

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
ประจำปี 2551

ชื่อโครงการ การออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำ
ความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ

**Design and Development of Ice-Cream Making
Machine using Vacuum Pressure as Pre-Cooling
System**

RCH

TP

496

๑๕๔๗

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

ผศ. ดร. ณัฏวิภา เจียรระโนวชิระ

เลขหมู่.....120284

เลขทะเบียน.....

วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2555

b. 12336452
i.

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีม โดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ โดยพารามิเตอร์ที่จะควบคุม ได้แก่ ความดันภายในถัง, ชนิดใบกวน, ความเร็วรอบใบกวน, และพารามิเตอร์เกี่ยวกับคุณภาพที่ศึกษาคือ ความหนืด, สี, คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส, ค่าทางประสาทสัมผัสได้แก่ ระดับความเนียน, ความเย็นและmouth coating การลดอุณหภูมิของส่วนผสม ไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ทันทีโดยใช้การลดความดันในถังปั่นลงต่ำกว่าบรรยากาศถึง -725 mmHg ร่วมกับน้ำแข็งผสมเกลือที่อยู่รอบถัง และเปรียบเทียบกับการทำความเย็นเบื้องต้นโดยใช้น้ำแข็งผสมเกลืออย่างเดียวโดยภายในถังปั่นมีความดันบรรยากาศปกติ ชนิดใบกวนที่ใช้มี 2 ชนิด คือ แบบการไหลตามแนวรัศมี(แบบที่ 1) และการไหลตามแนวแกน(แบบที่ 2) กับความเร็วรอบ ได้แก่ 50 rpm, 60 rpm และ 70 rpm จากการทดลองสรุปได้ดังนี้คือ คุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้นมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าวัตถุดิบที่นำมาทดลองมีคุณภาพซึ่งเป็นผลดีต่อผลการทดลอง และคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้นและหลังพาสเจอร์ไรซ์ไรซ์แต่ค่า 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

Design and Development of Ice-Cream Making Machine using Vacuum Pressure as Pre-Cooling System

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.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย (รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบุญธรรม และ ผศ. ดร. ณัฏวิภา เจียรระโนวฑิระ) และคณะผู้ช่วยวิจัย (นายชาญณรงค์ กาญจนะ นางสาววิพันธ์ ชาวบ้านกร่าง นายพิพัฒน์ ชัยมังคละกุล) ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนงบประมาณเพื่อการวิจัยจากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 วิธีการดำเนินการ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	4
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน	4
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า	5
2.5 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย	10
3.1 แนวความคิดในการออกแบบ	10
3.2 การหาขนาดของถังสุญญากาศ	10
3.3 การหาความหนาของถังสุญญากาศ	11
3.4 แบบของเครื่องเครื่องทำไอศกรีม	
โดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสุญญากาศ	12
3.5 การทดลองทำไอศกรีมโดยเครื่องทำไอศกรีม	
โดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสุญญากาศ	16
บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์	29
4.1 เวลาในการทำงานของการทดลองแต่ละระบบ	29
4.2 สมบัติน้ำกะทิ	29
4.3 สมบัติของไอศกรีม	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
4.4 การใช้พลังงานและการหาประสิทธิภาพของเครื่องทำไอศกรีม	33
4.5 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	44
เอกสารอ้างอิง	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างแบบบันทึกผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม	23
ตารางที่ 4.1 เวลาในการทำงานของการทดลองแต่ละระบบ	29
ตารางที่ 4.2 สมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น	30
ตารางที่ 4.3 สมบัติของน้ำกะทิล้างพาสเจอร์ไรซ์	30
ตารางที่ 4.4 สมบัติของไอศกรีมเกี่ยวกับสี ความหนืดและ Soluble solids	31
ตารางที่ 4.5 สมบัติของไอศกรีมเกี่ยวกับเนื้อสัมผัส การขึ้นฟูและการใช้พลังงาน	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Saturation Vapor Pressure (mmHg) กับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	4
รูปที่ 3.1 แบบมอเตอร์ขนาด 48 วัตต์ 50 Hz	12
รูปที่ 3.2 แบบใบกวนชนิดที่ 1	13
รูปที่ 3.3 แบบใบกวนชนิดที่ 2	13
รูปที่ 3.4 แบบฝาถังและสลัก	14
รูปที่ 3.5 แบบฝาถัง (ต่อ)	14
รูปที่ 3.6 แบบ pin รอกกันถังและ plate ปิดถัง	15
รูปที่ 3.7 แบบตัวถัง	15
รูปที่ 3.8 ชุดถังปั่น	16
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ต่างๆของเครื่อง	17
รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
รูปที่ 3.11 เครื่องวัดสี	18
รูปที่ 3.12 เครื่องวัดความหนืด	19
รูปที่ 3.13 เครื่องวัดค่า Total Soluble Solids	19
รูปที่ 3.14 เครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกล	20
รูปที่ 3.15 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE LAB ในรูป สามมิติ	24
รูปที่ 3.16 ไอศกรีมที่ปั่นได้	24
รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการวัดค่าสี	24
รูปที่ 3.18 กราฟที่ความเร็วรอบ 60 rpm ใบกวนแบบที่ 1 ที่ความดันบรรยากาศ	28
รูปที่ 3.19 กราฟที่ความเร็วรอบ 50 rpm ใบกวนแบบที่ 1 ที่ความดันบรรยากาศ	28
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบ	42
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบที่ระดับบรรยากาศปกติ	42
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องที่ระดับบรรยากาศ	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

"ไอศกรีม" ถือได้ว่าเป็นตัวช่วยขจัดนิมในสภาวะอากาศร้อนระอุ ความเย็นและความหวานของไอศกรีมจะทำให้รู้สึกผ่อนคลายอารมณ์ได้เป็นอย่างดี [1]

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

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

ไอศกรีมพรีเมียม 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

ผู้ประกอบการไอศกรีมระดับล่างต้องมีการปรับตัวอย่างมากเพื่อประคองตัวให้อยู่รอดท่ามกลางการแข่งขันที่รุนแรง

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

กรรมวิธีการทำให้ไอศกรีมแข็งตัวที่ความดันบรรยากาศปกติใช้เวลานานพอสมควรจึงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเนื่องด้วยหลักทฤษฎีพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของการระเหย และการเดือดของน้ำ ในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ (760 mmHg) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100°C และเมื่อมีความดันบรรยากาศต่ำลง (ต่ำกว่า 760 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 จะถูกนำมาอ้างอิงและประยุกต์ใช้กับการทดสอบคุณภาพไอศกรีมในการทำโครงการนี้ด้วย

งานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องทำไอศกรีมใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ โดยการศึกษาหาระดับความดันที่เหมาะสม รวมถึงการออกแบบใบกวน เพื่อเพิ่มคุณภาพการแข็งตัวของไอศกรีม ซึ่งเป็นการช่วยประหยัดเวลาและอาจประหยัดพลังงาน นอกจากนี้โครงการนี้อาจเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาอุตสาหกรรมไอศกรีมในอนาคตโดยเพิ่มมาตรฐานการผลิต และคิดค้นรสชาติไอศกรีมที่เป็นเอกลักษณ์ของไทยเพื่อการบริโภคภายในประเทศ และส่งออกต่างประเทศเพื่อให้ไอศกรีมซึ่งมีตราสินค้าของไทยเป็นที่รู้จักในตลาดโลกและเป็นการเพิ่มมูลค่าส่งออกให้กับไอศกรีมของไทยอีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อเป็นแนวทางนำไปพัฒนาเป็นเครื่องทำไอศกรีมในระดับอุตสาหกรรมที่สามารถผลิตได้รวดเร็วและประหยัดพลังงานมากขึ้น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

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

2) ระบบทำความเย็นเบื้องต้นที่ใช้เพื่อลดอุณหภูมิของส่วนผสมไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ทันทีคือการใช้ปั๊มสุญญากาศลดความดันในถังปั่นทำให้อุณหภูมิจึงส่วนผสมลดลงอย่างรวดเร็วและใช้น้ำแข็งผสมเกลือไว้รอบถังปั่น

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมการทำไอศกรีมในอนาคตเนื่องจากแนวคิดที่ออกแบบและสร้างเครื่องทำไอศกรีมนี้ใช้ระบบสุญญากาศ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาสร้างเครื่องที่ใหญ่ขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม เพราะการใช้ระบบสุญญากาศเป็นการช่วยประหยัดเวลาและอาจช่วยประหยัดพลังงานทั้งยังได้กำลังการผลิตต่อหนึ่งหน่วยเวลาเพิ่มมากขึ้น

1.5 วิธีการดำเนินการ

โครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานต่างๆและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ ทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับการระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ทฤษฎีของใบกวน ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่งกำลังรวมทั้งการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย และทำการทดสอบเพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นจากชุดทดลองโดยเริ่มจากการปรับความดันภายในตัวถัง วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อหน่วยเวลาและหาอัตราการระเหยของน้ำ จากนั้นจึงทำการออกแบบและเขียนแบบเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นที่ความดันสุญญากาศโดยเริ่มจากการออกแบบและหาขนาดของถังสุญญากาศ ออกแบบชนิดและปรับความเร็วรอบใบกวน หาขนาดมอเตอร์ขับใบกวนรวมทั้งออกแบบและวางระบบควบคุมการทำงานของเครื่องให้เหมาะสมกับเครื่องทำไอศกรีมดังกล่าว

