนยแข็งเชดด้าผสมมะขงชิด และเนยแข็งอีเคม ที่อยู่ในกลุ่มกลาง และมากที่สุดคือ เนยแข็งเกาด้า



รูปที่ 5.7 กราฟแท่งค่าความกลับสู่สภาพเดิมของเนยแข็งชนิดต่างๆ

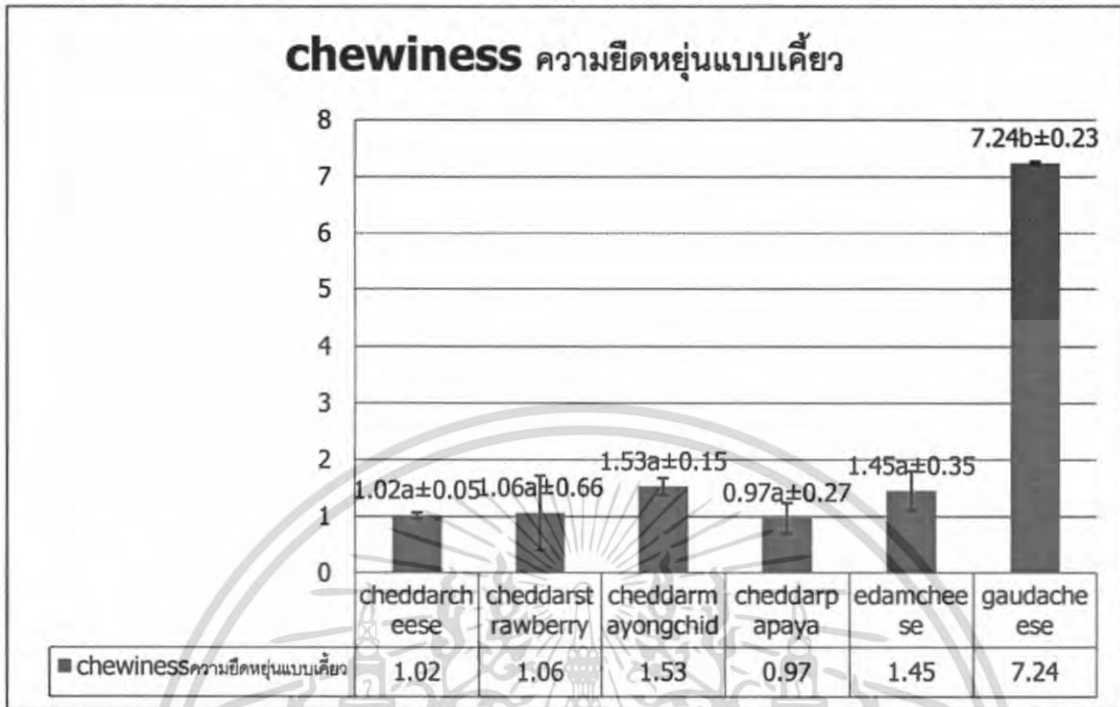
จากกราฟแท่งแสดงว่า การกลับสู่สภาพเดิมของเนยแข็ง นั้นมีความแตกต่างกันมากเชิงสถิติ โดยเนยแข็งผสมเนื้อมะละกอมีค่าน้อยสุด ตามมาด้วยกลุ่มของเนยแข็งเชดด้า เชดด้าผสมสตรอเบอร์รี่ เชดด้าผสมมะขงชิด และเนยแข็งอีเคม ตามลำดับ ค่ามากที่สุดคือ เนยแข็งเกาด้า



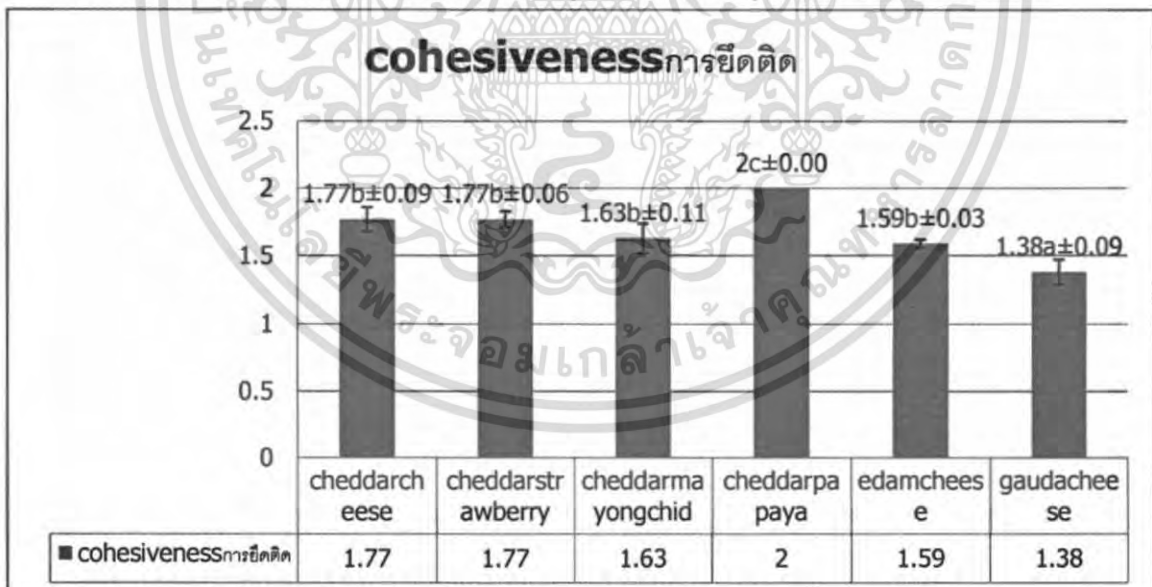
รูปที่ 5.8 กราฟแท่งค่าความยืดหยุ่นหมากฝรั่งของเนยแข็งชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแท่งแสดงว่า ความยืดหยุ่นหมากฝรั่งนั้น เนยแข็งส่วนใหญ่ ไม่ค่อยยืดหยุ่นแบบหมากฝรั่งมาก แต่เนยแข็งเกาด้านั้นมีความยืดหยุ่นหมากฝรั่งมากที่สุด ซึ่งแสดงออกอย่างชัดเจน



รูปที่ 5.9 กราฟแท่งค่าความยืดหยุ่นแบบเคี้ยวของเนยแข็งชนิดต่างๆ จากกราฟแท่งแสดงว่า การยืดหยุ่นแบบเคี้ยวเนยแข็งส่วนใหญ่ ไม่ค่อยมีความยืดหยุ่นแบบเคี้ยวมาก แต่เนยแข็งเกาด้านั้นมีความยืดหยุ่นแบบเคี้ยวมากที่สุด ซึ่งแสดงออกอย่างชัดเจน



รูปที่ 5.10 กราฟแท่งค่าการยึดติดของเนยแข็งชนิดต่างๆ จากกราฟแท่งแสดงว่า การยึดติดของเนยแข็งทุกชนิด แบ่งเป็นสามกลุ่ม เริ่มจากน้อยสุดไปมากที่สุดไล่ๆกันไป ได้แก่ กลุ่มน้อยสุดคือ เนยแข็งเกาด้า กลุ่มระหว่างน้อยสุด-มากที่สุด เนยแข็งอีแควม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนยแข็งเช็ดค้ำผสมมะขงชิด เนยแข็งเช็ดค้ำผสมสตรอเบอร์รี่ และเนยแข็งเช็ดค้ำ กลุ่มมากที่สุดคือ เนยแข็งเช็ดค้ำผสมมะละกอ

5.5 การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม

เมื่อเราได้ทำการทดลองทั้งหมดในการทดลองนี้รวมไปถึงการออกแบบอุปกรณ์ที่จะใช้ในการผลิตเนยแข็งแล้วเราจึงได้ทำการวิเคราะห์และประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อดูว่า จะต้องผลิตเนยแข็งเป็นจำนวนเท่าไรถึงจะมีความคุ้มทุนซึ่งเราเรียกว่า “จุดคุ้มทุน”

ในการทดสอบเครื่องทำไอศกรีม ใช้แรงงานในการปฏิบัติงาน 2 คน สามารถทำเนยแข็งเฉลี่ยได้ 1 กิโลกรัมต่อครั้ง โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 1.17 กิโลวัตต์ต่อครั้ง

เมื่อกำหนดให้ใช้งานเครื่องวันละ 2 ครั้ง ปีละ 260 วัน สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อลิตร) และ ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องทำเนยแข็งได้ดังนี้

5.5.1 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน

1. ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคา DP แบบ Straight-line method $DP = (P - S) / L$ โดยราคาของเครื่องทำเนยแข็ง (P) เท่ากับ 50,000 บาท มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 10% ของราคาเครื่อง

ดังนั้น มูลค่าซากของเครื่อง (S) = $(10/100)P = 5000$ บาท

ค่าเสื่อมราคา $DP = (50000 - 5000) / 10 = 4500$ บาท

2) ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest or investment) คิดค่าเสียโอกาส

$I = \frac{(P + S)}{2} \times \frac{i}{100}$ โดยที่กำหนดให้อัตราดอกเบี้ยต่อปี (i) เท่ากับ 2.375% ต่อปี

ดังนั้นค่าเสียโอกาสต่อปี $I = \frac{(P + S)}{2} \times \frac{2.375}{100} = 653.12$ บาท

รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (Fixed Cost) = ค่าเสื่อมราคา (DP) + ค่าดอกเบี้ย (I)
= 5153.12 บาทต่อปี

2. ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost)

1) ค่าบำรุงรักษา

- ค่าน้ำยาล้างจาน 10 บาทต่อขวด ใช้จำนวน 6 ขวด ใน 1 ปี คิดเป็น

$10 \times 6 \times 1 = 60$ บาทต่อปี

2) ค่าไฟฟ้า

- ใช้มอเตอร์กวนนมแพะและตัวปรับความเร็วรอบเป็นต้นกำลัง สิ้นเปลือง 0.12

ไฟฟ้า กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 260 วัน วันละ 2 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.12 \times 2.978 \times 1 \times 260 \times 2 = 277.20$ บาทต่อปี

- ใช้ Heater ทำความร้อน สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.98 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 260 วัน วันละ 2 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.98 \times 2.978 \times 1 \times 260 \times 2 = 2276.26$ บาทต่อปี

- ใช้ Heater เพื่อพาสเจอร์ไรซ์นมแพะ กำลัง สิ้นเปลืองไฟฟ้า 2.23 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 260 วัน วันละ 2 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $2.23 \times 2.978 \times 1 \times 260 \times 2 = 5174.13$ บาทต่อปี

3) ค่านมแพะดิบ 50 บาทต่อลิตร 1 ครั้งใช้ 10 ลิตร ใช้จำนวน 5200 ลิตร ใน 1 ปี ทำงาน 260 วัน วันละ 2 ครั้ง คิดเป็น $1 \times 50 \times 10 \times 260 \times 2 = 260000$ บาทต่อปี

