สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ

DESIGN AND DEVELOPMENT ICE-CREAM MAKING MACHINE USING PRECOOLING SYSTEM AT VACUUM PRESSURE

นายชาญณรงค์ กาญจนะ
นางสาววรวิพันธ์ ชาวบ้านกร่าง
นายพิพัฒน์ ชัยมังคละกุล

TA
.A4
ท 489 ก
2550
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 82983
วัน,เดือน,ปี 30 ก.ค. 2551
b 11958560
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ

DESIGN AND DEVELOPMENT ICE-CREAM MAKING MACHINE USING PRECOOLING SYSTEM AT VACUUM PRESSURE

นายชาญณรงค์ กาญจนะ
นางสาวรวิพันธ์ ชาวบ้านกร่าง
นายพิพัฒน์ ชัยมังคละกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ

DESIGN AND DEVELOPMENT ICE-CREAM MAKING MACHINE USING PRECOOLING SYSTEM AT VACUUM PRESSURE

โดย

นายชาญณรงค์ กาญจนะ

นางสาวรวิพันธ์ ชาวบ้านกร่าง

นายพิพัฒน์ ชัยมังคละกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ

DESIGN AND DEVELOPMENT ICE-CREAM MAKING MACHINE USING PRECOOLING SYSTEM AT VACUUM PRESSURE

ชื่อผู้ทำโครงการ

นายชาญณรงค์	กาญจนะ	รหัสนักศึกษา 47010177
นางสาวรวิพันธ์	ชาวบ้านกร่าง	รหัสนักศึกษา 47010613
นางสาวพิพัฒน์	ชัยมังคละกุล	รหัสนักศึกษา 47012198

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผศ.ดร. ณัตวิภา เจียระไนวชิระ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ

นายชาญณรงค์ กาญจนะ 47010177
นางสาวรวิพันธ์ ชาวบ้านกร่าง 47010613
นายพิพัฒน์ ชัยมังคละกุล 47012198
รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. ฉัตวิภา เจียระไนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ โดยพารามิเตอร์ที่จะควบคุม ได้แก่ ความดันภายในถัง, ชนิดใบกวน, ความเร็วรอบใบกวน, และพารามิเตอร์เกี่ยวกับคุณภาพที่ศึกษาคือ ความหนืด, สี, คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส, ค่าทางประสาทสัมผัสได้แก่ ระดับความเนียน, ความเย็นและmouth coating การลดอุณหภูมิของส่วนผสมไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทันทีโดยใช้การลดความดันในถังปั่นลงต่ำกว่าบรรยากาศถึง -725 mmHg ร่วมกับน้ำแข็งผสมเกลือที่อยู่รอบถัง และเปรียบเทียบกับการทำความเย็นเบื้องต้นโดยใช้น้ำแข็งผสมเกลืออย่างเดียวโดยภายในถังปั่นมีความดันบรรยากาศปกติ ชนิดใบกวนที่ใช้มี 2 ชนิด คือ แบบการไหลตามแนวรัศมี(แบบที่ 1) และการไหลตามแนวรัศมี(แบบที่ 2) กับความเร็วรอบ ได้แก่ 50 rpm, 60 rpm และ70 rpm จากการทดลองสรุปได้ดังนี้คือ คุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้นมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าวัตถุดิบที่นำมาทดลองมีคุณภาพซึ่งเป็นผลดีต่อผลการทดลอง และคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมที่ได้มีค่าสีใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้นและหลังพาสเจอร์ไรซ์แต่ค่า Total Soluble Solids เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตอนเริ่มต้น ส่วนคุณสมบัติของความนุ่ม, ความหนืด, ร้อยละการขึ้นฟูมีค่ามากที่สุดเมื่อปั่นด้วยชนิดใบกวน 1 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm ที่ระดับความดันสูญญากาศ และน้อยที่สุดเมื่อปั่นด้วยชนิดใบกวน 2 ที่ความเร็วรอบ 50 rpm ที่ระดับความดันบรรยากาศปกติ ส่วนการทดลองที่ใช้เวลาน้อยที่สุดและเวลามากที่สุด คือ การทดลองที่ระดับความดันสูญญากาศ ด้วยใบกวนที่ 2 ความเร็วรอบ 50 rpm และที่ระดับความดันบรรยากาศปกติใบกวนที่ 1 ความเร็วรอบ 70 rpm ตามลำดับ การทดลองที่พลังงานน้อยที่สุดและมากที่สุด คือ การทดลองที่ระดับความดันบรรยากาศปกติ ด้วยใบกวนที่ 2 ความเร็วรอบ 60 rpm และที่ระดับความดันสูญญากาศด้วยใบกวนที่ 2 ความเร็วรอบ 60 rpm ตามลำดับ สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ชิมส่วนมากชอบไอศกรีมที่ปั่นด้วยใบกวนชนิดที่ 2 ความเร็วรอบ 50 rpm ที่ความดันสูญญากาศ ซึ่งมีความเนียนและแน่นมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT ICE-CREAM MAKING MACHINE USING PRECOOLING SYSTEM AT VACUUM PRESSURE

Channarong	Kanjana	47010177
Rawiphan	Chowbankrang	47010613
Pipat	Chaimangkalakul	47012198
Panmanas	Sirisomboon	Advisor
Natvipa	Jayranaiwachira	Advisor

ABSTRACT

This study designed and developed the ice-cream making machine using precooling system at vacuum pressure. The parameters controlled were pressure for precooling, type of stirrer, and speed of stirrer. The quality parameters studied were viscosity, color, texture properties, sensory values were smoothness, coolness and mouth coating. The precooling system for pasteurized ice-cream mix as done in two ways including precooling at atmospheric pressure using salt and ice only and at vacuum pressure (-725 mmHg) together with salt and ice. The stirrers include type 1 radial flow type and type 2 axial flow type. The stirrer rotational speeds were 50, 60 and 70 rpm. It can be concluded that initial property of coconut milk of each treatment was similar. The color of ice-cream, ice-cream mix after pasteurized and initial ice-cream mix were closed to each other. However, the total soluble solid of ice-cream was increased. The softness, viscosity and overrun was the highest when using stirrer type 1 at 70 rpm at precooling at vacuum pressure, and was the lowest when using stirrer type 2 at 50 rpm at atmospheric pressure. The treatment that used minimum time and maximum time were stirred with type 2 stirrer at 50 rpm with precooling at vacuum pressure and atmospheric pressure at stirrer type 1 at 70 rpm, respectively. The treatment that use the minimum energy and maximum energy were stirred by type 2 stirrer at 60 rpm at atmospheric pressure, and precooling at vacuum pressure at stirrer type 2 at 60 rpm, respectively. From sensory test, it was found that the panel like the ice-cream stirred by type 2 stirrer at 50 rpm with precooling at vacuum pressure which gave highest smoothness and firmness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น รวมถึงเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการศึกษาโครงการ การประกอบโครงการ และช่วยตรวจความถูกต้องของการปฏิบัติการโครงการ ทำให้การศึกษาปฏิบัติการโครงการครั้งนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ณัตวิภา เจียระไนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น รวมถึงเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการศึกษาโครงการ การประกอบโครงการ และช่วยตรวจความถูกต้องของการปฏิบัติการโครงการ ทำให้การศึกษาปฏิบัติการโครงการครั้งนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขรายงานการศึกษาโครงการ การประกอบโครงการ และร่วมประเมินผลโครงการ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่กรุณาให้ความสะดวกในการติดต่อและประสานงานต่างๆ ตลอดโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือโครงงานนี้เป็นอย่างดี

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ที่ได้ให้ความสนับสนุนและยังให้โอกาสได้ศึกษาอย่างเต็มที่ รวมทั้งเป็นกำลังใจเสมอมา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ณ ที่นี้

นายชาญณรงค์ กาญจนะ
นางสาวรวิพันธ์ ชาวบ้านกร่าง
นายพิพัฒน์ ชัยมังคละกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 วิธีการดำเนินการ	3
1.6 ตารางดำเนินการ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	5
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน	5
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับใบกวน	7
2.3.1 การแบ่งเครื่องกวนตามความหนืด	7
2.3.2 ทฤษฎีใบกวน	8
2.3.3 รูปแบบการไหลของของไหลในถังกวน	10
2.3.4 การเกิดปรากฏการน้ำวน (vortex)	11
2.3.5 การผสม (Blending and Mixing)	12
2.3.6 รูปร่างของก้นถังผสมที่ดี	13
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า	13
2.4.1 กำลังไฟฟ้า	13
2.4.2 การควบคุมมอเตอร์	14
2.5 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย	15
2.5.1 การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอย่างง่าย	15
2.5.2 ภาชนะความดันผนังบาง (thin – walled pressure vessels)	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ 18

3.1 แนวความคิดในการออกแบบ 18

3.2 การหาขนาดของถังสูญญากาศ 18

3.3 การหาความหนาของถังสูญญากาศ 19

3.4 แบบของเครื่อง 21

บทที่ 4 การทดลองเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นที่ความดันสูญญากาศ 25

4.1 วัตถุประสงค์ 25

4.2 วัสดุและอุปกรณ์ 25

4.3 วิธีการเตรียมส่วนผสมไอศกรีม 29

4.4 วิธีการทดลอง 30

4.5 วิธีการวัดคุณสมบัติของไอศกรีม 31

4.5.1 การทดสอบคุณภาพไอศกรีมของ Aime et al.,2001 31

4.5.2 การทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลข 32

4.5.2.1 ระบบการวัดค่าสี 32

4.5.2.2 การวัดค่าสี 33

4.5.2.3 การวัดค่าความหนืด 34

4.5.2.4 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis) 34

4.6 ผลการทดลอง 37

4.6.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ 39

4.7 การใช้พลังงานและการหาประสิทธิภาพของเครื่องทำไอศกรีม 39

4.7.1 ที่ความดันบรรยากาศปกติ 39

4.7.2 ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ 40

4.8 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน 49

4.8.1 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน ที่ความดันบรรยากาศปกติ 49

4.8.2 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ 51

4.8.3 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายของเครื่องต้นแบบ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	58
ภาคผนวก ก	60
ภาคผนวก ข	71
ภาคผนวก ค	79
ภาคผนวก ง	87
เอกสารอ้างอิง	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างแบบบันทึกผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม 32

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาในการทำงานของการทดลองแต่ละระบบ 38

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น 41

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของน้ำกะทิหลังพาสเจอร์ไรซ์ 42

ตารางที่ 4.5 แสดงคุณสมบัติของไอศกรีม 43

ตารางที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติของไอศกรีม (ต่อ) 44

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า L*หลังปั่น 45

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า a*หลังปั่น 45

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า b*หลังปั่น 46

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่าพลังงานที่ใช้ 46

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่าความหนืดไอศกรีม 47

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลอง 47
ของค่า Total Soluble Solid หลังปั่น

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า % การขึ้นฟู 48

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า Average softness 48

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า Maximum force 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Saturation Vapor Pressure (mmHg) กับอุณหภูมิ (°C) 5
รูปที่2.2 แบบใบกวนรูปแบบต่างๆ 9
รูปที่ 2.3 การไหลแนวรัศมี 10
รูปที่ 2.4 การไหลแนวแกน 10
รูปที่ 2.5 การไหลแนวสัมผัสเส้นขอบถัง 11
รูปที่ 3.1 แบบมอเตอร์ 21
รูปที่ 3.2 แบบใบพัดชนิดที่ 1 21
รูปที่ 3.3 แบบใบพัดชนิดที่ 2 22
รูปที่ 3.4 แบบฝาถังและสลัก 22
รูปที่ 3.5 แบบฝาถัง (ต่อ) 23
รูปที่ 3.6 แบบ pin รองก้นถังและ plate ปิดถัง 23
รูปที่ 3.7 แบบตัวถัง 24
รูปที่ 3.8 ชุดถังปั่น 24
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ต่างๆของเครื่อง 26
รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 27
รูปที่ 4.3 เครื่องวัดสี 27
รูปที่ 4.4 เครื่องวัดความหนืด 27
รูปที่ 4.5 เครื่องวัดค่า Total Soluble Solids 28
รูปที่ 4.6 เครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกล 28
รูปที่ 4.7 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE LAB ในรูป สามมิติ 33
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้ว 33
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการวัดค่าสี 33
รูปที่ 4.10 กราฟที่ความเร็วรอบ 60 rpm ใบกวนแบบที่ 1 ที่ความดันบรรยากาศ 37
รูปที่ 4.11 กราฟที่ความเร็วรอบ 50 rpm ใบกวนแบบที่ 1 ที่ความดันบรรยากาศ 38
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบ 56
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบที่ระดับบรรยากาศปกติ 57
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องที่ระดับบรรยากาศ 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

"ไอศกรีม" ถือได้ว่าเป็นตัวช่วยยอดนิยมในสภาวะอากาศร้อนระอุ ความเย็นและความหวานของไอศกรีมจะทำให้รู้สึกผ่อนคลายอารมณ์ได้เป็นอย่างดี [1]

ไอศกรีม คือ ของหวานแช่แข็ง (frozen desert) ซึ่งจัดเป็นอาหารหวานที่ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ นมสด ครีม ไขมันเนย นมผงที่ไม่มีไขมัน หรือ หางนมผง และประกอบด้วยส่วนผสมต่างๆที่มีประโยชน์ เช่น น้ำตาล กลูโคสไซรัป ผลไม้ สารปรุงแต่งกลิ่นและรสอาจมีการเติมไข่ และสารช่วยให้เกิดความคงตัวหรือ Stabilizer ลงไปด้วย เพื่อปรับปรุงเนื้อของไอศกรีมให้น่ารับประทาน[2] รวมถึงส่วนผสมที่มักละเลยไป ได้แก่ อากาศ ซึ่งอยู่ในรูปของฟองอากาศเล็กๆ กรรมวิธีการทำโดยทั่วไป จะใช้วิธีทำให้ไอศกรีมแข็งตัว ที่ความดันบรรยากาศปกติ (760 mmHg) โดยเริ่มทำการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิประมาณ 70°C เป็นเวลา 30 นาที และปั่นให้ไอศกรีมแข็งตัวที่อุณหภูมิ -3 ถึง -6°C แล้วจึงนำไปเก็บรักษาความเย็นที่อุณหภูมิประมาณ -25°C

ในช่วงฤดูร้อน ไอศกรีมเป็นหนึ่งในบรรดาสินค้ายอดฮิตที่มียอดจำหน่ายสูงในช่วงนี้ คาดว่ามูลค่าของตลาดไอศกรีมจะขยายตัวอย่างต่อเนื่อง และการแข่งขันในตลาดไอศกรีมในปีนี้จะมีความเข้มข้นอย่างมาก เนื่องจากบรรดาผู้ประกอบการในธุรกิจนี้ต่างปรับกลยุทธ์เพื่อแย่งชิงส่วนแบ่งตลาด คาดว่าตลาดไอศกรีมในปี 2549 จะมีมูลค่าเท่ากับ 10,000 ล้านบาท หรือเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5 [3] โดยแบ่งตลาดดังนี้

ไอศกรีมพรีเมี่ยม มูลค่าตลาดประมาณ 1,200 ล้านบาท อัตราการขยายตัวประมาณร้อยละ 10.0 ปัจจุบันจำนวนผู้ประกอบการในกลุ่มนี้เริ่มมีจำนวนมากขึ้น โดยจะสังเกตได้จากมีไอศกรีมยี่ห้อที่มีชื่อเสียงหลายยี่ห้อเข้ามาเปิดสาขาในประเทศไทย และมีผู้ประกอบการไทยเปิดสาขาไอศกรีมประเภทโฮมเมดจำหน่ายมากขึ้น

ไอศกรีมระดับกลาง ในปี 2549 คาดว่ามูลค่าตลาดรวมประมาณ 7,900 ล้านบาท และมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 3-5 ในปีนี้ผู้ประกอบการรายใหญ่เริ่มรุกเข้าตลาดเพื่อแย่งชิงส่วนแบ่งตลาดเพื่อหวังจะชิงความเป็นหนึ่งของตลาดไอศกรีมระดับกลางโดยเฉพาะตลาดในต่างจังหวัด เนื่องจากไอศกรีมในตลาดนี้ยังไม่มีผู้ครอบครองตลาดที่ชัดเจน และผู้ประกอบการในตลาดนี้ส่วนใหญ่เป็นไอศกรีมที่ไม่มียี่ห้อ

ไอศกรีมระดับล่าง คาดว่าจะมีมูลค่าตลาดประมาณ 900 ล้านบาท ไอศกรีมระดับล่างยังไม่มีผู้นำตลาดที่ชัดเจน และยังเผชิญกับปัญหาในเรื่องคุณภาพของไอศกรีม ซึ่งเป็นผลให้ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ประกอบการไอศกรีมระดับล่างต้องมีการปรับตัวอย่างมากเพื่อประคองตัวให้อยู่รอดท่ามกลางการแข่งขันที่รุนแรง

นอกจากนี้การส่งออกไอศกรีมไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ก็เป็นตลาดที่น่าจับตามอง คาดว่าในปี 2549 มูลค่าการส่งออกไอศกรีมเท่ากับ 800 ล้านบาท เมื่อเทียบกับในปี 2548 ที่มีมูลค่าการส่งออก 732 ล้านบาทแล้วเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.3 จากที่เมื่อปี 2540-2543 การส่งออกไอศกรีมนั้นมีมูลค่าเพียง 50 ล้านบาทเท่านั้น อย่างไรก็ตามไทยก็ยังมีการนำเข้าไอศกรีม เพื่อตอบสนองตลาดลูกค้าระดับพรีเมี่ยม แต่การนำเข้านั้นนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูงนักเมื่อเทียบกับการส่งออก กล่าวคือ คาดว่าในปี 2549 มูลค่าการนำเข้าไอศกรีมเท่ากับ 145 ล้านบาท เมื่อเทียบกับในปี 2548 ที่มีมูลค่า 128 ล้านบาทแล้วเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.3 [3]

กรรมวิธีการทำให้ไอศกรีมแข็งตัวที่ความดันบรรยากาศปกติใช้เวลานานพอสมควรจึงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเนื่องด้วยหลักทฤษฎีพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของการระเหย และการเดือดของน้ำในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ (760 mmHg) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100°C และเมื่อมีความดันบรรยากาศต่ำลง (ต่ำกว่า760 mmHg) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ด้วยหลักการพื้นฐานนี้จะทำให้สามารถลดอุณหภูมิการระเหยของเหลวโดยควบคุมความดันในกระบวนการผลิต และด้วยหลักการการลดความดันดังกล่าวจึงนำไปสู่แนวคิดการสร้างเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบทำความเย็นที่ความดันสูญญากาศ คือ การลดความดันให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งส่งผลให้จุดเดือดของของเหลวต่ำลงและความร้อนของของเหลวที่ถูกพาออกไปกับไอทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว

Aime et al., 2001 [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไอศกรีมวนิลลาที่มีปริมาณไขมันต่างกัน ในปี ค.ศ. 2001 โดยการทดสอบคุณสมบัติต่างๆที่ Aime et al.,2001 ได้ศึกษาได้แก่ ความแน่นเนื้อ, ความเนียน, และ mouth coating เป็นต้น จะถูกนำมาอ้างอิงและประยุกต์ใช้กับการทดสอบคุณภาพไอศกรีมในการทำโครงงานนี้ด้วย

โครงงานนี้จึงจะทำการศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องทำไอศกรีมใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ โดยการศึกษาหาระดับความดันที่เหมาะสม รวมถึงการออกแบบใบกวน เพื่อเพิ่มคุณภาพการแข็งตัวของไอศกรีม ซึ่งเป็นการช่วยประหยัดเวลาและอาจประหยัดพลังงาน นอกจากนี้โครงงานนี้อาจเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาอุตสาหกรรมไอศกรีมในอนาคตโดยเพิ่มมาตรฐานการผลิต และคิดค้นรสชาติไอศกรีมที่เป็นเอกลักษณ์ของไทยเพื่อการบริโภคภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศเพื่อให้ไอศกรีมซึ่งมีตราสินค้าของไทยเป็นที่รู้จักในตลาดโลกและเป็นการเพิ่มมูลค่าส่งออกให้กับไอศกรีมของไทยอีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1) ออกแบบและสร้างเครื่องทำไอศกรีมขนาดเล็กโดยใช้การทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ
2) เพื่อออกแบบและสร้างใบกวนที่เหมาะสมกับเครื่องทำไอศกรีมนี้
3) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ความดันที่ใช้ในการลดอุณหภูมิเบื้องต้น ชนิดใบกวน, ความเร็วรอบใบกวน
4) เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานและคุณสมบัติของไอศกรีมโดยการทำไอศกรีมแบบใช้ระบบสูญญากาศกับแบบที่ความดันปกติ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาเครื่องทำไอศกรีม โดยพารามิเตอร์ที่จะควบคุม ได้แก่ ความดันภายในถัง, ชนิดใบกวน, ความเร็วรอบใบกวนและพารามิเตอร์เกี่ยวกับคุณภาพไอศกรีมที่ศึกษาคือ ความหนืด, สี, คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส, ค่าทางประสาทสัมผัสได้แก่ ระดับความเนียน ความเย็น และmouth coating

2) ระบบทำความเย็นเบื้องต้นที่ใช้เพื่อลดอุณหภูมิของส่วนผสมไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ทันทีคือการใช้ปั๊มสูญญากาศลดความดันในถังปั่นทำให้อุณหภูมิของส่วนผสมลดลงอย่างรวดเร็วและใช้น้ำแข็งผสมเกลือไว้รอบถังปั่น

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมการทำไอศกรีมในอนาคตเนื่องจากแนวคิดที่ออกแบบและสร้างเครื่องทำไอศกรีมนี้ใช้ระบบสูญญากาศ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาสร้างเครื่องที่ใหญ่ขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม เพราะการใช้ระบบสูญญากาศเป็นการช่วยประหยัดเวลาและอาจช่วยประหยัดพลังงานทั้งยังได้กำลังการผลิตต่อหนึ่งหน่วยเวลาเพิ่มมากขึ้น

1.5 วิธีการดำเนินการ

โครงงานนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานต่างๆและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับการระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ทฤษฎีของใบกวน ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่งกำลังรวมทั้งการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย และทำการทดสอบเพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นจากชุดทดลองโดยเริ่มจากการปรับความดันภายในตัวถัง วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อหน่วยเวลาและหาอัตราการระเหยของน้ำ จากนั้นจึงทำการออกแบบและเขียนแบบเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นที่ความดันสูญญากาศโดยเริ่มจากการออกแบบและหาขนาดของถังสูญญากาศ ออกแบบชนิดและปรับความเร็วรอบใบกวน หาขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ขับใบกวนรวมทั้งออกแบบและวางระบบควบคุมการทำงานของเครื่องให้เหมาะสมกับเครื่องทำไอศกรีมดังกล่าว

จากนั้นขั้นตอนต่อมา คือ การทดลองของชุดทดลองที่ออกแบบขึ้น เพื่อทดสอบสมรรถนะในการทำงานของเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นที่ความดันสูญญากาศ วัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของไอศกรีมและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่ได้จากเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศและนำมาเปรียบเทียบที่ระบบความดันบรรยากาศที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป หาข้อบกพร่องของเครื่องและทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง และนำข้อมูลทั้งหมดมาเขียนรายงาน

1.6 ตารางการดำเนินการ

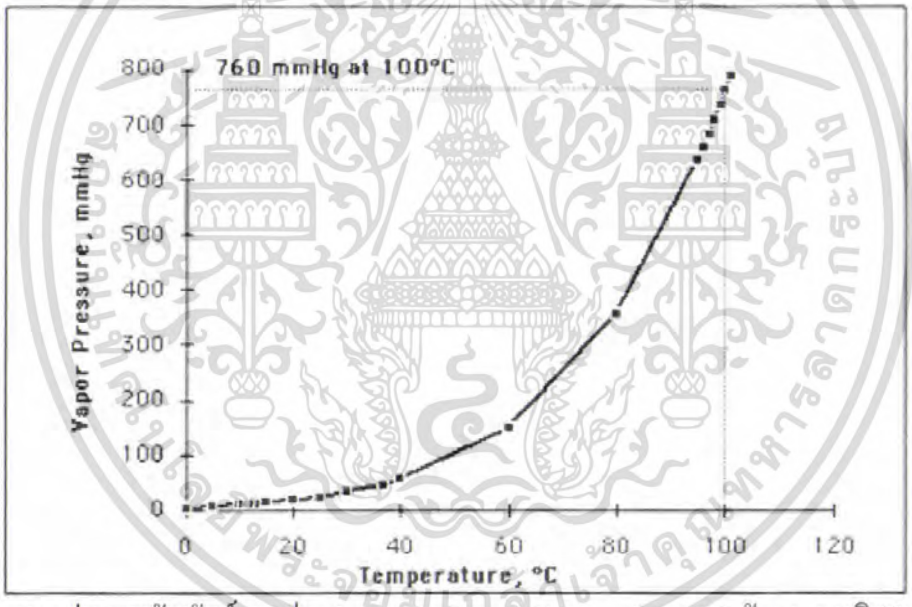
ขั้นตอนดำเนินงาน	ปี 2550							ปี 2551		
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
1. หาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	→								
2. ทดสอบเครื่องจากชุดทดลองเบื้องต้น		←	→							
3. ออกแบบและเขียนแบบ				←	→					
4. สร้างเครื่องทำไอศกรีม					←	→				
5. ทดสอบเครื่องครั้งที่ 1						←	→			
6. แก้ไขข้อบกพร่อง							←	→		
7. ทดสอบเครื่องครั้งที่ 2								←	→	
8. สรุปและเขียนรายงาน									←	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ [5]

ปกติของเหลวสามารถหนีหลุดออกจากผิวของของเหลวไปเป็นก๊าซได้ (ระเหย) ถ้าความดันเหนือผิวเท่ากับความดันบรรยากาศปกติ โมเลกุลที่หนีจากผิวได้จะมีน้อย แต่ที่ความดันสูญญากาศ คือที่ที่มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ (760 mmHg) ซึ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่ความดันต่ำลงจะส่งผลให้จุดเดือดของการกลายเป็นไอของของเหลวจะต่ำลง (ต่ำกว่า 100 °C) (รูปที่ 2.1)โมเลกุลจะหนีหลุดออกไปได้ง่ายพร้อมกับการพาความร้อนออกไปกับไอซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของของเหลวลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เมื่อโมเลกุลหนีหลุดออกไป (ระเหย) ปริมาณของแข็งที่หลงเหลืออยู่ในของเหลวนั้นจะมีมากขึ้นซึ่งทำให้จุดเดือดของของเหลวสูงขึ้นเพราะฉะนั้นการลดความดันในถังไอศกรีมจะทำให้ของเหลวระเหยออกไปในระดับหนึ่งเท่านั้นหลังจากนั้นจะอยู่ในสภาวะสมดุลไม่มีการระเหยอีก



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Saturation Vapor Pressure (mmHg) กับอุณหภูมิ (°C) [7]

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน

2.2.1 ปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทเพื่อการคำนวณปริมาณน้ำแข็ง

ความจุความร้อนและความจุความร้อนจำเพาะ [6]

เมื่อสสารได้รับพลังงานความร้อน(โดยไม่ต้องทำงาน) ตามปกติอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น (ยกเว้นกำลังเปลี่ยนสถานะ) ปริมาณความร้อนที่พอดีทำให้สารทั้งก้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 °C เรียกว่า ความจุความร้อน (heat capacity) ถ้าให้ Q เป็นพลังงานความร้อนที่สสารได้รับ ทำให้สสารมีอุณหภูมิเปลี่ยนไป $\Delta T\,(T_1 - T_2)$ โดย $T_2 < T_1$ และ C เป็นความจุความร้อนของสสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \mathrm{C}\,\Delta T \qquad (2.1)$$

ความจุความร้อนจำเพาะ(c) ของสสาร คือ ความจุความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของสสาร ดังนั้นถ้าพลังงานความร้อน Q ถูกถ่ายเทให้แก่มวลสสาร มวล m kg และทำให้อุณหภูมิของมันเปลี่ยนไป Δ T ความจุความร้อนจำเพาะ c คือ

$$\mathrm{c} = \frac{Q}{m\Delta T} \qquad (2.2)$$

มีหน่วยเป็น J/kg $^\circ$C หรือ cal/g $^\circ$C

ด้วยนิยามของความจุความร้อนจำเพาะนี้ จึงสามารถหาพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างสสารที่มีมวล m และสิ่งแวดล้อมของมันได้ เมื่ออุณหภูมิของสสารเปลี่ยนแปลง Δ T ได้เป็น

$$Q = m\,\mathrm{c}\,\Delta T \qquad (2.3)$$

จากสมการ จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น $\Delta T = T_2 - T_1$ จะเป็นค่าบวก (+) ทำให้ Q มีค่าเป็นบวกด้วย ซึ่งหมายความว่า พลังงานความร้อนถูกถ่ายเท จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่สสาร แต่เมื่ออุณหภูมิของสสารลดลง คือ $\Delta T = T_2 - T_1$ $(T_2 < T_1)$ จะมีค่าเป็นลบ (-) ทำให้ค่า Q มีค่าเป็นลบด้วย ซึ่งหมายความว่าพลังงานความร้อนถูกถ่ายเทออกจากสสารสู่สิ่งแวดล้อม

ความร้อนแฝง (Latent heat) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสาร ซึ่งมี 2 ประเภท คือ ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ความร้อนแฝงของสารแต่ละชนิดมีค่าเฉพาะตัว

1. ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (Latent heat of fusion) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสถานะของแข็งให้กลายเป็นของเหลว ณ จุดหลอมเหลวของสาร

2. ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสถานะของเหลวให้กลายเป็นไอ ณ จุดเดือดของของเหลวนั้น

ความร้อนแฝงจำเพาะ (Specific Latent Heat = L) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุมวล 1 หน่วย เปลี่ยนสถานะให้หมดพอดี โดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยน

$$Q = mL \qquad (2.4)$$

ถ้าให้ Q = ปริมาณความร้อน m = มวลของวัตถุที่เปลี่ยนสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับใบกวน

(เนื้อหาในบทนี้ส่วนมากอ้างอิงมาจาก [8])

โดยทั่วไปแล้วของเหลวจะถูกกวนในภาชนะซึ่งมักเป็นรูปทรงกระบอกตั้ง ด้านบนของภาชนะอาจเป็นแบบปิดหรือเปิดสู่อากาศก็ได้ ก้นถังทำเป็นแบบมน ไม่มีมุมเพื่อป้องกันกระแสการไหลไม่ทั่วถึงบริเวณมุมอับ สัดส่วนของตัวถังภาชนะจะเปลี่ยนไปตามวัตถุประสงค์ของการกวนความสูงของไหลในถังประมาณเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของถัง ใบกวนจะติดอยู่บนเพลาซึ่งยึดติดกับตัวถัง ตัวเพลาถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ โดยส่วนมากมักมีชุดเฟืองลดความเร็วรอบติดอยู่ด้วยนอกจากนี้มักมีส่วนอื่นๆ ได้แก่ ท่อทางเข้า-ออก ขดลวด ชุดหุ้มตัวถัง ท่อวัดอุณหภูมิรวมด้วย

การเคลื่อนที่ของของไหลในถังกวนขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ ได้แก่