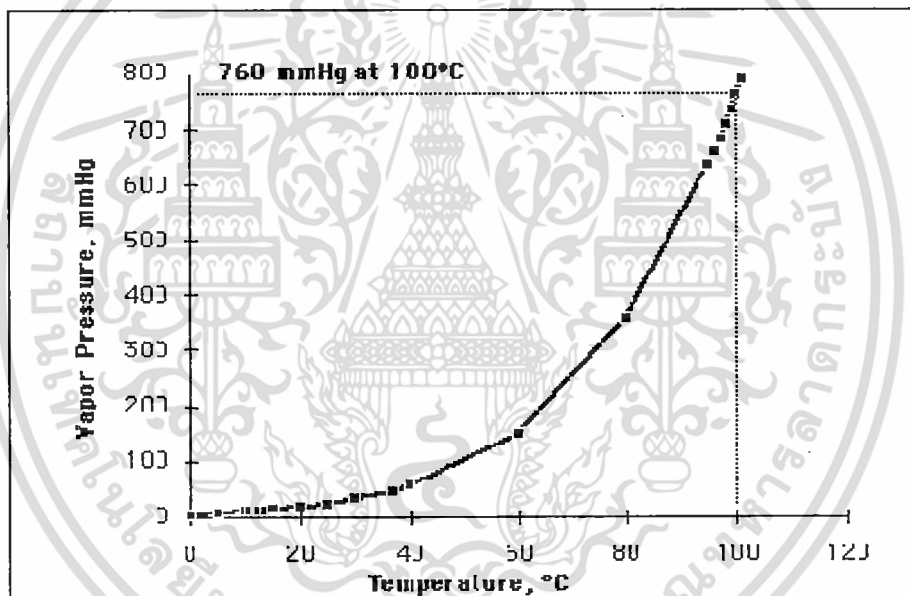
จากนั้นขั้นตอนต่อมา คือ การทดลองของชุดทดลองที่ออกแบบขึ้น เพื่อทดสอบสมรรถนะในการทำงานของเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นที่ความดันสุญญากาศ วัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของไอศกรีมและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่ได้จากเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสุญญากาศและนำมาเปรียบเทียบกับระบบความดันบรรยากาศที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป หาข้อบกพร่องของเครื่องและทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง และนำข้อมูลทั้งหมดมาเขียนรายงาน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ [5]

ปกติของเหลวสามารถหนีหลุดออกจากผิวของของเหลวไปเป็นก๊าซได้ (ระเหย) ถ้าความดันเหนือผิวเท่ากับความดันบรรยากาศปกติ โมเลกุลที่หนีจากผิวได้จะมีน้อย แต่ที่ความดันสูญญากาศ คือ ที่ที่มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ (760 mmHg) ซึ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่ความดันต่ำลงจะส่งผลให้จุดเดือดของการกลายเป็นไอของของเหลวจะต่ำลง (ต่ำกว่า 100°C) (รูปที่ 2.1) โมเลกุลจะหนีหลุดออกไปได้ง่ายพร้อมกับการพาความร้อนออกไปกับไอซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของของเหลวลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เมื่อโมเลกุลหนีหลุดออกไป (ระเหย) ปริมาณของแข็งที่หลงเหลืออยู่ในของเหลว นั้นจะมีมากขึ้นซึ่งทำให้จุดเดือดของของเหลวสูงขึ้นเพราะฉะนั้นการลดความดันในถังไอศกรีมจะทำให้ของเหลวระเหยออกไปในระดับหนึ่งเท่านั้น หลังจากนั้นจะอยู่ในสภาวะสมดุลไม่มีการระเหยอีก



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Saturation Vapor Pressure (mmHg) กับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) [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

$$Q = C \Delta T \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

ด้วยนิยามของความจุความร้อนจำเพาะนี้ จึงสามารถหาพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างสสารที่มีมวล m และสิ่งแวดล้อมของมันได้ เมื่ออุณหภูมิของสสารเปลี่ยนแปลง ΔT ได้เป็น

$$Q = mc\Delta T \quad (2.3)$$

จากสมการ จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น $\Delta T = T_2 - T_1$ จะเป็นค่าบวก (+) ทำให้ Q มีค่าเป็นบวกด้วย ซึ่งหมายความว่า พลังงานความร้อนถูกถ่ายเท จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่สสาร แต่เมื่ออุณหภูมิจลดลง 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

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

ถ้าให้ Q = ปริมาณความร้อน m = มวลของวัตถุที่เปลี่ยนสถานะ

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า จะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ ผลคูณระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้า เขียนสมการได้ดังนี้

$$P = IV \quad (2.5)$$

เมื่อกำหนดให้ P คือ กำลังไฟฟ้า หน่วยเป็น วัตต์

I คือ ความต่างศักย์ หน่วยเป็น โวลต์

V คือ กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็น แอมแปร์

ในการหากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ หาได้จาก

$$P = IV \cos \phi \quad (2.6)$$

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

ดังนั้นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงๆ ถ้าใช้เป็นเวลานานจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก ซึ่งในการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าจะคิดเป็นหน่วยที่ใหญ่กว่าจุด คือ กิโลวัตต์ และคิดเวลาเป็นชั่วโมง ดังนั้น หน่วยของพลังงานไฟฟ้าจึงเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ หน่วย หรือยูนิต ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{พลังงานไฟฟ้า(หน่วย)} = \text{กำลังไฟฟ้า(กิโลวัตต์)} \times \text{เวลา (ชั่วโมง)} \quad (2.7)$$

2.3.2 การควบคุมมอเตอร์ [12]

2.4.2.1 Invertor

การทำงานของ Invertor

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่หมุนด้วยความเร็วต่างๆกันนั้น จะขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กต่อเฟสของตัวมอเตอร์ และความถี่ของแหล่งจ่ายไปตามสมการ

$$N = \frac{120f}{p} \quad (2.8)$$

เมื่อ N คือ ความเร็วเชิงโรตัส, rpm

f คือ ความถี่ของแหล่งจ่าย, Hz

p คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กต่อเฟส, pole/phase

เช่น มอเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ 50 Hz ความเร็วเชิงโรตัส จะมีค่าเท่ากับ 1500 rpm ดังนั้นถ้าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนแปลง จะทำให้ความเร็วเชิงโรตัสเปลี่ยนแปลงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการดังกล่าวจึงนำมาสร้างเป็น Inverter ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงความถี่ของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ไปเป็นความถี่ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ของแรงดันกระแสตรง ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ได้

การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสสลับ จะทำโดยการควบคุมความถี่อย่างเดียวไม่ได้ ต้องมีการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ด้วย

2.4 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย

(เนื้อหาทั้งหมดในบทนี้อ้างอิงมาจาก [13])

2.4.1 การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอย่างง่าย

การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อยอย่างง่าย จำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางด้านกลศาสตร์ วัสดุ พลศาสตร์ วัสดุศาสตร์และอื่นๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานและการนำไปใช้งาน

1. การบิด

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีพื้นที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (torque) จะบิดไปเป็นมุมเท่ากับ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (2.9)$$

โดยที่

T คือ โมเมนต์บิด

L คือ ความยาว

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (polar area moment of inertia)

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad \text{สำหรับท่อกลมตัน} \quad (2.10)$$

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

โดยที่

d คือ ขนาดผ่านศูนย์กลางภายนอก

d_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

ความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดจะมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกของท่อนกลมนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ r คือ รัศมีนอกของท่อนกลม

ในการใช้สมการที่ (2.11) มักจะจำเป็นที่จะต้องหาค่าโมเมนต์บิดให้ได้เสียก่อน สำหรับเครื่องจักรกลที่ส่งกำลังมาตามเพลา จะคำนวณหาค่าโมเมนต์บิดได้จาก

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

โดยที่ W_p คือ กำลังขับเป็น W

T คือ โมเมนต์บิดเป็น Nm

ω คือ ความเร็วเชิงมุมเป็น rad/s

N คือ ความเร็วรอบเป็น rev/s

2.4.2 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

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

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

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

ส่วนความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวแกนของทรงกระบอก เรียกว่า ความเค้นในแนวแกน (longitudinal stress) มีค่าน้อยกว่าความเค้นในแนวเส้นรอบวงครึ่งหนึ่ง นั่นคือ

$$\sigma_l = \frac{pR}{2t} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สำหรับภาระผนังบางทรงกลม

$$t = \frac{pR}{2\eta\sigma} \quad (2.17)$$

สำหรับภาระผนังบางทรงกระบอก

$$t = \frac{pR}{\eta\sigma} \quad (2.18)$$

โดย

η คือ ประสิทธิภาพของตะเข็บหรือรอยต่อ

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบภาระผนังบางจะต้องทำตามเกณฑ์ของภาระความดันทั้งนั้นเพื่อให้ได้ความปลอดภัยและภาระที่ใช้จะได้มาตรฐานเพียงพอ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