4) ค่าน้ำแข็ง 10 บาทต่อ 1 ครั้ง ใช้จำนวน 520 ครั้ง ใน 1 ปี ทำงาน 260 วัน วันละ 2 ครั้ง คิดเป็น $1 \times 10 \times 260 \times 2 = 520$ บาทต่อปี

5) ค่าเกลือบริสุทธิ์ 13 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 20 กรัม ใน 1 ปี ทำงาน 260 วัน วันละ 2 ครั้ง คิดเป็น $13 \times 20 / 1000 \times 1 \times 317 \times 2 = 164.84$ บาทต่อปี

รวมต้นทุนผันแปร = 271621.00 บาทต่อปี

คิดต้นทุนการใช้งานเครื่องผลิตนมแข็ง โดยรวมต้นทุนคงที่กับต้นทุนผันแปร เท่ากับ $5133.12 + 271621.00 = 276754.12$ บาทต่อปี

การวิเคราะห์ตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการต่างๆ ต้องการทราบว่าจำนวนผลผลิตที่ผลิตแล้วคุ้มทุนควรเป็นเท่าไร เพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจ จุดคุ้มทุน (break-even point) ก็คือจุดที่รายได้เท่ากับรายจ่าย นั่นคือกำไรเป็นศูนย์ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน รายได้ และผลกำไรที่ปริมาณการผลิตต่างๆ การคำนวณหาจุดคุ้มทุน โครงการเดียว

กำหนดให้

- C = ต้นทุนรวมในการผลิต
- F = ต้นทุนคงที่ (50000 บาท)
- V = ต้นทุนแปรผัน (523 บาท ต่อครั้ง)
- N^* = จำนวนที่ผลิตที่จุดคุ้มทุน
- N = จำนวนการผลิตที่จุดใดๆ
- v = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย
- R = รายได้
- p = ราคาขายต่อหน่วย (1000 บาท ต่อ 1 kg)

$$\text{ต้นทุนรวมในการผลิต} \quad C = F + V \quad (5.1)$$

$$V = vN \quad (5.2)$$

$$\text{จึงได้ว่า} \quad C = F + vN \quad (5.3)$$

$$\text{รายได้} \quad R = pN \quad (5.4)$$

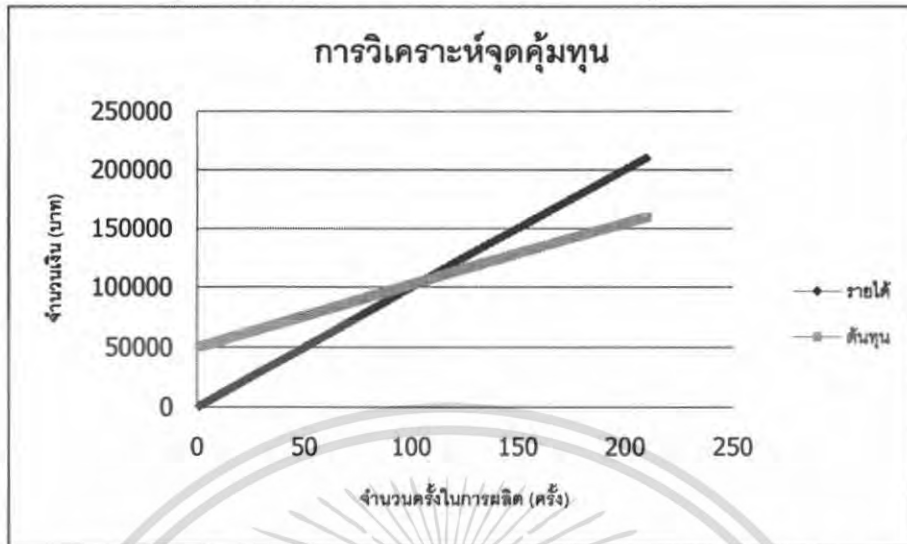
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$N^* = F/(p-v)$$

(5.5)

เมื่อ N^* เป็นปริมาณที่จุดผลิตคุ้มทุนพอดี สามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิ



รูปที่ 5.11 กราฟการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

พิจารณาจุดตัดที่ได้จากการพล็อตกราฟของสมการ $C = F + vN$ และสมการ $R = pN$ จะได้จุดตัดตรงที่บริเวณที่มีปริมาณการผลิตประมาณ 105 kg ซึ่งเรียกว่าจุดคุ้มทุน ดังนั้นจุดคุ้มทุนจึงเป็นจุดที่ต้องทำการผลิตจนขี้นเท่ากับ 105 kg เป็นจำนวน 105 ก้อน ซึ่งก่อให้เกิดรายได้ 105,000 บาทและต้นทุน 104,915 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนยแข็ง

จากผลการทดลอง พบว่า คะแนนเฉลี่ยของเนยแข็งที่ทำเองนั้น น้อยกว่าคะแนนของเนยแข็งที่ซื้อมาทดลองให้ชิม ซึ่งจากความคิดเห็นของผู้ชิมส่วนใหญ่ บ่งชี้ว่า เนยแข็งที่ซื้อมานั้น รูปลักษณะจากการผ่านกระบวนการผลิตในโรงงานมาแล้วนั้น น่ากินกว่า รสชาติ ดีกว่าแบบทำเอง

6.2 การทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลขของการวัดค่าสี

จากผลการทดลอง พบว่าเนยแข็งส่วนใหญ่ออกไปทางสีขาวและสีเหลือง ส่วนเนยแข็งที่ค่อนข้างไปทางสีแดงได้แก่เนยแข็งเชดด้าผสมสตรอปเบอร์รี่และเนยแข็งเชดด้าผสมมะละกอ ส่วนเนยแข็งเชดด้า เนยแข็งอีแควม และเนยแข็งเกาด้าสีค่อนข้างไปทางเขียว และเนยแข็งเชดด้าผสมมะขงชิดนั้นอยู่ระหว่างกลางคือสีอยู่ระหว่างสีแดงและเขียว

6.3 การทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลขของค่าเนื้อสัมผัส

จากผลการทดลองพบว่า ค่าความยืดหยุ่นต่างๆที่หาได้จากเนยแข็งทุกชนิด นั้นมีค่าใกล้เคียงกันยกเว้น ค่าความยืดหยุ่นหมากฝรั่งและค่าความยืดหยุ่นแบบเคี้ยวซึ่งเนยแข็งเกาด้ามีค่าความยืดหยุ่นหมากฝรั่งและค่าความยืดหยุ่นแบบเคี้ยวมากที่สุด ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนกับเนยแข็งชนิดอื่น นอกจากนี้ยังพบความคล้ายคลึงกันของเนยแข็งอีแควมและเนยแข็งเชดด้าในค่าความยืดหยุ่นต่างๆ ทั้งที่กระบวนการผลิตแตกต่างกัน

6.4 การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม

จากการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ สามารถทราบต้นทุนในการลงทุนในการผลิตรวมต่อปีเท่ากับ 276754.12 บาทต่อปี โดยผ่อนค่าเครื่องผลิตเนยแข็งเป็นเวลา 10 ปี หรือคิดลงทุนเครื่องผลิตเนยแข็งในปีแรก เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 50000บาท และต้นทุนผันแปรต่อปีเท่ากับ 271621.12 บาท รวมลงทุนปีแรกเป็นเงิน 321621.12 บาทก็ได้

จุดคุ้มทุนสามารถหาได้จากการพล็อตกราฟสมการเส้นตรงระหว่างสมการต้นทุนการผลิตรวมและสมการรายได้ ทำให้เกิดจุดตัดระหว่างกราฟ จุดนั้นคือจุดที่ปริมาณการผลิตคุ้มทุนพอดี โดยเราขายเนยแข็งที่ทำเองก้อนละ(1 kg) 1000 บาท ปริมาณการผลิตเท่ากับ 105 kg และต้นทุนรวมการผลิตรวมเท่ากับ 104915 บาท มีรายได้จากการขายเนยแข็งเท่ากับ 105000 บาท ซึ่งใช้เวลา 53 วัน ในการคุ้มทุนหรือประมาณ 2 เดือน 10 วัน เมื่อวันทำงานทั้งปีเท่ากับ 260 วัน หนึ่งวันผลิตเนยแข็ง 2 ครั้ง

จากผลการวิเคราะห์นี้สามารถนำมาเป็นเครื่องช่วยตัดสินใจ การลงทุนผลิตเนยแข็งได้เป็นอย่างดีซึ่งช่วยพิจารณา จำนวนครั้งในการผลิต และเวลาที่ใช้เมื่อคุ้มทุน

6.5 ข้อเสนอแนะ

1. การทำ Cheese Vat ให้มีความสะอาดแก่การระบายน้ำเวย์โดยให้ระบายจากข้างถังแทนด้านล่าง การเปลี่ยนถ่านน้ำสำหรับให้ความร้อนให้รูคอนเตมน์น้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น และความสูงของตัวถังในการระบายน้ำให้ความร้อนออกจากตัวถังมีความสะอาด ออกแบบพื้นถังและทำให้มีความลาดเอียงเหมาะแก่การระบายน้ำเวย์
2. ตัวทำความร้อนและชุดควบคุมควรแสดงผลอุณหภูมิเป็นระบบดิจิทัล และสามารถวัดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ได้
3. การออกแบบเครื่องกวนให้มีประสิทธิภาพ โดยการออกแบบให้ใช้พื้นที่น้อยที่สุดสำหรับการกวน โดยอาจเป็นการกวนแบบปิดไปมาคล้ายกระจกปิดน้ำฝน เพื่อความสะดวกในการกวน
4. เครื่องอัดเนยแข็งควรทำให้เป็นบ่งรองรับการระบายน้ำไม่ให้หกเลอะเทอะขณะอัดเนยแข็งให้มีรูปร่างคงตัว
5. เนยแข็งที่ผสมผลไม้ทั้งหมด เสีย ในระหว่างการบ่ม แสดงให้เห็นว่า ไม่ควรนำผลไม้ผสมในเนยแข็งหรือต้องใช้วิธีอื่นในการผสมผลไม้กับเนยแข็ง
6. เนื่องจากนมแพะมีราคาแพง มีกลิ่นฉุน คุณค่าทางอาหารมาก เพื่อให้เหมาะสมกับผู้ประกอบการขนาดเล็กและขนาดกลางจึงควร ใช้นมวัวแทนในการทำแทนเพื่อลดต้นทุนในการผลิตเนยแข็งต่อหนึ่งหน่วยการผลิต
7. แบบอุปกรณ์ที่ออกแบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมนมได้มากมาย เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมที่หลากหลายยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมศุลกากร 2550 “สถิติการนำเข้า ส่งออกสินค้า” [Online] Available: (<http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticResult.jsp?page=1&statType=import&month=12&year=2006&productCodeCheck=Y&productCode=0406&countryCheck=null&country=>)
- [2] Bottero, Civera, Anastasio, Turi, & Rosati M.T. Bottero, T. Civera, A. Anastasio, R.M. Turi and S. Rosati, (2002), Identification of cows' milk in “buffalo” cheese by duplex polymerase chain reaction, *Journal of Food Protection* 65pp. 362–366.
- [3] M. Castillo, F.A. Payne, T. Wang and J.A. Lucey 2006, Effect of temperature and inoculum concentration on prediction of both gelation time and cutting time. Cottage cheese-type gels *International Dairy Journal*, Volume 16, Issue 2, February2006, Pages 147-152
- [4] Chenxu Yu and Sundaram Gunasekaran 2005 A systems analysis of *pasta filata* process during Mozzarella cheese making *Journal of Food Engineering*, Volume 69, Issue 4, August, Pages 399-408
- [5] [รศ.ดร. นรินทร์ ทองศิริ. .Dairy Technology”. ภาควิชา วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร คณะ เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]
- [6] Loleta Cheese Factory. 2550 “Cheese Making Process” [Online] Available: (<http://www.loletacheese.com/cheesemakingprocess.html>)
- [7] นายแก่นศักดิ์ พึ่งศักดิ์และคณะ. 2547. “เครื่องผลิตซูปปงาอัตโนมัติ” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] อัครเดช สิ้นธุภัก. 2532. “การทำความเป็น” กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [9] มนตรี พิรุณเกษตร. “เทอร์โม-ความร้อนประยุกต์” กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด
- [10] ศ.ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. พ.ศ. 2548. การออกแบบเครื่องกล. เล่ม1. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [11] ผศ.ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี 2547. การออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรมด้วย Solid Works: การสร้างชิ้นงานและการประกอบชิ้นงาน (Parts and Assemblies). – กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),