1. คุณสมบัติของการไหล
2. ชนิดของใบกวน
3. รูปร่างและขนาดของถังกวน,แผ่นกั้นและชุดกวน

2.3.1 การแบ่งเครื่องกวนตามความหนืด

เครื่องกวนแบ่งตามความหนืด จะแบ่งได้ 3 ชนิดคือ

1. เครื่องกวนสำหรับใช้กับผลิตภัณฑ์ความหนืดต่ำ

ปกติเครื่องกวนชนิดนี้ใช้กับของเหลวที่มีค่าความหนืดไม่เกิน 0.5 Pas (kg.m/s) ความเร็วรอบของการกวนขึ้นอยู่กับ เส้นผ่าศูนย์กลางภาชนะความหนืด และ ความไว (sensitivity) ของผลิตภัณฑ์ที่มีความเร็วPeripheral สูงถึง 15 m/s จำนวนรอบของการหมุน (n) สามารถมีค่าสูงถึง 3000 rpm ความเร็ว Peripheral โดยทั่วไปควรมีค่าไม่เกิน 8 m/s

2. เครื่องกวนสำหรับใช้กับผลิตภัณฑ์ความหนืดปานกลาง ถึงความหนืดสูง

ปกติเครื่องกวนชนิดนี้ใช้กับของเหลวที่มีค่าความหนืด 0.5 - 5 Pas (kg.m/s) แท่งกวนแบบกากบาท (cross rod) ประตู (gate) และใบพาย (blade paddle) ขับให้ผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ในแนวรัศมีจากด้านในสู่ด้านนอก และเคลื่อนที่ในแนวสัมผัสด้วย (สำหรับแบบ MIG ขับให้ผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ในแนวแกนทั้งสองทิศทาง) ในกรณีใบกวนแบบ MIG แท่งกวนกากบาทหลายชุดติดซ้อนกันอยู่บนแกนด้วยมุม 90 องศา ทำให้ผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ในแนวแกนทั้งทั้งภายในและภายนอกในทิศทางตรงข้ามกัน ทำให้เกิด small annular vortices ตลอดปริมาตรทั้งหมดของของเหลว

3. เครื่องกวนสำหรับใช้กับผลิตภัณฑ์ความหนืดสูงมาก

เช่น puddings processed cheese ใบกวนแบบเกือกม้า (anchor) และ intermeshing finger ขับเคลื่อนผลิตภัณฑ์ในแนวสัมผัสที่ความเร็วน้อยกว่า 100 รอบต่อนาที สำหรับใบกวนแบบแถบเกลียว (helical ribbon) ขับให้ผลิตภัณฑ์เคลื่อนตามแนวแกน แท่งกวนเหล่านี้โดยปกติจะขับเคลื่อนกับผนังเพื่อผลิตผลออกมาจากผนังได้ดีขึ้น เครื่องกวนชนิดนี้สามารถถ่ายเทความร้อนสู่หรือจากผนังได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ทฤษฎีใบกวน

ใบกวน (impellers) ใบกวนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ เป็นใบกวนซึ่งให้กระแสการไหลของของไหลขนานกับแกนของใบกวน (axial flow impellers) และ เป็นใบกวนซึ่งให้กระแสการไหลมีทิศทางขนานกับรัศมีของใบกวน (radial flow impellers)

ใบกวนแบ่งออกได้เป็น 3 แบบใหญ่ๆ คือ

1. ใบพัด (propeller)

ใบพัด (propeller) เป็นใบกวนแบบเกิดการไหลตามแนวแกน (axial flow) ใช้สำหรับของเหลวความหนืดต่ำ ใบพัดขนาดเล็กหมุนด้วยความเร็วรอบตามแนวความเร็วรอบของมอเตอร์ ขณะที่ตัวขนาดใหญ่หมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 400-800 รอบต่อนาที กระแสการไหลออกจากใบกวนแบบต่อเนื่องผ่านของเหลวในทิศทางซึ่งกำหนดให้จนกระทั่งกระทบกับผนังหรือก้นของภาชนะใบกวนแบบใบพัดนี้ใช้ได้ผลดีกับภาชนะซึ่งใหญ่มากๆเนื่องจากกระแสการไหลไม่ตก

กรณีไม่มีการลื่นไถลระหว่างของเหลวกับใบพัดการหมุนหนึ่งรอบของใบพัดจะเคลื่อนที่ของเหลวได้ระยะทางคงที่ตามแนวยาว ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมเอียงของใบพัด อัตราส่วนระหว่างระยะทางนี้กับเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด เรียกว่าระยะ pitch ของ propeller โดย pitch เท่ากับ 1 เรียกว่า square pitch

ปกติแล้วใบพัดมักมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 45 ซม. กรณีถังซึ่งบรรจุของเหลวลึกๆ อาจใช้ใบพัด 2-3 ตัวติดบนแกนเพลาเดียวกัน โดยทั่วไปจะติดในทิศทางขับของไหลให้เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน แต่บางกรณีจะติดทิศทางตรงข้ามกันเพื่อให้ระหว่างใบทั้งสองเกิดการหมุนอลวนสูง

2. ใบพาย (paddles)

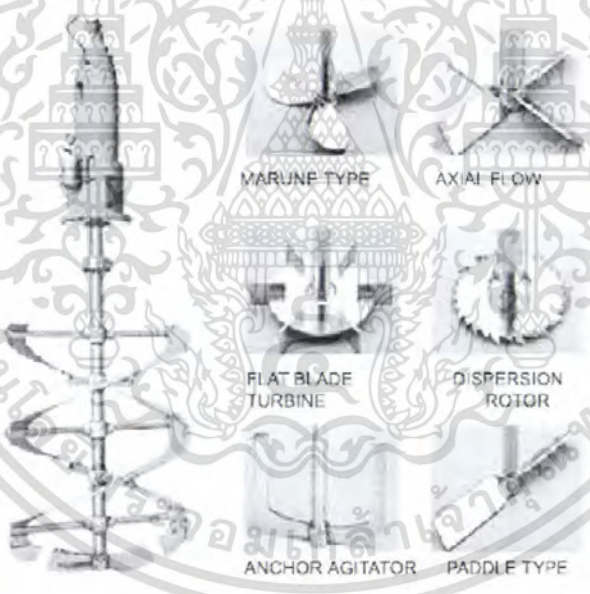
ใบพาย (paddles) เป็นใบกวนแบบแบนๆ ติดอยู่บนเพลาส่วนใหญ่เป็นแบบ 2 ใบและ 4 ใบ บางทีใบอาจบิดเอียงแต่ส่วนมากจะเป็นแบบตั้ง ใบพายหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำถึงปานกลางประมาณ 20- 150 รอบต่อนาที ในอุตสาหกรรมความยาวของใบพายส่วนใหญ่ประมาณ 50-80 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่าศูนย์กลางของถังกวน ความกว้างของใบประมาณ 10-17 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวใบพัดขับดันของเหลวให้เคลื่อนที่ในแนวรัศมีและแนวสัมผัส โดยเกือบจะไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับใบกวน ถ้าใบกวนไม่เป็นแนวเอียง กระแสการไหลของของเหลวจะเคลื่อนที่ออกข้างนอกสู่ผนังภาชนะ จากนั้นจึงเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงที่ความเร็วรอบต่ำมากๆ จะเกิดการกวนอย่างเบาๆ อ่อนๆในภาชนะที่ไม่มีแผ่นกัน (baffle) ถ้าความเร็วรอบสูงของเหลวจะไหลวนรอบๆผนัง แต่มีการผสมกันน้อยมาก ดังนั้นจำเป็นต้องใช้แผ่นกัน สำหรับถังลึกๆอาจใช้ใบพายหลายใบติดบนเพลาเดียวกัน การออกแบบใบตามรูปร่างถังภาชนะเป็นแบบจาน หรือรูปครึ่งซีกภาชนะเพื่อที่จะสามารถกวาดเฉียดผิวหน้าผนังภาชนะ ใบกวนแบบนี้เรียกว่า anchor agitator ซึ่งใช้ป้องกันการเก็บสะสมบนผิวถ่ายเทความร้อนที่ผนังภาชนะซึ่งถ่ายเทความร้อนด้วย แต่ใบชนิดนี้ผสมได้ไม่ดี ดังนั้นจึงมักใช้ร่วมกับใบพายความเร็วรอบสูงหรือใบกวนแบบอื่นๆ ปกติแล้วใบจะหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กังหัน (turbines)

ใบกวนแบบกังหัน (turbines) ส่วนมากเป็นใบแบบใบพายขนาดสั้นหลายใบประกอบกันอยู่บนเพลาที่จุดศูนย์กลางของถัง ใบหมุนด้วยความเร็วรอบสูง อาจเป็นใบตรงหรือใบโค้งติดแบบเอียงหรือแนวตั้งก็ได้ ตัวใบอาจติดตั้งเป็นแบบเปิดกึ่งปิด (semiclosed) หรือมีแผ่นโลหะกันรอบ (shrouded) เส้นผ่าศูนย์กลางจะเล็กกว่าแบบใบพาย คือขนาดประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่าศูนย์กลางภาชนะ

ใบกวนแบบกังหัน ใช้งานได้ดีกับของไหลที่มีค่าความหนืดต่างๆกัน ในของไหลความหนืดต่ำใบกวนแบบกังหันให้กระแสการไหลแรงตลอดภาชนะ และช่วยกำจัดจุดซึ่งของไหลหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ช้าๆ บริเวณใกล้ใบกวนเป็นช่วงกระแสการไหลเร็วเกิดการอลวนสูงและแรงเฉือนสูง กระแสการไหลหลักเป็นแนวรัศมีและแนวสัมผัสใบกวนโดยส่วนประกอบการไหลแนวสัมผัส ก่อให้เกิดการไหลวนและดูดลง ซึ่งแก้ไขได้โดยใช้แผ่นกัน (baffle) หรือวงแหวนตัวกระจาย (diffuser ring)



รูปที่ 2.2 แบบใบกวนรูปแบบต่างๆ [9]

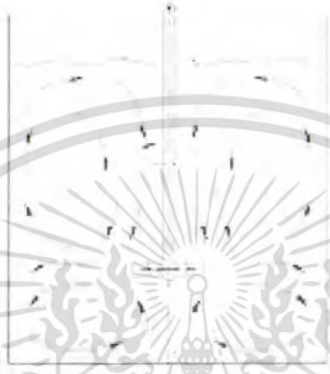
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 รูปแบบการไหลของของไหลในถังกวน (flow pattern in agitated vessel)

ลักษณะการไหลแบ่งเป็น 3 แบบ

1. การไหลแนวรัศมี (radial flow)

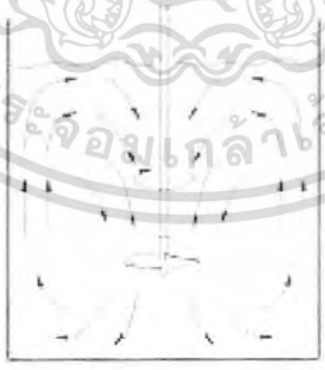
ส่วนใหญ่เกิดจากใบกวนแบบ blade (turbine) หรือใบกวนทำมุม 90° กับแนวระดับ ลักษณะการไหลจะแบ่งของไหลแนวรัศมีที่ติดผนังออกเป็นสองส่วน โดยส่วนหนึ่งไหลลงสู่ก้นถังและไหลกลับขึ้นมาสู่ใบกวน



รูปที่ 2.3 การไหลแนวรัศมี [10]

2. การไหลตามแนวแกน (axial flow) โดยใบกวนแบบใบพัด (propeller)

ใบกวนที่ทำให้เกิดการไหลแบบตามแกนมักเป็นใบกวนที่เอียงทำมุม 30, 45, 60 องศา เป็นต้น โดยของไหลที่จะไหลออกจากแกนใบกวนลงสู่ก้นถัง แล้ววนกลับขึ้นมาเข้าใบกวนทางด้านบน

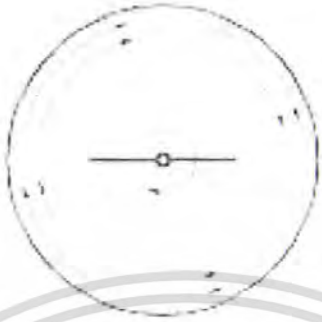


รูปที่ 2.4 การไหลแนวแกน [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การไหลตามแนวสัมผัสเส้นขอบถัง (tangential)

การไหลตามแนวเส้นสัมผัสขอบถังเกิดขึ้นเมื่อของไหลมีความเร็วสูง ซึ่งสังเกตได้จากด้านบนของถัง โดยการไหลตามแนวเส้นสัมผัสมักเกิดร่วมกับปรากฏการณ์ น้ำวน (vortex)



รูปที่ 2.5 การไหลแนวสัมผัสเส้นขอบถัง [10]

2.3.4 การเกิดปรากฏการน้ำวน (vortex)

การเกิดน้ำวน (vortex) เกิดขึ้นเมื่อของเหลวถูกกวนด้วยใบกวนในถังเรียบไม่มีครีบ (baffles) โดยเมื่อความเร็วของใบกวนสูงขึ้นจะทำให้น้ำวน (vortex) มีขนาดใหญ่และลึกขึ้น ความลึกของน้ำวน (vortex)ที่ลึกถึงผิวใบกวนถือว่าเป็นความลึกวิกฤติ ซึ่งเป็นจุดที่อากาศเริ่มเข้าไปผสมกับของเหลว ส่งผลให้การผสมและการถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพลดลง

ปกติเมื่อเพลาอยู่ในแนวตั้ง การไหลแนวรัศมีและแนวแกนเป็นตัวกระทำให้เกิดการผสมกัน แต่การไหลตามแนวสัมผัสจะมีข้อเสียเมื่อไหลเร็วมาก (too intensive) รูปทรงการไหลจะเป็นรูปกรวยหรือไหลวน (funnel or swirling) เกิดผิวหน้าเป็นน้ำวน (vortex) และมีแนวโน้มเกิดแบบต่อเนื่องโดยการไหลวนแบบราบเรียบแบ่งเป็นชั้นๆ ที่ระดับต่างๆ โดยไม่เกิดการไหลตามแนวแกนระหว่างระดับภายใต้พฤติการณ์ที่เหมาะสม และถ้า vortex ลึกมากๆ จนถึงใบกวนอาจดึงอากาศเข้าไปผสมกับของไหลมาก นอกจากนี้ถ้าผลิตภัณฑ์ที่ถูกกวนมีความหนาแน่นต่างกัน เช่น สารละลายแขวนลอย (suspension) หรือ emulsion ของผสมนี้อาจแยกกันเนื่องจากผลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ปรากฏการณ์การไหลวนของของไหลในถังกวนสามารถป้องกันได้โดย 3 วิธีต่อไปนี้

1. ติดตั้งแกนใบกวนแนวเบี่ยงออกจากศูนย์กลาง (off-center impeller)

ใช้สำหรับถังกวนขนาดเล็กแกนเพลาจะติดตั้งเลื่อนจากศูนย์กลางของถัง และทำมุมเอียงในแนวตั้งฉากกับแนวเบี่ยงศูนย์กลาง วิธีการนี้เหมาะสำหรับถังกวนขนาดเล็ก สำหรับการกวนด้วยความเร็วสูงที่กำลังสูงๆ แรงไม่สมดุลจะรุนแรงมากและเป็นตัวจำกัดการใช้กำลังสูงๆ

2. ติดตั้งตัวกวนด้านข้างของถังกวน

โดยเพลาทำมุมเอียงหรือขนานแนวระดับ วิธีนี้สามารถใช้ได้กับถังกวนขนาดใหญ่

3. การติดแผ่นกั้น (baffles)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีนี้ใช้ได้ดีกับถังใหญ่ที่มีการกวนในแนวตั้ง ตัวแผ่นกั้นช่วยลดการไหลวนของของไหลโดยไม่แทรกแซงรัศมีและแนวแกนช่วยให้การผสมดีขึ้น ปกติแล้วแผ่นกั้นมักติดตั้งในแนวตั้งและตั้งฉากกับผนังของภาชนะ ลักษณะของแผ่นกั้นและการไหลของของไหล ปกติแล้วถ้าถังไม่ใหญ่มากๆ แผ่นกั้น 4 แผ่นก็เพียงสำหรับการป้องกันการไหลวนและการเกิดหลุมน้ำวนสำหรับกังหัน ความกว้างของแผ่นกั้นควรจะไม่เกิน 1/12 ของเส้นผ่าศูนย์กลางถัง สำหรับใบพัดไม่ควรเกิน 1/18

2.3.5 การผสม (Blending and Mixing)

การผสมมีลายละเอียดซับซ้อนกว่าการกวนมาก สำหรับการกวน แม้ลักษณะความหนืด การใช้กำลังงานจะมีความซับซ้อนแต่ก็สามารถตรวจวัดและจำลองภาพได้ชัดเจนกว่า ในขณะที่การผสมนั้นจำลองภาพได้ยากและมีตัวแปรเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยมาก การวัดค่าการผสมจึงต้องอาศัยผลจากการทดลองเป็นสำคัญ บ่อยครั้งที่วัดคุณภาพของการผสมได้จากการสังเกตการณ์แทรกตัวของอากาศ การเปลี่ยนสีของ Indicator กรด-เบส ของสารนั้นๆ หรืออาจใช้เกณฑ์ตรวจวัดอื่นๆ เช่นการกระจายตัวของสารหรือการเพิ่มขึ้น ลดลงของอุณหภูมิ การละลายของสารหนึ่งเข้ากับอีกสารหนึ่ง หรืออาจสังเกตจากการแขวนลอยของส่วนผสม สำหรับสารที่มีของเหลวกับของแข็งผสมกัน

1. การผสมของเหลวที่สามารถละลายเข้ากันได้

การผสมของเหลวที่มีคุณสมบัติเข้ากันได้ มักใช้วิธีผสมด้วยใบกวน โดยติดตั้งใบกวนอยู่ตรงกลางภายในถังผสมขนาดเล็ก แต่สำหรับถังผสมขนาดใหญ่หรือบ่อบำบัดอาจใช้ใบกวนติดตั้งอยู่ด้านข้างหรือใช้การผสมด้วยการฉีดของผสมเข้าไปในถังผสม (Jet Mixer) สำหรับการผสมในถังผสมขนาดเล็กจะทำให้ของเหลวสามารถเข้ากันได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ถังผสมขนาดใหญ่อาจต้องใช้เวลานานกว่า หรืออาจต้องค่อยๆเทสารผสมทีละขั้นซึ่งทำให้เสียเวลาอย่างมาก

2. การผสมภายในภาชนะ (Process Vessel)

สำหรับการผสมในภาชนะ ของเหลวจะผสมเข้ากันกับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงๆ ได้ดีเฉพาะที่อยู่ใกล้กับใบกวนเท่านั้น เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความปั่นป่วน (Turbulence) สูง เมื่อผลิตภัณฑ์เข้ากับของเหลวบ้างแล้ว การไหลก็จะช้าลงกลายเป็นการไหลวนอยู่รอบๆผนังของถังผสม โดยช่วงนี้จะเกิดการผสมตามแนวรัศมี (Radial Mixing) บ้างเล็กน้อย จากนั้นจึงหมุนเข้ามายังใบกวนที่เป็นศูนย์กลางอีกครั้ง การผสมแบบดังกล่าวส่วนผสมจะสามารถเข้ากันได้ถึง 99% ในระยะการผสม 5 ครั้ง

3. การผสมแบบ Stratified blending ภายในถังบรรจุ

เพื่อให้การผสมภายในถังขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพมากขึ้น จำเป็นต้องปรับแกนกวนให้ทำมุมเอียงกับผนังถังผสม โดยมุมเอียงที่ได้ผลดีที่สุดคือ 80° และ 83° ส่วนระยะเวลาการผสมนั้น จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเวียน (Circulation Rate) โดยเฉพาะการแทรกปะทะ (Erosion) กันระหว่างชั้นของเหลวที่จะทำการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 รูปร่างของก้นถังผสมที่ดี

โดยทั่วไปถังผสมที่ใช้กันมากจะมีรูปทรงของก้นถังแบบก้นเรียบและมีครีบอยู่ภายใน (flat-bottom baffles tank) คุณสมบัติการใช้พลังงานในการกวนของถังแบบนี้จะสูงมากกว่าถังแบบอื่นๆ หลักการทำงาน เมื่อสารที่ต้องการผสมกับของเหลวภายในถังถูกเติมลงไปแล้ว จะไหลมารวมอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางถังแล้วถูกใบพัดตีไปรอบๆ เส้นรอบวงของถัง ทำให้เกิดการปั่นป่วนอย่างรุนแรง สารที่ต้องการผสมเกิดการกระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบการผสมไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่อปริมาตรของสารที่ผสมเสร็จดีแล้ว เกือบดี และมีสารผสมแขวนลอยอยู่มากจนเกินไป

การออกแบบถังที่ดีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมได้ แม้ว่าจะใช้ความเร็วรอบในการกวนที่ต่ำ นอกจากจะเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้แล้วยังมีประโยชน์ทางด้านอื่นๆอีก คือ

1 ช่วยลดค่าใช้จ่ายเพราะใช้อุปกรณ์ในการขับและส่งถ่ายกำลังขนาดเล็กลง เนื่องจากต้องการพลังงานที่ใช้ทำงานน้อยกว่านั่นเอง

2 เกิดการสึกหรอของใบพัดน้อยกว่า ซึ่งเป็นไปตามความเปลี่ยนแปลงของความเร็วที่ปลายใบพัดถึงของผสม

3 ความเสียหายที่เกิดจากผลึกรวมตัวกันมีน้อยลง เนื่องจากเกิดการชนกันเองเมื่อใช้ความเร็วรอบของใบพัดที่ต่ำกว่า

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า [11]

2.4.1 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า จะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ ผลคูณระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้า เขียนสมการได้ดังนี้

$$P = IV \tag{2.5}$$

เมื่อกำหนดให้ P คือ กำลังไฟฟ้า หน่วยเป็น วัตต์

I คือ ความต่างศักดิ์ หน่วยเป็น โวลต์

V คือ กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็น แอมแปร์

ในการหากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ หาได้จาก

$$P = IV\cos\phi \tag{2.6}$$

โดย $\cos\phi$ คือ ค่า PF (Power Factor คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า)

ดังนั้นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงๆ ถ้าใช้เป็นเวลานานจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก ซึ่งในการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าจะคิดเป็นหน่วยที่ใหญ่กว่าจูล คือกิโลวัตต์ และคิดเวลาเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมง ดังนั้น หน่วยของพลังงานไฟฟ้าจึงเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ หน่วย หรือยูนิต ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

พลังงานไฟฟ้า(หน่วย) = กำลังไฟฟ้า(กิโลวัตต์)×เวลา (ชั่วโมง) (2.7)

2.4.2 การควบคุมมอเตอร์ [12]

2.4.2.1 Invertor

การทำงานของ Invertor

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่หมุนด้วยความเร็วต่างๆกันนั้น จะขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กต่อเฟสของตัวมอเตอร์ และความถี่ของแหล่งจ่ายไปตามสมการ

$$N = \frac{120f}{p} \tag{2.8}$$

เมื่อ N คือ ความเร็วซิงโครนัส, rpm

f คือ ความถี่ของแหล่งจ่าย, Hz

p คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กต่อเฟส, $pole/phase$

เช่น มอเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ 50 Hz ความเร็วซิงโครนัส จะมีค่าเท่ากับ 1500 rpm ดังนั้นถ้าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนแปลง จะทำให้ความเร็วซิงโครนัสเปลี่ยนแปลงไปด้วย

จากหลักการดังกล่าวจึงนำมาสร้างเป็น Invertor ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงความถี่ของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับไปเป็นความถี่ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ของแรงดันกระแสตรง ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ได้

การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสสลับ จะทำโดยการควบคุมความถี่อย่างเดียวไม่ได้ ต้องมีการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย

(เนื้อหาทั้งหมดในบทนี้อ้างอิงมาจาก [13])

2.5.1 การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอย่างง่าย

การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อยอย่างง่าย จำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางด้านกลศาสตร์ วัสดุ พลศาสตร์ วัสดุศาสตร์และอื่นๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานและการนำไปใช้งาน

1. การบิด

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีพื้นที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (torque) จะบิดไปเป็นมุมเท่ากับ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \tag{2.9}$$

โดยที่ T คือ โมเมนต์บิด

L คือ ความยาว

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (polar area moment of inertia)

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad \text{สำหรับท่อกลมตัน} \tag{210}$$

$$J = \frac{\pi(d^4 - d_i^4)}{32} \quad \text{สำหรับท่อกลมกลวง} \tag{2.11}$$

โดยที่ d คือ ขนาดผ่านศูนย์กลางภายนอก

d_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

ความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดจะมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกของท่อนกลมนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\tau = \frac{Tr}{J} \tag{2.12}$$

โดยที่ r คือ รัศมีนอกของท่อนกลม

ในการใช้สมการที่ (2.11) มักจะจำเป็นที่จะต้องหาค่าโมเมนต์บิดให้ได้เสียก่อน สำหรับเครื่องจักรกลที่ส่งกำลังมาตามเพลา จะคำนวณหาค่าโมเมนต์บิดได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_p = 2\pi nT \qquad (2.13)$$

โดยที่ W_p คือ กำลังขับเป็น W

T คือ โมเมนต์บิดเป็น Nm

ω คือ ความเร็วเชิงมุมเป็น rad/s

N คือ ความเร็วรอบเป็น rev/s

2.5.2 ภาชนะความดันผนังบาง (thin – walled pressure vessels)

ภาชนะผนังบาง หมายถึง ภาชนะที่ความหนาของผนังมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรัศมีความโค้ง ถ้าให้ t เป็นความหนา และ R เป็นรัศมีความโค้ง ถ้า R/t มีค่ามากกว่า 10 ก็อาจจะจัดได้ว่าเป็นภาชนะผนังบาง

ภาชนะความดันผนังบาง โดยปกติจะมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกลม ทรงกระบอกหรือรูปวงรี จุดประสงค์เพื่อบรรจุของเหลวหรือก๊าซภายใต้ความดัน ในทางปฏิบัติภาชนะความดันประกอบด้วยเปลือกหรือผนังเพื่อบรรจุที่มีความดันด้วย Flange Rings และยึดด้วยรอยต่อและทนต่อแรงดันสูง

สำหรับภาชนะผนังบางทรงกลมซึ่งภายใต้บรรจุก๊าซความดัน p ความเค้นที่เกิดขึ้นภายในผนังตามทฤษฎีของภาชนะผนังบาง มีค่าเท่ากับ

$$\sigma = \frac{pR}{2t} \qquad (2.14)$$

ส่วนภาชนะผนังบางทรงกระบอกกลม ความเค้นสูงสุดจะเกิดในแนวความโค้ง เรียกว่า ความเค้นรัด (hoop stress) หรือความเค้นในแนวเส้นรอบวง (circumferential stress) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\sigma_h = \frac{pR}{t} \qquad (2.15)$$

ส่วนความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวแกนของทรงกระบอก เรียกว่า ความเค้นในแนวแกน (longitudinal stress) มีค่าน้อยกว่าความเค้นในแนวเส้นรอบวงครึ่งหนึ่ง นั่นคือ

$$\sigma_1 = \frac{pR}{2t} \qquad (2.16)$$

โดยปกติแล้วการทำภาชนะความดันส่วนมากจะมีตะเข็บหรือรอยต่อ ซึ่งบริเวณตะเข็บจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าบริเวณเนื้อผนัง เพราะฉะนั้นความหนาของผนังที่คำนวณได้จากสมการ (2.13) หรือสมการ (2.14) จึงไม่ได้ความปลอดภัยเท่าที่ต้องการ ดังนั้นจึงควรใช้ความหนาของผนังที่คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สำหรับภาชนะผนังบางทรงกลม

$$t = \frac{pR}{2\eta\sigma} \tag{2.17}$$

สำหรับภาชนะผนังบางทรงกระบอก

$$t = \frac{pR}{\eta\sigma} \tag{2.18}$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของตะเข็บหรือรอยต่อ

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบภาชนะผนังบางจะต้องทำตามเกณฑ์ของภาชนะความดัน ทั้งนั้นเพื่อให้ได้ความปลอดภัยและภาชนะที่ใช้จะได้มาตรฐานเพียงพอ

82983

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการออกแบบ

3.1 แนวความคิดในการออกแบบ

(1) ถังหรือภาชนะที่ใช้ทำถังปั่นไอศกรีมต้องทนแรงดันสุญญากาศได้

(2) ใบกวนที่จะใช้ในถังสุญญากาศต้องสามารถกวนส่วนผสมไอศกรีมได้อย่างทั่วถึงเพื่อความเข้ากันของเนื้อไอศกรีม, การกระจายและถ่ายเทความเย็นที่ดี

(3) เพลาขับใบกวนต้องสามารถทนต่อแรงบิดได้

(4) กำลังของมอเตอร์ต้องเพียงพอต่อการขับใบกวน

(5) เลือกใช้วัสดุที่ใช้ได้กับอาหาร

3.2 การหาขนาดของถังสุญญากาศ

ในการหาขนาดของถังสุญญากาศที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกและอยู่ในลักษณะวางตามแนวตั้งโดยจะพิจารณาจากปริมาตรของส่วนผสม 2 ลิตร ที่ต้องการใส่ในตัวถังเพื่อปั่นเป็นไอศกรีม เมื่อบรรจุเข้าไปในถังมีความสูงจากก้นถังเท่าใดแล้วจึงกำหนดขนาดของถัง

การหาความสูงของส่วนผสมไอศกรีมจากก้นถังโดยสมมติให้ถังที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) 16 cm $(r = 8\,cm)$ และมีความสูง (h) 18 cm

รัศมี (r) = 8cm

ปริมาตร (v) = พื้นที่ $(A) \times$ ความสูง (h)

ต้องการปริมาตร (v) = 2 ลิตร = 2000 cm^3

หาความสูงของส่วนผสมของไอศกรีมจากก้นถัง

จากสูตร $v = \pi r^2 h$

$$2000 = \pi(8)^2 h$$

$$h = \frac{2000}{\pi(8)^2}$$

$$= 9.95 \text{ cm}$$

ความสูงของส่วนไอศกรีมที่สูงขึ้นจากก้นถังในปริมาตร 2000 ml เท่ากับ 9.95cm พบว่าสอดคล้องกับความสูงถังที่กำหนดไว้ (1) 18 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องการส่วนผสมไอศกรีมที่ใส่ในถัง 3000 ml

จากสูตร $v = \pi r^2 h$

$$3000 = \pi(8)^2 h$$

$$h = \frac{3000}{\pi(8)^2}$$

$$= 14.92 \text{ cm}$$

ความสูงของส่วนผสมไอศกรีมจากก้นถังในปริมาตร 3000 ml เท่ากับ 14.92 cm พบว่าความสูงสอดคล้องกับความสูงของถังที่กำหนดไว้ดังนั้นจึงเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) 16 cmและมีความสูง (l) 18cm โดยที่อย่างน้อยต้องใส่ส่วนผสมไอศกรีม 2000 ml ต่อครั้งและต้องไม่เกิน 3000 ml ต่อครั้ง

3.3 การหาความหนาของถังสุญญากาศ

วัสดุที่จะใช้ทำถังสุญญากาศสำหรับประกอบการเกี่ยวกับการบริโภคจะต้องใช้วัสดุที่ไม่เป็นพิษต่ออาหารหรือเครื่องดื่มดังกล่าวในโครงงานนี้ได้ใช้วัสดุ Stainless Steel AISI Grade 304 ซึ่งใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหารโดยเฉพาะ [14]

พิจารณาภาชนะความดันผนังบาง เมื่อเกิดความเสียหายจะเกิดความเสียหายตามแนวยาว (Longitudinal) ก่อนซึ่งสังเกตได้จาก $\sigma_{lc} = 2\sigma_{ll}$

เมื่อ σ_{lc} คือ ความเค้นตามแนวแกนยาว

σ_{ll} คือ ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง

จะพบว่าความเค้นตามแนวแกนยาวของภาชนะความดันจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเค้นตามแนวแกนเส้นรอบวง

จากสูตร $\sigma_d = \frac{Pr_i}{2t}$

เมื่อ σ_d คือ ค่าความเค้นที่ใช้ในการออกแบบ, N/mm^2

P คือ ผลต่างของความดันภายในและภายนอกถัง, N/mm^2

r_i คือ รัศมีของถัง, mm^2

t คือ ความหนาของถัง, mm^2

ค่า Yield Strength ของ Stainless Steel AISI Grade 304 มีค่าเท่ากับ 205 MPa [23] หรือเท่ากับ 205 N/mm^2 และกำหนดค่าปลอดภัย (N) = 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร $\sigma_d = \frac{\sigma_y}{2t}$

เมื่อ σ_y คือ ค่า Yield Strength ของ Stainless Steel

แทนค่า $\sigma_d = \frac{205}{5}$ N/mm^2

$= 41$ N/mm^2

ความดัน (P) คือ ผลต่างของความดันภายในและภายนอกถังซึ่งภายในถังสุญญากาศความดัน (P) มีค่าเป็นศูนย์ความดันภายนอกถังสุญญากาศซึ่งก็คือความดันบรรยากาศปกติมีค่าประมาณ 1 bar หรือเท่ากับ 0.1 N/mm^2

หาความหนาของถังสุญญากาศ (t) จาก $\sigma_d = \frac{\sigma_y}{2t}$

เมื่อรัศมีของถัง (r_i) มีค่าเท่ากับ 8 cm

$$t = \frac{Pr_i}{2\sigma_d}$$

$= (0.1 \text{ N/mm}^2)(80 \text{ mm})/(2\times 41 \text{ N/mm}^2)$

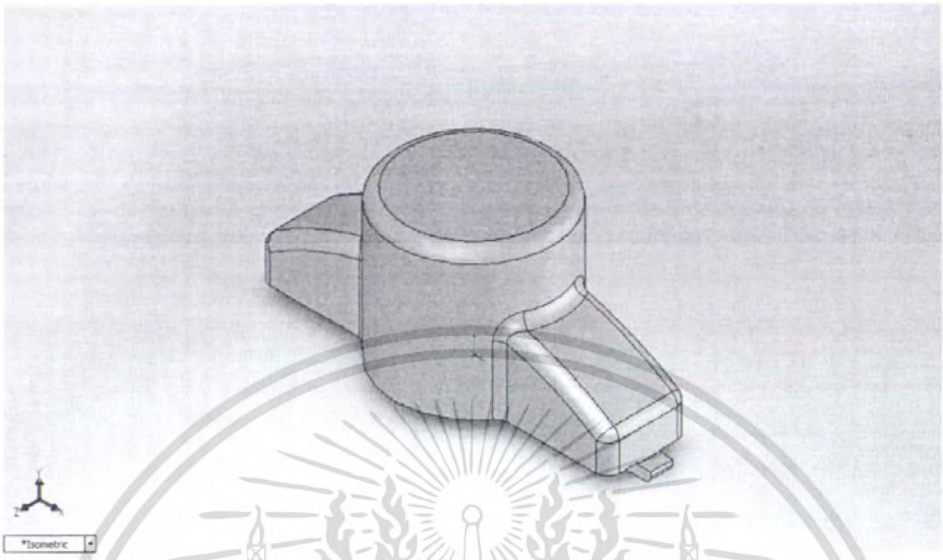
$= 0.1$ mm

ความหนาที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.1 mm แต่ตามหลักความเป็นจริงในการเลือกซื้อท่อ Stainless Steel ต้องคำนึงถึงความหนาที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดและต้องทนต่อความดันสุญญากาศด้วย ดังนั้นจึงเลือกท่อ Stainless Steel ที่มีความหนา 3 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แบบของเครื่อง

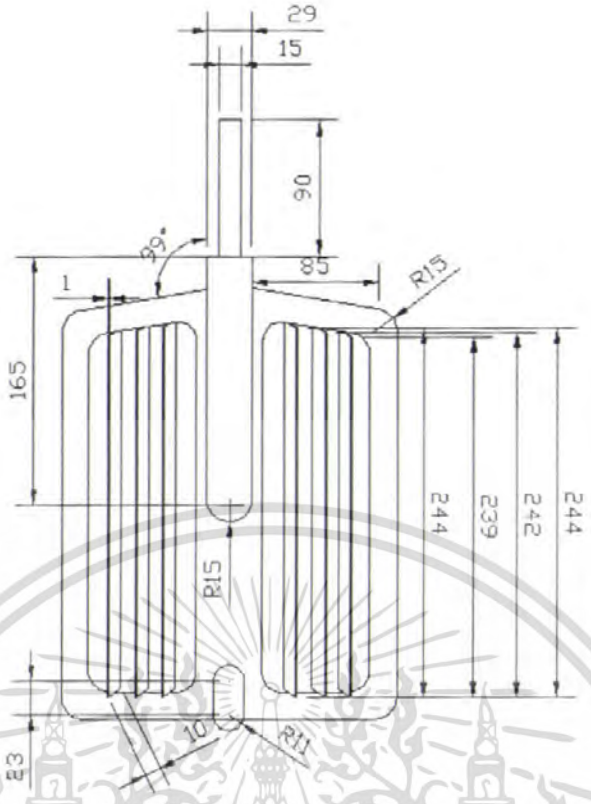
แบบของชิ้นส่วนต่างๆของตัวเครื่องแสดงในรูป



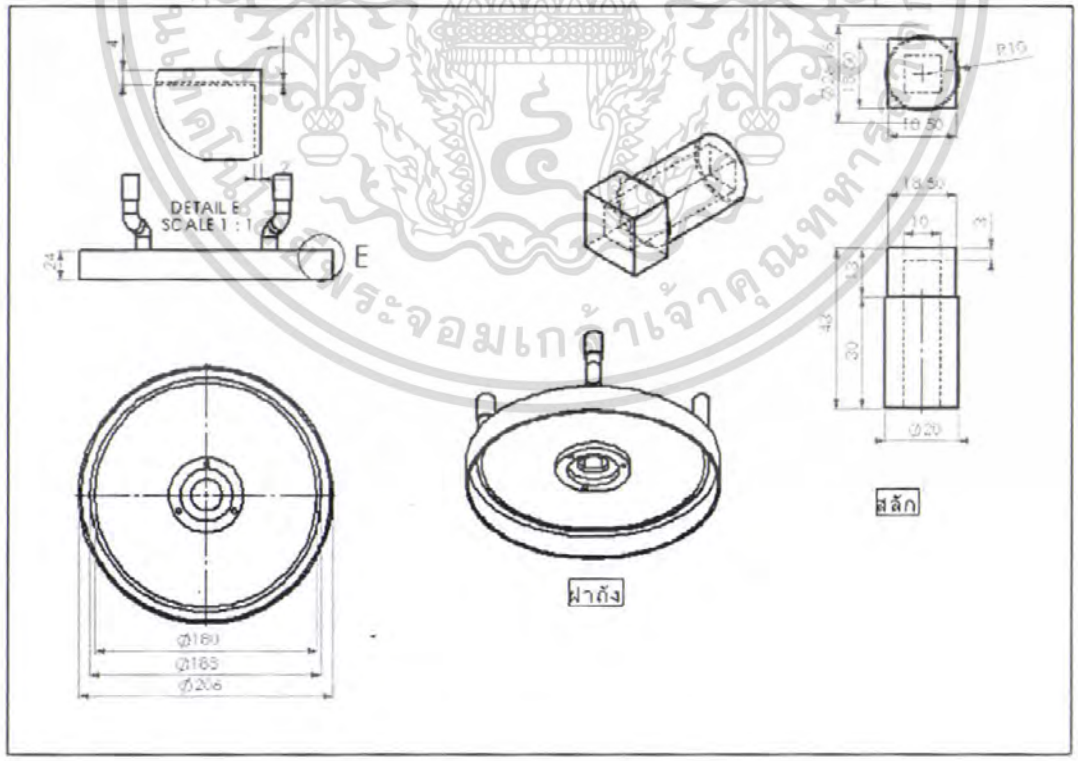
รูปที่ 3.1 แบบมอเตอร์ขนาด 48 วัตต์ 50 Hz

รูปที่ 3.2 แบบใบกวนชนิดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

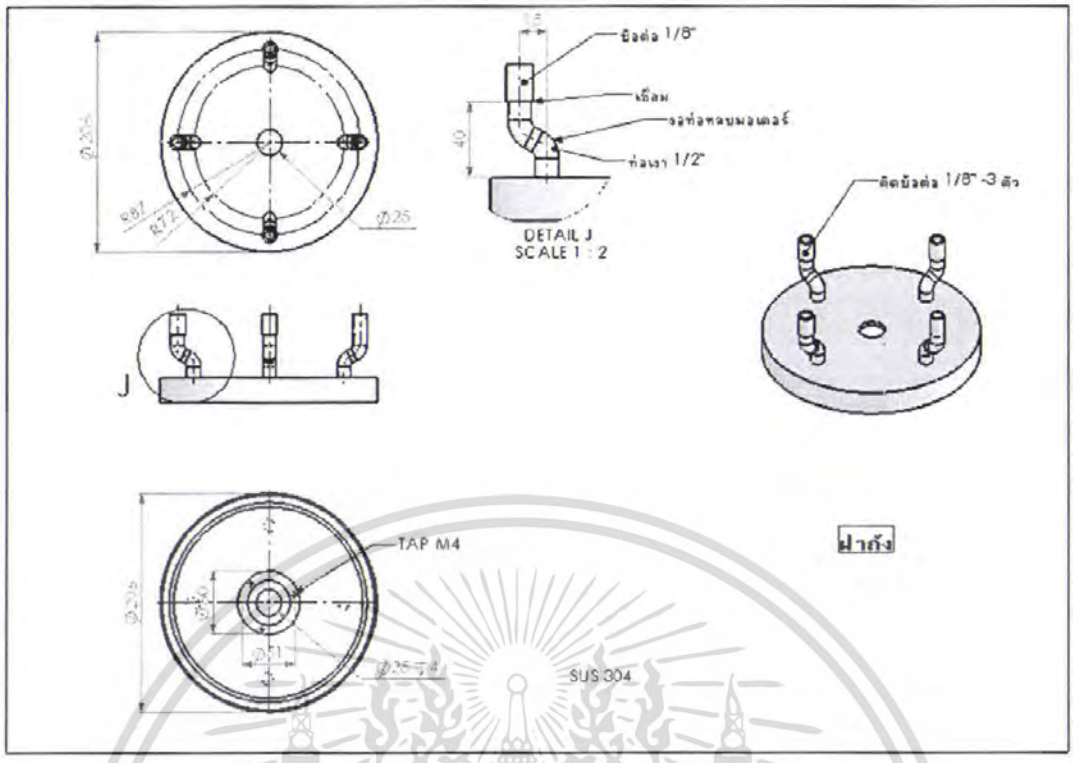


รูปที่ 3.3 แบบใบกวนชนิดที่ 2

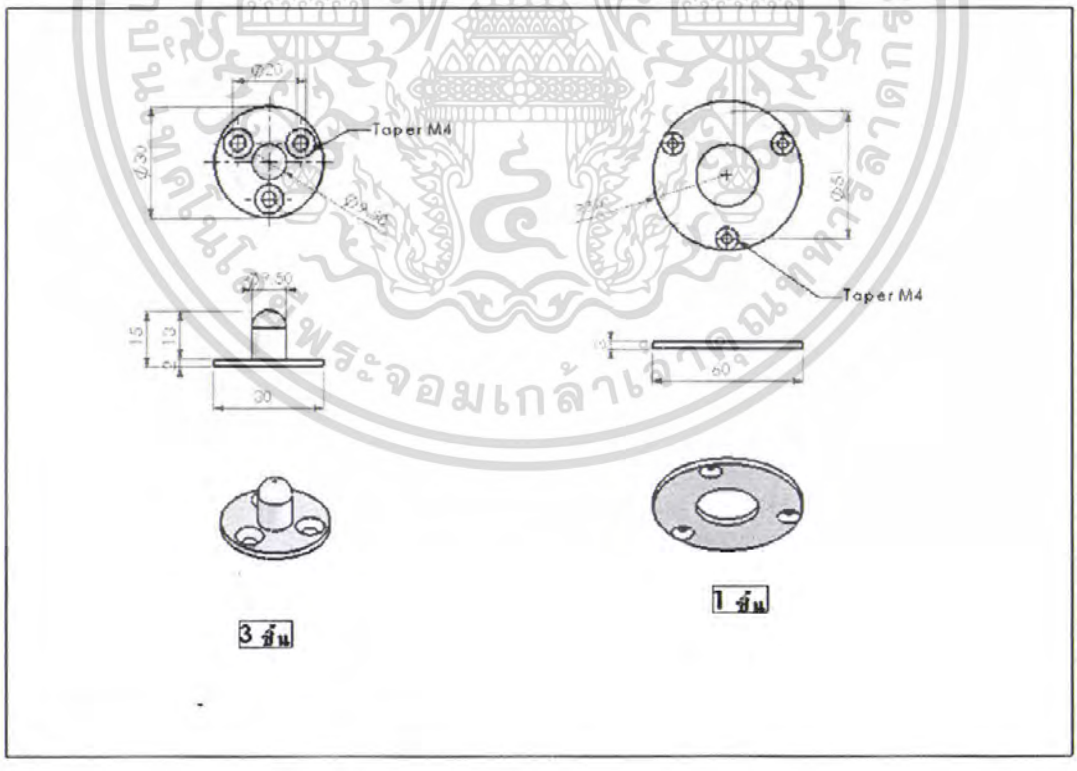


รูปที่ 3.4 แบบฝาถังและสลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

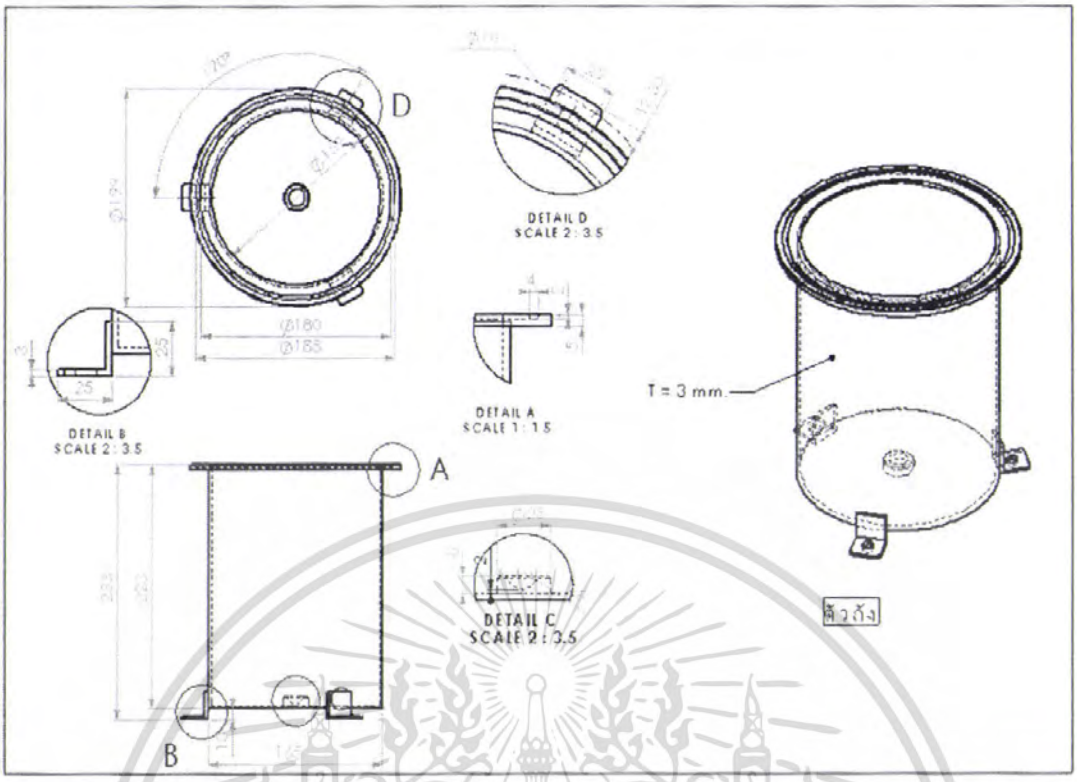


รูปที่ 3.5 แบบฝาถัง (ต่อ)

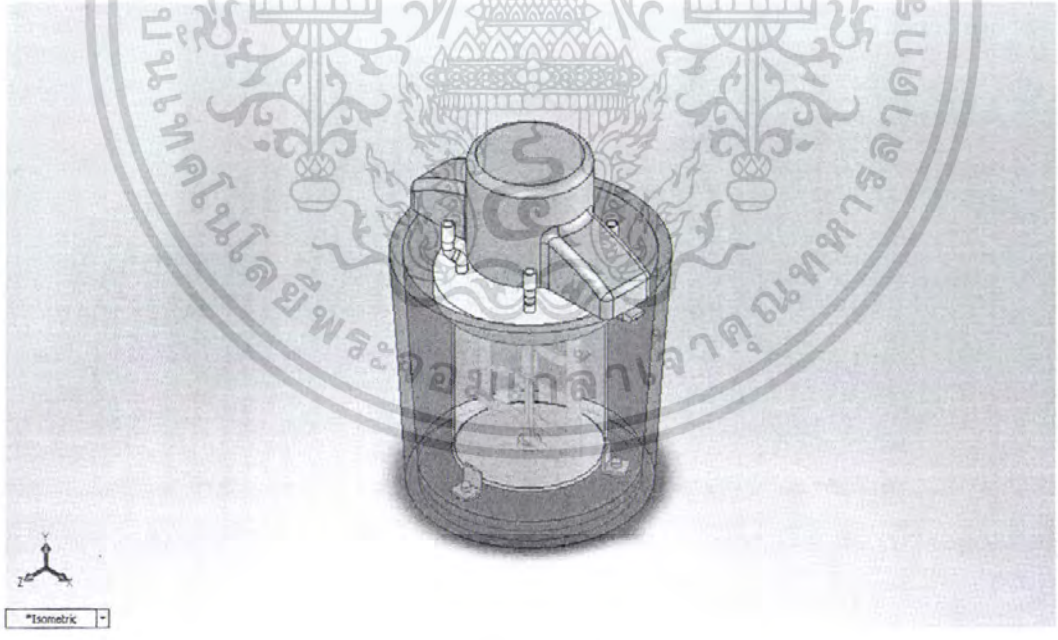


รูปที่ 3.6 แบบ pin รองก้นถังและ plate ปิดถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แบบตัวถัง



รูปที่ 3.8 ชุดถังปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองทำไอศกรีมโดยเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ

4.1 วัตถุประสงค์

เพื่อหา สภาวะการทดลองของใบกวน (ความเร็วรอบ, ชนิดใบกวน) ที่เหมาะสมและดีที่สุดสำหรับเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ โดยเลือกใช้ความดันที่ดีที่สุดที่เครื่องสามารถทำได้ ซึ่งมีการทดสอบและวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

(1) ความหนืด

(2) Total Soluble Solids

(3) สี

(4) คุณสมบัติเนื้อสัมผัส

(5) ประสาทสัมผัส เช่น ระดับความเนียน, mouth coating, ความแน่นเนื้อ

4.2 วัสดุและอุปกรณ์

ประกอบด้วย (รูปที่ 4.1)

(1) ถังปั่นไอศกรีม

(2) ถังไม้

(3) มอเตอร์ปั่นไอศกรีม

(4) ใบพัด 2 แบบ

(5) อินเวอร์เตอร์

(6) เครื่องวัดอุณหภูมิ

(7) ปั๊มน้ำ

(8) คอนเดนเซอร์

(9) แคลมป์มิเตอร์

(10) น้ำแข็ง

(11) เกลือเม็ด

(12) นาฬิกาจับเวลา

(13) แท่งคนพลาสติก

(14) ถังน้ำ

(15) ปั๊มสูญญากาศ

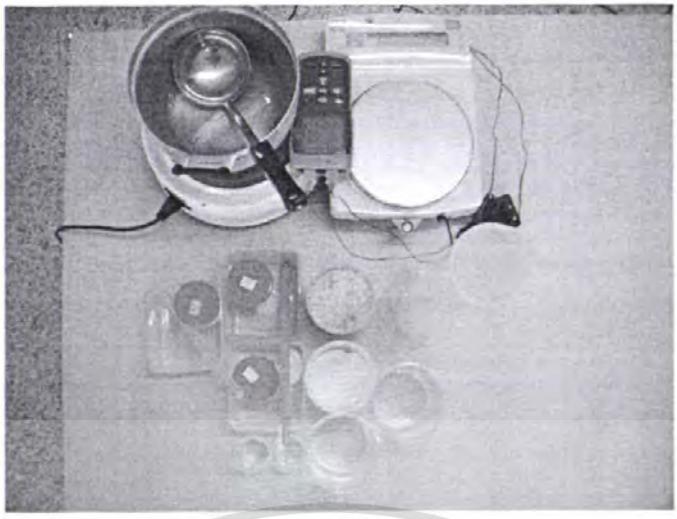
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ต่างๆของเครื่อง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย (รูปที่ 4.2)

(1) เทอร์โมคัปเปิ้ล	1	เครื่อง
(2) เครื่องชั่งยี่ห้อ Adventurer รุ่น ARC 120	1	เครื่อง
(3) กระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร	1	กระบอก
(4) กระป๋องตวงเกลือ	1	กระป๋อง
(5) บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร	6	บีกเกอร์
(6) กระป๋องตวงน้ำแข็ง	1	กระป๋อง
(7) บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร	4	บีกเกอร์
(8) เทอร์โมมิเตอร์	1	แท่ง
(9) แท่งแก้วคนส่วนผสม	2	แท่ง
(10) กระป๋องและพลาสติกใส่ตัวอย่างไอศกรีม	3	กระป๋อง
(11) เตาไฟฟ้า	1	เตา
(12) หม้อต้ม	1	ใบ
(13) ทัพพีสำหรับคน	1	อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

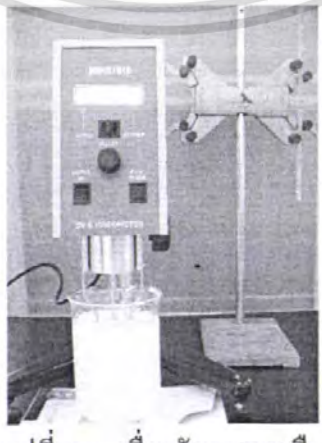


รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(14) เครื่องวัดค่าสี เครื่อง color meter รุ่น Miniscan XE Plus 45/0 LAV (Reston, USA.) (รูปที่ 4.3)

รูปที่ 4.3 เครื่องวัดสี

(15) เครื่องวัดความหนืด เครื่อง Rotational Viscometer รุ่น LVDV-E (Brook field ,USA.), Spindle No. s61, s64 (รูปที่ 4.4)



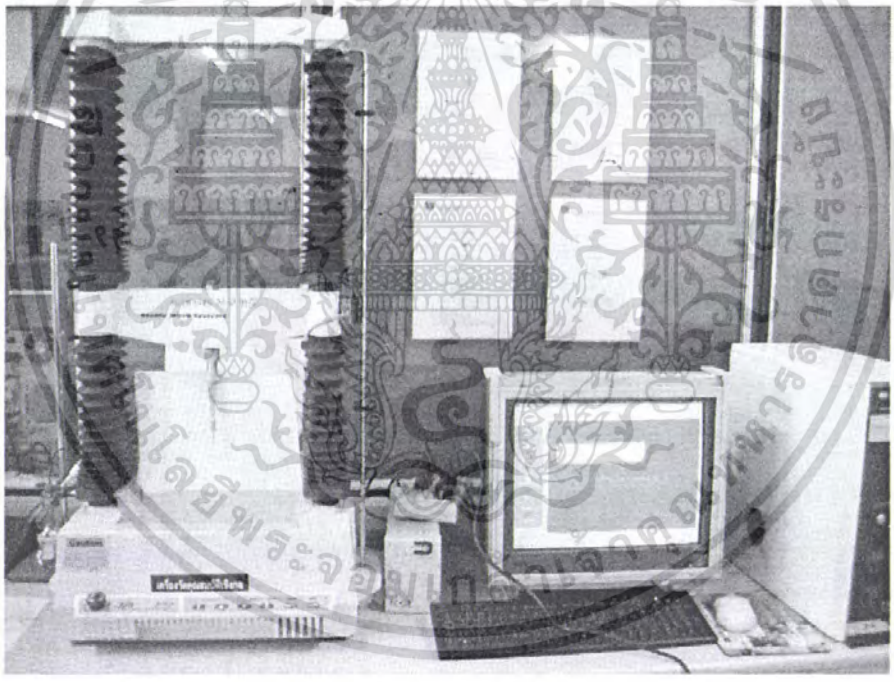
รูปที่ 4.4 เครื่องวัดความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(16) เครื่องวัดค่า Total Soluble Solidsเครื่อง Pocket Refractometer รุ่น PAL-1(Atago, Japan) (รูปที่ 4.5)

รูปที่ 4.5 เครื่องวัดค่า Total Soluble Solids

(17) เครื่อง Texture Analysis ยี่ห้อ TA-HD PLUS รุ่น5120 พร้อมหัวกดชนิด P/2 :2 DIA Cylinder Stainless (รูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 เครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีการเตรียมส่วนผสมไอศกรีม [20]

ส่วนผสมสำหรับไอศกรีมประมาณ 2 กิโลกรัม

1. น้ำกะทิสด 500 มิลลิลิตร
2. น้ำตาลทราย 430 กรัม
3. สารให้ความคงตัว (เจลาติน) 12 กรัม
4. เกลือป่น 5 กรัม
5. น้ำสะอาด 1,210 มิลลิลิตร
6. นมสดจืด 750 มิลลิลิตร

วิธีทำ

1. เตรียมส่วนผสมตามสูตรที่ต้องการ
2. นำน้ำสะอาดขึ้นตั้งไฟเมื่ออุณหภูมิของน้ำประมาณ 30 องศาเซลเซียส ใส่ส่วนผสมที่เป็นของแข็ง (น้ำตาลทราย, เกลือ, เจลาติน)
3. เคี่ยวส่วนผสมให้ได้น้ำสีใส ไม่ขุ่น ไม่ตกตะกอนนอนก้นหม้อต้ม
4. นำส่วนผสมที่เป็นของเหลว (น้ำกะทิคั้นสด, นมสดจืด) เทลงหม้อต้มหมั่นคนเพื่อป้องกันส่วนผสมไหม้เคี่ยวจนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที ปิดไฟ ยกลง (เพื่อเป็นการพาสเจอร์ไรซ์ส่วนผสม)
5. นำส่วนผสมไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วนำมาปั่นในเครื่องปั่นไอศกรีม
6. นำไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้วไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25 ถึง -30 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำแข็งและการแข็งตัวของไอศกรีม

หมายเหตุ วิธีการปั่น ใช้ถังปั่นไอศกรีม โดยมีน้ำแข็งทุบใส่อยู่รอบ ๆ ถัง โรยเกลือเม็ดลงในน้ำแข็ง เมื่อเริ่มมีการฝืดแสดงว่าไอศกรีมได้แข็งตัวลงแล้ว (ขณะที่ปั่นไอศกรีม ถ้าน้ำแข็งรอบถังละลาย ต้องเติมและโรยเกลือไปด้วยทุกครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วิธีการทดลอง

(1) นำกะทิขูด 1 กิโลกรัมไปคั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิโดยไม่ต้องเติมน้ำซึ่งจะได้น้ำกะทิคั้นสด 500 มิลลิลิตร สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

(2) นำกะทิคั้นสดที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเริ่มต้น ได้แก่ สี , ความหนืด , Total Soluble Solid

(3) เตรียมส่วนผสมสำหรับการทำไอศกรีม 2000 มิลลิลิตรแล้วทำการพาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมทั้งหมด

(4) นำส่วนผสมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้วไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี , ความหนืด , Total Soluble Solid

(5) เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆสำหรับทำการทดลองดังรูปที่ 4.1

(6) ทำการทดลองปั่นไอศกรีมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 ที่ความดันบรรยากาศปกติที่ความเร็วรอบ 50 , 60 และ 70 rpm ตามลำดับและนำไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้วทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ สี ความหนืด Total Soluble Solid การขึ้นฟูของไอศกรีมและเก็บตัวอย่างไอศกรีมที่ -18 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyser

(7) ทำการทดสอบซ้ำข้อ (6) อีกครั้งเพื่อจะนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

(8) ทำการทดสอบซ้ำข้อ (6)-(7) แต่เปลี่ยนชนิดของใบกวนเป็นใบกวนชนิดที่ 2

(9) ตรวจสอบเครื่องทำไอศกรีมโดยติดตั้งปั๊มสุญญากาศและ condenser เมื่อเครื่องทำงานสังเกตว่ามีจุดรั่วหรือไม่ เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการทดลองแบบใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสุญญากาศ

(10) ทำการทดลองปั่นไอศกรีมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ความเร็วรอบ 50 , 60 และ 70 rpm ตามลำดับและนำไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้วทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ สี ความหนืด Total Soluble Solid การขึ้นฟูของไอศกรีมและเก็บตัวอย่างไอศกรีมที่ -18 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyser

(11) ทำการทดสอบซ้ำข้อ (10) เพื่อจะนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

(12) ทำการทดสอบซ้ำข้อ (10)-(11) แต่เปลี่ยนชนิดของใบกวนเป็นใบกวนชนิดที่ 2

(13) ในขณะทำการทดลองต้องจับเวลาการทำงานทั้งหมดและวัดค่าการใช้กระแสไฟเพื่อคำนวณการใช้พลังงาน

(14) เปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วิธีการวัดคุณสมบัติของไอศกรีม

4.5.1 การทดสอบคุณภาพไอศกรีมของ Aime et al., 2001.[4]

Aime et al.,2001. ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไอศกรีมวนิลลาที่มีปริมาณไขมันต่างกัน โดยใช้วิธีทางประสาทสัมผัสและการวัดความหนืดปรากฏด้วยเครื่องวัดความหนืด

1. ความแน่นเนื้อ (Firmness)

โดยการกดไอศกรีมเข้ากับเพดานด้านบนและพิจารณาปริมาณน้ำหนักที่ลิ้นทำให้ไอศกรีมแบน มีหลักการพิจารณาดังนี้

- นิ่ม (soft) แรงต้านการกดหรือการทำให้แบนน้อย
- แน่น (firm) เนื้อแน่นทำให้การกดกับเพดานมาก (ต้องใช้แรงกดมากในการทำให้ไอศกรีมแบน)

2. ความหนืด (Viscosity)