3.1 แนวความคิดในการออกแบบ

- (1) ถังหรือภาชนะที่ใช้ทำถังปั่นไอศกรีมต้องทนแรงดันสุญญากาศได้
- (2) ใบกวนที่จะใช้ในถังสุญญากาศต้องสามารถกวนส่วนผสมไอศกรีมได้อย่างทั่วถึงเพื่อความเข้ากันของเนื้อไอศกรีม, การกระจายและถ่ายเทความเย็นที่ดี
- (3) เฟลาขับใบกวนต้องสามารถทนต่อแรงบิดได้
- (4) กำลังของมอเตอร์ต้องเพียงพอต่อการขับใบกวน
- (5) เลือกใช้วัสดุที่ใช้ได้กับอาหาร

3.2 การหาขนาดของถังสุญญากาศ

ในการหาขนาดของถังสุญญากาศที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกและอยู่ในลักษณะวางตามแนวดิ่ง โดยจะพิจารณาจากปริมาตรของส่วนผสม 2 ลิตร ที่ต้องการใส่ในตัวถังเพื่อปั่นเป็นไอศกรีม เมื่อบรรจุเข้าไปในถังมีความสูงจากก้นถังเท่าใดแล้วจึงกำหนดขนาดของถัง

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

$$\text{รัศมี } (r) = 8 \text{ cm}$$

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

$$\text{ต้องการปริมาตร } (v) = 2 \text{ ลิตร} = 2000 \text{ cm}^3$$

หาความสูงของส่วนผสมของไอศกรีมจากก้นถัง

$$\text{จากสูตร } v = \pi r^2 h$$

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

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

$$= 9.95 \text{ cm}$$

ความสูงของส่วน ไอศกรีมที่สูงขึ้นจากก้นถังในปริมาตร 2000 ml เท่ากับ 9.95cm พบว่าสอดคล้องกับความสูงถังที่กำหนดไว้ (1) 18 cm

ถ้าต้องการส่วนผสมไอศกรีมที่ใส่ในถัง 3000 ml

$$\text{จากสูตร } v = \pi r^2 h$$

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

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

$$= 14.92 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.3 การหาความหนาของถังสุญญากาศ

วัสดุที่จะใช้ทำถังสุญญากาศสำหรับประกอบการเกี่ยวกับการบริโภคน้ำจะต้องใช้วัสดุที่ไม่เป็นพิษต่ออาหารหรือเครื่องดื่มหากกล่าวในโครงการนี้ได้ใช้วัสดุ Stainless Steel AISI Grade 304 ซึ่งใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะ [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

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

เมื่อ σ_y คือ ค่า Yield Strength ของ Stainless Steel

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

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

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

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

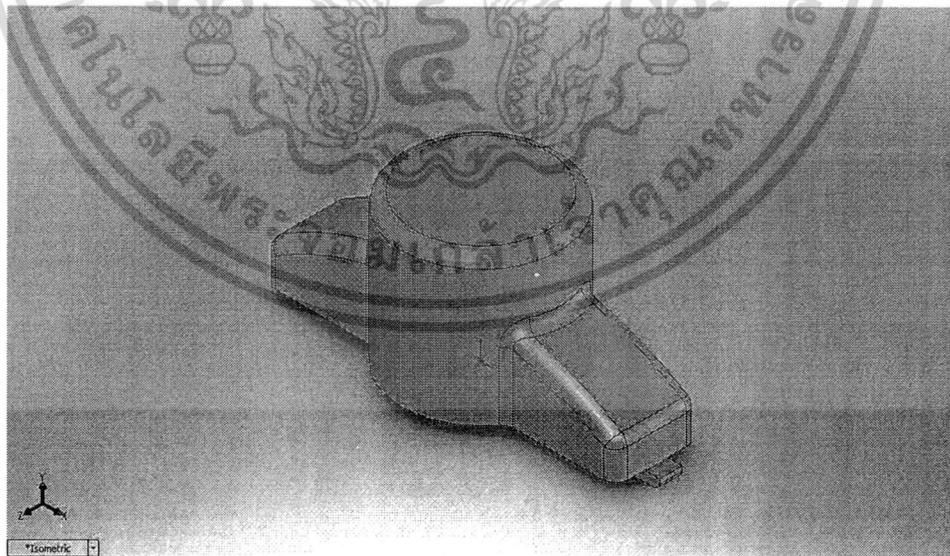
เมื่อร์ศมีของถัง (r_1) มีค่าเท่ากับ 8 cm

$$\begin{aligned} t &= \frac{Pr_i}{2\sigma_d} \\ &= (0.1 \text{ N/mm}^2)(80 \text{ mm}) / (2 \times 41 \text{ N/mm}^2) \\ &= 0.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

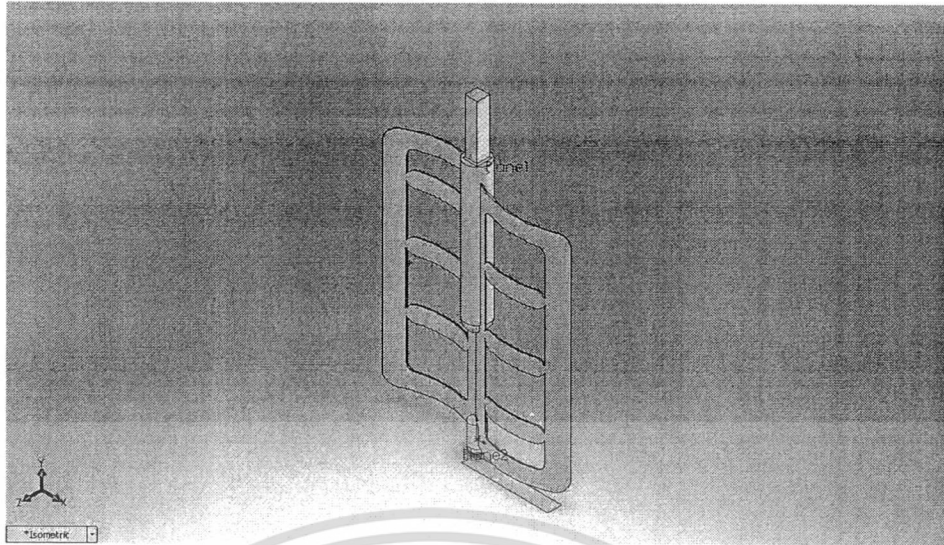
3.4 แบบของเครื่องเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสุญญากาศ

แบบของชิ้นส่วนต่างๆของตัวเครื่องแสดงในรูป

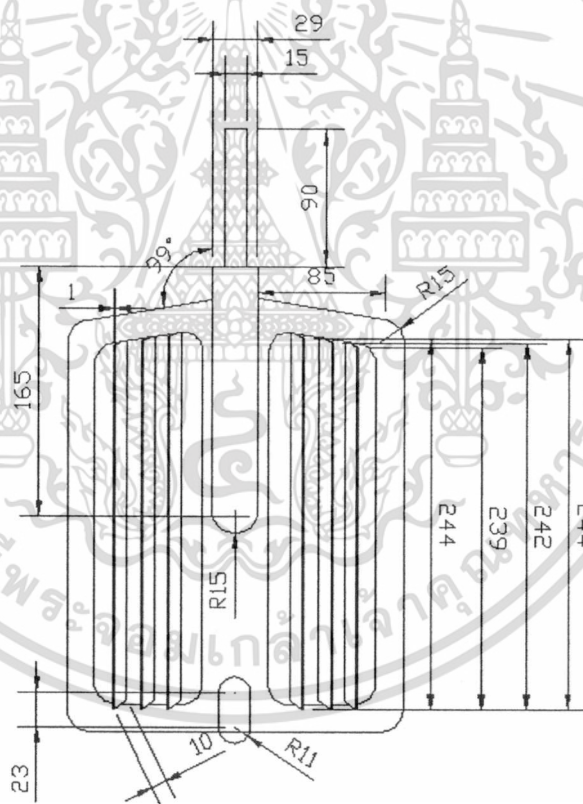


รูปที่ 3.1 แบบมอเตอร์ขนาด 48 วัตต์ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