[12] Glenn Elert . 2007 “Density of Milk” [Online]. Available: <http://hypertextbook.com/facts/2002/AliciaNoelleJones.shtml>.

[13] National Dairy Council. 2007 “General Physical Properties of Milk” [Online]. Available: <http://www.nationaldairycouncil.org/NR/rdonlyres/52BEEEB2-9DF5-4555-B5F2-D01C12F27ED2/0/TABLE14.pdf>.

[14] มนตรี พิรุณเกษตร. 2547, “กลศาสตร์ของไหล”—กรุงเทพฯ:วิทย์พัฒน์, 592 หน้า.

[15] ศิริลักษณ์ สิ้นขวาลัย, 2525 “ทฤษฎีอาหาร, เล่ม 3 หลักการทดลองอาหาร, นนทบุรี.

[16] ISO/R 775-1969 Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, Fundamentals of Fluid Mechanics, John Wiley & Sons, 2006.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 การใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องผลิตเนยแข็ง

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน(V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา(t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์-ชั่วโมง)	kW.hr
Heater อุณหภูมิ	15	220	0.9	0.33	980.10	0.98
มอเตอร์กวนนม	0.27	220	0.98	2.05	119.33	0.12
Heater พาสเจอร์ไรซ์นม	15	220	0.9	0.75	2227.50	2.23
				พลังงานรวม(E)	4682.27	4.68

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 ขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน [16]

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข2 ค่าตัวประกอบความล้า [16]

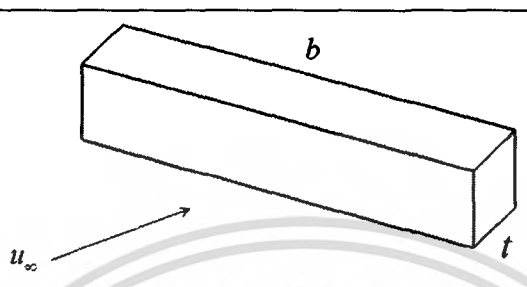
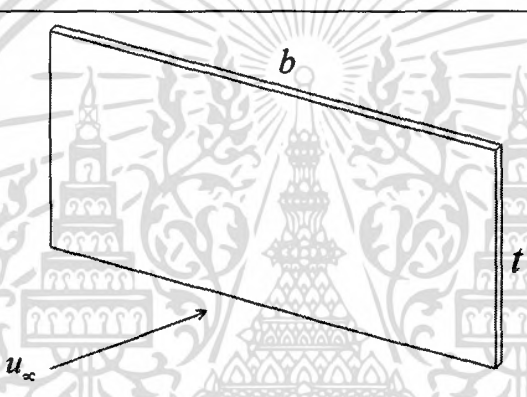
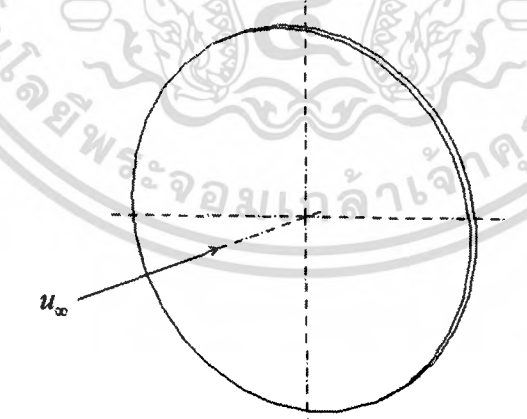
ชนิดของแรง	C_m	C_f
เพลาที่อยู่นิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลาหมุน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

ตารางที่ ข3 ค่าความปลอดภัย [16]

ชนิดของแรง	เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว		เหล็กหล่อและโลหะเปราะ
	N_y	N_u	N_u
แรงอยู่นิ่ง	1.5-2	3-4	5-6
แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือแรงกระแทกเล็กน้อย	3	6	7-8
แรงซ้ำสองทิศทางหรือแรงกระแทกเล็กน้อย	4	8	10-12
แรงกระแทกอย่างหนัก	5-7	10-15	15-20

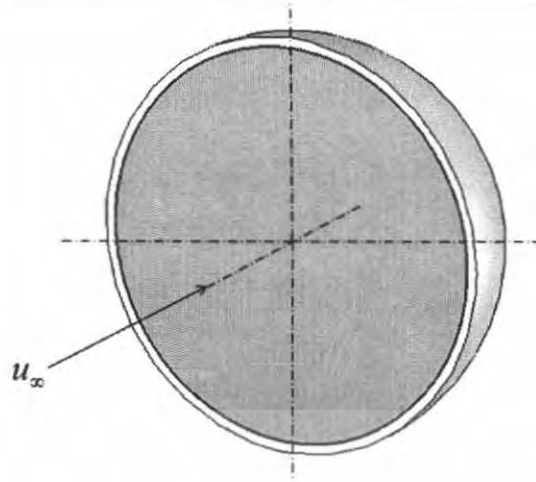
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข4 สัมประสิทธิ์การหน่วงบนวัตถุใน 3 มิติ อังอิงพื้นที่ฉายด้านหน้า ($Re \geq 10^3$) [16]

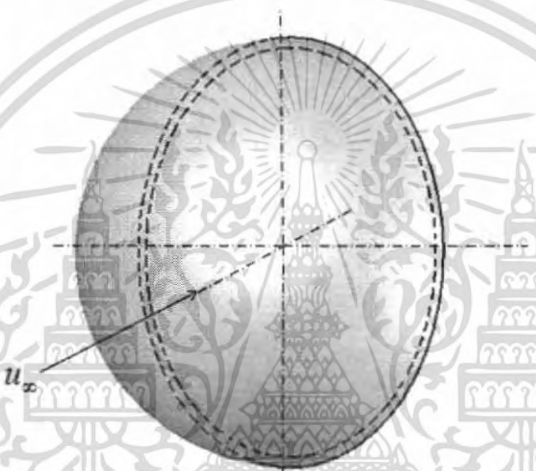
วัตถุ	รูปแสดงการไหล	C_D
1. แท่งวัตถุหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส		$\frac{b}{t} = \infty$ 2.1
		$\frac{b}{t} = 1$ 1.06
2. แผ่นระนาบสี่เหลี่ยม		$\frac{b}{t} = 1$ 1.18
		$= 5$ 1.20
		$= 10$ 1.30
		$= 20$ 1.50
		∞ 2.00
3. แผ่นวงกลม		1.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ครึ่งทรงกลมกลวง

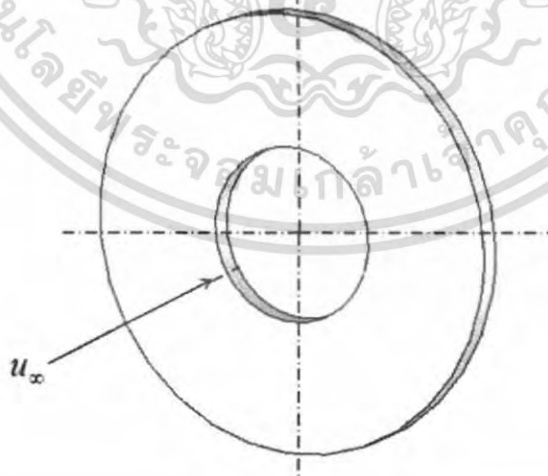


1.42



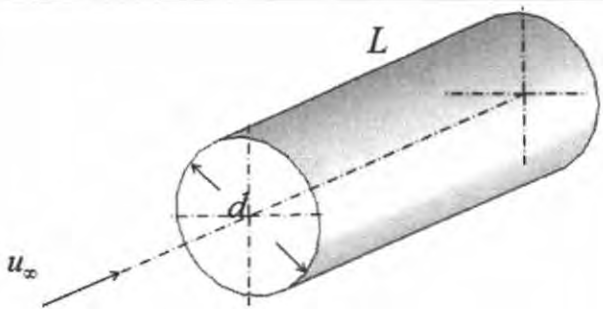
0.38

5. แผ่นวงแหวน



1.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทรงกระบอกคั่น		<table> <tr> <td>$\frac{L}{d} = 0.5$</td> <td>1.15</td> </tr> <tr> <td>= 1</td> <td>0.90</td> </tr> <tr> <td>= 2</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td>= 4</td> <td>0.87</td> </tr> <tr> <td>= 8</td> <td>0.99</td> </tr> </table>	$\frac{L}{d} = 0.5$	1.15	= 1	0.90	= 2	0.85	= 4	0.87	= 8	0.99
$\frac{L}{d} = 0.5$	1.15											
= 1	0.90											
= 2	0.85											
= 4	0.87											
= 8	0.99											

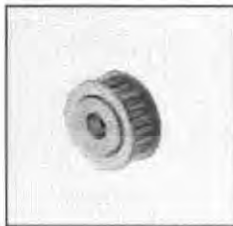


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗5 Timing Pulleys T5 Type



Timing Pulleys T5 Type



TTPA □ T5100 TTPN □ T5100
 T5150 T5150
 T5200 T5200
 (Pitch 5.0mm) (Pitch 5.0mm)

Type	□	■
TTPA	Pulley Range A2017 A6052	Clear Anodizing
TTPN	Pulley Range A2017 A6052	Stainless steel plating

* Coated Range, set screws are attached.