โดยการชิมไอศกรีมตัวอย่าง ½ ช้อนชา แล้วหมุนไอศกรีมเบาๆระหว่างลิ้นและเพดาน ทันทีที่เป็นของเหลวให้ประเมินความง่ายในการเคลื่อนที่ มีหลักการพิจารณาดังนี้

- High มีแรงต้านการเคลื่อนที่ ทำให้เคลื่อนที่ยาก และรู้สึกเหนียวบนเพดาน
- Low มีแรงต้านการเคลื่อนที่น้อย ทำให้เคลื่อนที่ง่ายกว่าอาจรู้สึกเป็นน้ำทันทีที่ละลาย

3. ระดับความเนียน

โดยการชิมไอศกรีมตัวอย่าง 1 ช้อน แล้วแผ่ไอศกรีมบนเพดานและลิ้นและพิจารณาการสัมผัสบนลิ้น

- Not smooth เนื้อไอศกรีมมีลักษณะหยาบ
- High degree เนื้อไอศกรีมมีลักษณะเนียนเรียบ กระจายสม่ำเสมอบนเพดาน

4. Mouth coathing

โดยเริ่มจากการรับประทานขนมปัง 1 ชิ้น จากนั้นชิมไอศกรีม 1 ช้อน ทำให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมระหว่างลิ้นและเพดานแล้วพิจารณาฟิล์มที่หลงเหลือภายในปาก มีหลักการพิจารณาดังนี้

- Low มีฟิล์มหลงเหลือ เคลือบภายในปากน้อย
- High มีฟิล์มหลงเหลือ เคลือบภายในปากมาก

5. ความเย็น

โดยเริ่มตั้งแต่นำไอศกรีม 1 ช้อนเข้าปาก แล้วพิจารณาความเย็นด้วยหลักการดังนี้

- น้อย
- มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างแบบบันทึกผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

ตัวอย่างไอศกรีม	ความเย็น	ความแน่นเนื้อ	ความหนืด	ความเนียน	Mouth coating	รสชาติ		
						หวาน	มัน	อร่อย

4.5.2 การทดสอบทางประสาทเชิงตัวเลข

4.5.2.1 ระบบการวัดค่าสี

สีเป็นปัจจัยคุณภาพปัจจัยแรกที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินการยอมรับคุณภาพของอาหาร เพราะสีเป็นสิ่งที่คนเรารับรู้ได้ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับการรับรู้ทางประสาทสัมผัสชนิดอื่น สียังสามารถบอกถึงปัจจัยคุณภาพอื่น คือ ความแก่อ่อน ความสุก และความสด ซึ่งมนุษย์จะมีการจดจำความหมายของสีที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีค่าสีมาตรฐานเพื่อใช้บ่งชี้ว่าสีที่เราเห็นมีค่าเท่าใดเพื่อที่เกษตรกร ผู้ซื้อ ผู้ผลิตและผู้บริโภคได้เข้าใจตรงกันและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ

ซึ่งระบบการวัดค่าสีที่นิยมใช้ในงานวิจัยทางด้านอาหารจะนิยมใช้ระบบ CIE Color (L*, a*, b*) ซึ่งเป็นระบบที่มีการพัฒนามาจากค่าซีไออีไตรสติมิวลัส (X,Y,Z) และค่าพิกัดซีไออีโครมาติซิตี (x,y,z) เพื่อให้สามารถบอกค่าความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งความหมายของค่า CIE L*, a*, b* มีดังนี้

1. ค่า Hunter L* เป็นค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 โดยที่

ค่า Hunter L* = 0 แสดงถึงความเป็นสีดำอย่างสมบูรณ์

ค่า Hunter L* = 100 แสดงถึงความเป็นสีขาวอย่างสมบูรณ์

2. ค่า Hunter a* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียว โดยที่

ค่า Hunter a* เป็นบวก แสดงความเป็นสีแดง

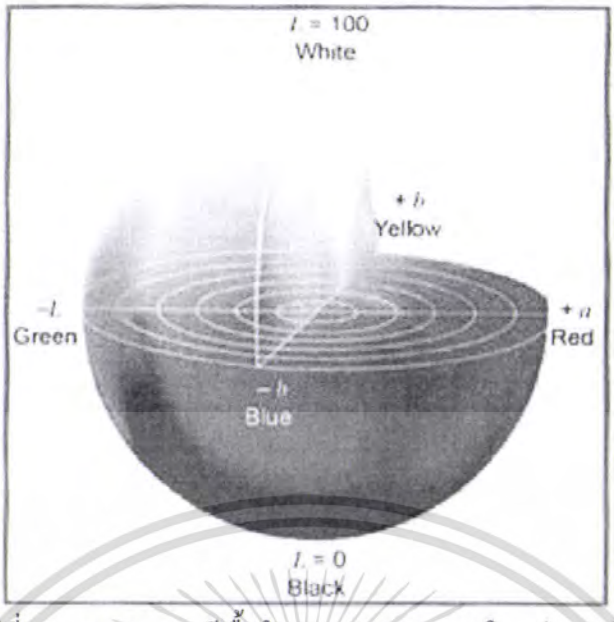
ค่า Hunter a* เป็นลบ แสดงความเป็นสีเขียว

3. ค่า Hunter b* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือความเป็นสีน้ำเงิน โดยที่

ค่า Hunter b* เป็นบวก แสดงความเป็นสีเหลือง

ค่า Hunter b* เป็นลบ แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



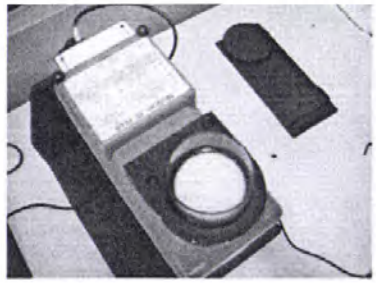
รูปที่ 4.7 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE LAB ในรูป สามมิติ

4.5.2.2 การวัดค่าสี

1. นำตัวอย่างไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้ว ได้ดังรูป 4.8

รูปที่ 4.8 ไอศกรีมที่ปั่นได้

2. เข้าโปรแกรมการวัดสี เลือกหน้าต่าง Master Color Data > Configure > Active View กด OK
3. กดปุ่ม Standardize Glass เพื่อนำแผ่น Black และ White ตั้งค่า Standardize กด OK
4. นำตัวอย่างไอศกรีมที่ตักใส่ถ้วยแก้ววางบน Spectrometer ดังรูปที่ 4.9 จากนั้นปิดฝาและครอบด้วยฝาครอบสีดำแล้วกดปุ่ม Read Sample เพื่อให้เครื่องวัด อ่านค่าสี



รูปที่4.9 ตัวอย่างการวัดค่าสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เก็บผลการทดลองที่ได้จากตารางลงใน Excel เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4.5.2.3 การวัดค่าความหนืด

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่อง Rotational Viscometer รุ่น LVDV-E (Brook field ,USA.)
2. หัวเข็มวัดค่าความหนืดเบอร์ 61 (ใช้วัดค่าความหนืดตอนเริ่มต้น หลังพาสเจอร์ไรซ์ หลังปั่นแบบรอให้ละลาย) , 64 (ใช้วัดค่าของไอศกรีมหลังปั่นทันที)
3. บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
4. น้ำกะทิคั้นสด , ส่วนผสมไอศกรีมหรือไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้ว
5. เทอร์โมมิเตอร์ (ช่วงอุณหภูมิ 0-100 องศาเซลเซียส)
6. นาฬิกาจับเวลา

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำน้ำกะทิคั้นสด , ส่วนผสมไอศกรีมหรือไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้ว และมีอุณหภูมิ 25 ^{0}C คนให้เข้ากันมาวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Rotational Viscometer รุ่น LVDV-E (Brookfield ,USA.)
2. โดยนำน้ำกะทิคั้นสด , ส่วนผสมไอศกรีมหรือไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยใส่บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ประมาณ 500 มิลลิลิตรก่อนทำการวัดต้องคนด้วยแท่งแก้ว
3. เตรียมเครื่อง Rotational Viscometer โดยใช้หัวเข็มเบอร์ 61 , 64 (สำหรับวัดความหนืดของไอศกรีมหลังปั่น) โดยต้องปรับความเร็วรอบและขนาดหัวเข็มบนหน้าจอให้ถูกต้อง
4. อ่านค่า Viscometer (cP) จากหน้าจอ

4.5.2.4 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis)

เนื้อสัมผัส หมายถึง สิ่งที่รู้ได้โดยการสัมผัส เช่น การเคี้ยว การจับ การฟังเสียงขณะเคี้ยว ว่ามีลักษณะอย่างไร เช่น ความแข็ง นิ่ม อ่อน นอกจากนี้ยังอาจหมายถึงลักษณะผิวที่มองเห็นจากภายนอกวัสดุ เช่น หยาบ ละเอียด เป็นต้น

การวัดค่าเนื้อสัมผัสโดยใช้หัวกดแบบ เพื่อทดสอบ Texture

วัสดุและอุปกรณ์

1. ไอศกรีมที่ใส่กล่องบรรจุเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm,ความสูงของเนื้อไอศกรีม 3 cm)
2. เครื่องวัดสมบัติเชิงกล 1 เครื่อง พร้อมหัวกด P/2 :2 Diameter Cylinder Stainless

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องวัดสมบัติเชิงกล เลือก New > Graph
2. เช็ดและทำความสะอาดเครื่องและหัวกดด้วยกระดาษทิชชู่
3. เลือก T.A. > Calibrate > ทำการ Calibrate Force ตัวเครื่องวัดโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตราฐาน หนัก 2000 กรัม วางบนเครื่อง เมื่อ Calibrate เสร็จเก็บตุ้มน้ำหนักให้เรียบร้อยและติดตั้งหัวกด
4. เลือก T.A. > Calibrate > ทำการ Calibrate Height ตัวเครื่องวัดโดยกรอกข้อมูล ดังนี้ Return Distance 120 mm, Return Speed 20, Contact Force 0.1 g จากนั้นเลื่อนหัวกดมาใกล้กับฐานทดลอง กด OK
5. เลือก T.A. > Library > Return to start > OK จากนั้นกำหนดค่าดังต่อไปนี้ Pre-Test Speed 2 mm/sec, Test Speed 2mm/sec, Post-Test Speed 10 mm/sec, Distance 20mm, Stop Plot At Target Position จากนั้นจึงกดปุ่ม Update Project
6. เลือก T.A. > Run A Test > สร้างโฟลเดอร์ที่ต้องการเก็บไฟล์ไว้ในไดร์ฟที่เราต้องการ, กำหนด Probe Selection เป็นแบบP/2 :2 DIA Cylinder Stainless
7. เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วนำไอศกรีมที่เตรียมไว้วางบนแท่นให้ได้ศูนย์กลาง
8. เลื่อนหัวกดลงมาในตำแหน่งที่สูงกว่าเนื้อไอศกรีมเพียงเล็กน้อยเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการทดลอง
9. กดปุ่ม Run A Test ที่ค้างไว้จากข้อ6 โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลจากหัวกดได้ เพื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างแรงกดและระยะทาง
10. เช็ดทำความสะอาดหัวกดทุกครั้งก่อนที่จะเปลี่ยนกล่องบรรจุไอศกรีมเพื่อทดลองครั้งต่อไป
11. ใช้โปรแกรม Texture Exponent 32 ในการหาค่า Average softness, Energy used at 20 mm, Average force, Maximum force โดย Macro ซึ่งมีคำสั่งดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program			R	F	?	A	!	Comment
Clear Graph Results								
Redraw								
Search Forwards								
Go to Min. Time								
Drop Anchor								
Go to..Force	2	N						
Drop Anchor								
Gradient	Active ...		*					
Area	Active ...		*					
Go to Peak +ve Value	Force							
Mark Value Force			X					
Drop Anchor								
Select Anchor	1	Anch...		X		X		
Select Anchor	3	Anch...		X		X		
Gradient	Active ...		*					
Area	Active ...		*					
Go to..Distance	20	mm						
Drop Anchor								
Select Anchor	1	Anch...		X		X		
Select Anchor	4	Anch...		X		X		
Gradient	Active ...		*					
Area	Active ...		*					
Mean	Active		*					
Maxima	Force		*					

ซึ่งโปรแกรมสามารถคำนวณค่าที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว โดยค่าแต่ละค่าที่ได้จากโปรแกรมมีคำอธิบายดังนี้

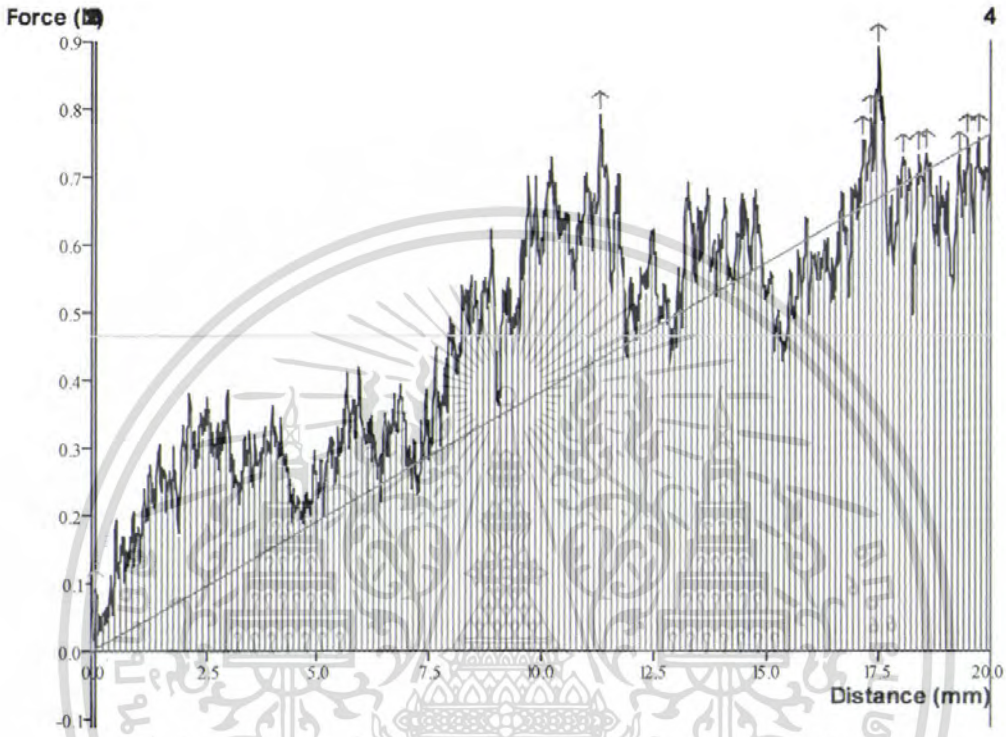
- Average softness – (F ที่ 20 mm)/(D ที่ 20 mm)
- Energy used at 20 mm คือ พลังงานที่ใช้เมื่อกดลึก 20 mm
- Average force คือ ค่าแรงเฉลี่ยที่ใช้กดลึก 20 mm
- Maximum force คือ ค่าแรงสูงสุดที่ใช้กดลึก 20 mm

ตัวอย่างการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง จากโปรแกรม Texture Exponent 32 (รูปที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

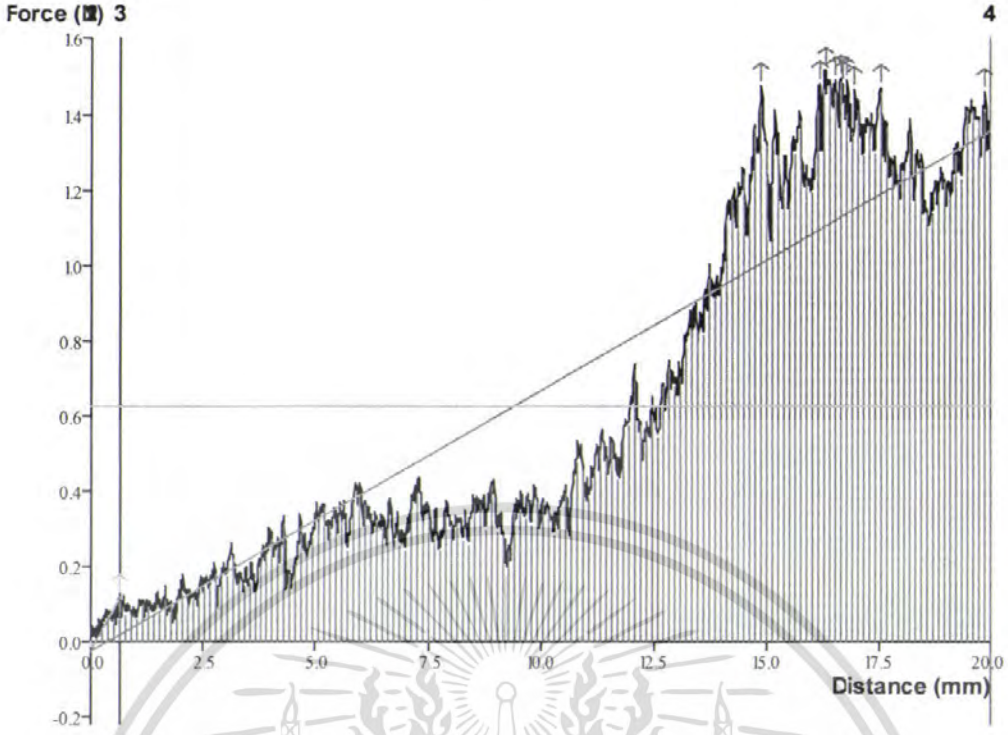
4.6 ผลการทดลอง

หมายเหตุ การทดลองที่ระดับความดันบรรยากาศปกติใช้สัญลักษณ์ I, การทดลองที่ระดับต่ำกว่าบรรยากาศใช้สัญลักษณ์ IV ตัวอย่างเช่น I-1-70 คือ การทดลองที่ระดับความดันบรรยากาศปกติด้วยใบกวนชนิดที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm เป็นต้น



รูปที่ 4.10 กราฟที่ความเร็วรอบ 60 rpm ใบกวนแบบที่ 1 ที่ความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟที่ความเร็วรอบ 50 rpm ใบกวนแบบที่ 1 ที่ความดันบรรยากาศ

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาในการทำงานของการทดลองแต่ละระบบ

ตัวอย่างไอศกรีม	เวลาที่ใช้เมื่ออุณหภูมิลดถึง 30°C (min)	เวลาที่อุณหภูมิเริ่มคงที่ (min)	เวลาเสร็จสิ้น (min)
I1-50	10.5	37	104.5
IV1-50	4.5	40	99
I1-60	8.5	31.5	107
IV1-60	6.5	40	90.5
I1-70	8	40.5	158.5
IV1-70	4	32.5	97.5
I2-50	7	37.5	73.5
IV2-50	6.5	30.5	69
I2-60	7	40.5	87.5
IV2-60	4	31	85.5
I2-70	7	42.5	102.5
IV2-70	5	31.5	108.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากตารางที่ 4.3 ถึง 4.6 สามารถวิเคราะห์ผลทางสถิตของ texture ได้ดังนี้

1) ค่า Average softness, Energy used at 20 mm และ Average force มีค่ามากสุดที่ระดับการทำความเย็นบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2 ที่ 50 rpm และน้อยสุดที่ระดับการทำความเย็นสูญญากาศ ใบกวนชนิดที่ 1 ที่ 70 rpm

2) ค่า Maximum force มีค่ามากสุดที่ระดับการทำความเย็นบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2 ที่ 50 rpm และน้อยสุดที่ระดับการทำความเย็นบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2 ที่ 70 rpm

จากตารางที่ 4.7 ถึง 4.15 สามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยทั่วไปได้ดังนี้

1) vac คือ ระบบการทดลองที่สูญญากาศและที่บรรยากาศปกติ

2) stirrer คือ ระบบการทดลองโดยใบกวน 2 แบบ

3) speed คือ ระบบการทดลองที่ความเร็วรอบ 3 ค่า คือ 70 rpm, 60 rpm และ 50 rpm

ซึ่งถ้าค่า significant น้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีผลต่อการทดลอง

1) ชนิดของใบกวนมีผลต่อค่าพลังงานที่ใช้

2) vac และ speed มีผลต่อค่าความหนืดหลังปั่นทันที

3) vac * stirrer และ stirrer * speed มีผลต่อค่าความนุ่มของไอศกรีม

4) stirrer และ speed มีผลต่อค่า % การขึ้นฟู

4.7 การใช้พลังงานและการหาประสิทธิภาพของเครื่องทำไอศกรีม

4.7.1 ที่ความดันบรรยากาศปกติ

จากผลการทดลองที่ความดันบรรยากาศปกติ ที่ความเร็วรอบ 50 rpm ใบพัดชนิด 2 พลังงานไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่าเป็น 105.19 วัตต์-ชั่วโมง (378.68 kJ) ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด

คิดมวลของน้ำแข็งที่ต้องใช้ในการทำไอศกรีม จากความร้อนของน้ำกะทิที่ถ่ายเทออกมาทำให้น้ำแข็งละลาย โดยให้ถังไม้เป็นฉนวนความร้อน

$$m_1 c(T_2 - T_1) = m_2 L$$

โดย $m_1 =$ มวลน้ำกะทิ (kg), $m_1 = \rho v = 976.025\frac{kg}{m^3} \times 0.002 m^3 = 1.95 kg$ [22]

$c =$ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำกะทิ $(3.98 kJ/kg \cdot °C)$ [23]

$T_2 =$ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกะทิ $(60°C)$

$T_1 =$ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำกะทิ $(-4°C)$

$m_2 =$ มวลน้ำแข็ง (kg)

$L =$ ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง $(334.8 kJ/kg)$ [24]

$$1.95 \times (3.98) \times (60 - (-4)) = m_2 \times 334.8$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_2 = 1.48kg$$

$\therefore$ พลังงานที่ใช้ในส่วนของไอศกรีม $= m_1 c(T_2 - T_1) = m_2 L$

$$= 1.95 \times 3.98 \times (60 - (-4)) = (1.49 \times 334.8)$$

$$= 496.70 \text{ kJ}$$

ประสิทธิภาพของเครื่องทำไอศกรีม(Efficiency)

คิดอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ในส่วนของการทำไอศกรีม(ผลิตภัณฑ์) กับพลังงานที่ให้แก่ระบบ (พลังงานที่จ่ายให้แก่อุปกรณ์ต่างๆในระบบและพลังงานจากน้ำแข็งด้วย)

$$\text{Eff.} = \frac{Out}{In} \times 100\%$$

$$= \frac{496.70}{378.68} \times 100\%$$

$$= 131.16\%$$

4.7.2 ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

จากผลการทดลองที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ ที่ความเร็วรอบ 70 rpm ใบพัดชนิด 2 พลังงานไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่าเป็น 141.45 วัตต์-ชั่วโมง (509.22 kJ) ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด

โดย $T_2 =$ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกะทิ $(60°C)$

$T_1 =$ อุณหภูมิสุดท้ายเมื่อการ vacuum จนความดันคงที่ $(26°C)$

- พลังงานที่ใช้เมื่อทำการ vacuum จนความดันคงที่ $= m_2 c\Delta T$

$$= 1.95 \times 3.98 \times (60 - 26)$$

$$= 263.87kJ$$

เนื่องจากในขั้นตอนนี้จะ vacuum ไปพร้อมกับการใส่น้ำแข็ง ทำให้อุณหภูมิลดลงเร็วมาก เพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้น เราจึงสมมติให้vacuum อย่างเดียวโดยจะไม่ใช้ค่าอุณหภูมิที่ลดลงจากน้ำแข็ง

- พลังงานที่ใช้หลังจากปิดปั๊มสูญญากาศ (พลังงานที่ใช้จากน้ำแข็งโดยตรง)

โดย $T_2 =$ อุณหภูมิของน้ำกะทิเมื่อความดันคงที่ $(26°C)$

$T_1 =$ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำกะทิ $(-4°C)$

$$= m_1 c\Delta T$$

$$= 1.95 \times 3.98 \times (26 - (-4))$$

$$= 232.83kJ$$

$\therefore$ พลังงานรวมที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ $= 263.87kJ + 232.83kJ$

$$= 496.70kJ$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดมวลของน้ำแข็งที่ต้องใช้ในการทำไอศกรีม (ซึ่งลดลงกว่าเดิม)

$$232.83 = m_2 L$$

$$232.83 = m_2 \times 334.8$$

$$m_2 = 0.70kg$$

ประสิทธิภาพของเครื่องทำไอศกรีม(Efficiency)

$$\text{Eff.} = \frac{Out}{In} \times 100\%$$

$$= \frac{496.70}{509.22} \times 100\%$$

$$= 97.54\%$$

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น

ระบบการทดลอง			คุณสมบัติต่างๆ				
ระดับการทำความเย็น	ใบกวน	rpm	L*	a*	b*	ความหนืด (cP)	(%Brix)
ที่บรรยากาศปกติ	แบบที่ 1	50	84.17±0.28	-0.89±0.11	5.72±0.42	23.53±1.92	12.74±0.09
		60	84.36±0.15	-0.81±0.13	5.68±0.32	18.52±0.35	12.07±1.04
		70	84.20±0.54	-0.31±0.08	5.24±0.43	23.49±2.52	12.00±0.24
ที่บรรยากาศปกติ	แบบที่ 2	50	84.12±1.36	-0.40±0.31	6.19±0.48	19.32±0.47	12.59±0.45
		60	83.92±0.82	-0.58±0.10	6.45±0.39	20.84±2.62	12.84±0.37
		70	84.02±1.63	-0.13±0.13	7.35±0.31	21.12±3.86	12.05±1.06
ที่สูญญากาศ	แบบที่ 1	50	84.60±0.21	-0.86±0.08	5.96±1.20	22.05±0.41	12.50±0.00
		60	84.24±0.62	-0.71±0.14	5.65±1.36	17.17±0.95	12.84±0.09
		70	85.27±1.51	-0.03±0.04	5.63±1.90	18.63±2.28	12.39±0.54
ที่สูญญากาศ	แบบที่ 2	50	84.80±1.58	-0.99±0.08	6.45±0.39	20.90±1.85	12.35±0.35
		60	85.05±1.05	-0.59±0.38	6.45±0.93	20.34±3.88	12.49±1.15
		70	84.88±0.69	-0.20±0.11	7.30±0.57	19.74±0.16	11.88±0.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของน้ำกะทิหลังพาสเจอร์ไรซ์

ระบบการทดลอง			คุณสมบัติต่างๆ				
ระดับการทำความเย็น	ใบกวน	rpm	L*	a*	b*	ความหนืด (cP)	(%Brix)
ที่บรรยากาศปกติ	แบบที่ 1	50	83.89±0.27	-0.97±0.08	5.83±0.35	8.43±0.76	22.94±0.19
		60	83.76±0.24	-0.97±0.09	5.72±0.41	8.04±0.81	22.54±0.62
		70	82.88±0.06	-0.92±0.08	5.62±0.64	7.57±0.59	23.09±0.69
ที่บรรยากาศปกติ	แบบที่ 2	50	82.95±0.00	-0.77±0.06	6.23±0.47	7.42±0.06	23.00±0.66
		60	81.38±1.72	-0.98±0.45	5.89±0.81	8.00±0.15	22.85±0.92
		70	82.78±1.10	-0.57±0.06	6.95±0.32	7.66±0.25	22.73±1.41
ที่สูญญากาศ	แบบที่ 1	50	82.10±2.93	-1.31±0.59	5.55±0.40	7.53±0.06	22.65±0.54
		60	83.87±0.31	-0.89±0.12	5.90±0.13	7.81±1.01	22.32±0.59
		70	83.17±1.34	-0.70±0.01	5.47±0.41	6.40±0.64	22.54±2.17
ที่สูญญากาศ	แบบที่ 2	50	84.39±1.54	-1.07±0.15	6.50±0.39	7.81±1.10	22.00±0.18
		60	84.07±1.11	-1.08±0.11	6.49±0.31	7.66±0.16	23.75±1.81
		70	83.08±0.74	-1.30±0.51	6.36±0.56	7.76±0.25	22.73±1.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงคุณสมบัติของไอศกรีม

ระบบการทดลอง			คุณสมบัติต่างๆ			
ระดับการทำความเย็น	ใบกวน	rpm	L*	a*	b*	(%Brix)
ที่บรรยากาศปกติ	แบบที่ 1	50	85.39±2.07	-1.01±0.01	6.18±0.62	23.72±1.11
		60	84.12±0.28	-0.98±0.08	5.73±0.32	21.79±0.30
		70	83.98±0.35	-0.94±0.12	5.49±0.36	22.22±0.73
ที่บรรยากาศปกติ	แบบที่ 2	50	84.68±2.18	-0.85±0.08	7.16±0.73	22.79±0.73
		60	83.43±0.88	-0.99±0.36	6.62±0.16	23.50±0.71
		70	83.55±1.22	-0.66±0.06	6.58±0.44	22.77±0.09
ที่สูญญากาศ	แบบที่ 1	50	86.32±2.77	-1.14±0.33	5.87±0.53	21.34±0.90
		60	84.29±0.26	-0.91±0.13	6.01±1.14	22.10±1.46
		70	84.25±0.80	-0.75±0.11	5.40±1.01	21.99±1.44
ที่สูญญากาศ	แบบที่ 2	50	84.65±1.51	-1.06±0.18	6.55±0.58	21.90±0.10
		60	84.08±1.31	-1.15±0.16	6.53±0.44	22.92±1.01
		70	86.46±2.47	-0.84±0.14	6.00±0.57	22.78±0.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติของไอศกรีม (ต่อ)

ระบบการทดลอง			คุณสมบัติต่างๆ					
ระดับการทำความเย็น	ใบกวน	rpm	E(วัตต์)	Avg. softness (N/mm)	Energy used at 20 mm (N.mm)	Avg. force (N)	Max. Force (N)	%การขึ้นฟู
ที่บรรยากาศปกติ	แบบที่ 1	50	1282.05±7.00	0.11±0.13	33.08±35.00	1.66±1.75	3.93±4.68	73.83±0.00
		60	1328.58±11.20	0.03±0.01	7.53±0.29	0.38±0.01	0.64±0.06	83.88±0.00
		70	1289.97±1.40	0.03±0.02	10.49±6.75	0.53±0.33	0.90±0.44	110.51±16.34
ที่บรรยากาศปกติ	แบบที่ 2	50	1277.10±5.60	0.42±0.54	121.74±163.20	6.09±8.16	9.06±11.75	48.72±7.11
		60	1267.20±5.60	0.08±0.06	22.49±19.65	1.13±0.98	1.84±1.44	76.34±17.76
		70	1312.74±33.60	0.03±0.01	6.22±3.46	0.31±0.17	0.55±0.30	110.51±16.34
ที่สูญญากาศ	แบบที่ 1	50	1599.84±0.00	0.11±0.00	33.08±0.00	1.65±0.00	3.93±0.00	58.76±7.10
		60	1599.84±2.80	0.05±0.06	17.36±18.58	0.87±0.93	1.37±1.43	73.83±14.21
		70	1605.78±19.60	0.02±0.00	5.93±1.53	0.30±0.08	0.62±0.20	122.06±0.00
ที่สูญญากาศ	แบบที่ 2	50	1614.69±4.20	0.12±0.11	34.79±30.62	1.74±1.53	2.78±2.45	46.20±10.66
		60	1617.66±0.00	0.02±0.00	6.76±0.47	0.34±0.02	0.58±0.04	68.81±7.11
		70	1570.14±16.80	0.07±0.05	11.74±6.04	0.59±0.30	1.21±0.83	108.00±19.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า L*หลังปั่น