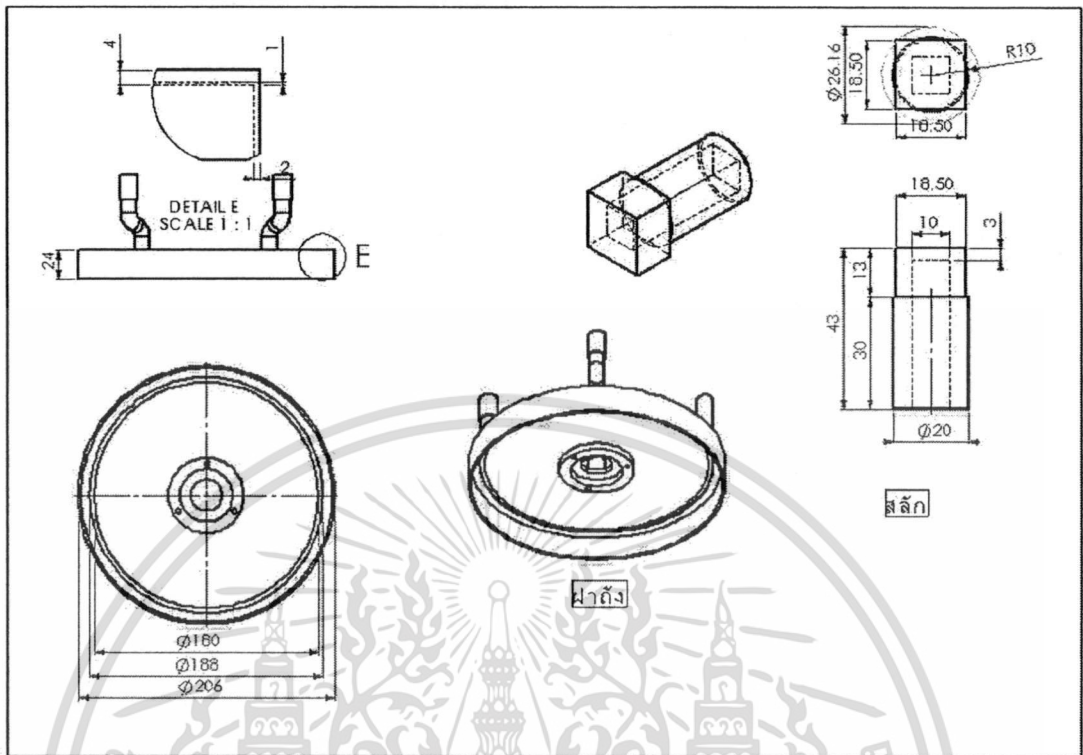


รูปที่ 3.2 แบบใบกวนชนิดที่ 1

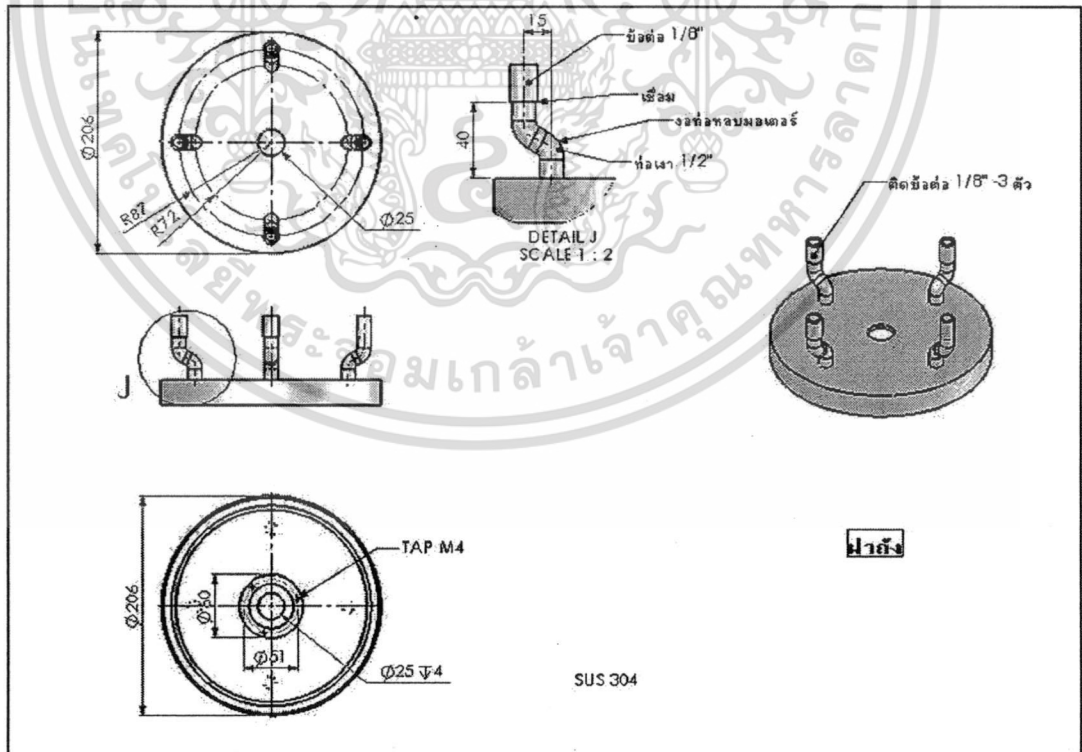


รูปที่ 3.3 แบบใบกวนชนิดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

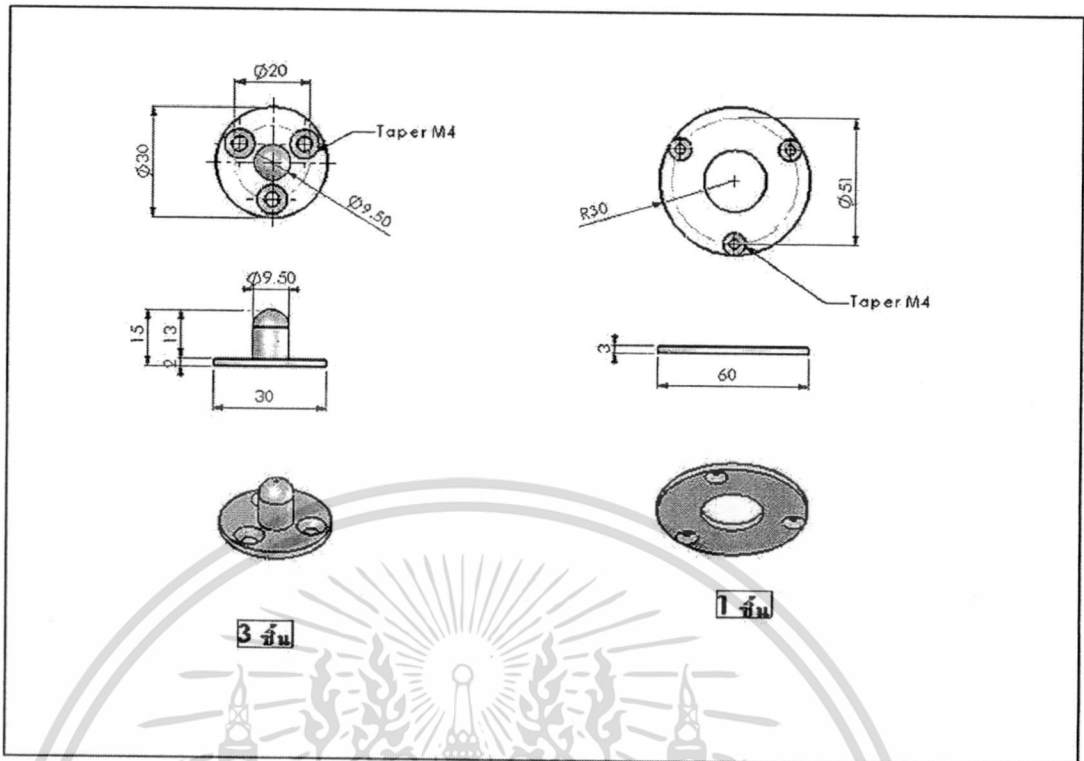


รูปที่ 3.4 แบบฝาถังและสลัก

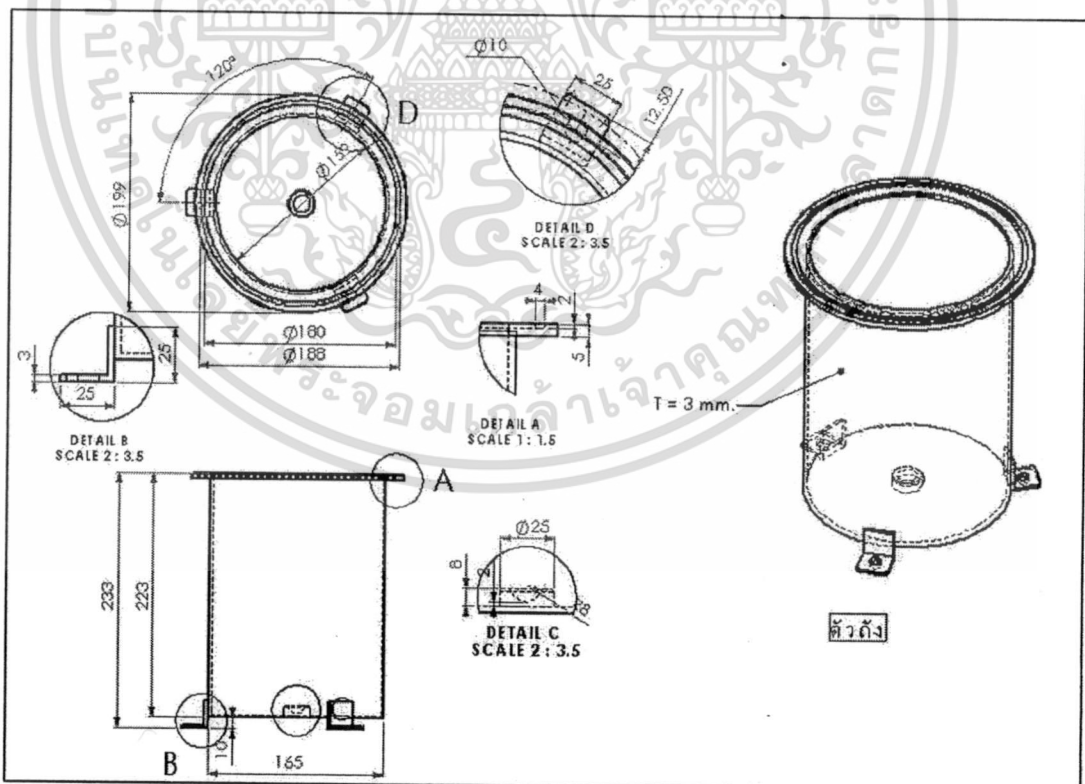


รูปที่ 3.5 แบบฝาถัง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

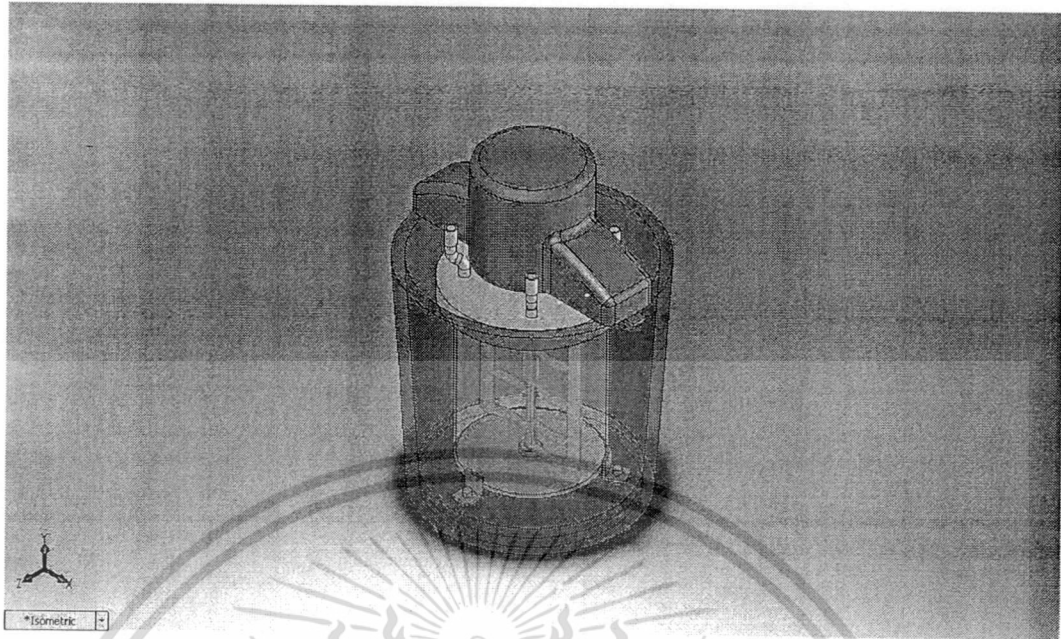


รูปที่ 3.6 แบบ pin รอกกันถิ่งและ plate ปิดถิ่ง



รูปที่ 3.7 แบบตัวถิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ชุดถังปั่น

3.5 การทดลองทำไอศกรีมโดยเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ

3.5.1 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

3.5.2 วัสดุและอุปกรณ์

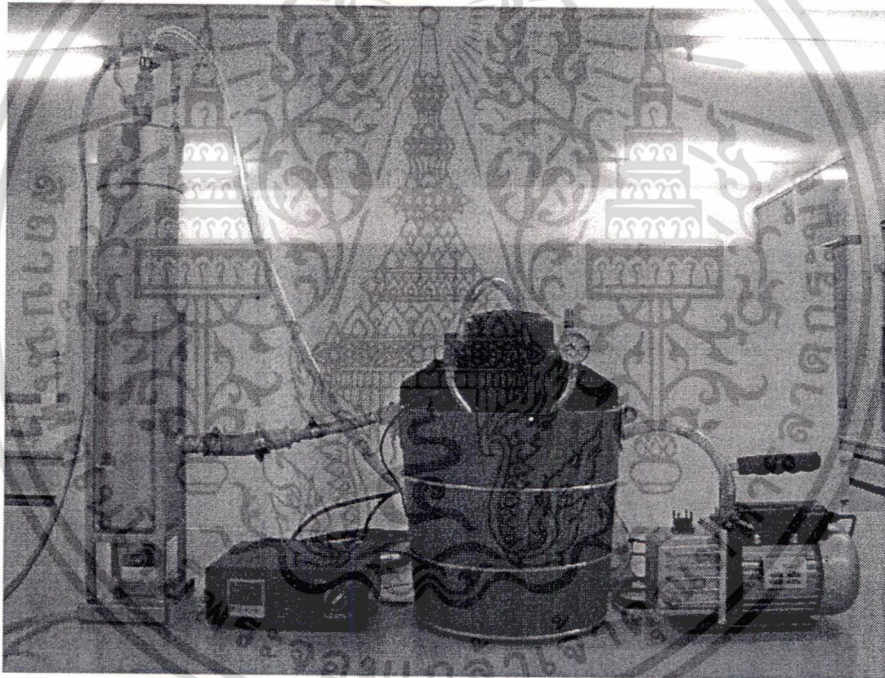
ประกอบด้วย (รูปที่ 3.9)

- (1) ถังปั่นไอศกรีม
- (2) ถังไม้
- (3) มอเตอร์ปั่นไอศกรีม
- (4) ใบพัด 2 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- (5) อินเวอร์เตอร์
- (6) เครื่องวัดอุณหภูมิ