Pulley Shape

A Shape

B Shape

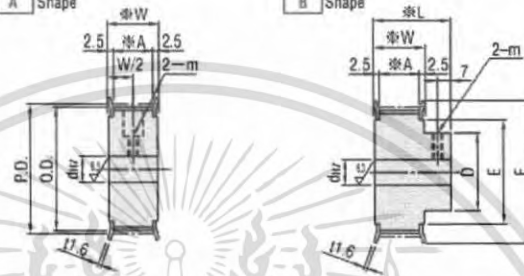
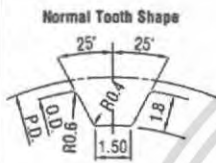


Table 1 - Selection Table for Shaft Hole Dia. and Spec.

Catalog No.	Pulley Shape	Shaft Hole Spec.	Slot Hole dia. (Select from Table 1)		Slot Hole V Dia. (mm increments)		P.D.	O.D.	D	F	E	d#7	H	P	N	C	V	2-m	Set screw		
			N-Shape	C-Shape	V-Shape	Z														J	
12	A		6~8				18.10	18.25		24	12										
14	A		6~10				22.20	21.45	14	26	16										
15	T5100	φA: 11	6~10	6~10	6~7		23.87	23.05	15	28	18								M4	M4X3	
16	T5100	φW: 16	7~12	7~12	7~9		25.45	24.50	17	32	20										
18	T5100	φL: 28	7~12	7~10	7~8	10~14	10~11	26.65	27.00		33	22									
20	A		7~16	7~11	7~12	7~8	10~15	31.82	31.00	19	36	24									
22	H		7~18	7~12	7~14	7~12	10~18	35.01	34.25	24	40	27							M5	M5X4	
24	P		7~20	7~13	7~16	7~14	10~20	38.20	37.45		45	30									
25	T5150	φA: 17	7~20	7~15	7~16	7~14	10~20	39.79	39.00		45	30									
26	T5150	φW: 22	8~22	8~17	8~20	8~17	11~25	41.38	40.50	31	48	35									
28	T5150	φL: 34	8~24	8~19	8~20	8~18	11~25	44.56	43.75	32											
30	B		10~26	10~19	10~20	10~18	13~25	47.75	46.85	33	52	36									
32	C		10~28	10~22	10~24	10~20	13~25	50.93	50.15	37	56	40									
36	V		10~30	10~25	10~26	10~22	13~32	57.90	56.45	40	61	45								M6	M6X5
40	T5200	φA: 22	10~33	10~28	10~30	10~26	13~35	60.68	62.35	47	67	50									
44	T5200	φW: 27	12~42	12~32	12~30	12~26	15~43	70.00	69.20	60	74	58									
48	T5200	φL: 39	12~48	12~38	12~35	12~30	15~48	76.90	75.55	60	83	63									
50			12~50	12~40	12~38	12~30	15~50	79.58	78.75	63	87	67									
60			12~60	12~48	12~38	12~35	15~60	93.48	94.85	75	99	80									

① Z-d#2 for Shaft Hole Specification V

② For applicable timing belts, refer to P.1261.

Order Example: Catalog No. TTPA16T5100 Pulley Shape A Shaft Hole Spec. I.D. P10 Z Z29 J J18

Production Time: 3 Days Express A 800 yen/piece P.74
 *A flat charge of 2,160 Yen for 3 or more identical pieces.

*TTPH 5 Days

* For B shape, N8 of 14 & 15 toothed pulleys and N10 & C10 of 16 toothed pulleys are not available.

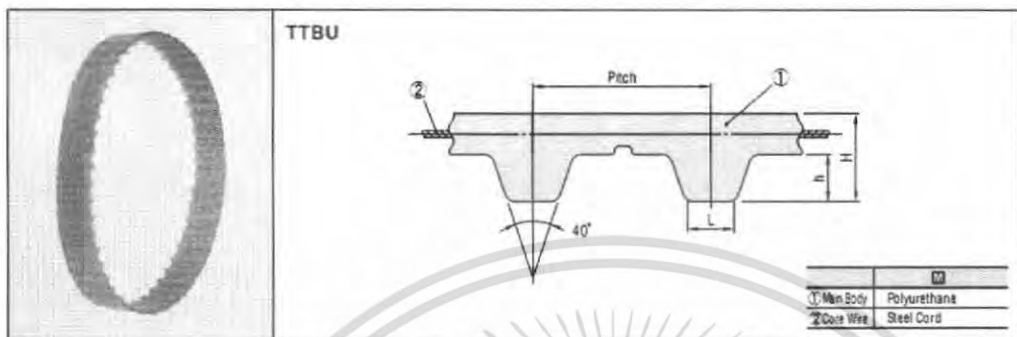
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๖6 Timing Belts T5/T10 Type



Timing Belts T5/T10 Type

CAD Data Folder Name : Timing_Pulleys

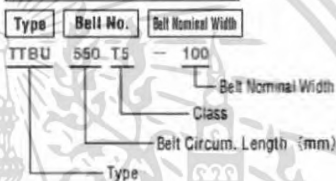


Class	Pitch	H	h	L
T5	5	2.2	1.2	1.8
T10	10	4.5	2.5	3.5



Order Example

Catalog No.



Production Time: 5 Days, Express B 300 (per piece), P.74



Volume Discount Rate

Quantity	1	2~4	5~19	20~49	50~
Rate	-	5%	10%	15%	To be quoted

Type T5 (Pitch : 5mm)

Type	Catalog No.	Belt Nominal Width	Number of Teeth	Pitch (mm)	Unit Price		
					100	150	200
TTBU	185 T5	37	185				
	200 T5	40	200	560	820	1,070	
	225 T5	45	225				
	250 T5	50	250	610	870	1,170	
	275 T5	55	275				
	280 T5	56	280				
	295 T5	59	295	630	910	1,210	
	300 T5	60	300				
	325 T5	65	325	660	930	1,230	
	350 T5	70	350	680	950	1,280	
TTBU	375 T5	75	375	690	980	1,310	
	400 T5	80	400	720	1,000	1,330	
	425 T5	85	425	730	1,030	1,360	
	440 T5	88	440				
	450 T5	90	450	760	1,070	1,390	
	475 T5	95	475	770	1,090	1,420	
	500 T5	100	500	810	1,130	1,500	
	525 T5	105	525	830	1,170	1,570	
	550 T5	110	550	850	1,190	1,610	
	575 T5	115	575	870	1,210	1,650	
TTBU	590 T5	118	590				
	600 T5	120	600	890	1,240	1,680	
	625 T5	125	625	910	1,270	1,710	
	630 T5	126	630	920	1,280	1,750	
	650 T5	130	650				
	675 T5	135	675	930	1,320	1,780	
	690 T5	138	690	940	1,350	1,790	
	700 T5	140	700				
	725 T5	145	725	950	1,380	1,830	
	750 T5	150	750	960	1,420	1,840	
TTBU	760 T5	156	760				
	800 T5	160	800	990	1,450	1,890	
	850 T5	170	850	1,020	1,490	1,930	
	900 T5	180	900	1,060	1,510	1,970	
	1000 T5	200	1000	1,090	1,570	2,090	
	1075 T5	215	1075	1,180	1,690	2,250	
	1090 T5	218	1090	1,190	1,710	2,270	
	1100 T5	220	1100	1,210	1,730	2,300	
	1115 T5	223	1115	1,230	1,750	2,330	
	1215 T5	243	1215	1,330	1,910	2,540	
TTBU	1350 T5	270	1350	1,490	1,990	2,670	
	1380 T5	276	1380	1,520	2,170	2,890	

Type T10 (Pitch : 10mm)

Type	Catalog No.	Belt Nominal Width	Number of Teeth	Pitch (mm)	Unit Price		
					150	200	250
TTBU	400 T10	40	400	1,390	1,530	2,100	
	450 T10	45	450	1,450	1,700	2,200	
	500 T10	50	500	1,540	1,820	2,380	
	530 T10	53	530				
	550 T10	55	550	1,640	1,950	2,490	
	560 T10	56	560				
	600 T10	60	600	1,750	2,070	2,630	
	630 T10	63	630				
	650 T10	65	650	1,850	2,170	2,800	
	700 T10	70	700	1,930	2,270	2,950	
TTBU	720 T10	72	720	2,030	2,390	3,070	
	750 T10	75	750				
	800 T10	80	800	2,140	2,490	3,250	
	850 T10	85	850	2,200	2,590	3,330	
	900 T10	90	900	2,260	2,660	3,470	
	910 T10	91	910				
	920 T10	92	920	2,320	2,730	3,600	
	950 T10	95	950				
	960 T10	96	960				
	980 T10	98	980	2,390	2,830	3,770	
TTBU	1000 T10	100	1000				
	1050 T10	105	1050	2,510	2,960	3,900	
	1100 T10	110	1100	2,690	3,170	4,100	
	1150 T10	115	1150	2,790	3,280	4,270	
	1200 T10	120	1200	2,830	3,330	4,370	
	1250 T10	125	1250	2,910	3,400	4,470	
	1300 T10	130	1300	2,950	3,500	4,600	
	1320 T10	132	1320				
	1350 T10	135	1350	3,070	3,630	4,770	
	1400 T10	140	1400	3,170	3,730	4,900	
TTBU	1450 T10	145	1450	3,280	3,830	5,000	
	1500 T10	150	1500	3,370	3,970	5,130	
	1600 T10	160	1600	3,500	4,100	5,300	
	1700 T10	170	1700	3,530	4,200	5,430	
	1750 T10	175	1750				
	1800 T10	180	1800	3,630	4,300	5,570	
	1820 T10	182	1820				
	1880 T10	188	1880	3,730	4,400	5,700	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข7 ค่าหน่วยแรง P สำหรับเจอร์นัลแบร์ริง [10]

การใช้งาน	P, MN/m ²
เครื่องยนต์ดีเซล	
เมนแบร์ริง (main bearing)	6.0-12.0
แบร์ริงก้านสูบ (crack pin)	8.0-15.0
แบร์ริงสลักลูกสูบ(wrist pin)	14.0-15.0
มอเตอร์ไฟฟ้า	0.8-1.5
กังหันไอน้ำ(steam turbine)	0.8-1.5
ชุดเฟืองทด	0.8-1.5
เครื่องยนต์เบนซิน	
เมนแบร์ริง	4.0-5.0
แบร์ริงก้านสูบ	10.0-15.0
เครื่องอัดอากาศ (air compressor)	
เมนแบร์ริง	1.0-2.0
แบร์ริงก้านสูบ	2.0-4.0
สูบหยอโข่ง (centrifugal pump)	0.6-1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข8 คุณสมบัติของวัสดุแบร็ง [10]