ระบบการทดลอง	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	20.15	11	1.83	0.70	0.72
Intercept	172122.26	1	172122.26	65394.03	0.00
vac	5.97	1	5.97	2.27	0.16
stirrer	0.30	1	0.30	0.11	0.74
speed	4.56	2	2.28	0.87	0.45
vac * stirrer	0.89	1	0.89	0.34	0.57
vac * speed	1.76	2	0.88	0.33	0.72
stirrer * speed	3.82	2	1.91	0.73	0.50
vac * stirrer * speed	2.85	2	1.43	0.54	0.60

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า a*หลังปั่น

ระบบการทดลอง	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	0.60	11	0.05	1.30	0.33
Intercept	20.50	1	20.50	487.66	0.00
vac	0.01	1	0.01	0.27	0.61
stirrer	0.02	1	0.02	0.49	0.50
speed	0.35	2	0.17	4.15	0.04
vac * stirrer	0.05	1	0.05	1.07	0.32
vac * speed	0.07	2	0.03	0.79	0.48
stirrer * speed	0.10	2	0.05	1.21	0.33
vac * stirrer * speed	0.01	2	0.00	0.07	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า b*หลังปั่น

ระบบการทดลอง	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.06	11	0.55	1.37	0.30
Intercept	914.52	1	914.52	2279.15	0.00
vac	0.32	1	0.32	0.81	0.39
stirrer	3.80	1	3.80	9.47	0.01
speed	1.34	2	0.67	1.67	0.23
vac * stirrer	0.22	1	0.22	0.55	0.47
vac * speed	0.34	2	0.17	0.43	0.66
stirrer * speed	0.02	2	0.01	0.03	0.97
vac * stirrer * speed	0.01	2	0.01	0.01	0.99

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่าพลังงานที่ใช้

ระบบการทดลอง	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	578898.5152	11	52627.13775	306.5405	0.00
Intercept	50260619.34	1	50260619.34	292756.1	0.00
vac	570607.8493	1	570607.8493	3323.655	0.00
stirrer	360.84015	1	360.84015	2.101808	0.17
speed	465.5475	2	232.77375	1.355852	0.3
vac * stirrer	274.59135	1	274.59135	1.599429	0.23
vac * speed	1706.3541	2	853.17705	4.969553	0.03
stirrer * speed	719.7201	2	359.86005	2.096099	0.17
vac * stirrer * speed	4763.6127	2	2381.80635	13.87345	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่าความหนืดไอศกรีม

ระบบการทดลอง	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	18603694.83	11	1691244.98	3.75	0.02
Intercept	142603500.17	1	142603500.17	315.81	0.00
vac	2281666.67	1	2281666.67	5.05	0.04
stirrer	2053.50	1	2053.50	0.00	0.95
speed	15410766.58	2	7705383.29	17.06	0.00
vac * stirrer	34656.00	1	34656.00	0.08	0.79
vac * speed	10269.08	2	5134.54	0.01	0.99
stirrer * speed	400318.75	2	200159.37	0.44	0.65
vac * stirrer * speed	463964.25	2	231982.13	0.51	0.61

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า Total Soluble Solid หลังปั่น

ระบบการทดลอง	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11.20	11	1.02	1.28	0.34
Intercept	12129.76	1	12129.76	15273.17	0.00
vac	2.34	1	2.34	2.94	0.11
stirrer	2.05	1	2.05	2.58	0.13
speed	0.10	2	0.05	0.06	0.94
vac * stirrer	0.12	1	0.12	0.15	0.71
vac * speed	3.05	2	1.53	1.92	0.19
stirrer * speed	2.11	2	1.06	1.33	0.30
vac * stirrer * speed	1.43	2	0.71	0.90	0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า % การขึ้นฟู

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14355.73	11	1305.07	9.15	0.00
Intercept	160532.51	1	160532.51	1125.00	0.00
vac	113.75	1	113.75	0.80	0.39
stirrer	689.19	1	689.19	4.83	0.05
speed	12937.15	2	6468.58	45.33	0.00
vac * stirrer	0.17	1	0.17	0.00	0.97
vac * speed	236.39	2	118.19	0.83	0.46
stirrer * speed	198.37	2	99.18	0.70	0.52
vac * stirrer * speed	180.72	2	90.36	0.63	0.55

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า Average softness

ระบบการทดลอง	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	0.26	11	0.02	0.86	0.59
Intercept	0.19	1	0.19	6.77	0.02
vac	0.01	1	0.01	0.52	0.48
stirrer	0.02	1	0.02	0.89	0.37
speed	0.12	2	0.06	2.16	0.16
vac * stirrer	0.02	1	0.02	0.67	0.43
vac * speed	0.03	2	0.02	0.54	0.60
stirrer * speed	0.03	2	0.01	0.47	0.64
vac * stirrer * speed	0.03	2	0.01	0.53	0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงผลทางสถิติแต่ละระบบการทดลองของค่า Maximum force

ระบบการทดลอง	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	134.20	11	12.20	0.86	0.60
Intercept	125.08	1	125.08	8.78	0.01
vac	6.90	1	6.90	0.48	0.50
stirrer	3.58	1	3.58	0.25	0.63
speed	84.10	2	42.05	2.95	0.09
vac * stirrer	8.97	1	8.97	0.63	0.44
vac * speed	13.03	2	6.51	0.46	0.64
stirrer * speed	4.46	2	2.23	0.16	0.86
vac * stirrer * speed	13.17	2	6.58	0.46	0.64

4.8 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน

ในการทดสอบเครื่องทำไอศกรีม ใช้แรงงานในการปฏิบัติงาน 1 คน สามารถทำไอศกรีมได้ 2 ลิตรต่อครั้ง โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 1267.20 วัตต์ต่อครั้ง ที่ความเร็วรอบ 60 rpm ใบพัดชนิดที่ 2

เมื่อกำหนดให้ใช้งานเครื่องวันละ 5 ครั้ง ปีละ 317 วัน สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อลิตร) และระยะเวลาคืนทุนของเครื่องทำไอศกรีมได้ดังนี้

4.8.1 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน ที่ความดันบรรยากาศปกติ

1. ต้นทุนคงที่(Fixed Cost)

1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคา DP แบบ Straight-line method $DP = (P - S)/L$ โดยราคาของเครื่องทำไอศกรีม (P) เท่ากับ 9219 บาท มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 10% ของราคาเครื่อง

โดยราคาของเครื่องทำไอศกรีมระบบสุญญากาศ มีรายละเอียด ดังนี้

- ถังไม้ + มอเตอร์ 2000 บาท (ราคาเครื่องสำเร็จรูป - ราคาของอุปกรณ์อื่นที่มากับตัวเครื่องยกเว้นถังไม้กับมอเตอร์ = 3990 – 1990 = 2000)
- Pressure Gauge 500 บาท
- ชุดถัง Stanless + ใบพัด Stanless แบบที่ 1 3500 บาท
- ใบพัด Stanless แบบที่ 2 1000 บาท
- วาล์วต่างๆ 196 บาท
- สายยาง 80 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อต่อ 17 บาท

รวมราคาของเครื่องทำไอศกรีม 7293 บาท

ดังนั้นมูลค่าซากของเครื่อง $(S) = (10/100) \times 7293 = 729.3$ บาท

ค่าเสื่อมราคา $DP = (7293 - 729.3)/10 = 656.37$ บาท

2) ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest or investment) คิดค่าเสียโอกาส

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

ดังนั้นค่าเสียโอกาสต่อปี $I = \frac{(7293+729.3)}{2} \times \frac{2.375}{100} = 95.26$ บาท

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

= 656.37+95.26 บาทต่อปี

= 751.63 บาทต่อปี

2. ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost)

1) ค่าบำรุงรักษา

- ค่าน้ำยาล้างจาน 10 บาทต่อขวด ใช้จำนวน 6 ขวด ใน 1 ปี คิดเป็น $10 \times 6 \times 1 = 60$ บาทต่อปี

- ค่าซิลิโคนเพื่ออุดรอยรั่ว 80 บาทต่อหลอด ใช้จำนวน 2 หลอด ใน 1 ปี คิดเป็น $80 \times 2 \times 1 = 160$ บาทต่อปี

2) ค่าไฟฟ้า

- ใช้มอเตอร์ปั่นไอศกรีมและตัวปรับความเร็วรอบเป็นต้นกำลัง สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.105 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.105 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 496.60$ บาทต่อปี

- ใช้เครื่องอ่านอุณหภูมิ สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.002 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.002 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 9.44$ บาทต่อปี

- ใช้เตาเพื่อต้มน้ำกะทิ สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.44 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.44 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 2076.86$ บาทต่อปี

3) ค่าน้ำกะทิ 30 บาทต่อลิตร ใช้จำนวน 0.5 ลิตร ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $30 \times 0.5 \times 1 \times 317 \times 5 = 23775$ บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ค่าน้ำแข็ง 1.35 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 5.5 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $1.35\times5.5\times317\times5=11768.63$ บาทต่อปี

5) ค่าน้ำตาล 18 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 0.43 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $18\times0.43\times1\times317\times5=12267.9$ บาทต่อปี

6) ค่าเกลือเม็ด 5.55 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 1.1 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $5.55\times1.1\times1\times317\times5=9676.43$ บาทต่อปี

7) ค่าเจลาติน 45 บาทต่อ100 กรัม ใช้จำนวน 12 กรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $\frac{45}{100}\times12\times1\times317\times5=8559$ บาทต่อปี

8) ค่านมสด 38 บาทต่อลิตร ใช้จำนวน 0.75 ลิตร ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $38\times0.75\times1\times317\times5=45172.50$ บาทต่อปี

9) ค่าเกลือบริสุทธิ์ 12 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 0.005 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $12\times0.005\times1\times317\times5=95.1$ บาทต่อปี

รวมต้นทุนผันแปร = 114117.46 บาทต่อปี

คิดต้นทุนการใช้งานเครื่องทำไอศกรีม โดยรวมต้นทุนคงที่กับต้นทุนผันแปร เท่ากับ

$=751.63+114117.46=114869.09$ บาทต่อปี

4.8.2 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงานที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ

ในการทดสอบเครื่องทำไอศกรีม ใช้แรงงานในการปฏิบัติงาน 1 คน สามารถทำไอศกรีมได้ 2 ลิตรต่อครั้ง โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 1570.14 วัตต์ต่อครั้ง ที่ความเร็วรอบ 70 rpm ใบพัดชนิดที่ 2

เมื่อกำหนดให้ใช้งานเครื่องวันละ 5 ครั้ง ปีละ 317 วัน สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อลิตร) และระยะเวลาคืนทุนของเครื่องทำไอศกรีมได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน

1. ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคา DP แบบ Straight-line method $DP=(P-S)/L$ โดยราคาของเครื่องทำไอศกรีม (P) เท่ากับ 9219 บาท มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 10% ของราคาเครื่อง

โดยราคาของเครื่องทำไอศกรีมระบบสุญญากาศ มีรายละเอียด ดังนี้

- ถังไม้ + มอเตอร์ 2000 บาท (ราคาเครื่องสำเร็จรูป - ราคาของอุปกรณ์อื่นที่มากับตัวเครื่องยกเว้นถังไม้กับมอเตอร์ = 3990 – 1990 = 2000)
- Pressure Gauge 500 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดถัง Stanless + ใบพัด Stanless แบบที่ 1 3500 บาท
- ใบพัด Stanless แบบที่ 2 1000 บาท
- วาล์วต่างๆ 196 บาท
- สายยาง 80 บาท
- ข้อต่อ 17 บาท
- ปั๊มสุญญากาศ 1926 บาท

รวมราคาของเครื่องทำไอศกรีม 9219 บาท

ดังนั้นมูลค่าซากของเครื่อง $(S) = (10/100) \times 9219 = 921.90$ บาท

ค่าเสื่อมราคา $DP = (9219 - 921.90)/10 = 829.71$ บาท

2) ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest or investment) คิดค่าเสียโอกาส

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

ดังนั้นค่าเสียโอกาสต่อปี $I = \frac{(9219+921.90)}{2} \times \frac{2.375}{100} = 120.42$ บาท

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

= 829.71+120.42 บาทต่อปี

= 950.13 บาทต่อปี

2. ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost)

1) ค่าบำรุงรักษา

- ค่าน้ำมันที่ใช้กับปั๊มสุญญากาศ $\frac{500}{3.78} = 132.27$ บาทต่อลิตร ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน เปลี่ยนน้ำมัน 6 วันต่อครั้งๆละ 0.3 ลิตร คิดเป็น $132.27 \times \frac{317}{6} \times 0.3 \times 1 = 2096.50$ บาทต่อปี

- ค่าน้ำยาล้างจาน 10 บาทต่อขวด ใช้จำนวน 6 ขวด ใน 1 ปี คิดเป็น $10 \times 6 \times 1 = 60$ บาทต่อปี

- ค่าซิลิโคนเพื่ออุดรอยรั่ว 80 บาทต่อหลอด ใช้จำนวน 2 หลอด ใน 1 ปี คิดเป็น $80 \times 2 \times 1 = 160$ บาทต่อปี

2) ค่าไฟฟ้า

- ใช้มอเตอร์ปั่นไอศกรีม สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.11 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.11 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 519.21$ บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ปั้มสุญญากาศ สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.03 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.03 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 141.60$ บาทต่อปี

- ใช้ปั้มน้ำ สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.0068 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.0068 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 32.10$ บาทต่อปี

- ใช้เครื่องอ่านอุณหภูมิ สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.0036 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.0036 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 17.00$ บาทต่อปี

- ใช้เตาเพื่อต้มน้ำกะทิ สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.423 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.423 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 1996.61$ บาทต่อปี

3) ค่าน้ำกะทิ 30 บาทต่อลิตร ใช้จำนวน 0.5 ลิตร ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $30 \times 0.5 \times 1 \times 317 \times 5 = 23775$ บาทต่อปี

4) ค่าน้ำแข็ง 1.35 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 5.5 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $1.35 \times 5.5 \times 317 \times 5 = 11768.63$ บาทต่อปี

5) ค่าน้ำตาล 18 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 0.43 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $18 \times 0.43 \times 1 \times 317 \times 5 = 12267.9$ บาทต่อปี

6) ค่าเกลือเม็ด 5.55 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 1.1 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $5.55 \times 1.1 \times 1 \times 317 \times 5 = 9676.43$ บาทต่อปี

7) ค่าเจลาติน 45 บาทต่อ100 กรัม ใช้จำนวน 12 กรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $\frac{45}{100} \times 12 \times 1 \times 317 \times 5 = 8559$ บาทต่อปี

8) ค่านมสด 38 บาทต่อลิตร ใช้จำนวน 0.75 ลิตร ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $38 \times 0.75 \times 1 \times 317 \times 5 = 45172.50$ บาทต่อปี

9) ค่าเกลือบริสุทธิ์ 12 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 0.005 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $12 \times 0.005 \times 1 \times 317 \times 5 = 95.1$ บาทต่อปี

รวมต้นทุนผันแปร $= 116305.48$ บาทต่อปี

คิดต้นทุนการใช้งานเครื่องทำไอศกรีม โดยรวมต้นทุนคงที่กับต้นทุนผันแปร เท่ากับ

$= 950.13 + 116305.48 = 117255.61$ บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.3 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายของเครื่องต้นแบบ

ในการทดสอบเครื่องทำไอศกรีม ใช้แรงงานในการปฏิบัติงาน 1 คน สามารถทำไอศกรีมได้ 2 ลิตรต่อครั้ง โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 1267.20 วัตต์ต่อครั้ง

เมื่อกำหนดให้ใช้งานเครื่องวันละ 5 ครั้ง ปีละ 317 วัน สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาทต่อลิตร) และระยะเวลาคืนทุนของเครื่องทำไอศกรีมได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน

1. ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคา DP แบบ Straight-line method $DP = (P - S)/L$ โดยราคาของเครื่องทำไอศกรีม (P) เท่ากับ 9219 บาท มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 10% ของราคาเครื่อง

โดยราคาของเครื่องทำไอศกรีมต้นแบบ 4000 บาท

ดังนั้นมูลค่าซากของเครื่อง $(S) = (10/100) \times 4000 = 400$ บาท

ค่าเสื่อมราคา $DP = (4000 - 400)/10 = 360$ บาท

2) ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest or investment) คิดค่าเสียโอกาส

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

ดังนั้นค่าเสียโอกาสต่อปี $I = \frac{(4000+400)}{2} \times \frac{2.375}{100} = 52.25$ บาท

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

= 360+52.25 บาทต่อปี

= 412.25 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

- ใช้มอเตอร์ปั่นไอศกรีมและตัวปรับความเร็วรอบเป็นต้นกำลัง สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.105 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.105 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 496.60$ บาทต่อปี

- ใช้เครื่องอ่านอุณหภูมิ สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.002 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.002 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 9.44$ บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้เตาเพื่อต้มน้ำกะทิ สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.44 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ $0.44 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 2076.86$ บาทต่อปี

3) ค่าน้ำกะทิ 30 บาทต่อลิตร ใช้จำนวน 0.5 ลิตร ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $30 \times 0.5 \times 1 \times 317 \times 5 = 23775$ บาทต่อปี

4) ค่าน้ำแข็ง 1.35 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 5.5 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $1.35 \times 5.5 \times 317 \times 5 = 11768.63$ บาทต่อปี

5) ค่าน้ำตาล 18 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 0.43 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $18 \times 0.43 \times 1 \times 317 \times 5 = 12267.9$ บาทต่อปี

6) ค่าเกลือเม็ด 5.55 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 1.1 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $5.55 \times 1.1 \times 1 \times 317 \times 5 = 9676.43$ บาทต่อปี

7) ค่าเจลาติน 45 บาทต่อ100 กรัม ใช้จำนวน 12 กรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $\frac{45}{100} \times 12 \times 1 \times 317 \times 5 = 8559$ บาทต่อปี

8) ค่านมสด 38 บาทต่อลิตร ใช้จำนวน 0.75 ลิตร ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $38 \times 0.75 \times 1 \times 317 \times 5 = 45172.50$ บาทต่อปี

9) ค่าเกลือบริสุทธิ์ 12 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 0.005 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $12 \times 0.005 \times 1 \times 317 \times 5 = 95.1$ บาทต่อปี

รวมต้นทุนผันแปร = 113897.46 บาทต่อปี

คิดต้นทุนการใช้งานเครื่องทำไอศกรีม โดยรวมต้นทุนคงที่กับต้นทุนผันแปร เท่ากับ $= 412.25 + 113897.46 = 114309.71$ บาทต่อปี

การวิเคราะห์ตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการต่างๆต้องการทราบว่าจำนวนผลผลิตที่ผลิตแล้วคุ้มทุนควรเป็นเท่าไร เพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจ จุดคุ้มทุน (break-even point) คือจุดที่รายได้เท่ากับรายจ่าย นั่นคือกำไรเป็นศูนย์ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน รายได้ และผลกำไรที่ปริมาณการผลิตต่างๆ

การคำนวณหาจุดคุ้มทุนโครงการเดี่ยว

กำหนดให้ C = ต้นทุนรวมในการผลิต

F = ต้นทุนคงที่

V = ต้นทุนแปรผัน

N* = จำนวนที่ผลิตที่จุดคุ้มทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N = จำนวนการผลิตที่จุดใดๆ

v = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

R = รายได้

p = ราคาขายต่อหน่วย

ต้นทุนรวมในการผลิต $C = F+V$ (5.1)

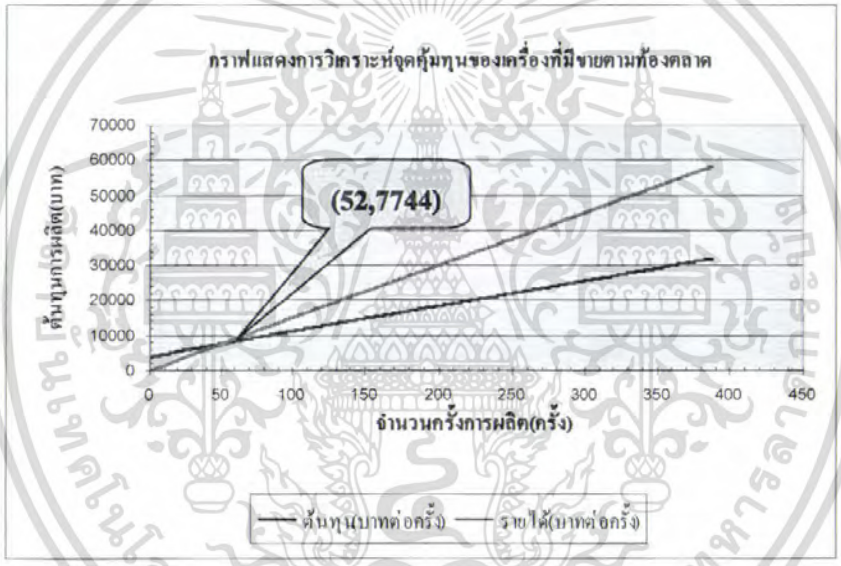
$V = vN$ (5.2)

จึงได้ว่า $C = F + vN$ (5.3)

รายได้ $R = pN$ (5.4)

และ $N^* = F/(p-v)$ (5.5)

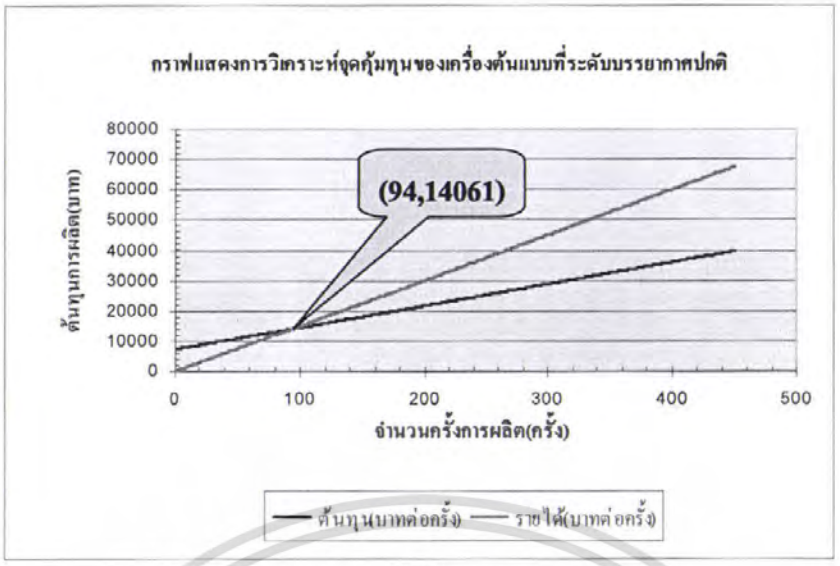
เมื่อ N* เป็นปริมาณที่จุดผลิตคุ้มทุนพอดี สามารถแสดงได้ด้วยกราฟ



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบ

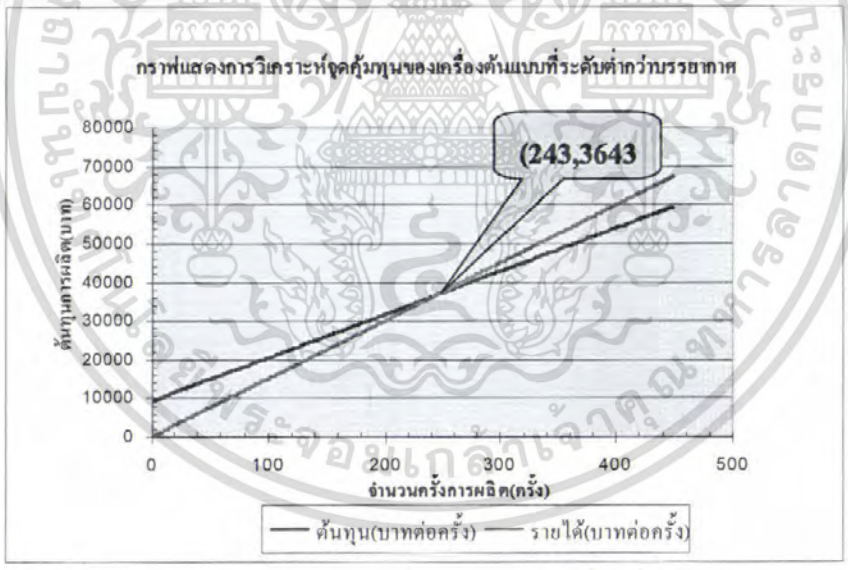
จากกราฟได้จุดที่ตัดกัน คือ ต้นทุนการผลิต 7744 บาท และจำนวนการผลิต 52 ครั้ง ดังนั้น ต้องผลิตไอศกรีมเท่ากับ 52 ครั้ง จึงจะคุ้มทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบที่ระดับบรรยากาศปกติ

จากกราฟได้จุดที่ตัดกัน คือ ต้นทุนการผลิต 14061 บาท และจำนวนการผลิต 94 ครั้ง ดังนั้น ต้องผลิตไอศกรีมเท่ากับ 94 ครั้ง จึงจะคุ้มทุน



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องที่ระดับบรรยากาศ

จากกราฟได้จุดที่ตัดกัน คือ ต้นทุนการผลิต 3643 บาท และจำนวนการผลิต 243 ครั้ง ดังนั้น ต้องผลิตไอศกรีมเท่ากับ 243 ครั้ง จึงจะคุ้มทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. จากการหาสภาวะเบื้องต้นที่เหมาะสม (ความดัน) กับเครื่องทำไอศกรีมแบบใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศนั้นพบว่าความดันที่มากที่สุดที่เครื่องสามารถทำได้ คือ -725 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งเป็นความสามารถสูงที่สุดเนื่องจากว่าการใช้ระบบการทำความเย็นที่ความดันสูญญากาศถ้าความดันยิ่งต่ำมากจุดเดือดของของเหลวจะยิ่งต่ำลงส่งผลให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว

2. จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ พบว่าค่า L*, a*, b*, ความหนืด และTotal soluble Solid ของคุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น มีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าน้ำกะทิที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการทำไอศกรีมมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองว่าวัตถุดิบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์และจากคุณสมบัติของส่วนผสมหลังพาสเจอร์ไรซ์ พบว่าค่า L*, a*, b*, มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความหนืด และค่า Total soluble Solid มีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น

3. คุณสมบัติอื่นๆ เมื่อเป็นไอศกรีม พบว่าค่า L*, a*, b* มีค่าใกล้เคียงกันกับคุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้นและหลังพาสเจอร์ไรซ์. ค่า Total soluble Solid มีค่าใกล้เคียงกับคุณสมบัติของน้ำกะทิหลังพาสเจอร์ไรซ์ และมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น

4. จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของแต่ละระบบการทดลองพบว่า

- ชนิดของใบกวนมีผลต่อค่าพลังงานที่ใช้
- ระดับความดันที่เลือกใช้สำหรับแต่ละการทดลองและความเร็วรอบมีผลต่อค่าความหนืดของไอศกรีม
- เมื่อทำการปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับความดันที่เลือกใช้กับชนิดใบกวนและชนิดใบกวนกับความเร็วรอบพบว่าทั้ง 2 การปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวมีผลต่อค่าความนุ่มของไอศกรีม
- ชนิดใบกวนและความเร็วรอบมีผลต่อร้อยละการขึ้นฟูของเนื้อไอศกรีม

5. จากการเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของแต่ละพารามิเตอร์ในแต่ละระบบสามารถสรุปผลได้ดังตาราง

พารามิเตอร์	มากที่สุด	น้อยที่สุด
เวลา	I-1-70	IV-2-50
พลังงาน	IV-2-60	I-2-60
ความหนืด	IV-1-70	I-2-50
ร้อยละขึ้นฟู	IV-1-70	IV-2-50
ความนุ่ม	IV-1-70	I-2-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่น,เนียน	I-2-50	IV-1-70
ความชอบ	IV-2-50	I-1-70

6. เมื่อทำการเปรียบเทียบเรื่องของระดับความดันพบว่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศใช้เวลาปั่นไอศกรีมน้อยกว่าแต่ใช้พลังงานมากกว่าที่ความดันบรรยากาศปกติ, ที่ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศสามารถปั่นได้เนื้อไอศกรีมที่หนืดและนุ่มกว่าแต่ฟูน้อยกว่าที่ระดับความดันบรรยากาศปกติ

7. เมื่อทำการเปรียบเทียบในเรื่องของใบกวนพบว่าใบกวนชนิดที่ 2 ใช้เวลาปั่นน้อยกว่าและใช้พลังงานน้อยกว่าใบกวนชนิดที่ 1, ใบกวนชนิดที่ 2 สามารถปั่นไอศกรีมได้เนื้อที่เนียนและแน่นซึ่งผู้ชิมมีความชื่นชอบแต่ได้เนื้อไอศกรีมที่ฟูและนุ่มน้อยกว่าใบกวนชนิดที่ 1

8. เมื่อทำการเปรียบเทียบเรื่องของความเร็วรอบพบว่าที่ความเร็วรอบน้อยกว่าจะใช้เวลาปั่นไอศกรีมน้อยกว่า, ที่ความเร็วรอบ 70 rpm ปั่นได้เนื้อไอศกรีมที่หนืด ฟูและนุ่มที่สุดและจะลดลงตามความเร็วรอบที่ลดลงตามลำดับ, ที่ความเร็วรอบ 50 rpm ปั่นไอศกรีมได้เนื้อที่เนียนแน่นที่สุด (ผู้ชิมชื่นชอบ)

9. การเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมต้องพิจารณาจากความต้องการของผู้ผลิตโดยเลือกพารามิเตอร์ให้ตรงตามต้องการได้ดังนี้

- ต้องการไอศกรีมปริมาณมาก(ฟู), นุ่มต้องเลือกผลิตด้วยใบกวนชนิดที่ 1 ความเร็วรอบ 70 rpm ที่ความดันบรรยากาศปกติ
- ต้องการปั่นไอศกรีมโดยใช้เวลาน้อยและประหยัดพลังงานต้องเลือกผลิตใบกวนชนิดที่ 2 ความเร็วรอบ 50 rpm ที่ความดันบรรยากาศปกติ
- ต้องการไอศกรีมที่ผู้ชิมชื่นชอบต้องเลือกผลิตใบกวนชนิดที่ 2 ความเร็วรอบ 50 rpm ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสุญญากาศนี้เป็นเครื่องต้นแบบดังนั้นจึงเกิดปัญหาในเรื่องของความยากลำบากในการติดตั้งหัวแกนใบกวนเข้ากับมอเตอร์ซึ่งทำให้บางครั้งอุณหภูมิเริ่มต้นของการเริ่มปั่นมีค่าไม่เท่ากันถ้ามีการพัฒนาในระดับต่อไปอาจจำเป็นต้องปรับปรุงในเรื่องของระบบการติดตั้ง, การทดลองทั้งหมดอาจต้องมีการทำซ้ำถึง 3 ครั้งเพื่อสามารถนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติให้ได้ค่าที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] เกี่ยวกับไอติม. 2005. [Online].Avaible:http://www.thaitv3.com/becnews/index.html.