- (7) ป้อนน้ำ
- (8) คอนเดนเซอร์
- (9) แคลมป์มิเตอร์
- (10) น้ำแข็ง
- (11) เกลือเม็ด
- (12) นาฬิกาจับเวลา
- (13) แท่งคนพลาสติก
- (14) ถังน้ำ
- (15) ป้อนสูญญากาศ



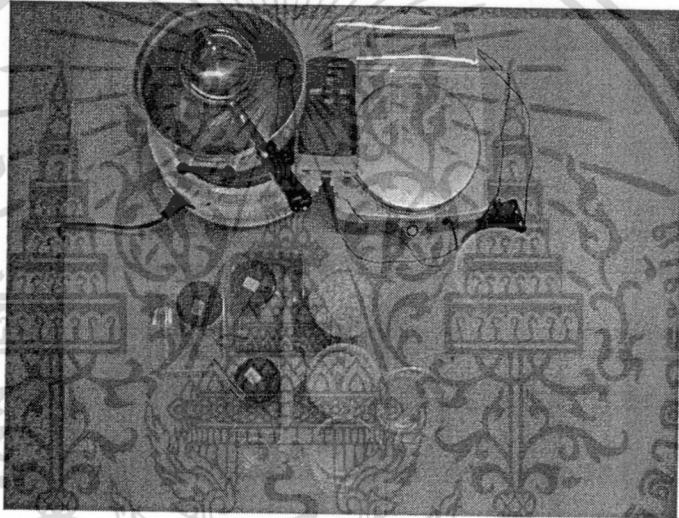
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ต่างๆของเครื่อง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย (รูปที่ 3.10)

- | | | |
|---|---|-----------|
| (1) เทอร์โมคัปเปิ้ล | 1 | เครื่อง |
| (2) เครื่องชั่งยี่ห้อ Adventurer รุ่น ARC 120 | 1 | เครื่อง |
| (3) กระจกบอทดวงขนาด 1000 มิลลิเมตร | 1 | กระจกบอ |
| (4) กระจกป้องดวงเกลื่อ | 1 | กระจกป้อง |

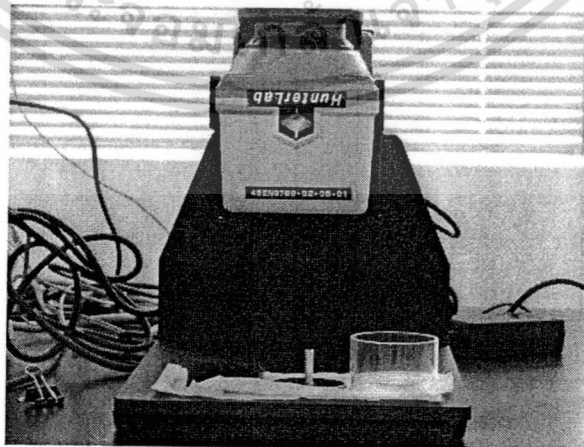
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร	6	บีกเกอร์
(6) กระจกตวงน้ำแข็ง	1	กระจกตวง
(7) บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร	4	บีกเกอร์
(8) เทอร์โมมิเตอร์	1	แท่ง
(9) แท่งแก้วคนส่วนผสม	2	แท่ง
(10) กระจกและพลาสติกใส่ตัวอย่างไอศกรีม	3	กระจกตวง
(11) เต้าไฟฟ้า	1	เตา
(12) หม้อต้ม	1	ใบ
(13) ทัพพีสำหรับคน	1	อัน