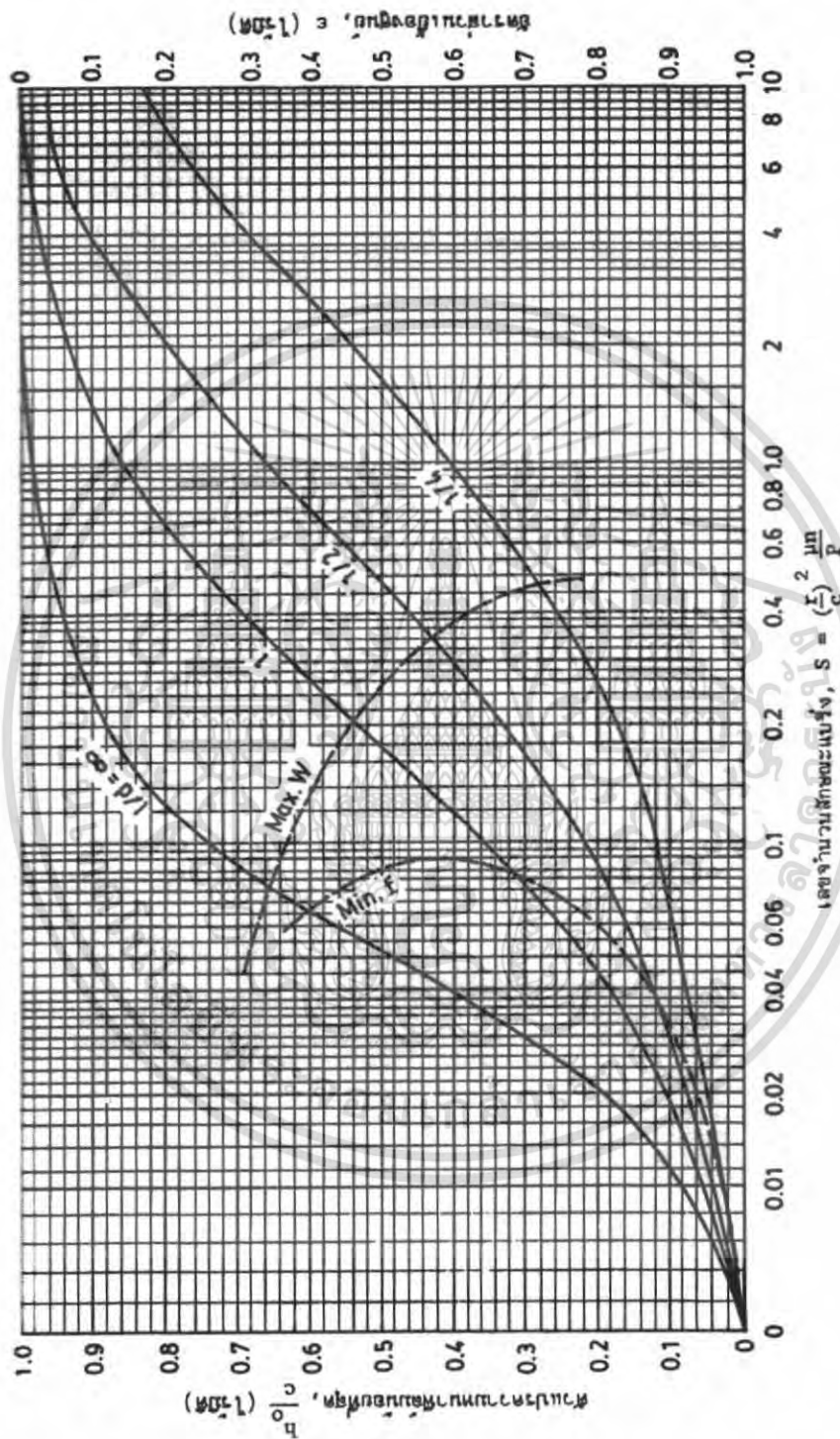
วัสดุแบร็ง	อัตราส่วน r/c สูงสุด	อุณหภูมิใช้งานสูงสุด C	หน่วยแรงสูงสุด N/mm ²
ตะกั่วและดีบุกผสมหรือแปะบิท (babbitt)	600-1000	150	5.5-10.0
ทองแดง-ตะกั่ว	500-1000	175	10.0-17.0
บรอนซ์ตะกั่ว	500-1000	230	20.0-28.0
บรอนซ์ดีบุก	500-1000	260	28.0
อลูมิเนียมผสม	400-500	120	35.0

ตารางที่ ข9 ประสิทธิภาพของรอยต่อสายพาน [10]

ชนิดของรอยต่อ	ประสิทธิภาพ η %
ต่อด้วยขาว (cementing)	75-90
ต่อด้วยลวดถัก (wire lacing)	60
ต่อด้วยห้วงเหล็กกล้า (alligator)	40-70
ต่อด้วยแผ่นเหล็กขี้หมุด	50-60
ต่อด้วยแผ่นเหล็ก	60-70

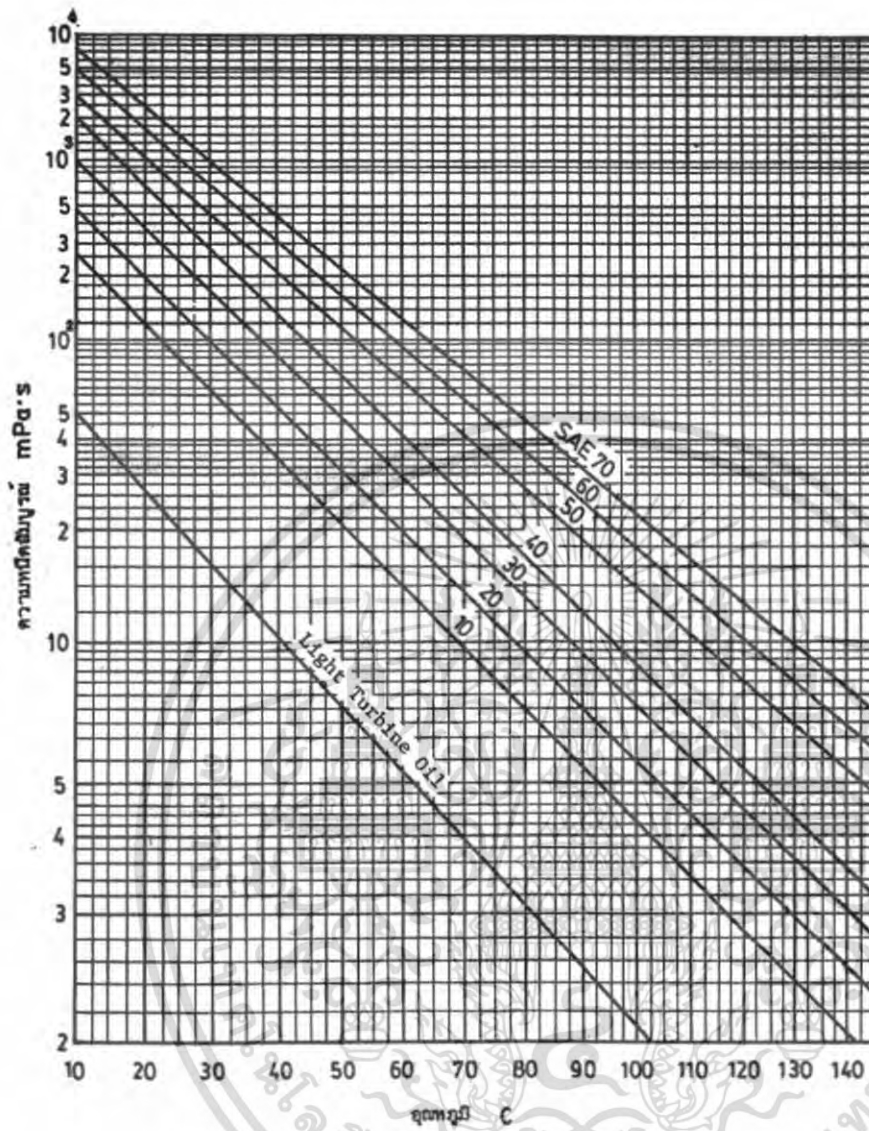
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข1 แผนภูมิสำหรับตัวแปรความหนาฟิล์มน้อยที่สุดและอัตราส่วนเชิงศูนย์ขอบเขตทางด้านซ้ายแสดงช่วงอำนาจประโยชน์ที่สุดของ h_0 โดยที่มีความเสียดทานน้อยที่สุด ขอบเขตทางด้านขวาแสดงช่วงอำนาจประโยชน์ที่สุดของ h_0 โดยที่รับแรงได้สูงสุด [10]



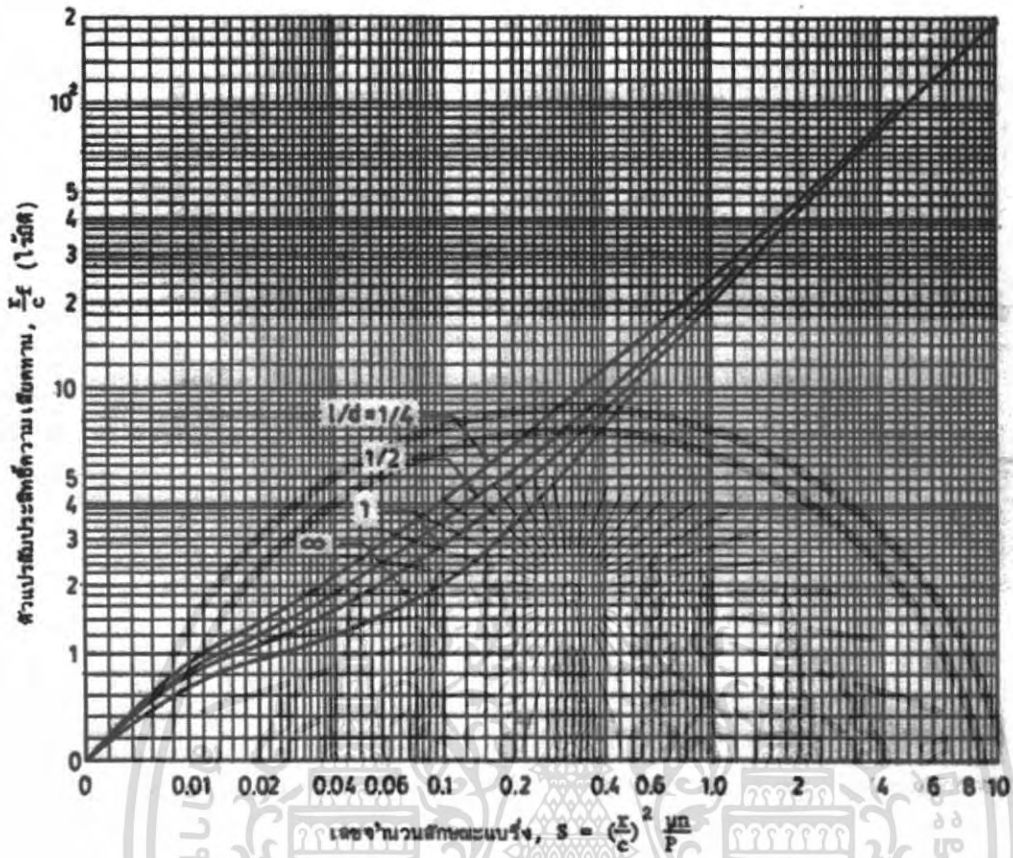
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ [14]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข3 แผนภูมิสำหรับหาตัวแปรสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