[2] ผลของนมข้าวผงต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมนมข้าว. [Online].Avaible:http:// www.grad.chula.ac.th/gradresearch6/page.asp?id=115 - 5k

[3] ไอศกรีมปี'49: สมรภูมิเดือด...ช่วงชิงส่วนแบ่งตลาดรวม 10,000 ล้านบาท. [Online].Avaible:http:// www.positioningmag.com/prnews/prnews.aspx?id=47147.

[4] D.B. Aime, S.D.Arntfield, L.J.Malcolmson, D.Ryland., 2001. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products.

[5] ปัญจพนธ์ นามวงศ์, พรเทพ เอี่ยมบำรุง และ มารัตน์ คชายุทธ. 2548. "เครื่องทำน้ำกะทิเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ."ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[6] ร.ศ.ศรีธน วรศักดิ์โยธิน.2547. ฟิสิกส์ 1. "ความจุความร้อนและความจุความร้อนจำเพาะ ,หน้า149".

[7] Saturated Vapor Pressure for Water. 2005. hyperphysics is hosted by the Department of Physics and Astronomy. [Online].Avaible: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase /kinetic/watvap.html.

[8] นิพนธ์ ธีระพรเพิ่มสุข, บูรณิจฉ์ ศรีสมศักดิ์ และปุณวีช ไกรทอง. 2546. "เครื่องผสมแชมพู" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[9] [Online].Avaible:http://www.thailandpages.com/customer/machine/Eknavakoll8/ l8/index.html

[10] [Online].Avaible: http://www.wellman.co.th/dt02.html.

[11] ครูสุดารัตน์ ฉัฏฐ์มีบุญ โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรี. กำลังไฟฟ้า. 2004. [online].Avaible:http://www.thaigoodview.com/library/teachershow/bangkok/sudarat_n-ok/sec05po1.html

[12] กองบรรณาธิการ. 2549. ไฟฟ้าอุตสาหกรรม เรื่องน่ารู้สำหรับวิศวกร. "อินเวอร์เตอร์และไดรฟ์, หน้า 93"

[13] ดร.วริทธ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ฉนัดงาน. 2522. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่มที่ 1 พิมพ์ครั้งที่10. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอช เอ็น กรุ๊ป จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] SWASTIKFOILS.2005.swastikbrochure.pdf. [online].Avaible:http://www.swastikfoils.

[15] ความเป็นมาของไอศกรีม. [Online].Avaible:http://www.Welove Eating_com happy Nonstop Eating Onlime.htm.

[16] หลักการของไอศกรีมขั้นพื้นฐาน. 2548. [Online].Avaible:http://www.Ice-cream fan club\ ความรู้ไอติม.htm.

[17] รุจิรัตน์ ดรุณสนธยา. 2545. รายงานฝึกงาน บริษัท เนสท์เล่ ไอศกรีม (ประเทศไทย. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[18] กระบวนการผลิตไอศกรีม. 2548. [Online].Avaible:http://www.Ice-cream fan club-กระบวนการผลิตไอศกรีม.mht.

[19] กลิ่นรส. 2550. [Online].Avaible:http://www.Ice-cream fan club-เรื่องของกลิ่นรสและเทคนิคการทำไอศกรีมมีกลิ่นรสที่ดี.mht.

[20] วิธีการทำไอศกรีม. 2550. [Online].Avaible:http://www.pantip.com\สูตรการทำไอติม[การทำอาหาร].htm.

[21] การตรวจสอบคุณภาพไอศกรีม. 2547. [Online].Avaible:http://www.pantown.com /board.php?id=3525&area=1&name=board1&topic=95&action=view - 5k.

[22] ScienceDirect Journal of Food Engineering, density of coconut milk.2006. [Online].Avaible:http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T8J-4FPX2FC-1&_user=1750352&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C00005443 5&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1750352&md5=a854a96ee1369c25b1856c8b10d aae53#SECX14.

[23] Thai Engineering ToolBox, Food and FoodStuff Specific Heat Capacities. 2005. [online].Avaible:http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html

[24] พจนานุกรมศัพท์วิทยาศาสตร์ สสวท, ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว. 2005. [online].Avaible:http://escivocab.ipst.ac.th/readdoc.asp?no=1643

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ความรู้เกี่ยวกับไอศกรีม

1. ความเป็นมาของไอศกรีม [15]

ไอศกรีมกรีมมีต้นกำเนิดที่ประเทศจีน โดยมีการใช้หิมะบนยอดเขาผสมกับน้ำผลไม้ และกินในขณะที่หิมะยังไม่ทันละลาย ต่อมา มาร์โคโปโล ชาวอิตาเลียนได้นำไอเดียของจีนไปปรับแปลงสูตร โดยให้มีส่วนผสมของนมเพื่อให้ถูกปากชาวอิตาเลียนมากยิ่งขึ้น จากนั้นจึงแพร่หลายไปที่ฝรั่งเศส อังกฤษ และข้ามไปฝั่งอเมริกา ทุกชาติได้ดัดแปลงไอศกรีมเพื่อให้เป็นที่ชื่นชอบของคนในชาติของตน ไอศกรีมมาแพร่หลายที่เมืองไทย ในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว หลังเสด็จฯ อินเดีย ชวา สิงคโปร์ ทรงสั่งนำเข้าเครื่องทำน้ำแข็งที่ผลิตไอศกรีมจากสิงคโปร์เข้ามาเพื่อเจ้านายในพระบรมมหาราชวังเท่านั้น ไอศกรีมในพระบรมมหาราชวังทำด้วยน้ำมะพร้าวอ่อน และเสิร์ฟในแก้วแชมเปญต่อมาชาวบ้านคนจีนได้นำสูตรไปดัดแปลง ทำไอศกรีมขายที่เยาวราช ในช่วงรัชกาลที่ 7 เปลี่ยนจากน้ำมะพร้าวเป็นน้ำผสมสีและน้ำตาล เรียก "ไอศกรีมหลอด" และพัฒนาต่อมาเป็น "ไอศกรีมตัด" ซึ่งสร้างรายได้ให้กับครัวเรือนได้เป็นอย่างดี อุตสาหกรรมไอศกรีมในประเทศไทยเริ่มอย่างจริงจังเมื่อมีผู้ผลิต ไอศกรีมป๊อปตราเป็ดโคนัลดัก เริ่มต้นจากธุรกิจ ไอติม หวานเย็นรสเฉาก๊วย, ถั่วดำ, ถั่วแดง, ลอดช่อง จากนั้นก็พัฒนามาเป็นสูตรนมถัดมาเป็นยุคของ ศาลาโฟร์โมสต์ ที่มีอยู่ในโรงภาพยนตร์ชั้นนำ เป็นที่นิยมมากที่สุดยุคหนึ่ง ทุกวันนี้ไอศกรีมมีรูปแบบที่หลากหลายขึ้น ทั้ง ไอศกรีมลิขสิทธิ์จากต่างประเทศ, ไอศกรีมโฮมเมด และยังมีที่ยังคงความเป็นไทย เช่น ไอศกรีมกะทิ, ไอศกรีมตัก เป็นต้น

2. หลักการของไอศกรีมขั้นพื้นฐาน [16]

ไอศกรีมเกิดจากการนำของเหลวที่มีรสชาติต่างๆมาปั่นให้ความเย็นจนกลายเป็นของแข็ง โดยขณะที่กำลังเป็นของแข็งนั้นจะต้องทำการปั่นอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ไอศกรีมมีเนื้อที่เนียนละเอียด คือฟองอากาศแทรกตัวเข้าไปมากพอและทั่วทั้งเนื้อของไอศกรีมและให้เกล็ดน้ำแข็งมีขนาดเล็กที่สุด เมื่อสัมผัสลิ้นจะรู้สึกนุ่มเนียน ขั้นตอนการปั่นไอศกรีมจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการทำไอศกรีมเป็นการค้าเนื่องจากไอศกรีมละลายง่าย ในการผลิตจึงต้องใส่ เจลลาติน ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้คงตัว มีลักษณะเป็นวุ้น ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ทำให้เนื้อไอศกรีมเนียนและไม่เป็นเกล็ดซึ่งต่างจากหวานเย็นซึ่งนำของเหลวมาแช่แข็งโดยไม่ต้องมีการปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การแบ่งแยกประเภทของไอศกรีม [17]

1. Frozen custard , French ice cream หรือ French custard ice cream

เป็นไอศกรีมที่มีส่วนผสมของไข่แดง เมื่อทานแล้วจะได้กลิ่นไข่โดยต้องมีส่วนประกอบของของแข็งจากไข่แดงไม่ต่ำกว่า 1.4%

2. Low fat หรือไอศกรีมไขมันต่ำ

ไอศกรีมไขมันต่ำเป็นไอศกรีมที่มีไขมันไม่เกิน 3 g ต่อขนาดบริโภค 4 ออนซ์

3. Non fat หรือไอศกรีมปราศจากไขมัน

ไอศกรีมประเภทนี้ต้องมีไขมันน้อยกว่า 0.5 g ต่อหน่วยบริโภค (serving) หรือที่ New Zealand กำหนดไว้ว่าต้องมีไขมันไม่เกิน 0.15 g ต่อไอศกรีม 100 g

4. Gelato

Gelato เป็นไอศกรีมสไตล์อิตาเลี่ยน ซึ่งจะมีส่วนผสมของไข่แดงและของแข็งทั้งหมดสูงมาก เนื้อไอศกรีมชนิดนี้จะข้นและหนืดมาก เนื้อแน่น และแทบจะไม่ฟู ไขมันของไอศกรีมชนิดนี้จะสูงมาก บางครั้งอาจสูงถึง 18%

5. Bulky flovored ice cream

เป็นไอศกรีมที่มีส่วนผสมของผลไม้ ถั่ว โก้โก้ หรือสารให้กลิ่นรสตามธรรมชาติอื่นๆ ผสมอยู่สูง ถ้าเป็นไอศกรีมผลไม้จะมีเนื้อผลไม้อยู่มาก อาจจะมีเนื้อผลไม้เป็นชิ้นให้เห็น โดยจะต้องมีผลไม้อยู่ 1.4 เท่าของไอศกรีมผลไม้ปกติ เป็นต้น

6. soft serve

บางครั้งเรียกว่า "ไอศกรีมซอร์ฟ" ซอร์ฟเสริฟ นี้เป็นไอศกรีมแบบที่ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการแช่แข็ง (hardening) โดยปกติแล้วไม่ได้เอาไอศกรีม mix ธรรมดามาปั่น นำมารับประทานแล้วเรียกว่าไอศกรีมซอร์ฟ ไอศกรีมชนิดนี้จะมีส่วนผสมต่างจากไอศกรีมที่นำไปแช่แข็งแล้วมาตักขายเป็นก้อนๆ โดยปริมาณไขมันและของแข็งทั้งหมดจะต่ำกว่าไอศกรีมตัก (hard pack ice cream)

7. Fruit Sherbet

เชอร์เบทคือไอศกรีมผลไม้ เป็นไอศกรีมที่มีรสผลไม้ ไม่ว่าหวาน เปรี้ยว และมัน แต่ที่ต่างกับไอศกรีมทั่วไปที่สำคัญคือมีไขมันแค่ 1-2% และมีธาตุน้ำนมเพียง 1-4% มีค่าความเป็นกรดอย่างต่ำ 0.35% ซึ่งปกติแล้วปรับด้วยกรดซิตริก

8. Sorbet Sorbetto

ซอร์เบทเป็นน้ำและเนื้อผลไม้แช่แข็ง โดยมีการเติมน้ำตาลและไข่ขาวและสารให้ความคงตัวลงไป เนื้อจะหยาบและหนักกว่าเชอร์เบท ความฟูน้อยกว่า โอเวอร์รันจองซอร์เบจะประมาณ 20% เท่านั้น แต่เชอร์เบทจะมีโอเวอร์รันประมาณ 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Frozen yogurt

ไอศกรีมโยเกิร์ต จะมีส่วนผสมของจุลินทรีย์โยเกิร์ตคือ *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* และ *Streptococcus salavarus subsp. thermophilus* เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย โดยปกติจะทำไอศกรีมมิกซ์แล้วมาเติมเชื้อโยเกิร์ตลงไป แล้วนำไปบ่ม ก่อนจะเอามาปั่นเป็นไอศกรีม แต่บางครั้งจะบ่มโยเกิร์ตก่อน แล้วค่อยนำมาผสมในไอศกรีมมิกซ์ ที่อเมริกา ไอศกรีมโยเกิร์ตมักจะเป็นไอศกรีมไขมันต่ำ เพราะไม่มีกฎหมายกำหนดเรื่อง "ไอศกรีมโยเกิร์ต" จึงทำให้เป็นช่องว่างให้ผู้ผลิตไอศกรีมสามารถทำไอศกรีมไขมันต่ำในรูปแบบไอศกรีมโยเกิร์ตได้ (กฎหมายกำหนดว่า "ice cream" ต้องมีไขมันอย่างน้อย 10% แต่ไม่มีข้อกำหนดสำหรับ "frozen yogurt")

4. ส่วนประกอบของไอศกรีม [15]

1. ของเหลว เป็นส่วนประกอบหลักของไอศกรีม ซึ่งอาจประกอบด้วย
   1.1 นมสด
   1.2 กะทิ
   1.3 น้ำผลไม้
   1.4 นมเปรี้ยว
2. ของแข็ง หรือ กึ่งของแข็ง เป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มความเข้มข้น หรือสีสันให้กับเนื้อไอศกรีม ซึ่งอาจประกอบด้วย เนื้อผลไม้ ลูกเกด เมล็ดอัลมอล ลอดช่อง ฯลฯ
3. สารเพิ่มความหวาน ซึ่งอาจประกอบด้วย
   3.1 น้ำตาลทราย, น้ำตาลฟรุ๊ทโตส
   3.2 เนื้อผลไม้ หรือ น้ำผลไม้ที่มีความหวานในตัว เช่น มะม่วง ลิ้นจี่ เป็นต้น
4. สารให้ความคงตัว ใช้สำหรับไอศกรีมที่มีส่วนผสมระหว่างน้ำและไขมัน เพื่อป้องกันการแยกตัว และการเป็นเกล็ดน้ำแข็ง

ไอศกรีมเป็นของหวานที่ผ่านขั้นตอนการตีปั่นให้ความเย็น โดยส่วนผสม (mix) ต้องประกอบไปด้วยไขมันนมอย่างต่ำ 10% และธาตุน้ำนมทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 20% มีโอเวอร์รันไม่เกิน 100% แต่คุณภาพ มาตรฐานของไอศกรีมตามกฎหมายประกาศ กำหนดให้ไอศกรีมมีไขมันเป็นส่วนประกอบไม่ต่ำกว่า 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อุปกรณ์ในการทำไอศกรีม [15]

1. เครื่องทำไอศกรีม มีหลายแบบ ซึ่งพอจำแนกได้ดังต่อไปนี้

1.1 แบบใช้แรงงานคน เป็นเครื่องทำไอศกรีมรุ่นแรกๆ โดยการทำความเย็นจากน้ำแข็งผสมกับเกลือเพื่อทำความเย็นให้ต่ำมากๆ จนสามารถทำให้ของเหลวเกิดแข็งตัวขึ้นมาได้ โดยในขณะที่ทำความเย็นต้องใช้มือหมุนใบกวนอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเครื่องแบบนี้ทำได้ครั้งละไม่มากและใช้เวลามาก เนื้อไอศกรีมที่ได้อาจไม่เนียนละเอียด

1.2 เครื่องทำไอศกรีมแบบใช้มอเตอร์เป็นเครื่องที่พัฒนามาจากแบบที่ 1 โดยยังใช้น้ำแข็งกับเกลือเหมือนกัน แต่เปลี่ยนจากใช้แรงคนมาใช้เป็นมอเตอร์ขับแทน ซึ่งช่วยประหยัดแรงงานและเวลาที่เร็วขึ้น แต่มีปัญหาที่ต้องระมัดระวังเรื่องความสะอาดและการเป็นสนิมของเครื่องจักร ปัจจุบันมีเครื่องขนาดเล็กที่สามารถทำไอศกรีมได้ครั้งละ 1-2 กก. แต่ตัวมอเตอร์มีกำลังขับน้อยทำให้เนื้อไอศกรีมยังไม่ละเอียดดีพอ ไม่เหมาะที่จะทำมาจำหน่าย

1.3 เครื่องทำไอศกรีมแบบใช้ไฟฟ้าในการทำความเย็น เป็นเครื่องที่มีความทันสมัย เพื่อไม่ต้องใช้น้ำแข็งกับเกลือแล้ว มีหลายขนาด ตั้งแต่ 2 กก. ไปจนถึง เป็น 1,000 กก. มีทั้งแบบแกนปั่นแนวตั้ง และแนวนอน แต่เครื่องปั่นแนวนอนจะให้คุณภาพเนื้อไอศกรีมที่ดีกว่า และการกระจายของส่วนผสมที่เป็นของแข็งจะทั่วถึงกว่า

2. ตู้แช่ไอศกรีม

2.1 ตู้บ่มไอศกรีม ใช้สำหรับบ่มไอศกรีมที่เพิ่งออกจากเครื่องทำไอศกรีม นำมาเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พักไว้อย่างน้อย 12 ชั่วโมง เพื่อให้ไอศกรีมเซ็ตตัว

2.2 ตู้สำหรับขายไอศกรีม อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 10-13 องศาเซลเซียส จะทำให้ไอศกรีมคงคุณภาพอยู่ได้ และเนื้อไอศกรีมไม่แข็งหรืออ่อนจนเกินไป

6. กระบวนการผลิตไอศกรีม [18]

1. การคำนวณส่วนผสมไอศกรีม

การคำนวณส่วนผสมไอศกรีมนั้นจะต้องกำหนดสูตรไอศกรีมที่ต้องการขึ้นมาโดยต้องกำหนดองค์ประกอบของไอศกรีม ปริมาณที่ต้องการผลิต วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต องค์ประกอบของสารอาหารในวัตถุดิบ แล้วจึงคำนวณหาน้ำหนักของส่วนผสมต่าง ๆ ในไอศกรีม

2. การเตรียมส่วนผสมไอศกรีม

เมื่อคำนวณหาน้ำหนักของส่วนผสมต่าง ๆ ที่จะใช้แล้ว นำส่วนผสมมาผสมเข้าด้วยกันในถัง ขั้นตอนการผสมนั้นจะใส่ส่วนที่เป็นของเหลวก่อน เช่น ครีม นม นมข้น น้ำเชื่อม และอื่นๆ แล้วจึงค่อย ๆ ให้ความร้อนพร้อมทั้งคนส่วนผสมไปเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 50 องศาเซลเซียส จึงเติมวัตถุดิบแห้ง เช่น ธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนย น้ำตาล และสารให้ความคงตัว ในขั้นตอนนี้อาจเกิดปัญหาเรื่องการจับตัวเป็นก้อนของสารให้ความคงตัวสามารถแก้ไขได้โดยแบ่งน้ำและน้ำตาลที่ใช้มาเตรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลร้อยละ 66-68 อัตราส่วนปริมาณน้ำเชื่อมต่อสารให้ความคงตัวคือ 11.26 กิโลกรัมต่อ 0.45 กิโลกรัม แล้วจึงเติมสารให้ความคงตัว คนให้เข้ากันภายใน 1 นาที ไม่ควรเติมสีและกลิ่นในขั้นตอนนี้ เพราะเมื่อนำส่วนผสมไปผ่านการให้ความร้อน อาจเกิดการสลายตัวได้

3. การปั่นส่วนผสม (Blending)

ส่วนผสมพื้นฐานของไอศกรีม คือ ครีม นม น้ำตาล สารให้ความคงตัว และอิมัลซิไฟเออร์ ส่วนชนิดของไขมันและธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนยที่จะนำมาใช้อาจขึ้นกับต้นทุนและข้อกำหนดของกฎหมาย เมื่อทำการปั่นส่วนผสมไอศกรีมด้วยเครื่องปั่นโดยใช้แรงเฉือน มีผลให้ของแข็งกระจายในส่วนผสมที่เป็นของเหลว

4. พาสเจอไรเซชัน (Pasteurization)

การพาสเจอไรเซชันส่วนผสมไอศกรีมมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค การพาสเจอไรซ์ที่เหมาะสมนั้นควรให้ความร้อนถึงอุณหภูมิที่กำหนดอย่างรวดเร็ว และคงที่ ณ อุณหภูมินั้นตามเวลาที่กำหนด แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของวิธีการพาสเจอร์ไรซ์ไอศกรีมมิกซ์แบบต่างๆ

วิธีการ	เวลา	อุณหภูมิ(°ซ/°ฟ)
Batch	30 นาที	69/155
HTST	25 วินาที	80/175
HHST	1-3 วินาที	90/194
UHT	2-4 วินาที	138/280

หมายเหตุ : HTST คือ High-Temperature Short-Time, HHST คือ higher-heat shorter-time, UHT คือ ultra high temperature

5. โฮโมจีไนเซชั่น (Homogenization)

การโฮโมจีไนเซชัน เป็นขบวนการที่ทำให้เม็ดไขมันแตกตัวเป็นเม็ดขนาดเล็กลง โดยเม็ดไขมันมีขนาดประมาณ 1-2 ไมครอน ซึ่งจะป้องกันการแยกชั้นของครีม ช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อนุ่ม และทำให้การปั่นส่วนผสมเป็นไปได้โดยง่าย รวดเร็ว ใช้เวลาบ่มส่วนผสมไม่นานนัก นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณสารให้ความคงตัวที่ใช้ให้น้อยลง การเพิ่มปริมาณไขมันมีผลทำให้ประสิทธิภาพการโฮโมจีไนเซชันลดลง และทำให้เม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยทั่วไปการโฮโมจีไนเซชันแบ่งออกเป็นสองครั้ง ซึ่งมีข้อดีคือ ช่วยให้ไขมันกระจายตัวได้ดี เพราะการเกาะตัวของไขมันมีผลทำให้ความหนืดของส่วนผสมสูงขึ้น ซึ่งอาจมีผลทำให้ส่วนผสมเย็นช้าลง และทำให้การปั๊มของเครื่องโฮโมจีไนซ์เป็นไปได้ยาก เนื่องจากไอศกรีมมิกซ์ที่มีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าร้อยละ 6-10 หรือมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ความร้อนจากการพาสเจอไรเซชันจะทำให้ไขมันและโปรตีนเกิดการรวมตัวกัน จึงต้องโฮโมจีไนเซชันหลังจากการพาสเจอไรเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การเลือกระดับความดันของการโฮโมจีไนเซชันสำหรับไขมันระดับต่างๆ

ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	การโฮโมจีไนเซชันครั้งเดียว (ปอนด์/ตารางนิ้ว)	การโฮโมจีไนเซชันสองครั้ง ครั้งแรก (ปอนด์/ตารางนิ้ว)	ครั้งที่สอง (ปอนด์/ตารางนิ้ว)
1-8	2,500-3,000	2,500-3,000	500
10-14	2,000-2,500	2,000-2,500	500
15-17	1,500-2,000	1,500-2,000	500
18	1,200-1,800	1,200-1,800	500
สูงกว่า 18	800-1,200	800-1,200	500

6. การบ่มส่วนผสม (Aging)

การบ่มเป็นกรรมวิธีการเก็บรักษาอิมัลชันที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 2-4 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาในการบ่มนานเพียงใดขึ้นอยู่กับสารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ การบ่มต้องใช้ระยะเวลาหนึ่ง เพื่อทำให้ไขมันละลายจับตัวเป็นของแข็ง เกิดการดูดซับของโปรตีนและอิมัลซิไฟเออร์ล้อมรอบที่ผิวเม็ดไขมัน รวมทั้งเกิดการอุ้มน้ำของโปรตีนและสารให้ความคงตัว ต้องใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง การบ่มส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้น

7. การปั่นไอศกรีม (Freezing)

ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งในกระบวนการผลิตไอศกรีม เพราะส่งผลถึงคุณภาพและความอร่อยของผลิตภัณฑ์ที่ได้ การปั่นไอศกรีมนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

7.1 การเติมสีและกลิ่นตามต้องการผสมลงในไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านการบ่ม แล้วลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว เพื่อทำให้น้ำในไอศกรีมมิกซ์กลายเป็นผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็ก และสม่ำเสมอ ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน สามารถอุ้มอากาศได้ดี ขณะเดียวกันก็มีการกวนไอศกรีมมิกซ์ตลอดเวลาอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความหนืดลดลง

7.2 เมื่อไอศกรีมมิกซ์ถูกทำให้แข็งตัว มีปริมาณน้ำบางส่วนเท่านั้นที่เป็นผลึก เมื่อไอศกรีมมีความข้นหนืดเพิ่มขึ้นหรือมีปริมาณอากาศตามต้องการ แต่ปริมาณผลึกน้ำแข็งยังไม่เพียงพอ จึงต้องนำไปแช่แข็งเพื่อทำให้น้ำทั้งหมดแข็งตัวโดยไม่ต้องมีการกวน

8. การแช่แข็ง (Hardening)

คือการแช่แข็งไอศกรีมที่ผ่านขั้นตอนการปั่นแล้วโดยไม่มีการเติมอากาศเข้าไปอีก เนื่องจากไอศกรีมที่ออกจากถังปั่นมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว ไม่สามารถคงรูปร่างได้ การแช่แข็งควรทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ทำให้ได้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งโดยทั่วไปจะใช้เวลาที่ทำให้อุณหภูมิ ณ จุดกึ่งกลางของไอศกรีมในภาชนะบรรจุลดลงเหลือ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า นิยมทำที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส ถึง -30 องศาเซลเซียส ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการแช่แข็งนี้จะทำให้ไอศกรีมมีปริมาณน้ำที่แข็งตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำเพิ่มขึ้น จุดเยือกแข็งของไอศกรีมมิกซ์จึงลดลงอีกจนถึงจุดหนึ่งไม่มีผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นอีก ดังนั้นน้ำในไอศกรีมจึงไม่สามารถแข็งตัวได้หมด

9. การเก็บรักษา

หลังจากไอศกรีมผ่านการแช่แข็งอาจจำหน่ายทันที หรือเก็บรักษาไว้ไม่เกิน 1-2 สัปดาห์ อาจใช้ห้องแช่แข็งเป็นห้องเก็บรักษา หรือแยกไอศกรีมเก็บไว้ในห้องเก็บรักษาต่างหากเนื่องจากอุณหภูมิของห้องเก็บรักษาสูงกว่าห้องแช่แข็ง โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง -18 องศาเซลเซียส ถึง -23 องศาเซลเซียส สำหรับการเก็บรักษาไอศกรีมซอฟเสริฟนั้น สามารถเก็บรักษาในรูปของไอศกรีมมิกซ์หรือไอศกรีมผง

7. กลิ่นและรส [19]

ไอศกรีมเป็นของหวานที่ค่อนข้างจะเสียเปรียบของหวานอื่น ๆ เพราะไอศกรีมเป็นของหวานที่ต้องรับประทานในขณะที่ยังเย็น ความเย็นของไอศกรีมนั้นจะทำให้ลิ้นชาและรับรู้รสได้น้อยลง และความเย็นยังทำให้การระเหยของกลิ่นจากไอศกรีมเป็นไปได้ยากขึ้น ด้วยเหตุนี้ ในหลายครั้ง ถึงจะพยายามใส่ผลไม้หรือขนมต่าง ๆ เช่น ช็อกโกแลต คุ๊กกี้ ถั่ว ลงในไอศกรีมเป็นจำนวนมากแล้ว ก็ยังรู้สึกว่าไอศกรีมไม่ค่อยเข้มข้น ดังนั้น จึงค่อนข้างจำเป็นที่จะต้องอาศัยการเติมกลิ่นและปรับรสไอศกรีมให้จัด เพื่อให้เกิดลักษณะ "เต็มกลิ่นรส" จากไอศกรีม

Flavor หรือแปลเป็นไทยว่า กลิ่น-รส ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ

1. Basic tastes หรือรสพื้นฐาน ได้แก่รสทั้ง 4 คือ หวาน, เค็ม, เปรี้ยว, ขม ในตำราญี่ปุ่นจะมีอีกรสเพิ่มมาคือรสUmami หรือรสอร่อย

2. Chemical feeling factors หรือรสสัมผัสที่เกิดจากสารเคมี เช่น ความรู้สึกเย็นซ่า ความเผ็ดร้อน ซึ่งจะได้จากพวกสมุนไพร เครื่องเทศ แอลกอฮอลล์ ฯลฯ ที่ให้เกิดความรู้สึกเย็น ร้อน หรือซ่า ๆ ชา ๆ ภายในปาก

3. Smell หรือกลิ่น

อาหารที่มีลักษณะ "เต็มกลิ่นรส" หรือ "Full flavor" นั้นจะต้องประกอบไปด้วย Top notes, middle notes, Background (หรือ base notes) และ Aftertaste (หรือ Finish)

1. Top notes ส่วนนี้คือกลิ่นหลัก ๆ ของอาหารชนิดนั้น ๆ ซึ่งเป็นกลิ่นที่เด่นและทำให้รับรู้ได้ถึงอาหารนั้น ๆ หากขาด Top notes อาหารนั้นก็มักจะถูกติว่า "ไม่หอม" ตัวอย่างของ Top notes เช่น กลิ่นผลไม้ กลิ่นเปรี้ยวจากผลไม้ กลิ่นเปรี้ยวจากโยเกิร์ต Top notes เป็นกลิ่นที่เกิดจากการระเหยของสารให้กลิ่นรสที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (Volatile flavors) เมื่อเจออุณหภูมิอุ่น ๆ ภายในปากจะระเหย ทำให้รับรู้ถึงกลิ่นได้ทันที แต่เนื่องจากสารเคมีที่ให้ Top notes เป็นสารโมเลกุลเล็ก ดังนั้นจึงไวต่อความร้อนมาก ดังนั้นความร้อนจากการปรุงอาหารจึงเป็นสาเหตุสำคัญในการสูญเสีย Top notes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคล็ดลับอย่างหนึ่งของการทำไอศกรีมให้อร่อย จึงอยู่ที่การให้ความร้อนเท่าที่จำเป็น อย่าไปตั้งไฟนานโดยไม่จำเป็น และเมื่อให้ความร้อนแล้วต้องรีบลดความร้อนลงอย่างรวดเร็วโดยการหล่อเย็นด้วยน้ำและน้ำแข็ง

2. Middle notes เกิดจากสารให้กลิ่นรสที่มีโมเลกุลขนาดกลาง จึงระเหยช้ากว่า Top notes Middle notes ให้กลิ่นที่อยู่นานกว่าเมื่อรับประทาน ตัวอย่างของ Middle notes เช่น กลิ่นคาลาเมล กลิ่นผลไม้ที่ผ่านการทำให้สุก กลิ่นไข่ กลิ่นครีมและนม กลิ่นนี้ถึงจะทนความร้อนมากกว่า แต่ถ้าถูกนำไปต้มนาน ๆ ก็สามารถระเหยหรือเปลี่ยนแปลงไป อาจกลายเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้

3. Base notes หรือ Background คือกลิ่นรสที่เกิดจากสารให้กลิ่นรสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ (nonvolatile) สารนี้จะทนความร้อนมากและระเหยได้ยากหรือไม่ระเหยเลย รสพื้นฐานทั้ง 4 และรสสัมผัสที่เกิดจากสารเคมี (Basic tastes & chemical feeling factor) ล้วนแล้วแต่เป็นองค์ประกอบหลักของ Base notes กลิ่นรสเหล่านี้จะให้ความรู้สึกเข้มข้นของรสชาติที่อยู่นานในปาก ภาษาอังกฤษเรียกว่า long lasting richness หาก base notes นี้มีน้อยไปหรือไม่ชัดเจน อาหารชนิดนั้นมักจะ"จืด" หรือ "ขาดอะไรบางอย่าง"