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

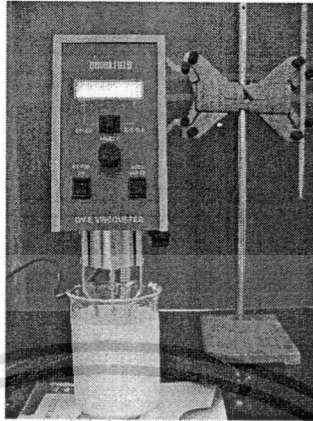
(14) เครื่องวัดค่าสี เครื่อง color meter รุ่น Miniscan XE Plus 45/0 LAV (Reston, USA.) (รูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(15) เครื่องวัดความหนืด เครื่อง Rotational Viscometer รุ่น LVDV-E (Brook field ,USA.), Spindle No. s61, s64 (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 เครื่องวัดความหนืด

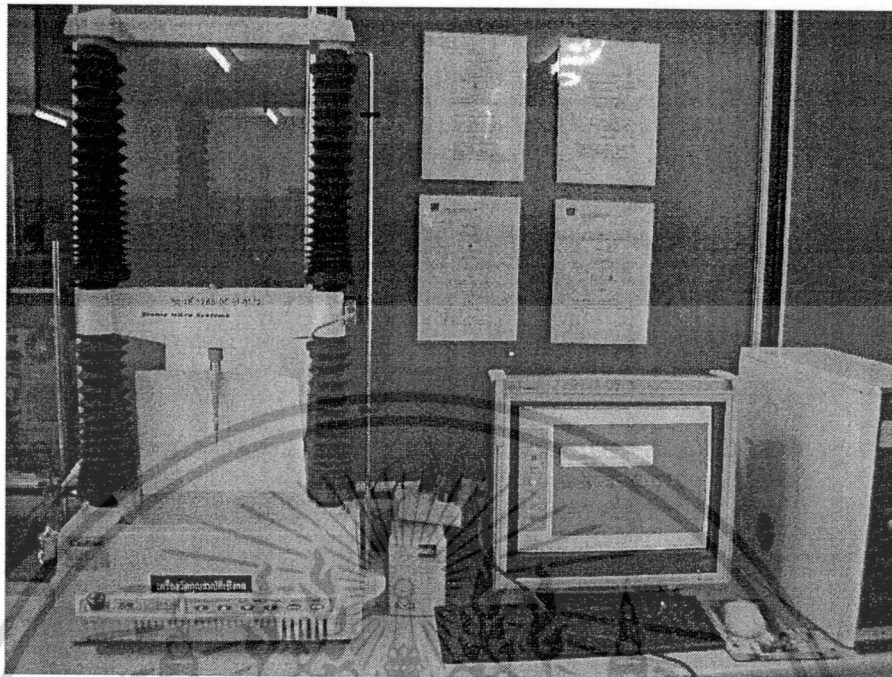
(16) เครื่องวัดค่า Total Soluble Solids เครื่อง Pocket Refractometer รุ่น PAL-1 (Atago, Japan) (รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.13 เครื่องวัดค่า Total Soluble Solids

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(17) เครื่อง Texture Analysis ยี่ห้อ TA-HD PLUS รุ่น 5120 พร้อมหัวกดชนิด P/2 :2 DIA Cylinder Stainless (รูปที่ 3.14)



รูปที่ 3.14 เครื่องวัดคุณสมบัติเชิงกล

3.5.3 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. เคี้ยวส่วนผสมให้ได้น้ำสีใสไม่ขุ่นไม่ตกตะกอนนอนก้นหม้อต้ม
4. นำส่วนผสมที่เป็นของเหลว (น้ำกะทิกั้นสด, นมสดจืด) เทลงหม้อต้มหมั่นคนเพื่อป้องกันส่วนผสมไหม้เคี้ยวจนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที ปิดไฟ ยกลง (เพื่อเป็นการพาสเจอร์ไรซ์ส่วนผสม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำส่วนผสม ไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วนำมาปั่นในเครื่องปั่นไอศกรีม
6. นำไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้วไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25 ถึง -30 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำแข็งและการแข็งตัวของไอศกรีม

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

3.5.4 วิธีการทดลอง

- (1) นำกะทิชนิด 1 กิโลกรัมไปคั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิโดยไม่ต้องเติมน้ำซึ่งจะได้น้ำกะทิกั้นสด 500 มิลลิลิตร สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง
- (2) นำกะทิกั้นสดที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเริ่มต้น ได้แก่ สี, ความหนืด, Total Soluble Solid
- (3) เตรียมส่วนผสมสำหรับการทำไอศกรีม 2000 มิลลิลิตรแล้วทำการพาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมทั้งหมด
- (4) นำส่วนผสมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้วไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี, ความหนืด, Total Soluble Solid
- (5) เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆสำหรับการทดลองดังรูปที่ 3.9
- (6) ทำการทดลองปั่นไอศกรีมด้วยใบกวนชนิดที่ 1 ที่ความดันบรรยากาศปกติที่ความเร็วรอบ 50, 60 และ 70 rpm ตามลำดับและนำไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้วทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ 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 ตามลำดับและนำไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้วทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี ความหนืด Total Soluble Solid การขึ้นฟูของไอศกรีมและเก็บตัวอย่างไอศกรีมที่ -18°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (11) ทำการทดสอบซ้ำข้อ (10) เพื่อจะนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย
- (12) ทำการทดสอบซ้ำข้อ (10)-(11) แต่เปลี่ยนชนิดของใบกวนเป็นใบกวนชนิดที่ 2
- (13) ในขณะที่ทำการทดลองต้องจับเวลาการทำงานทั้งหมดและวัดค่าการใช้กระแสไฟเพื่อคำนวณการใช้พลังงาน
- (14) เปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมด

3.5.5 วิธีการวัดคุณสมบัติของไอศกรีม

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

Aime et al.,2001. ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาที่มีปริมาณไขมันต่างกัน โดยใช้วิธีทางประสาทสัมผัสและการวัดความหนืดปรากฏด้วยเครื่องวัดความหนืด

ก. ความแน่นเนื้อ (Firmness)

โดยการกดไอศกรีมเข้ากับเพดานด้านบนและพิจารณาปริมาณน้ำหนักรที่ลื่นทำให้ไอศกรีมแบน มีหลักการพิจารณาดังนี้

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

ข. ความหนืด (Viscosity)

โดยการชิมไอศกรีมตัวอย่าง ½ ซ้อนชา แล้วหมุนไอศกรีมเบาๆระหว่างลิ้นและเพดาน ทันทีที่เป็นของเหลวให้ประเมินความง่ายในการเคลื่อนที่มีหลักการพิจารณาดังนี้

- High มีแรงต้านการเคลื่อนที่ทำให้เคลื่อนที่ยาก และรู้สึกเหนียวบนเพดาน
- Low มีแรงต้านการเคลื่อนที่น้อย ทำให้เคลื่อนที่ง่ายกว่าอาจรู้สึกเป็นน้ำทันทีที่ละลาย

ค. ระดับความเนียน

โดยการชิมไอศกรีมตัวอย่าง 1 ซ้อน แล้วแผ่ไอศกรีมบนเพดานและลิ้นและพิจารณาการสัมผัสบนลิ้น

- Not smooth เนื้อไอศกรีมมีลักษณะหยาบ
- High degree เนื้อไอศกรีมมีลักษณะเนียนเรียบ กระจายสม่ำเสมอบนเพดาน

ง. Mouth coating

โดยเริ่มจากการรับประทานขนมปัง 1 ชิ้น จากนั้นชิมไอศกรีม 1 ซ้อน ทำให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมระหว่างลิ้นและเพดานแล้วพิจารณาฟิล์มที่หลงเหลือภายในปาก มีหลักการพิจารณาดังนี้

- Low มีฟิล์มหลงเหลือ เคลือบภายในปากน้อย
- High มีฟิล์มหลงเหลือ เคลือบภายในปากมาก

จ. ความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเริ่มตั้งแต่หน้าไอศกรีม 1 ซ่อนเข้าปาก แล้วพิจารณาความเย็นด้วยหลักการดังนี้

- น้อย
- มาก

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างแบบบันทึกผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

ตัวอย่าง ไอศกรีม	ความ เย็น	ความแน่น เนื้อ	ความ หนืด	ความ เนียน	Mouth coating	รสชาติ		
						หวาน	มัน	อโรย

2. การทดสอบเชิงตัวเลข

ก. ระบบการวัดค่าสี

สีเป็นปัจจัยคุณภาพปัจจัยแรกที่สุดที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจยอมรับคุณภาพของอาหาร เพราะสีเป็นสิ่งที่คนเรารับรู้ได้ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับการรับรู้ทางประสาทสัมผัสชนิดอื่น สียังสามารถบอกถึงปัจจัยคุณภาพอื่น คือ ความแก่อ่อน ความสุก และความสด ซึ่งมนุษย์จะมีการจดจำความหมายของสีที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีค่าสีมาตรฐานเพื่อใช้บ่งชี้ว่าสีที่เราเห็นมีค่าเท่าใดเพื่อที่เกษตรกร ผู้ซื้อ ผู้ผลิตและผู้บริโภคได้เข้าใจตรงกันและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ