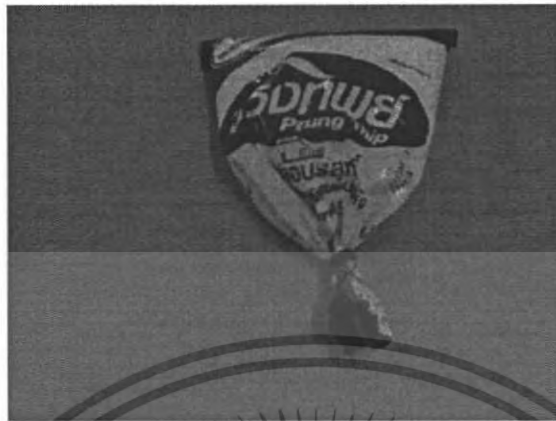


รูป 6.12 แผนภูมิสำหรับหาตัวแปรสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Reimondi and Boyd)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รูปอุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ



รูปที่ ค1 เกลือ

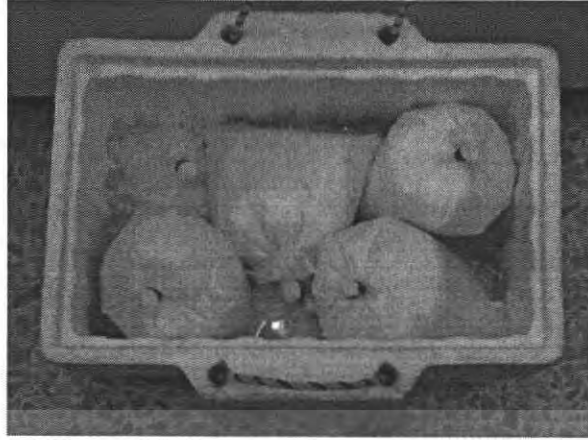


รูปที่ ค2 เรนเนท



รูปที่ ค3 เชื้อ R-704

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค4 นมแพะ



รูปที่ ค5 เชื้อ CHN-22

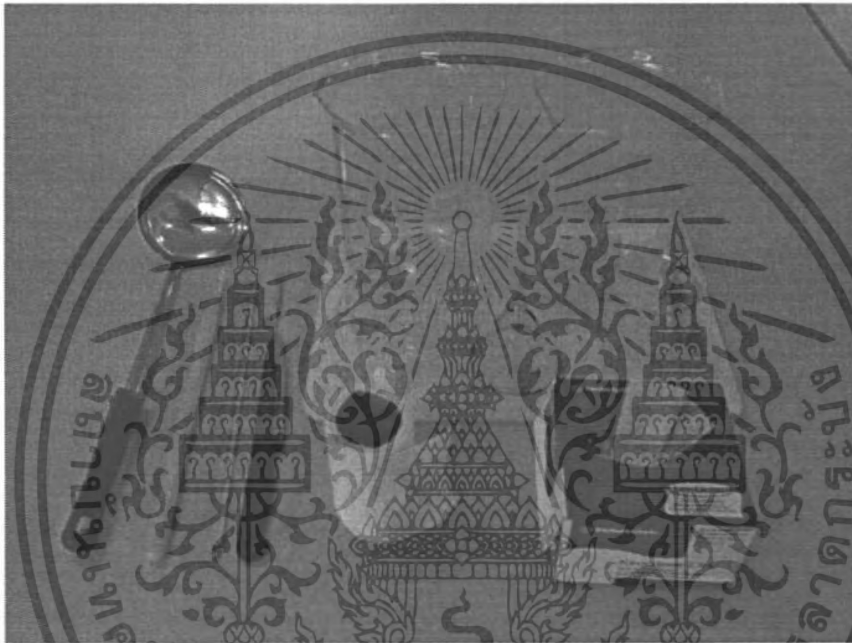


รูปที่ ค6 มะละกอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก7 สตรอเบอร์รี่



รูปที่ ก8 อุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ ก9 ถุงมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค10 หม้อสแตนเลส

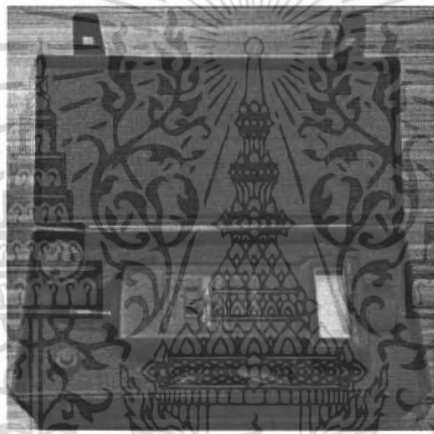


รูปที่ ค11 เครื่องวัดคุณสมบัติน้ำแข็งกลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก12 เครื่องวัดดี

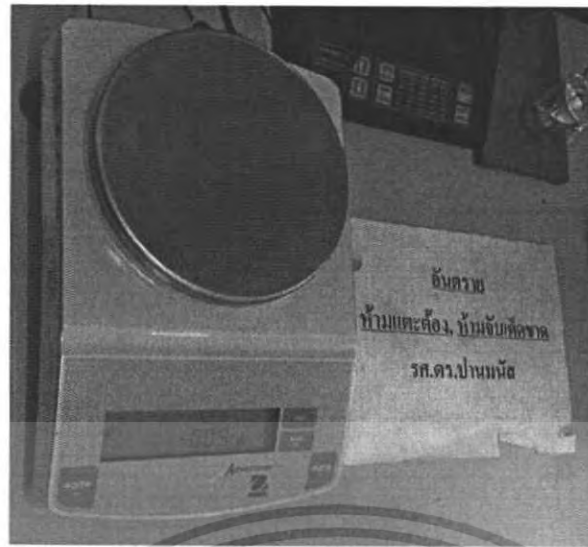


รูปที่ ก13 เครื่องวัดความเร็วรอบ



รูปที่ ก14 Clamp Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค15 เครื่องชั่งน้ำหนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง1 แสดงผลทดสอบด้วยการชิม

เนยแข็งที่ทำเอง											
Cheddar1											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาตุ)	4	3	3	2	3	3	3	2	1	3	
ความชื้น	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	2	3	3	4	3	4	4	4	3	3	
ความแน่นเนื้อ	2	3	3	4	3	3	3	2	2	4	
ความร้อน	2	4	3	1	4	3	3	3	2	3	
การติดฟัน	3	3	3	2	4	3	2	3	4	4	
การละลาย	3	3	1	3	4	1	2	3	2	2	
ความชื้นในปาก	2	4	1	2	1	2	3	4	2	3	เฉลี่ย
	20	26	20	21	25	21	22	24	18	25	22.2
CheddarStrawberry1											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาตุ)	3	3	4	1	2	4	3	3	3	2	
ความชื้น	3	4	4	3	3	3	2	2	3	2	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	3	3	4	3	2	2	2	2	2	1	
ความแน่นเนื้อ	3	4	3	3	4	3	2	3	4	2	
ความร้อน	3	2	3	2	3	3	4	3	4	1	
การติดฟัน	2	3	4	3	4	3	4	3	4	2	
การละลาย	3	2	4	2	2	2	3	4	3	3	
ความชื้นในปาก	4	2	4	2	4	4	2	4	3	2	เฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	24	23	30	19	24	24	22	24	26	15	23.1
CheddarMayongchid1											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาจู)	2	3	4	3	3	2	1	3	2	3	
ความชื้น	2	3	3	4	4	3	1	2	2	5	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	3	3	3	3	2	4	2	2	4	4	
ความแน่นเนื้อ	2	4	2	4	2	3	1	2	3	4	
ความร่วน	3	3	4	4	2	2	2	4	3	3	
การติดฟัน	3	3	2	2	4	4	1	4	3	4	
การละลาย	3	2	4	3	2	2	1	4	4	4	
ความชื้นในปาก	2	1	3	3	3	3	1	4	3	3	เฉลี่ย
	20	22	25	26	22	23	10	25	24	30	22.7
CheddarMalagor1											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาจู)	3	4	2	3	3	3	2	4	3	1	
ความชื้น	3	3	3	2	5	3	3	3	1	2	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	3	4	3	3	3	4	3	3	2	1	
ความแน่นเนื้อ	2	3	3	2	5	4	4	3	2	2	
ความร่วน	3	2	3	3	5	3	3	1	2	3	
การติดฟัน	3	4	2	3	3	4	4	4	3	1	
การละลาย	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	
ความชื้นในปาก	2	3	2	1	4	3	3	2	2	3	เฉลี่ย
	22	25	21	19	31	26	25	22	18	15	22.4
EdamCheesel											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ที่1	ที่2	ที่3	ที่4	ที่5	ที่6	ที่7	ที่8	ที่9	10	
ความหยาบของผิว (ตาจู)	4	1	2	4	3	3	4	4	2	4	
ความชื้น	3	2	4	3	3	2	5	2	4	4	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	2	3	1	4	3	3	2	2	2	3	
ความแน่นเนื้อ	4	2	2	4	4	3	3	3	4	3	
ความร่วน	2	3	2	2	3	3	3	1	4	4	
การติดฟัน	4	1	3	3	3	4	4	2	4	2	
การละลาย	4	1	3	4	2	3	2	2	4	4	
ความชื้นในปาก	2	3	2	3	4	4	3	1	4	3	เฉลี่ย
	25	16	19	27	25	25	26	17	28	27	23.5
GoudaCheese1											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาจู)	3	1	4	3	2	2	3	3	3	2	
ความชื้น	3	2	2	2	3	3	4	3	2	2	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	2	4	3	2	3	2	4	2	2	3	
ความแน่นเนื้อ	4	2	3	3	2	2	3	4	3	3	
ความร่วน	2	3	2	2	2	2	3	2	3	2	
การติดฟัน	3	3	2	2	2	2	2	3	4	3	
การละลาย	3	4	4	4	2	1	3	3	4	2	
ความชื้นในปาก	2	2	3	3	2	3	4	2	3	3	เฉลี่ย
	22	21	23	21	18	17	26	22	24	20	21.4
เนยแข็งที่ซื้อมา											
Cheddar1											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาจู)	5	5	4	3	5	5	5	5	5	5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้น	5	5	4	3	3	5	3	2	4	3	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	5	2	4	5	5	5	3	4	5	3	
ความแน่นเนื้อ	4	5	4	5	2	5	4	2	3	5	
ความร่วน	4	3	5	5	4	4	4	3	5	3	
การติดฟัน	3	4	5	4	4	2	5	4	3	5	
การละลาย	4	3	3	3	4	5	4	4	5	5	
ความชื้นในปาก	5	3	5	4	3	5	4	5	3	3	เฉลี่ย
	35	30	34	32	30	36	32	29	33	32	32.3
EdamCheese1											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาตุ)	5	4	4	4	3	4	5	4	5	4	
ความชื้น	3	2	4	3	2	3	4	2	4	3	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	3	4	2	3	4	3	4	3	4	2	
ความแน่นเนื้อ	4	3	4	3	4	3	2	4	4	3	
ความร่วน	4	3	4	3	4	2	3	4	3	4	
การติดฟัน	3	4	3	2	4	3	4	3	4	3	
การละลาย	2	3	4	3	3	4	3	4	2	3	
ความชื้นในปาก	4	3	2	4	3	2	4	3	4	2	เฉลี่ย
	28	26	27	25	27	24	29	27	30	24	26.7
GoudaCheese1											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาตุ)	3	4	5	3	4	3	4	3	4	5	
ความชื้น	2	4	4	3	4	3	2	4	3	4	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	3	4	2	3	4	3	4	2	3	4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแน่นเนื้อ	4	3	3	3	4	3	4	2	3	4	
ความร่วน	2	2	3	4	3	4	3	4	3	2	
การติดฟัน	3	2	3	4	4	3	4	2	3	4	
การละลาย	4	2	4	3	4	3	2	4	3	4	
ความชื้นในปาก	2	3	4	2	3	4	4	3	4	2	เฉลี่ย
	23	24	28	25	30	26	27	24	26	29	26.2