ในไอศกรีมกะทิ ไอศกรีมนมข้าวโพด ไอศกรีมนมถั่วเหลือง เกลือเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นที่จะไม่ทำให้ไอศกรีม "ขาดอะไรไปบางอย่าง" เนื่องจากในไอศกรีมจำพวกนี้ มักจะมีส่วนผสมที่เป็น Non-fat milk solid (NMS) น้อย หรือไม่มีเลย ในไอศกรีมนมทั่วไปจะมีองค์ประกอบของ NMS ประมาณ 10-14% ซึ่ง NMS นั้นจะมีเกลือแร่ และแร่ธาตุต่าง ๆ ผสมอยู่ ทำให้ไอศกรีมนมมีรสเค็มแฝงอยู่เล็กน้อย ทำให้เกิดความกลมกล่อมในไอศกรีม ส่วนไอศกรีมกะทิ นมข้าวโพด นมถั่วเหลือง หากไม่เติมเกลือ จะหวานเลี่ยน และขาดความกลมกล่อม ดังนั้นในการทำไอศกรีมเหล่านี้ จึงควรจะเติมเกลือลงไปด้วย ประมาณ 0.01-0.02% หรือ 1-2 กรัมในไอศกรีม 1 กิโลกรัม

4. After taste หรือ Finish คือกลิ่นรสที่จะยังคงอยู่ในปากหลังจากการกลืนอาหารลงไปแล้ว รสชาติพื้นฐานทั้งสี่รส รวมถึง chemical feeling factor ที่ยังคงรับรู้ได้หลังจากกลืนอาหารไปแล้ว After taste ที่ค่อนข้างชัดเจนคือรสขม จากส่วนผสมบางอย่าง เช่น กาแฟ ช็อกโกแลต ผิวส้ม ผิวมะนาว รวมทั้ง ความรู้สึกเย็นหรือซ่า ๆ จากสมุนไพรบางอย่าง เช่น อบเชย มินต์

ชนิดของกลิ่น

1. เครื่องเทศและสมุนไพร

เครื่องเทศและสมุนไพรที่นำมาใช้ให้กลิ่นรสในอาหารรวมถึงไอศกรีมด้วยนั้น มีส่วนประกอบที่สำคัญคือน้ำมันหอมระเหย (Volatile oil หรือ Essential oil) เครื่องเทศหรือสมุนไพรที่นำมาให้กลิ่นรสกับไอศกรีมควรจะมีคุณสมบัติการให้กลิ่นรสที่ชัดเจน

2. กลิ่นผ่านกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลิ่นที่ผ่านกระบวนการนี้จะมีทั้งแบบกลิ่นแท้และกลิ่นสังเคราะห์ โดยจะให้กลิ่นรสมีความเข้มข้นกว่าการใส่ตัวให้กลิ่นจริง ๆ ไม่ว่าจะเป็นผลไม้ ผัก เครื่องเทศ สมุนไพรต่าง ๆ ลงไปในไอศกรีม แต่การจะทำให้กลิ่นที่ผ่านกระบวนการนี้เหมือนกับกลิ่นตามธรรมชาติไปได้ยาก เนื่องจากกลิ่นรสต่าง ๆ ในตัวให้กลิ่นตามธรรมชาติประกอบด้วยสารเคมีมากมาย มีความสลับซับซ้อน ทั้งในด้านของชนิดและปริมาณ การเลือกกลิ่นรสให้เหมาะกับไอศกรีมต้องอาศัยการทดสอบชิม

8. วิธีการทำไอศกรีม [20]

ส่วนผสมสำหรับไอศกรีมประมาณ 2 กิโลกรัม

1. น้ำกะทิสด 500 มิลลิลิตร
2. น้ำตาลทราย 430 กรัม
3. สารให้ความคงตัว (เจลาติน) 12 กรัม
4. เกลือป่น 5 กรัม
5. น้ำสะอาด 1,210 มิลลิลิตร
6. นมสดจืด 750 มิลลิลิตร

วิธีทำ

1. เตรียมส่วนผสมตามสูตรที่ต้องการ
2. นำน้ำสะอาดขึ้นตั้งไฟเมื่ออุณหภูมิของน้ำประมาณ 30 องศาเซลเซียส ใส่ส่วนผสมที่เป็นของแข็ง (น้ำตาลทราย, เกลือ, เจลาติน)
3. เคี่ยวส่วนผสมให้ได้น้ำสีใสไม่ขุ่นไม่ตกตะกอนนอนก้นหม้อต้ม
4. นำส่วนผสมที่เป็นของเหลว (น้ำกะทิคั้นสด, นมสดจืด) เทลงหม้อต้มหมั่นคนเพื่อป้องกันส่วนผสมไหม้เคี่ยวจนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที ปิดไฟ ยกลง (เพื่อเป็นการพาสเจอร์ไรซ์ส่วนผสม)
5. นำส่วนผสมไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วนำมาปั่นในเครื่องปั่นไอศกรีม
6. นำไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้วไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25 ถึง -30 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำแข็งและการแข็งตัวของไอศกรีม

หมายเหตุ วิธีการปั่น ใช้ถังปั่นไอศกรีม โดยมีน้ำแข็งทุบใส่อยู่รอบ ๆ ถัง โรยเกลือเม็ดลงในน้ำแข็ง เมื่อเริ่มมีการฝืด แสดงว่าไอศกรีมได้แข็งตัวลงแล้ว (ขณะที่ปั่นไอศกรีม ถ้าน้ำแข็งรอบถังละลาย ต้องเติมและโรยเกลือไปด้วยทุกครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การตรวจสอบคุณภาพของไอศกรีม [21] แบ่งได้เป็น

1. ด้านกายภาพ เช่น อุณหภูมิ, pH, กรด, ความหนืด, สี, ความแน่นเนื้อ

- การวัด pH

หลังจากผ่านการบ่มไอศกรีมมิกซ์ที่อุณหภูมิประมาณ 4±1 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ปรับอุณหภูมิของไอศกรีมมิกซ์เป็น 25±0.5 °C แล้ววัด pH ด้วยเครื่อง pH meter

- วัดความหนืด

ไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิประมาณ 4±1 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมงโดยเครื่องวัดความหนืด ใช้หัวหมุนเบอร์ 27 ความเร็วรอบการหมุน 100 รอบต่อนาที อ่านค่าที่ได้หลังมอเตอร์หมุน 30 วินาที โดยควบคุมอุณหภูมิไอศกรีมมิกซ์ขณะทดสอบที่ 4±0.5 °C

- การวัดค่าความแน่นแข็ง

นำไอศกรีมที่บรรจุเต็มถ้วยพลาสติก ซึ่งผ่านการแช่แข็งที่ อุณหภูมิ –25±1 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทดสอบโดยเครื่อง Texture Analyzer อาศัยหลักการวัดค่าแรงกดที่กระทำต่อไอศกรีมด้วยระยะทางคงที่ สภาวะที่ใช้ประกอบด้วย หัวกดรูปโคน (probe เบอร์ P/45 °C) วัดแรงกดในรูปแบบของการกดอัด โหลดเซลล์รับน้ำหนักได้ 25 กิโลกรัม ความเร็วที่ใช้เคลื่อนที่ของหัววัดก่อนการทดสอบ ขณะทดสอบ และหลังการทดสอบ คือ 2.0 1.0 และ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ กำหนดค่าความแน่นแข็ง คือแรงสูงสุดที่ระดับความลึกของหัววัดเท่ากับ 15 มิลลิเมตร

- การวัดค่าเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีม โดยชั่งน้ำหนักไอศกรีมมิกซ์ในถ้วยที่ทราบน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักไอศกรีมเหลว และเมื่อปั่นให้แข็งตักไอศกรีมที่ได้ในถ้วยพลาสติกใบเดิม ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

$$\text{การขึ้นฟู (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมมิกซ์-น้ำหนักไอศกรีม} \times 100}{\text{น้ำหนักไอศกรีม}}$$

2. ด้านเคมี เช่น องค์ประกอบต่างๆ ของไอศกรีม; ไขมัน, น้ำตาล, สารให้ความหวาน,Total Solid

3. ด้านประสาทสัมผัส การทดสอบชิม และดูลักษณะการละลาย

- การวัดอัตราการละลาย

นำไอศกรีมที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ –25±1 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทราบน้ำหนักที่แน่นอน วางบนตะแกรงลวดที่อยู่บนกรวยซึ่งรองรับด้วยขวดรูปชมพู่เปล่า เริ่มจับเวลาการละลายเมื่อตัวอย่างควบคุมเริ่มละลาย ควบคุมอุณหภูมิห้องให้อยู่ที่ 25±1 °C ชั่งน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายทุก 5 นาที เป็นเวลา 50 นาที ข้อมูลที่ได้นำไปหาอัตราการละลาย ณ นาทีที่ 20 และ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{อัตราการละลาย (กรัม/นาที)} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย x 100}}{\text{เวลาที่ละลาย}}$$

4. ด้านคุณภาพทางจุลชีววิทยา ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด จุลินทรีย์ก่อโรค สารพิษจากจุลินทรีย์

5. คุณภาพของไอศกรีมระหว่างการเก็บรักษาไอศกรีมมีอายุการเก็บรักษานาน จึงต้องมีการเก็บตัวอย่างไอศกรีมในแต่ละชุด ไว้ตรวจสอบคุณภาพของเนื้อสัมผัสและทางจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาด้วย

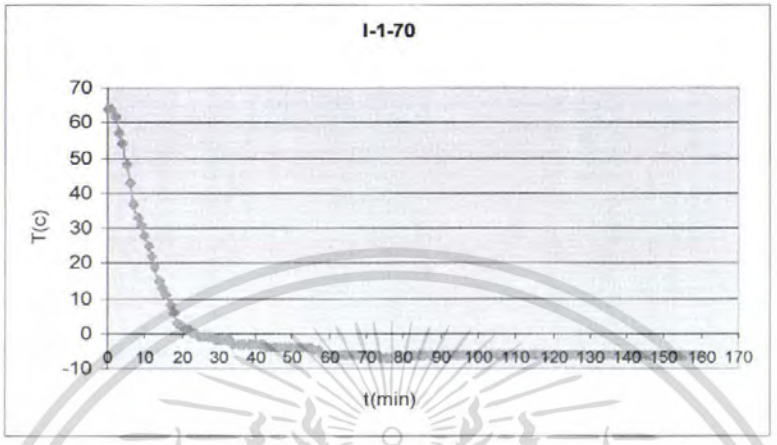
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

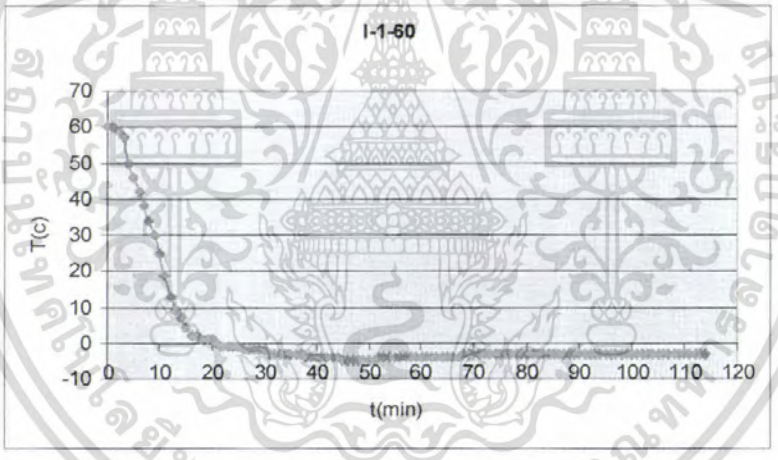
ภาคผนวก ข

กราฟแสดงเวลา , อุณหภูมิและความดันของการทดลองแบบต่างๆ

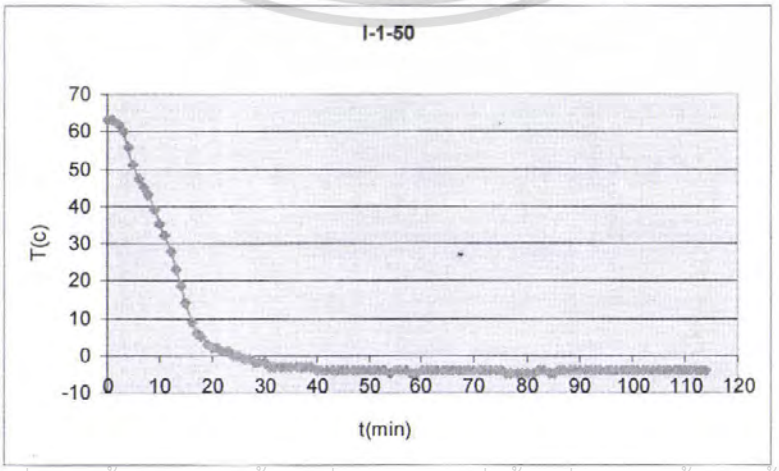
1. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm (รอบที่ 1)



2. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 60 rpm (รอบที่ 1)

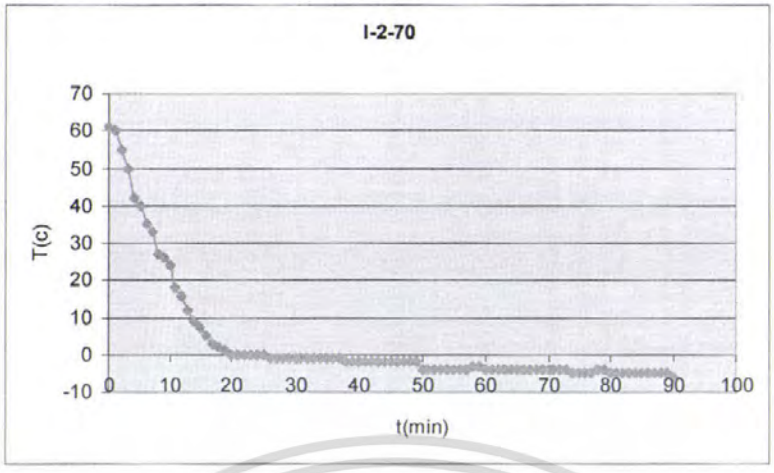


3. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 50 rpm (รอบที่ 1)

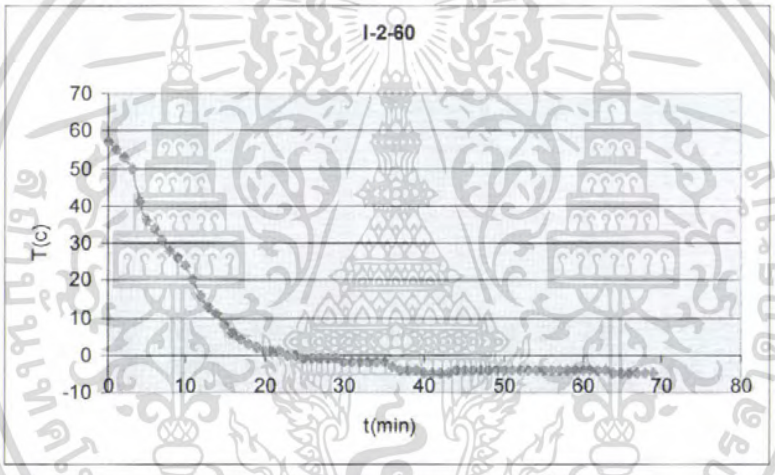


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

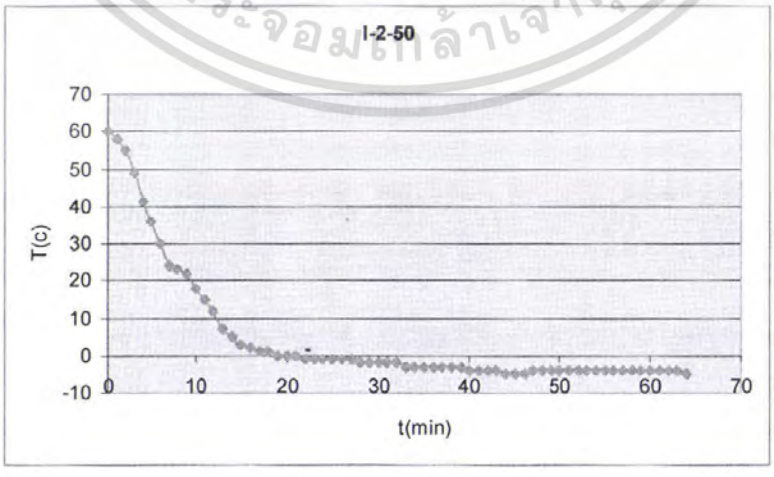
4. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm (รอบที่ 1)



5. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 60 rpm (รอบที่ 1)

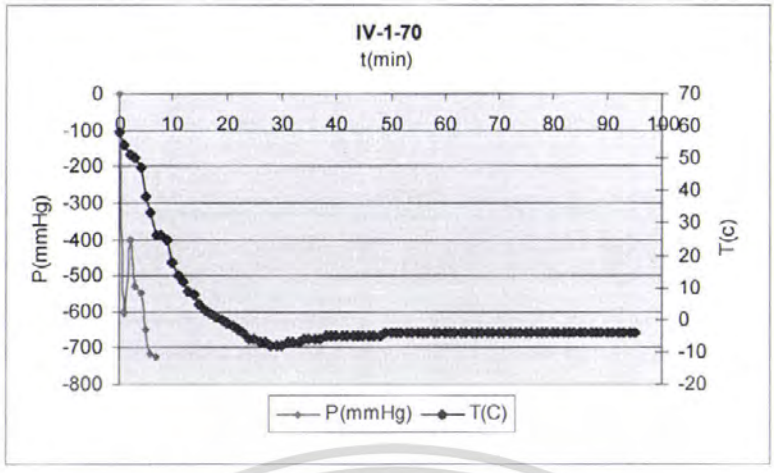


6. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 50 rpm (รอบที่ 1)

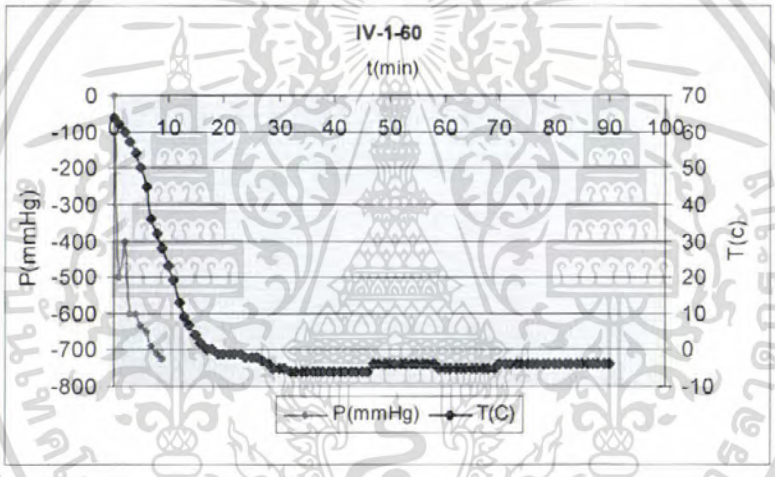


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

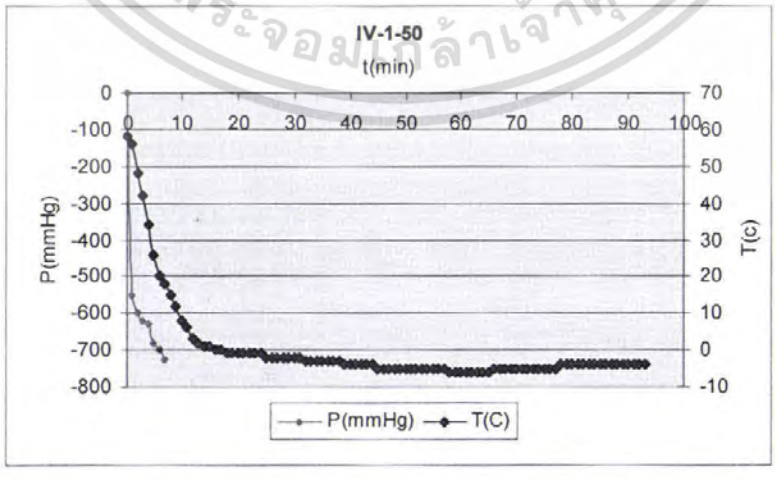
7. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm (รอบที่ 1)



8. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 1ที่ความเร็วรอบ 60 rpm (รอบที่ 1)

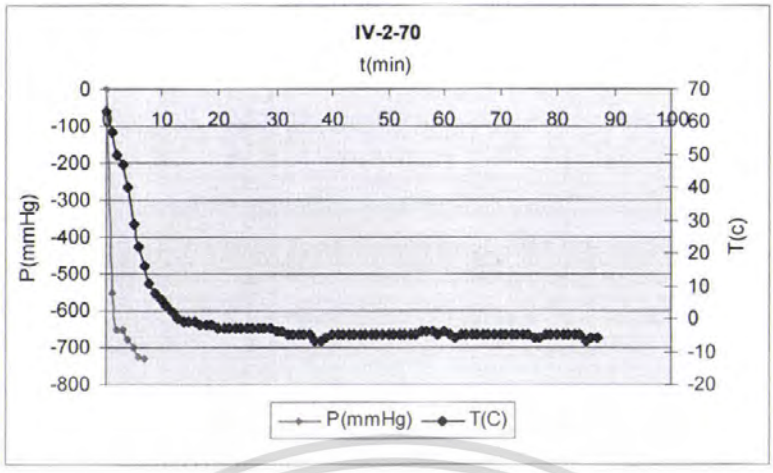


9. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 50 rpm (รอบที่ 1)

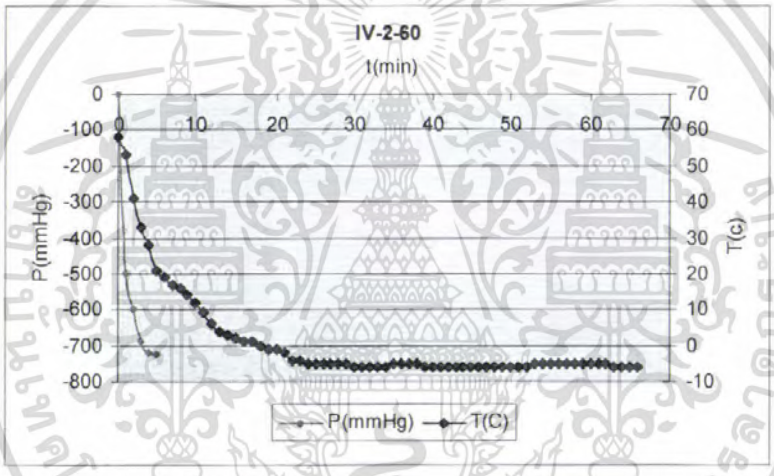


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

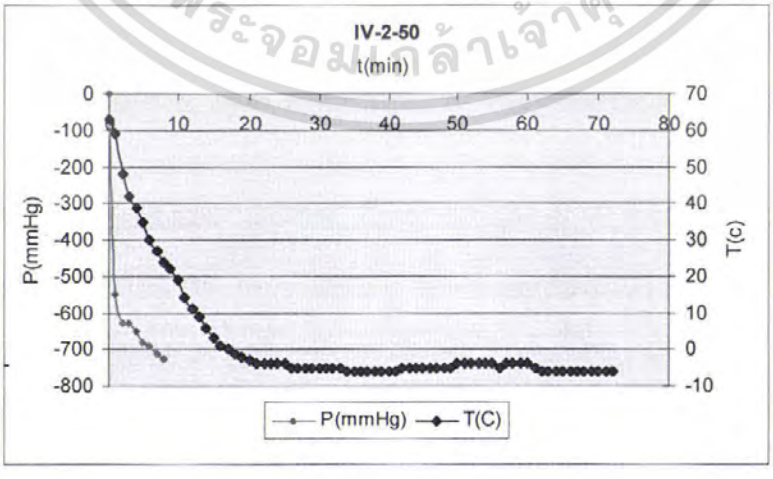
10. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm (รอบที่ 1)



11. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 60 rpm (รอบที่ 1)

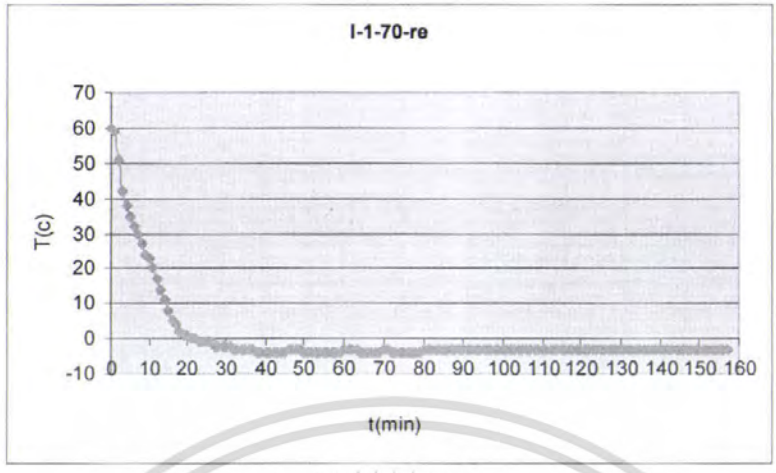


12. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 50 rpm (รอบที่ 1)

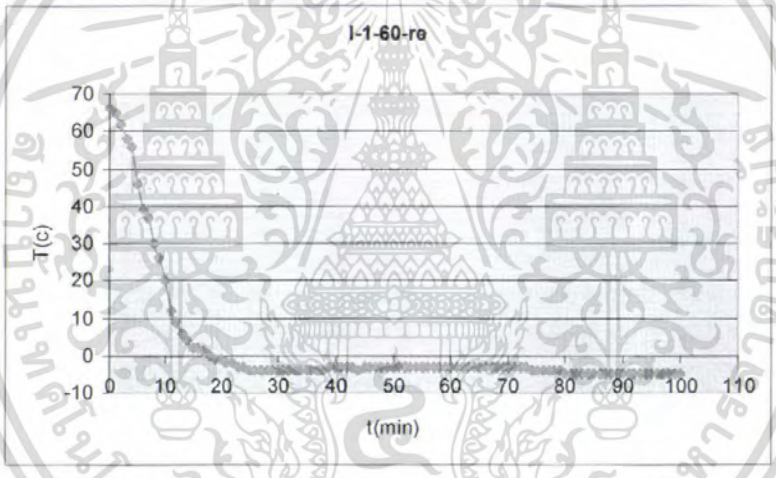


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

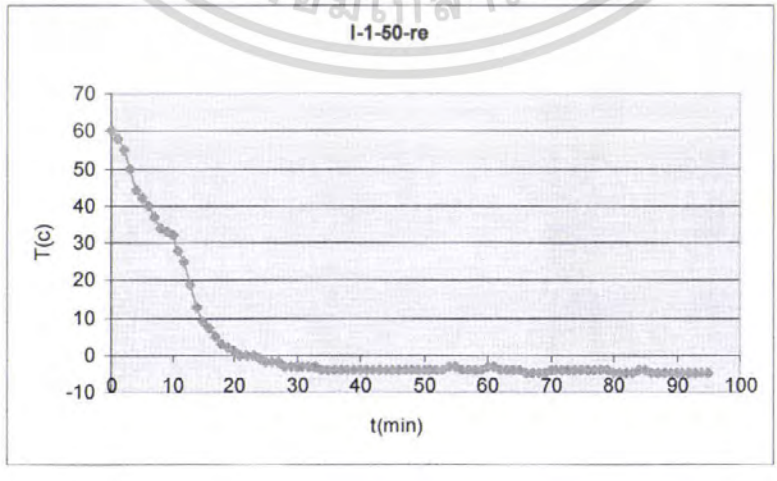
13. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm (รอบที่ 2)



14. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 60 rpm (รอบที่ 2)

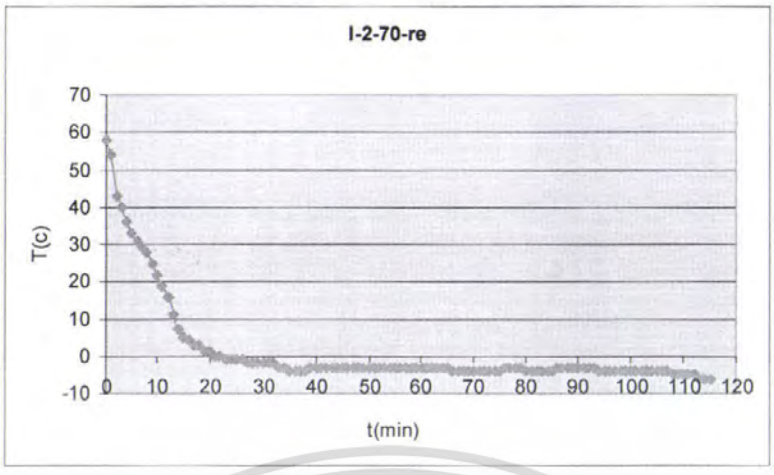


15. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 50 rpm (รอบที่ 2)

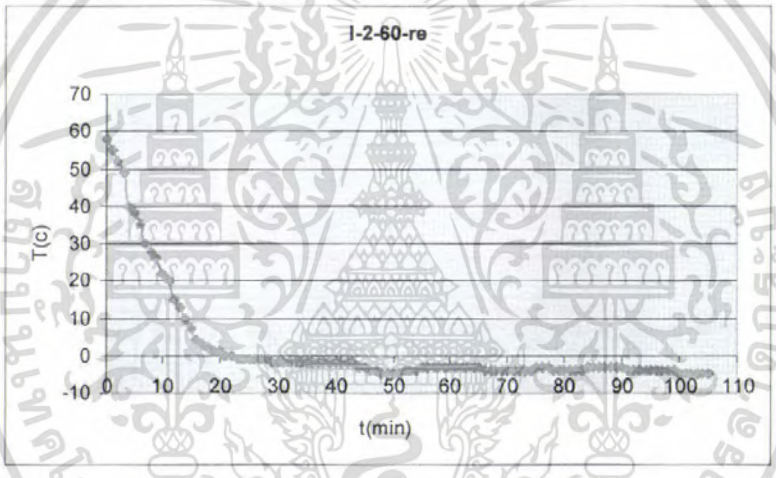


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

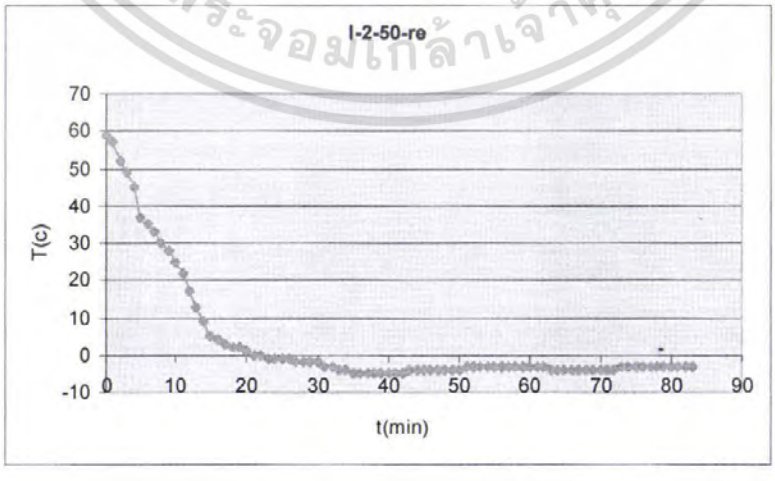
16. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm (รอบที่ 2)



17. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 60 rpm (รอบที่ 2)

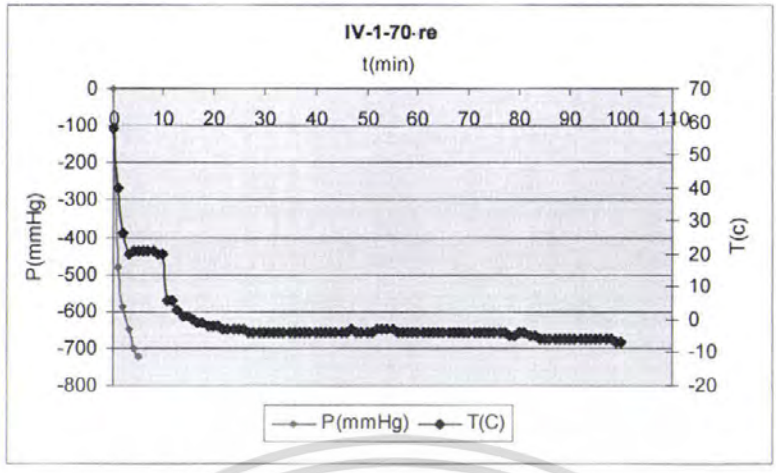


18. ที่ความดันบรรยากาศปกติ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 50 rpm (รอบที่ 2)

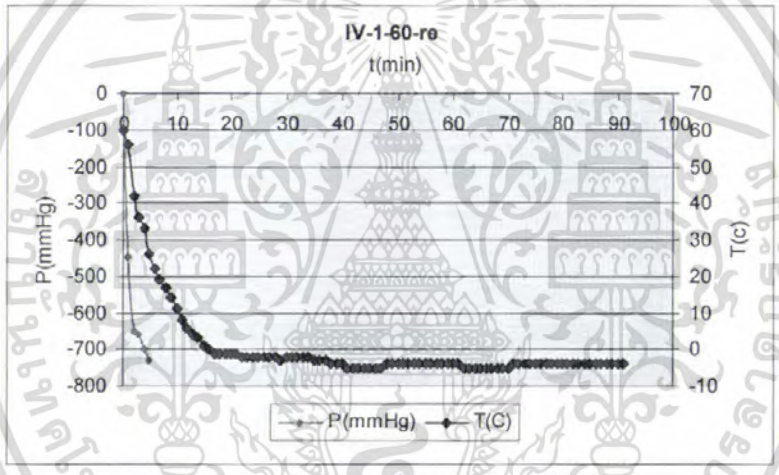


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

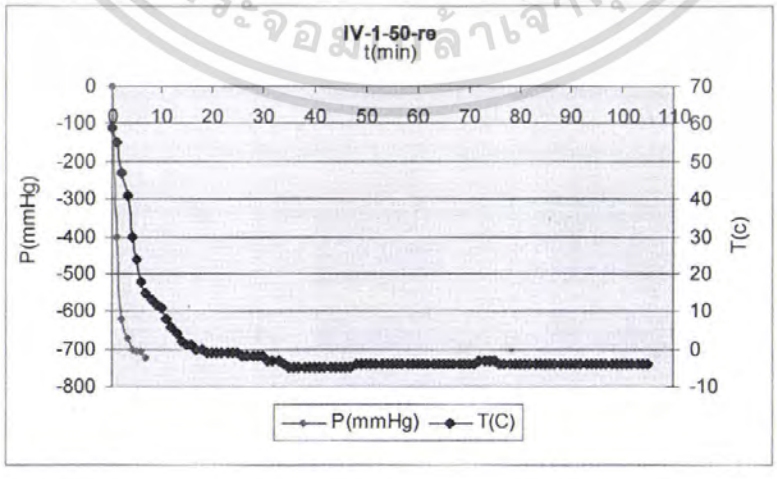
19. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm (รอบที่ 2)



20. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 1ที่ความเร็วรอบ 60 rpm (รอบที่ 2)

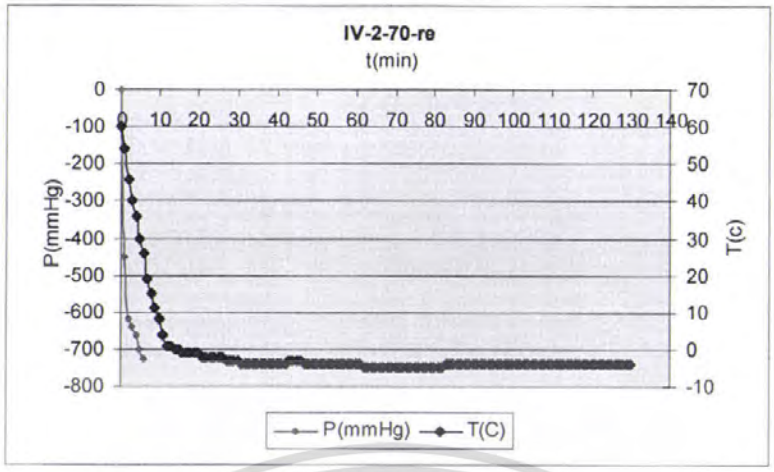


21. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 50 rpm (รอบที่ 2)

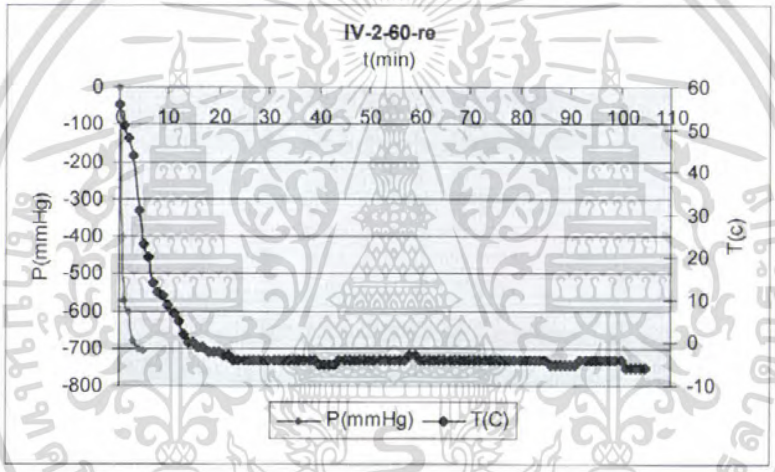


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

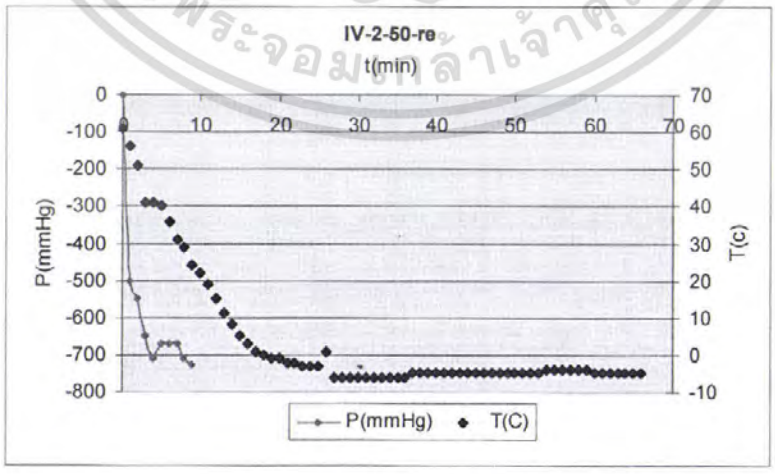
22. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm (รอบที่ 2)



23. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 60 rpm (รอบที่ 2)



24. ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ, ใบกวนที่ 2 ที่ความเร็วรอบ 50 rpm (รอบที่ 2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางบันทึกผลการทดสอบทางกายภาพของส่วนผสมเริ่มต้นแบบไม่ใช้ปั๊มสุญญากาศ

ตัวอย่าง	Total Soluble solid(%Brix)				Viscosity(100rpm S61)					
ไอศกรีม	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
I1-70	12.5	12.1	11.9	12.17	21.6	21.84	21.9	21.96	22.08	21.88
					21.48	21.54	21.6	21.54	21.42	21.52
I1-70-re	12.7	11.4	11.4	11.83	25.8	25.86	25.92	25.86	25.8	25.85
					24.66	24.6	24.72	24.66	24.78	24.68
I1-60	11.3	11.4	11.3	11.33	18.9	18.84	18.78	18.72	18.66	18.78
					18.8	18.74	18.92	18.56	18.78	18.76
I1-60-re	12.5	13.1	12.8	12.8	18.72	18.54	18.6	18.66	18.54	18.61
					17.94	17.88	17.94	17.88	17.94	17.92
I1-50	13	12.7	12.3	12.67	24.56	24.68	24.62	24.8	24.86	24.70
					24.92	24.98	25.1	25.16	25.22	25.08
I1-50-re	12.7	12.8	13.1	12.8	21.3	21.6	21.78	21.66	21.38	21.54
					22.62	22.74	22.8	22.86	22.92	22.79
I2-70	13.6	13.7	13.6	12.8	24.32	24.38	24.44	24.32	24.38	24.37
					23.3	23.3	23.36	23.3	23.36	23.32
I2-70-re	11.2	11.6	11.2	11.33	18.36	18.42	18.48	18.54	18.6	18.48
					18.3	18.24	18.3	18.42	18.3	18.31
I2-60	12	12.8	12.9	12.57	19.1	19.04	18.98	18.92	18.98	19.00
					19.04	18.98	18.92	19.04	18.98	18.99
I2-60-re	13.1	13.1	13.1	13.10	22.44	22.52	22.56	22.74	22.8	22.61
					22.86	22.92	22.86	22.98	22.16	22.76
I2-50	12.5	11.8	12.5	12.27	19.14	19.2	19.2	19.14	19.2	19.18
					18.72	18.78	18.72	18.78	18.84	18.77
I2-50-re	13.1	12.9	12.7	12.90	19.38	19.5	19.56	19.74	19.56	19.55
					19.56	19.74	19.8	19.86	19.8	19.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดสอบทางกายภาพของส่วนผสมเริ่มต้นแบบใช้ปั๊มสุญญากาศ

ตัวอย่าง	Total Soluble solid(%Brix)				Viscosity(100rpm S61)					
ไอศกรีม	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
IV1-70	12.9	12.7	12.7	12.77	20.1	20.04	20.1	20.04	20.1	20.08
					21.12	20.32	20.26	20.14	20.1	20.39
IV1-70-re	11.7	12	12.3	12	17.58	17.52	17.46	17.58	17.46	17.52
					16.44	16.5	16.38	16.62	16.56	16.5
IV1-60	13.3	13.4	13.7	13.47	19.86	19.92	19.86	19.8	19.86	16.5
					19.8	19.82	19.86	19.9	19.96	16.5
IV1-60-re	12.3	12.4	11.9	12.20	18.12	18.06	18.02	18.06	18.06	18.06
					17.84	17.46	17.52	17.58	17.64	17.61
IV1-50	13	12.9	12.4	12.50	21.84	21.9	21.84	21.72	21.66	21.79
					21.86	21.84	21.62	21.5	21.76	21.72
IV1-50-re	12.5	12.5	12.5	12.5	22.32	22.8	22.86	22.74	22.8	22.70
					21.84	21.96	22.02	22.08	21.96	21.97
IV2-70	11.2	10.9	12.2	11.43	19.7	19.46	19.58	19.52	19.64	19.58
					19.7	19.76	19.64	19.7	19.46	19.65
IV2-70-re	12.3	12.4	12.4	12.35	19.86	19.80	19.92	19.86	19.80	19.85
					19.86	19.74	19.92	19.80	19.86	19.84
IV2-60	11.2	11.5	12.3	11.67	17.54	17.66	17.6	17.78	17.66	17.65
					17.48	17.54	17.48	17.54	17.54	17.52
IV2-60-re	13.3	13.2	13.4	13.30	22.46	23.12	22.72	23.96	23.56	23.16
					23.12	23.54	23.02	22.78	22.54	23.00
IV2-50	12.1	12.4	11.8	12.10	19.8	19.72	19.78	19.46	19.58	19.67
					19.52	19.74	19.06	19.82	19.36	19.50
IV2-50-re	12.4	12.8	12.6	12.60	22.08	22.02	22.14	22.2	22.14	22.12
					22.2	22.08	22.32	22.38	22.4	22.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดสอบทางกายภาพของส่วนผสมหลังพาสเจอร์ไรซ์ไม่ใช้ปั๊มสุญญากาศ

ตัวอย่าง	Total Soluble solid(%Brix)				Viscosity(100rpm S61)					
ไอศกรีม	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
I1-70	22.4	22.5	22.9	22.60	7.02	6.96	7.04	7.32	7.08	7.08
					7.44	7.38	7.02	7.14	7.08	7.21
I1-70-re	23	23.7	24	23.57	8.1	7.66	8.46	7.8	7.86	7.98
					7.68	7.8	8.04	7.98	8.34	7.97
I1-60	22.7	21.9	21.7	22.10	8.64	8.58	8.64	8.58	8.52	8.59
					8.64	8.7	8.64	8.7	8.46	8.63
I1-60-re	22.8	23.4	22.7	22.97	7.74	7.14	7.56	7.5	7.44	7.48
					7.32	7.56	7.14	7.7	7.5	7.44
I1-50	22.1	23.1	23.2	22.80	8.94	9	9.06	8.94	8.82	8.95
					8.94	8.82	8.86	9.06	9.12	8.96
I1-50-re	22.4	24.2	22.6	23.07	7.98	7.92	8.22	7.92	7.98	8.00
					7.86	7.92	8.1	7.68	7.38	7.79
I2-70	24	23.8	23.4	23.73	7.74	7.8	7.74	7.68	7.62	7.72
					8.04	7.86	7.8	8.04	7.92	7.93
I2-70-re	21.7	21.6	21.9	21.73	7.42	7.48	7.54	7.36	7.66	7.49
					7.66	7.42	7.36	7.48	7.42	7.47
I2-60	23.6	23.1	23.8	23.50	7.68	7.92	7.72	7.9	8.04	7.85
					8.14	7.96	8.44	8.18	9.02	8.35
I2-60-re	22.3	22.2	22.1	22.20	7.74	7.92	7.96	7.86	7.68	7.83
					7.74	7.92	7.98	8.06	8.1	7.96
I2-50	24.1	23	23.3	23.47	7.5	7.8	7.54	7.08	7.32	7.45
					7.5	7.2	7.26	7.44	7.14	7.31
I2-50-re	22.9	22.3	22.4	22.53	7.56	7.38	7.5	7.32	7.68	7.49
					7.44	7.5	7.38	7.26	7.5	7.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดสอบทางกายภาพของส่วนผสมหลังพาสเจอร์ไรซ์ใช้ปั๊มสุญญากาศ

ตัวอย่าง	Total Soluble solid(%Brix)				Viscosity(100rpm S61)					
ไอศกรีม	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
IV1-70	20.9	21.2	20.9	21.00	5.82	5.7	6.72	5.94	5.88	6.01
					5.96	6.16	5.82	6.2	5.28	5.88
IV1-70-re	24	23.6	24.6	24.07	6.9	6.84	6.66	6.72	6.96	6.82
					7.08	6.78	6.96	6.8	6.76	6.88
IV1-60	22.8	22.9	22.5	22.73	8.4	8.36	8.46	8.52	8.94	8.54
					8.6	8.52	8.36	8.46	8.52	8.49
IV1-60-re	21.9	22.4	21.4	21.90	7.26	7.44	7.38	7.02	6.96	7.21
					6.84	6.9	7.02	6.96	7.08	6.96
IV1-50	23.3	22.6	23.2	23.03	7.56	7.5	7.38	7.32	7.44	7.44
					7.5	7.62	7.74	7.32	7.5	7.54
IV1-50-re	22.1	22.3	22.4	22.27	7.68	7.5	7.56	7.44	7.38	7.51
					7.8	7.68	7.74	7.44	7.5	7.63
IV2-70	22.6	22.1	22.2	22.30	7.92	7.86	7.8	7.74	7.92	7.85
					8.22	8.04	7.98	7.92	8.04	8.04
IV2-70-re	21.4	21.6	21.9	21.63	7.38	7.50	7.44	7.32	7.44	7.46
					7.56	7.74	7.68	7.86	7.80	7.73
IV2-60	22.5	22.8	22.1	22.47	8.46	7.8	7.62	7.8	7.68	7.87
					7.98	7.62	7.68	7.56	7.44	7.66
IV2-60-re	25.4	25.3	24.4	25.03	7.44	7.32	7.26	7.56	7.5	7.42
					7.66	7.68	7.64	7.74	7.62	7.67
IV2-50	22.2	22.3	21.9	22.13	8.04	8.22	8.4	8.56	7.98	8.24
					8.7	8.68	9.12	9.16	8.98	8.93
IV2-50-re	22.7	21.4	21.5	21.87	6.96	7.2	7.26	7.14	6.9	7.09
					6.96	7.08	7.02	6.96	6.78	6.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดสอบทางกายภาพของไอศกรีมหลังปั่นไม่ใช้ปั๊มสุญญากาศ

ตัวอย่าง	Total Soluble solid(%Brix)				Viscosity(100rpm S61)					
ไอศกรีม	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
I1-70	20.9	21.4	22.8	21.7	7.68	8.10	7.98	8.04	8.10	7.98
					8.28	7.92	8.10	7.44	7.50	7.85
I1-70-re	22.8	22.8	22.6	22.7	9.48	9.66	9.54	9.36	9.42	9.49
					9.30	9.18	9.24	9.60	9.72	9.41
I1-60	21.8	22.1	22.1	22.0	7.26	7.14	7.32	7.20	7.44	7.27
					7.38	7.42	7.26	7.14	7.08	7.26
I1-60-re	21.5	21.6	21.6	21.6	9.24	9.38	9.48	9.54	9.60	9.45
					9.60	9.66	9.48	9.18	9.36	9.46
I1-50	24.4	24.6	24.5	24.5	9.90	9.84	9.78	9.66	9.72	9.78
					9.84	9.78	9.72	9.96	9.84	9.83
I1-50-re	22.6	23.4	22.8	22.9	9.24	9.16	9.20	9.36	9.08	9.21
					9.02	8.90	9.16	8.98	8.88	8.99
I2-70	21.6	24.0	22.9	22.8	9.48	10.02	9.90	9.78	9.60	9.76
					9.60	10.08	9.90	9.84	9.72	9.83
I2-70-re	21.6	22.9	23.6	22.7	9.36	9.84	9.76	9.16	9.60	9.54
					9.80	9.72	9.64	9.54	9.62	9.66
I2-60	23.6	22.9	22.4	22.9	9.94	9.20	9.88	9.76	9.70	9.70
					9.82	9.88	9.70	9.76	9.64	9.76
I2-60-re	23.9	24.1	24.0	24.0	7.98	7.56	7.70	7.86	7.32	7.68
					7.20	7.38	7.26	7.14	7.56	7.31
I2-50	22.9	23.2	23.0	23.0	8.64	9.00	8.76	8.70	9.02	8.82
					8.94	9.12	8.86	8.78	9.02	8.94
I2-50-re	22.9	23.0	20.9	22.2	7.74	7.38	7.50	7.30	7.56	7.50
					7.44	7.62	7.44	7.38	7.50	7.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดสอบทางกายภาพของไอศกรีมหลังปั่นใช้ปั๊มสุญญากาศ

ตัวอย่าง	Total Soluble solid(%Brix)				Viscosity(100rpm S61)					
ไอศกรีม	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
IV1-70	20.70	21.10	21.10	20.97	6.88	6.92	6.76	6.42	6.54	6.70
					6.98	7.02	7.16	6.88	7.24	7.06
IV1-70-re	22.00	23.40	23.60	23.00	9.12	8.86	9.06	8.76	8.94	8.95
					8.72	8.76	9.04	9.12	8.70	8.87
IV1-60	22.80	23.40	23.20	23.13	7.24	7.18	7.12	7.06	7.86	7.29
					7.72	7.66	7.54	7.30	7.06	7.46
IV1-60-re	20.90	21.00	21.30	21.07	7.38	7.14	7.20	7.44	7.38	7.31
					6.90	7.32	7.20	7.14	7.26	7.16
IV1-50	22.10	21.10	22.70	21.97	7.50	7.54	7.62	7.44	5.54	7.13
					7.40	7.62	6.80	7.42	6.98	7.24
IV1-50-re	21.10	20.60	20.40	20.70	7.68	7.50	7.56	7.44	7.38	7.51
					7.68	7.64	7.5	7.56	7.38	7.55
IV2-70	22.90	22.90	24.20	23.33	8.34	8.40	8.52	8.46	8.52	8.45
					8.46	8.40	8.34	8.28	8.58	8.41
IV2-70-re	22.20	22.60	21.90	22.23	7.60	7.66	7.9 0	7.72	7.78	7.73
					7.48	7.54	7.60	7.72	7.78	7.62
IV2-60	24.00	23.20	23.70	23.63	8.18	8.06	8.00	7.82	8.12	8.04
					7.94	8.12	7.94	8.00	7.94	7.99
IV2-60-re	22.10	22.20	22.30	22.20	7.74	7.68	7.32	7.50	7.38	7.52
					7.44	7.50	7.20	7.32	7.26	7.34
IV2-50	22.30	21.90	21.70	21.97	7.04	7.22	7.40	7.56	7.98	7.44
					7.70	7.64	7.12	7.16	7.98	7.52
IV2-50-re	22.10	21.90	21.50	21.83	7.44	7.26	7.44	7.50	7.38	7.40
					7.44	7.2	7.14	7.32	7.38	7.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดสอบค่าความหนืดของไอศกรีม

ตัวอย่างไอศกรีม	Viscosity (S64 100rpm)					
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
I1-70	2210	2286	2112	2400	2296	2261
I1-70-re	3588	3670	3720	3762	3780	3696
I1-60	1500	1320	1128	1110	1242	1269
I1-60-re	2166	2118	2070	2106	2040	2100
I1-50	1596	1420	1620	1524	1425	1517
I1-50-re	2178	2142	2004	2190	2054	2114
I2-70	3948	3972	4026	4110	3972	4006
I2-70-re	3378	3335	3186	3006	3018	3185
I2-60	1254	1260	1032	1014	996	1112
I2-60-re	1914	1872	1842	1846	1810	1857
I2-50	1014	1020	972	846	1044	980
I2-50-re	1416	1440	1368	1516	1356	1463
IV1-70	3486	3342	3356	3452	3534	3434
IV1-70-re	4224	4116	4110	4200	4806	4292
IV1-60	1962	1938	1722	1812	1818	1850
IV1-60-re	2196	2166	2184	2256	2136	2188
IV1-50	1794	1566	1650	1680	1572	1652
IV1-50-re	2868	2892	2772	2730	2616	2776
IV2-70	4026	4152	4194	4098	4112	4098
IV2-70-re	3606	3864	3612	3402	3480	3593
IV2-60	1962	1872	1902	1914	1806	1891
IV2-60-re	2610	2920	3030	2994	2886	2888
IV2-50	3024	2948	2964	3206	2952	3019
IV2-50-re	1230	1350	1248	1356	1320	1301

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการหาร้อยละการขึ้นฟู

ตัวอย่างไอศกรีม	ระยะจากขอบบน(cm)	%การขึ้นฟู
I1-70	2.25	110.51
I1-60	4	83.88
I1-50	5	73.83
I2-70	2.25	110.51
I2-60	4.75	76.34
I2-50	7.5	48.72
IV1-70	2	122.06
IV1-60	5	73.83
IV1-50	6.5	58.76
IV2-70	2.5	107.99
IV2-60	5.5	68.81
IV2-50	7.75	46.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

พลังงานที่ใช้ในอุปกรณ์(ซ้ำที่ 1)

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 1, 70 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั๊มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั๊มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.48	220	0.9	2.67	95.04
ตัวปรับความเร็วรอบ	0	0	0	0	0.00
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	2.67	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.03	220	0.9	0.36	1193.94
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1290.96	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 1, 60 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั๊มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั๊มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.45	220	0.9	1.9	89.10
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.16	220	0.9	1.9	31.68
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.9	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.05	220	0.9	0.42	1197.90
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1320.66	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 1, 50 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั๊มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั๊มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.29	220	0.9	1.93	57.42
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.14	220	0.9	1.93	27.72
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.93	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.06	220	0.9	0.4	1199.88
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1287.00	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2, 70 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั๊มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั๊มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.47	220	0.9	1.61	93.06
ตัวปรับความเร็วรอบ	0	0	0	0	0
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.61	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.03	220	0.9	0.35	1193.94
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1288.98	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2, 60 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั้มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.31	220	0.9	1.15	61.38
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.17	220	0.9	1.15	33.66
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.15	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	5.89	220	0.9	0.38	1166.22
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1263.24	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2, 50 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั้มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.3	220	0.9	1.08	59.40
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.16	220	0.9	1.08	31.68
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.08	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	5.96	220	0.9	0.38	1180.08
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1273.14	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 1, 70 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0.28	220	0.9	0.117	55.44
ปั้มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.117	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.35	220	0.9	1.58	69.30
ตัวปรับความเร็วรอบ	0	0	0	0	0
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.58	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.08	220	0.9	0.4	1203.84
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) = 100		พลังงานรวม(E) = 1591.92	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 1, 60 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0.27	220	0.9	0.15	53.46
ปั้มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.15	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.33	220	0.9	1.5	65.34
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.15	220	0.9	1.5	29.70
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.5	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.01	220	0.9	0.42	1189.98
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) = 250		พลังงานรวม(E) = 1601.82	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 1, 50 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั๊มน้ำ	0.28	220	0.9	0.13	55.44
ปั๊มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.13	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.29	220	0.9	1.55	57.42
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.14	220	0.9	1.55	27.72
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.55	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.04	220	0.9	0.38	1195.92
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) = 120		พลังงานรวม(E) = 1599.84	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2, 70 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั๊มน้ำ	0.28	220	0.9	0.116	55.44
ปั๊มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.116	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.3	220	0.9	1.45	59.40
ตัวปรับความเร็วรอบ	0	0	0	0	0.00
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.45	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	5.96	220	0.9	0.35	1180.08
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) = 94.08		พลังงานรวม(E) = 1558.26	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2, 60 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0.28	220	0.9	0.08	55.44
ปั้มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.08	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.32	220	0.9	1.1	63.36
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.16	220	0.9	1.1	31.68
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.1	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.08	220	0.9	0.33	1203.84
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) = 90		พลังงานรวม(E) = 1617.66	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2, 50 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0.28	220	0.9	0.15	55.44
ปั้มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.15	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.31	220	0.9	1.25	61.38
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.17	220	0.9	1.25	33.66
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.25	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.08	220	0.9	0.36	1203.84
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) -		พลังงานรวม(E) = 1617.66	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่ใช้ในอุปกรณ์(ซ้ำที่ 2)

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวน ชนิดที่ 1, 70 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั้มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.47	220	0.9	2.61	93.06
ตัวปรับความเร็วรอบ	0	0	0	0	0.00
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	2.61	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.03	220	0.9	0.38	1193.94
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1288.98	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวน ชนิดที่ 1, 60 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั้มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.34	220	0.9	1.67	67.32
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.17	220	0.9	1.67	33.66
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.67	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.23	220	0.9	0.36	1233.54
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1336.50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 1, 50 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั้มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.25	220	0.9	1.58	78.21
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.13	220	0.9	1.58	25.74
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.58	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.06	220	0.9	0.38	1199.88
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1305.81	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2, 70 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั้มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.45	220	0.9	1.91	89.10
ตัวปรับความเร็วรอบ	0	0	0	0	0.00
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.91	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.29	220	0.9	0.38	1245.42
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1336.50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวน ชนิดที่ 2, 60 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั๊มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั๊มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.29	220	0.9	1.75	100.49
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.14	220	0.9	1.75	27.72
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.75	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	5.98	220	0.9	0.38	1184.04
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1314.23	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันบรรยากาศปกติ ใบกวน ชนิดที่ 2, 50 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั๊มน้ำ	0	0	0	0	0
ปั๊มสุญญากาศ	0	0	0	0	0
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.27	220	0.9	1.38	53.46
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.14	220	0.9	1.38	27.72
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.38	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.05	220	0.9	0.36	1197.90
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1				พลังงานรวม(E) = 1281.06	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 1, 70 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0.28	220	0.9	0.083	55.44
ปั้มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.083	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.49	220	0.9	1.67	97.02
ตัวปรับความเร็วรอบ	0	0	0	0	0.00
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.67	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.08	220	0.9	0.38	1203.84
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) = 21.2		พลังงานรวม(E) = 1619.64	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 1, 60 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0.27	220	0.9	0.08	53.46
ปั้มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.08	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.3	220	0.9	1.51	59.40
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.16	220	0.9	1.51	31.68
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.51	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.01	220	0.9	0.36	1189.98
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) = 17.22		พลังงานรวม(E) = 1597.86	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 1, 50 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั๊มน้ำ	0.28	220	0.9	0.11	55.44
ปั๊มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.11	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.28	220	0.9	1.75	55.44
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.15	220	0.9	1.75	29.70
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.75	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.04	220	0.9	0.35	1195.92
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) = 1.62		พลังงานรวม(E) = 1599.84	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2, 70 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V,โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั๊มน้ำ	0.28	220	0.9	0.13	55.44
ปั๊มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.13	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.3	220	0.9	2.23	59.40
ตัวปรับความเร็วรอบ	0	0	0	0	0.00
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	2.23	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.08	220	0.9	0.36	1203.84
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) -		พลังงานรวม(E) = 1582.02	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2, 60 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V, โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0.28	220	0.9	0.1	55.44
ปั้มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.1	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.32	220	0.9	1.75	63.36
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.16	220	0.9	1.75	31.68
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.75	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.08	220	0.9	0.36	1203.84
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) -		พลังงานรวม(E) = 1617.66	

ตารางการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำไอศกรีม(ความดันต่ำบรรยากาศปกติ ใบกวนชนิดที่ 2, 50 rpm)

อุปกรณ์	กระแส (I,แอมแปร์)	แรงดัน (V, โวลต์)	Power Factor(PF)	เวลา (t,ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (E,วัตต์)
ปั้มน้ำ	0.28	220	0.9	0.15	55.44
ปั้มสุญญากาศ	1.32	220	0.9	0.15	261.36
มอเตอร์ปั่นไอศกรีม	0.31	220	0.9	1.1	61.38
ตัวปรับความเร็วรอบ	0.14	220	0.9	1.1	27.72
เครื่องอ่านอุณหภูมิ	0.01	220	0.9	1.1	1.98
เตาต้มน้ำกะทิ	6.08	220	0.9	0.35	1203.84
ปริมาณน้ำแข็ง/เกลือที่ใช้(kg) = 5.5/1.1		ปริมาณน้ำที่ออกมา(ml) = 60		พลังงานรวม(E) = 1611.72	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้