ซึ่งระบบการวัดค่าสีที่นิยมใช้ในงานวิจัยทางด้านอาหารจะนิยมใช้ระบบ CIE Color (L^* , a^* , b^*) ซึ่งเป็นระบบที่มีการพัฒนามาจากค่าสีโออีโตรีสติมิวลัส (X,Y,Z) และค่าพิกัดสีโออีโครมาติซิตี (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

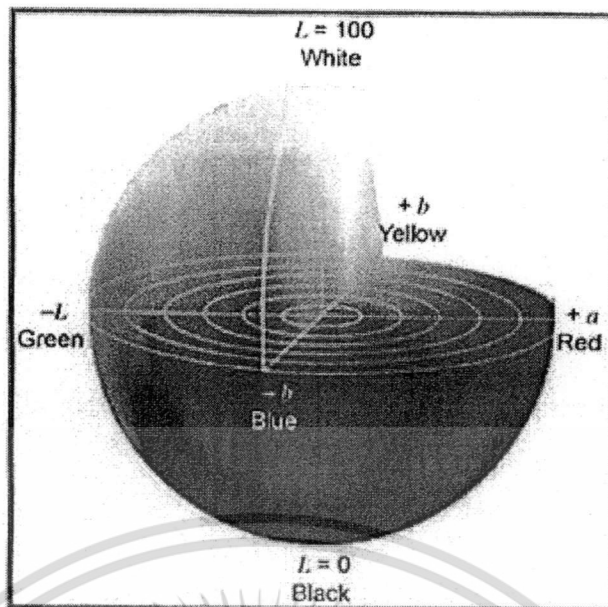
ค่า Hunter a^* เป็นบวก แสดงความเป็นสีแดง

ค่า Hunter a^* เป็นลบ แสดงความเป็นสีเขียว

3. ค่า Hunter b^* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือความเป็นสีน้ำเงิน โดยที่

ค่า Hunter b^* เป็นบวก แสดงความเป็นสีเหลือง

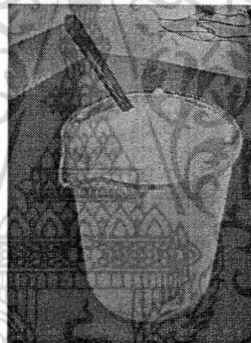
ค่า Hunter b^* เป็นลบ แสดงความเป็นสีน้ำเงิน



รูปที่ 3.15 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE LAB ในรูป สามมิติ

การวัดค่าสี

1. นำตัวอย่างไอศกรีมที่ปั่นเรียบร้อยแล้ว ดังรูป 3.16



รูปที่ 3.16 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 3.17 จากนั้นปิดฝาและครอบด้วยฝาครอบสีดำแล้วกดปุ่ม Read Sample เพื่อให้เครื่องวัด อ่านค่าสี



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการวัดค่าสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เก็บผลการทดลองที่ได้จากตารางลงใน Excel เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ข. การวัดค่าความหนืด

วัสดุและอุปกรณ์

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

ขั้นตอนการทดลอง

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

ค. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัส หมายถึง สิ่งที่เราได้โดยการสัมผัส เช่น การเคี้ยว การจับ การฟังเสียงขณะเคี้ยว ว่ามีลักษณะอย่างไร เช่น ความแข็ง นุ่ม อ่อน นอกจากนี้ยังอาจหมายถึงลักษณะผิวที่มองเห็นจากภายนอก วัสดุ เช่น หยาบ ละเอียด เป็นต้น

การวัดค่าเนื้อสัมผัส โดยใช้หวักดแบบ เพื่อทดสอบ Texture

วัสดุและอุปกรณ์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องวัดสมบัติเชิงกล เลือก New > Graph
2. เช็ดและทำความสะอาดเครื่องและหัวกดด้วยกระดาษทิชชู
3. เลือก T.A. > Calibrate > ทำการ Calibrate Force ตัวเครื่องวัดโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานหนัก 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 > สร้างไฟล์เตอร์ที่ต้องการเก็บไฟล์ไว้ในไดรฟ์ที่เราต้องการ, กำหนด Probe Selection เป็นแบบ P/2 :2 DIA Cylinder Stainless
7. เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วนำไอศกรีมที่เตรียมไว้วางบนแท่นให้ได้ศูนย์กลาง
8. เลื่อนหัวกดลงมาในตำแหน่งที่สูงกว่าเนื้อ ไอศกรีมเพียงเล็กน้อยเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการทดลอง
9. กดปุ่ม Run A Test ที่ค้างไว้จากข้อ 6 โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลจากหัวกดได้ เพื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างแรงกดและระยะทาง
10. เช็ดทำความสะอาดหัวกดทุกครั้งก่อนที่จะเปลี่ยนกล่องบรรจุ ไอศกรีมเพื่อทดลองครั้งต่อไป
11. ใช้โปรแกรม Texture Exponent 32 ในการหาค่า Average softness, Energy used at 20 mm, Average force, Maximum force โดย Macro ซึ่งมีคำสั่งดังนี้

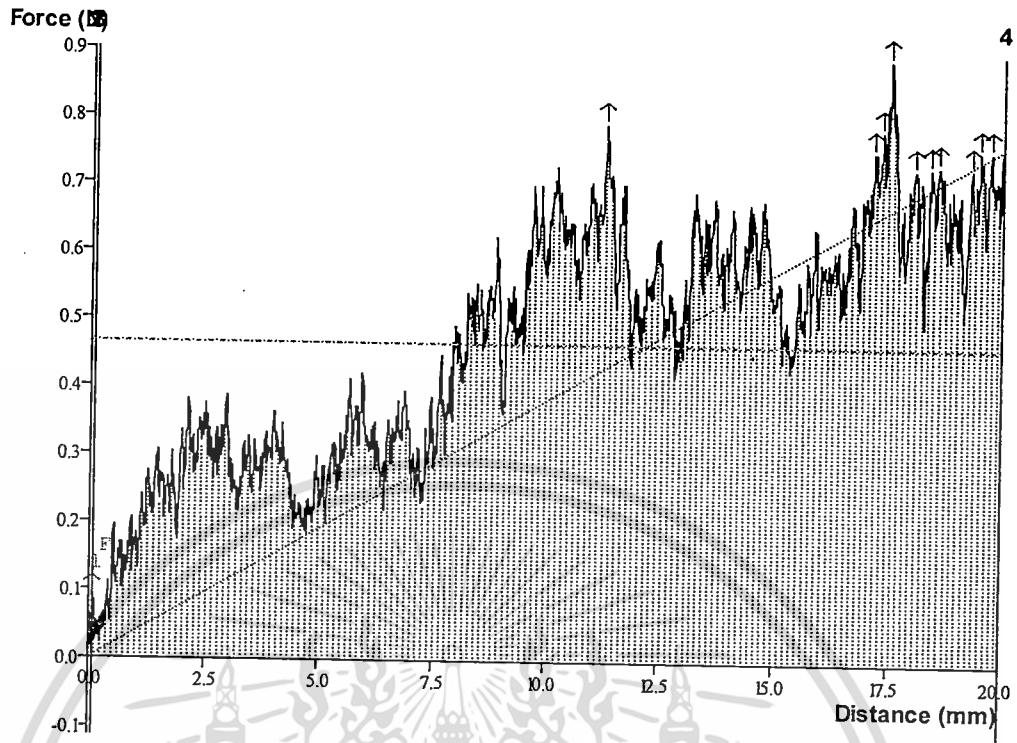
Program	R	F	?	A	I	Comment
Clear Graph Results						
Redraw						
Search Forwards						
Go to Min. Time						
Drop Anchor						
Go to... Force	2		N			
Drop Anchor						
Gradient	Active ...		*			
Area	Active ...		*			
Go to Peak +ve Value	Force					
Mark Value Force			X			
Drop Anchor						
Select Anchor	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