เนยแข็งที่ทำเอง											
Cheddar2											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาจู)	3	3	4	3	2	3	4	4	3	2	
ความชื้น	2	3	4	2	3	4	2	3	3	3	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	4	4	3	4	4	3	4	5	1	3	
ความแน่นเนื้อ	3	3	3	3	3	3	2	4	3	2	
ความร่วน	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	
การติดฟัน	3	2	3	3	3	3	3	3	2	4	
การละลาย	4	2	3	3	3	2	2	4	3	2	
ความชื้นในปาก	3	4	4	4	4	4	4	3	2	2	เฉลี่ย
	26	24	27	25	26	25	24	29	20	21	24.7
CheddarStrawberry2											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาจู)	2	4	3	5	4	2	2	3	2	2	
ความชื้น	2	3	1	2	2	5	3	3	2	3	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	2	2	2	5	4	4	4	3	2	2	
ความแน่นเนื้อ	4	1	3	3	4	4	3	2	2	4	
ความร่วน	3	4	4	3	4	3	4	3	1	3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดฟัน	3	3	3	5	3	4	3	3	2	4	
การละลาย	2	2	4	5	3	2	2	4	1	2	
ความชื้นในปาก	2	3	2	5	2	4	5	3	2	3	เฉลี่ย
	20	22	22	33	26	28	26	24	14	23	23.8
CheddarMayongchid2											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาตุ)	3	4	3	3	3	4	3	1	3	2	
ความชื้น	3	4	2	2	5	5	4	1	3	2	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	4	4	4	3	2	4	3	2	4	3	
ความแน่นเนื้อ	4	4	2	2	5	3	2	1	3	2	
ความร่วน	3	4	4	4	5	3	2	2	4	4	
การติดฟัน	2	2	2	2	3	4	2	1	3	2	
การละลาย	4	5	2	2	4	5	1	2	5	2	
ความชื้นในปาก	3	3	2	3	5	4	3	3	4	3	เฉลี่ย
	26	30	21	21	32	32	20	13	29	20	24.4
CheddarMalagor2											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาตุ)	3	4	3	2	4	2	3	2	2	1	
ความชื้น	5	3	2	1	4	1	3	2	2	2	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	3	1	3	2	3	2	3	3	2	2	
ความแน่นเนื้อ	4	3	2	4	2	4	4	3	1	1	
ความร่วน	2	2	4	1	3	1	2	1	3	3	
การติดฟัน	3	3	4	3	5	2	2	3	3	4	
การละลาย	5	3	4	2	3	3	2	4	2	2	
ความชื้นในปาก	5	3	2	1	3	4	1	2	4	3	เฉลี่ย
	30	22	24	16	27	19	20	20	19	18	21.5
EdamCheese2											

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาจู)	4	3	4	3	2	4	2	5	4	2	
ความชื้น	4	4	4	2	4	4	4	4	3	3	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	4	3	4	2	4	2	3	4	4	3	
ความแน่นเนื้อ	4	2	3	2	3	2	4	3	2	3	
ความร่วน	2	3	4	4	2	3	3	4	4	2	
การติดฟัน	4	1	3	2	4	3	4	4	2	2	
การละลาย	3	2	3	1	3	2	3	3	3	2	
ความชื้นในปาก	4	2	3	2	4	4	3	3	2	2	เฉลี่ย
	29	20	28	18	26	24	26	30	24	19	24.4
GoudaCheese2											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาจู)	4	3	3	2	4	1	1	1	1	2	
ความชื้น	4	2	3	2	3	3	3	2	2	4	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	3	4	4	2	3	1	1	2	2	3	
ความแน่นเนื้อ	2	5	2	3	2	3	2	2	2	4	
ความร่วน	3	3	3	4	3	2	4	2	3	5	
การติดฟัน	2	3	4	5	1	3	2	1	4	2	
การละลาย	3	2	3	2	2	1	1	1	3	4	
ความชื้นในปาก	3	4	3	4	2	3	2	4	3	4	เฉลี่ย
	24	26	25	24	20	17	16	15	20	28	21.5
เนยแข็งที่ซื้อมา											
Cheddar2											
ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาจู)	3	4	5	5	2	3	5	5	2	5	
ความชื้น	5	5	4	3	5	3	5	2	5	4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	5	3	4	2	3	2	5	5	5	5	
ความแน่นเนื้อ	5	4	2	3	5	4	4	5	3	4	
ความร่วน	3	2	5	3	4	2	5	5	3	5	
การติดฟัน	5	4	5	3	5	3	5	5	4	4	
การละลาย	5	4	5	4	4	5	5	5	5	5	
ความชื้นในปาก	3	3	5	4	2	3	5	4	5	5	เฉลี่ย
	34	29	35	27	30	25	39	36	32	37	32.4

EdamCheese2

ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาตุ)	5	4	5	4	5	4	5	5	4	3	
ความชื้น	4	3	4	3	4	2	3	5	3	4	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	4	3	2	4	3	5	2	4	3	5	
ความแน่นเนื้อ	5	3	4	5	3	4	2	3	4	3	
ความร่วน	4	3	2	4	3	3	2	4	2	3	
การติดฟัน	2	3	4	2	3	3	4	3	2	3	
การละลาย	3	2	4	3	2	4	3	3	4	4	
ความชื้นในปาก	2	4	3	4	2	3	3	4	3	4	เฉลี่ย
	29	25	28	29	25	28	24	31	25	29	27.3

GoudaCheese2

ลักษณะ	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5	คนที่6	คนที่7	คนที่8	คนที่9	คนที่10	
ความหยาบของผิว (ตาตุ)	3	4	3	4	5	3	4	5	5	3	
ความชื้น	3	4	2	3	4	5	3	4	2	3	
ความยืดหยุ่นจากการเคี้ยว	5	4	3	2	4	3	5	4	3	2	
ความแน่นเนื้อ	5	3	4	2	3	4	2	3	3	4	
ความร่วน	5	2	4	3	4	2	3	4	3	5	
การติดฟัน	5	3	4	3	4	2	3	3	5	3	
การละลาย	4	3	5	4	3	2	4	3	4	2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

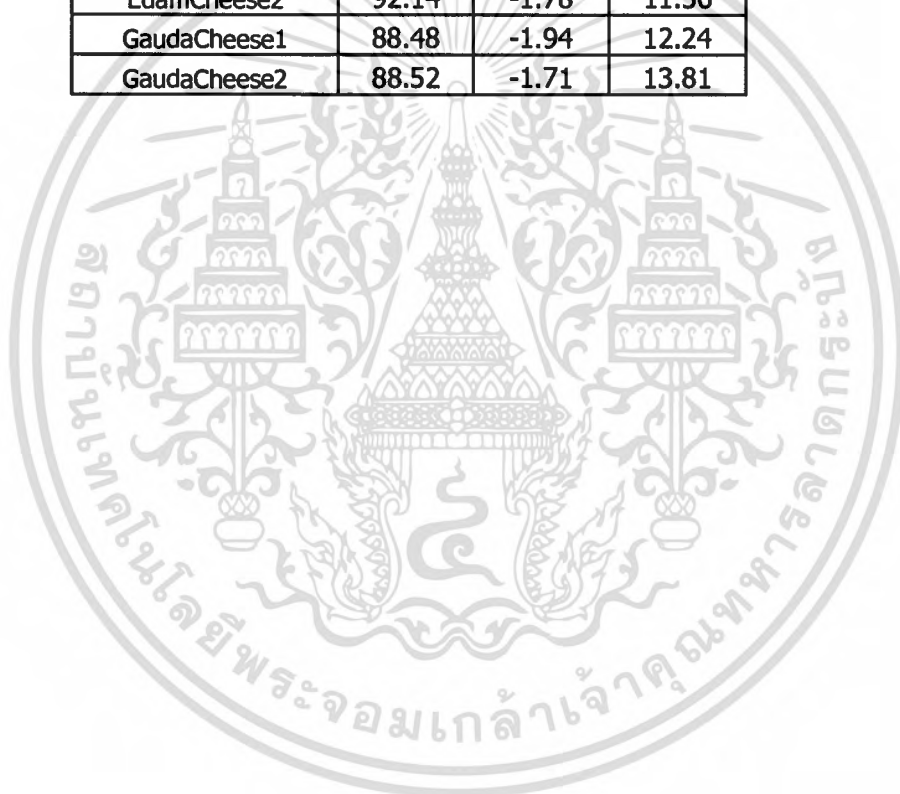
ความชื้นในปาก	4	3	4	3	2	3	4	3	4	3	เฉลี่ย
	34	26	29	24	29	24	28	29	29	25	27.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑๒ ผลทดสอบค่าสี

เนยแข็งที่ทำเอง	L*	a*	b*
Cheddar1	92.74	-1.62	10.08
Cheddar2	93.51	-2.21	12.61
CheddarStraberry1	86.18	2.73	9.8
CheddarStraberry2	89.37	0.21	9.01
CheddarMayongchid1	90.34	-0.15	15.4
CheddarMayongchid2	91.53	-0.77	14.44
CheddarMalagor1	88.86	2.91	14.96
CheddarMalagor2	87.93	3.18	16.19
EdamCheese1	93.85	-2.09	10.56
EdamCheese2	92.14	-1.78	11.56
GaudaCheese1	88.48	-1.94	12.24
GaudaCheese2	88.52	-1.71	13.81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลค่าความยืดหยุ่นแบบต่างๆ

เนยแข็งที่ทำเอง	adhesivene ss	stringine ss	springine ss	resilien ce	gummine ss	chewine ss	cohesivene ss
Cheddar1	-0.196	8.756	0.676	0.240	1.449	0.982	1.833
Cheddar2	-0.151	8.939	0.665	0.258	1.571	1.049	1.707
CheddarStraberry 1	-0.040	10.487	0.619	0.266	0.949	0.597	1.733
CheddarStraberry 2	-0.371	7.618	0.762	0.270	2.003	1.529	1.813
CheddarMayongc hid1	-0.219	7.994	0.717	0.285	2.277	1.635	1.701
CheddarMayongc hid2	-0.267	8.661	0.727	0.315	1.942	1.422	1.550
CheddarMalagor1	-0.403	8.931	0.681	0.227	1.694	1.160	1.994
CheddarMalagor2	-0.413	9.364	0.645	0.212	1.209	0.782	1.999
EdamCheese1	-0.651	7.317	0.771	0.311	2.197	1.692	1.610
EdamCheese2	-0.195	8.326	0.713	0.303	1.682	1.203	1.572
GaudaCheese1	-0.189	8.523	0.845	0.418	8.600	7.261	1.320
GaudaCheese2	-0.384	6.889	0.810	0.370	8.878	7.219	1.443

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ค่า Mean SD และ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

ค่าการทดสอบเชิงตัวเลข	L*ความสว่าง		a*+แดง-เขียว		b*+เหลือง-น้ำเงิน	
	mean	sd	mean	sd	mean	sd
cheddarcheese	93.13c	0.54	-1.92a	0.4	11.35ab	1.8
cheddarstraberry	87.78a	2.26	1.47b	1.8	9.41a	0.6
cheddarmayongchid	90.94bc	0.84	-0.46a	0.4	14.92c	0.7
cheddarmalagor	88.4ab	0.66	3.05b	0.2	15.58c	0.9
edamcheese	93c	1.21	-1.94a	0.2	11.06ab	0.7
gaudacheese	88.5ab	0.03	-1.83a	0.2	13.03bc	1.1
ค่าการทดสอบเชิงตัวเลข	adhesiveness ความเกาะกวม		stringiness ความเหนียว คล้ายเชือก		Springiness ความยืดหยุ่น แบบสปริง	
	mean	sd	mean	sd	mean	sd
cheddarcheese	-0.17a	0.03	8.85a	0.1	0.67a	0
cheddarstraberry	-0.21a	0.23	9.05a	2	0.69a	0.1
cheddarmayongchid	-0.24a	0.03	8.33a	0.5	0.72ab	0
cheddarmalagor	-0.41a	0.01	9.15a	0.3	0.66a	0
edamcheese	-0.42a	0.32	7.82a	0.7	0.74ab	0
gaudacheese	-0.29a	0.14	7.71a	1.2	0.83b	0
ค่าการทดสอบเชิงตัวเลข	resilienceความกลับสู่สภาพเดิม		gumminess ความยืดหยุ่น หมากฝรั่ง		chewiness ความยืดหยุ่น แบบเคี้ยว	
	mean	sd	mean	sd	mean	sd
cheddarcheese	0.25ab	0.01	1.51a	0.1	1.02a	0.1
cheddarstraberry	0.27bc	0	1.48a	0.8	1.06a	0.7
cheddarmayongchid	0.3c	0.02	2.11a	0.2	1.53a	0.2
cheddarmalagor	0.22a	0.01	1.45a	0.3	0.97a	0.3
edamcheese	0.31c	0.01	1.94a	0.4	1.45a	0.4
gaudacheese	0.39cd	0.03	8.74b	0.2	7.24b	0
ค่าการทดสอบเชิงตัวเลข	cohesiveness การยึดติด					
	mean	sd				
cheddarcheese	1.77b	0.09				
cheddarstraberry	1.77b	0.06				
cheddarmayongchid	1.63b	0.11				
cheddarmalagor	2c	0				
edamcheese	1.59b	0.03				
gaudacheese	1.38a	0.09				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

Specification ของเครื่องผลิตเนยแข็งส่วนต่างๆ

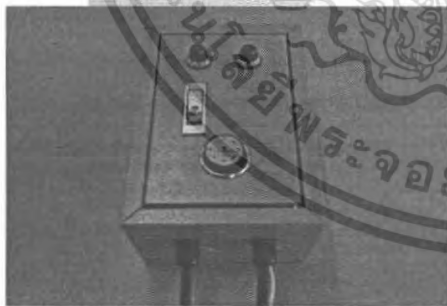
Specification Cheese Vat



ขนาดถังภายนอก กว้าง ยาว สูง 30 x 54 x 18.5 cm สูงจากพื้น 5.5 cm ความหนา 4 cm ถังภายใน สูง 13.5 cm จุน้ำได้ 6.8 ลิตร ถังภายนอกหุ้มด้วยฉนวนไฟเบอร์กลาส เก็บกักความร้อนได้ดี

รูปที่ จ1 Specification Cheese vat

Specification กล่องควบคุมอุณหภูมิ



ตัวทำความร้อนขนาด 3000 W

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 220 V

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ 15 A

กล่องควบคุมอุณหภูมิ กว้างยาวสูง

15 x 20 x 30 cm

ลักษณะการทำงาน

ไฟสีเขียวสว่าง แสดงว่า กล่องควบคุมเปิด

ไฟสีแดงสว่าง แสดงว่า ตัวทำความร้อนทำงาน

และมีตัวหมุนปรับอุณหภูมิ ตั้งแต่ 40 -80 องศา

เซียส

รูปที่ จ2 Specification กล่องควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางตัวของตัวทำความร้อนภายใน Cheese vat



ลักษณะการทำงาน

เมื่อ ตัวทำความร้อนวางตัวอยู่ในแจคเกต และภายในแล้ว จากนั้นเติมน้ำในแจคเกต ปริมาณ 6.8 ลิตร เมื่อตัวทำความร้อนทำงานจะส่งผ่านความร้อนไปยังน้ำ และน้ำส่งผ่านความร้อนสู่ตัวถังภายในอีกต่อหนึ่ง

รูปที่ ๓3 Specification การวางตัวของตัวทำความร้อนภายใน Cheese vat

Specification เครื่องอัดเนยแข็ง



แม่พิมพ์ทรงกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

14 cm สูง 11.5 cm

แม่พิมพ์สี่เหลี่ยม มีขนาด กว้าง ยาว สูง 14 x

14 x 11.5 cm

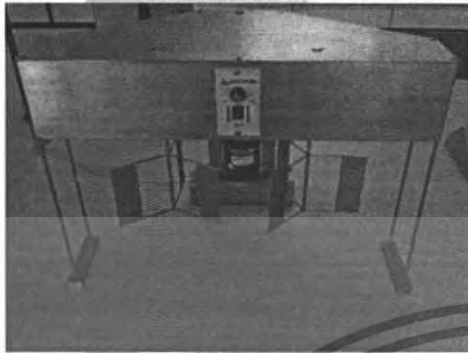
ลักษณะการทำงาน

วางเนยแข็งภายในแม่พิมพ์ ชันออกให้ เรียบร้อย จากนั้นใช้การกดอัดด้วยเกลียว พอให้น้ำเวย์ไหลออกจากตัวเนยแข็ง

รูปที่ ๓4 Specification เครื่องอัดเนยแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification เครื่องกว่น



Motor Gear 220 V AC 25W

มีแกน 10 mm หน้ากว้าง 8 × 8 cm

ความยาวรวมแกนทั้งหมด 18 cm

ต่อผ่านเข้าตัวควบคุม

ความกว้างของเครื่อง 60 cm

ความสูงของเครื่อง 28 cm

ลักษณะการทำงาน

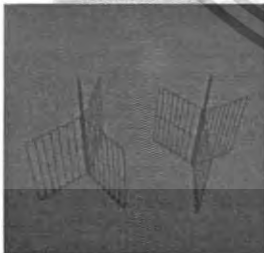
การใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนกำลัง ส่งกำลังด้วยสายพานไปยังเพลาสองตัว ทำหน้าที่หมุนใบกว่น

รูปที่ ๖5 Specification เครื่องกว่น

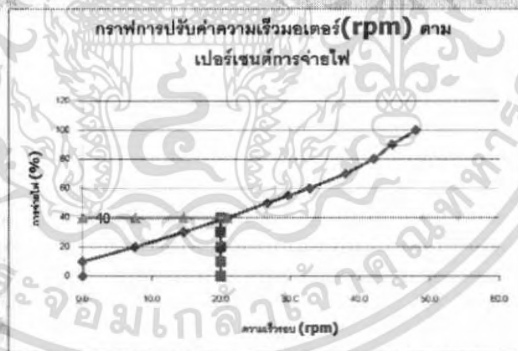
Specification ใบกว่น



ใบกว่นนม



ใบตัดเคิร์ด



ขนาดแกนเพลา ยาว 16.5 cm เส้นผ่าศูนย์กลาง 14 mm

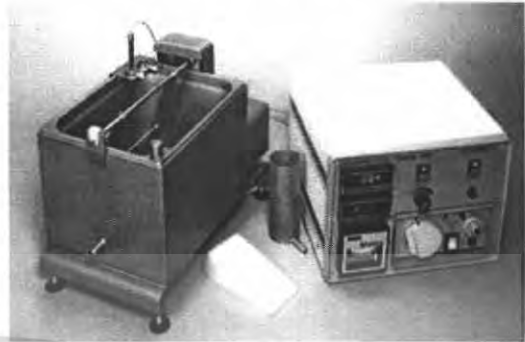
ใบกว่นและใบตัด ความกว้าง ยาว 8.5 x 11 cm

รูปที่ ๖6 Specification ใบกว่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การเปรียบเทียบเครื่องผลิตเนยแข็งที่ออกแบบเองกับเครื่องผลิตเนยแข็งของต่างประเทศ



CM1
By KMITL

FT/FT20A
By Armfield

ตาราง ฉ1 การเปรียบเทียบเครื่องผลิตเนยแข็งที่ออกแบบเองกับของต่างประเทศ

	Our Project	FT20/FT20A
Cheese Vat		
Working capacity	10 litres	10 litres
Agitator		
Agitator paddle	Stainless steel	Stainless steel
Agitator drive moter	25W, 0-48rpm	50W, 0-30rpm
Variable Speed Control	yes	yes
Heater		
Heater Control	75°C	Ambient to 80°C
Accuracy	±10°C	±1°C
Heater	3kW	-
Safety	over-temperature cut out	over-temperature cut out
Cheese Press		
Moulds	Stainless steel	Stainless steel
Console Control		
Chart Record pH	non	yes
pH probe	non	yes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้