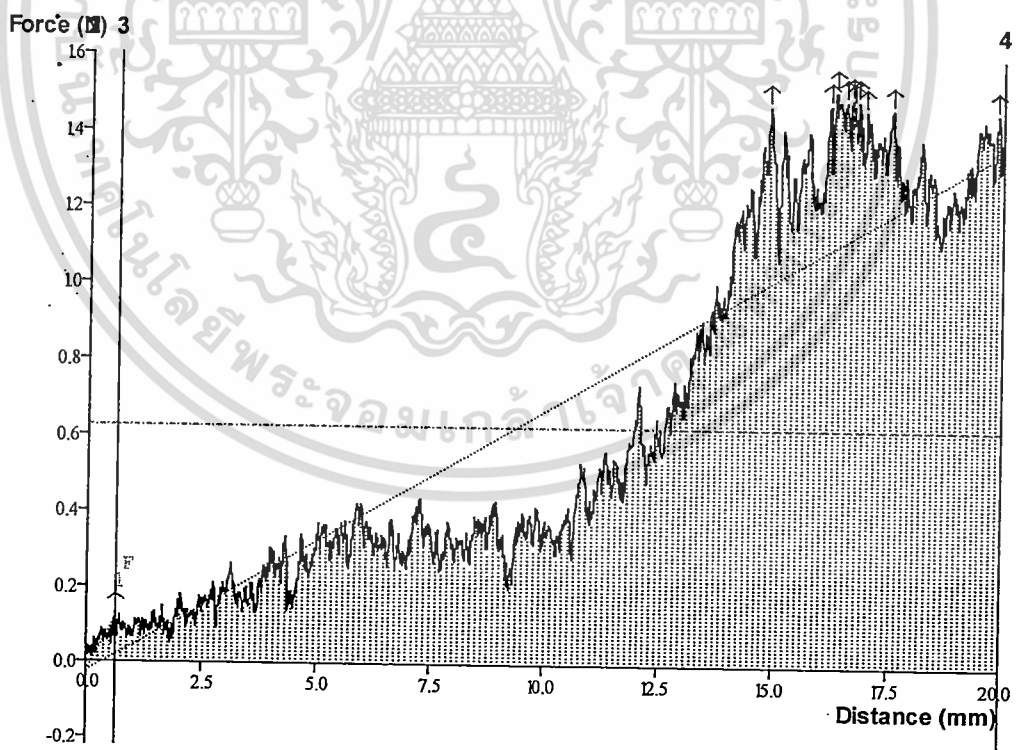
- Average firmness = $(F \text{ ที่ } 20 \text{ mm}) / (D \text{ ที่ } 20 \text{ mm})$
- Energy used for penetrating through 20 mm depth คือ พลังงานที่ใช้เมื่อกดลึก 20 mm
- Average force คือ ค่าแรงเฉลี่ยที่ใช้กดลึก 20 mm
- Maximum force คือ ค่าแรงสูงสุดที่ใช้กดลึก 20 mm

ตัวอย่างการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง จากโปรแกรม Texture Exponent 32 (รูปที่ 3.18 และ รูปที่ 3.19)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 กราฟที่ความเร็วรอบ 60 rpm ไบควอนแบบที่ 1 ที่ความดันบรรยากาศ



รูปที่ 3.19 กราฟที่ความเร็วรอบ 50 rpm ไบควอนแบบที่ 1 ที่ความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 เวลาในการทำงานของการทดลองแต่ละระบบ

แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เวลาในการทำงานของการทดลองแต่ละระบบ

ตัวอย่าง ไอศกรีม	เวลาที่ใช้เมื่ออุณหภูมิลด ถึง 30 °C (min)	เวลาที่อุณหภูมิเริ่ม คงที่ (min)	เวลาเสร็จสิ้น (min)	
I1-50	10.5	9.83	37	104.5
IV1-50	4.5	4	40	99
I1-60	8.5	8	31.5	107
IV1-60	6.5	4.24	40	90.5
I1-70	8	7	40.5	158.5
IV1-70	4	1.71	32.5	97.5
I2-50	7	6	37.5	73.5
IV2-50	6.5	5.72	30.5	69
I2-60	7	7.19	40.5	87.5
IV2-60	4	3.68	31	85.5
I2-70	7	6.18	42.5	102.5
IV2-70	5	5.26	31.5	108.5

หมายเหตุ การทดลองที่ระดับความดันบรรยากาศปกติใช้สัญลักษณ์ I, การทดลองที่ระดับต่ำกว่าบรรยากาศใช้สัญลักษณ์ IV ตัวอย่างเช่น I1-70 คือ การทดลองที่ระดับความดันบรรยากาศปกติด้วยใบกวนชนิดที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 70 rpm เป็นต้น

4.2 สมบัติน้ำกะทิ

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น และ ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติของน้ำกะทิล้างพาสเจอร์ไรซ์ ได้แก่ สี ความหนืดและ Soluble solids

จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ พบว่าค่า L^* , a^* , b^* , ความหนืด และ Total soluble Solid ของคุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น มีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าน้ำกะทิที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการทำไอศกรีมมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองว่าวัตถุดิบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์และจากคุณสมบัติของส่วนผสมหลังพาสเจอร์ไรซ์ พบว่าค่า L^* , a^* , b^* , มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความหนืด มีค่าลดลงเนื่องจากมีส่วนผสมของน้ำเพิ่มขึ้น

และค่า Total soluble Solid มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีส่วนผสมของน้ำตาลเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น

ตารางที่ 4.2 สมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น

ระบบการทดลอง			คุณสมบัติต่างๆ				
ระดับการทำ ความเย็น	ใบ กวน	rpm	L*	a*	b*	ความหนืด (cP)	Soluble solids (%Brix)
ที่บรรยากาศ ปกติ	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
ที่บรรยากาศ ปกติ	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
ที่สุญญากาศ	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
ที่สุญญากาศ	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
เฉลี่ย			84.85 ± 1.20	-0.23 ± 0.26	6.14 ± 1.09	20.47 ± 2.46	12.4 ± 0.6
จำนวนตัวอย่าง			72	72	72	48	24

ตารางที่ 4.3 สมบัติของน้ำกะทิล้างพาสเจอร์ไรซ์

ระบบการทดลอง			คุณสมบัติต่างๆ				
ระดับการทำ ความเย็น	ใบ กวน	rpm	L*	a*	b*	ความหนืด (cP)	(%Brix)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่บรรยากาศปกติ	แบบที่ 1	50	81.23 ± 0.11	-1.65 ± 0.15	6.87 ± 0.28	8.43 ± 0.76	22.94 ± 0.19
		60	80.58 ± 0.58	-1.81 ± 0.16	5.97 ± 0.74	8.04 ± 0.81	22.54 ± 0.62
		70	80.70 ± 0.83	-1.56 ± 0.27	6.31 ± 0.67	7.57 ± 0.59	23.09 ± 0.69
ที่บรรยากาศปกติ	แบบที่ 2	50	80.57 ± 0.50	-1.68 ± 0.08	6.36 ± 0.50	7.42 ± 0.06	23.00 ± 0.66
		60	78.59 ± 0.08	-1.43 ± 0.10	5.10 ± 0.19	8.00 ± 0.15	22.85 ± 0.92
		70	81.11 ± 0.36	-1.51 ± 0.26	6.41 ± 0.42	7.66 ± 0.25	22.73 ± 1.41
ที่สุญญากาศ	แบบที่ 1	50	80.81 ± 1.14	-1.75 ± 0.07	6.32 ± 0.55	7.53 ± 0.06	22.65 ± 0.54
		60	81.93 ± 1.01	-1.82 ± 0.06	7.27 ± 0.26	7.81 ± 1.01	22.32 ± 0.59
		70	80.24 ± 0.86	-1.60 ± 0.14	5.25 ± 0.62	6.40 ± 0.64	22.54 ± 2.17
ที่สุญญากาศ	แบบที่ 2	50	83.14 ± 0.06	-1.86 ± 0.06	7.08 ± 0.09	7.81 ± 1.10	22.00 ± 0.18
		60	80.72 ± 3.16	-2.01 ± 0.29	7.37 ± 1.73	7.66 ± 0.16	23.75 ± 1.81
		70	81.90 ± 0.74	-1.74 ± 0.11	6.02 ± 0.19	7.76 ± 0.25	22.73 ± 1.41
เฉลี่ย			80.96 ± 1.36	-1.70 ± 0.22	6.38 ± 0.91	7.67 ± 0.65	22.7 ± 0.9
จำนวนตัวอย่าง			69	69	69	48	24

4.3 สมบัติของไอศกรีม

ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติของไอศกรีมเกี่ยวกับสี ความหนืดและ Soluble solids และ ตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติของไอศกรีมเกี่ยวกับเนื้อสัมผัส การขึ้นฟูและการใช้พลังงาน

ตารางที่ 4.4 สมบัติของไอศกรีมเกี่ยวกับสี ความหนืดและ Soluble solids

ระบบการทดลอง			คุณสมบัติต่างๆ			
ระดับการทำความเย็น	ใบกวน	rpm	L*	a*	b*	Soluble solids (%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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 4.5 สมบัติของไอศกรีมเกี่ยวกับเนื้อสัมผัส การขึ้นฟูและการใช้พลังงาน

ระบบการทดลอง			คุณสมบัติต่างๆ					
ระดับการทำ ความเย็น	ใบ กวน	rpm	พลังงานที่ใช้ (วัตต์)	Avg. firmness (N/mm)	Energy used at 20 mm (Nmm)	Avg. force (N)	Max. Force (N)	%การขึ้นฟู
ที่บรรยากาศ ปกติ	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
ที่บรรยากาศ ปกติ	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าค่า L^* , a^* , b^* ของไอศกรีมมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าของน้ำกะทิเริ่มต้นและหลังพาสเจอร์ไรซ์, ค่า Total soluble Solid มีค่าใกล้เคียงกับค่าของน้ำกะทิหลังพาสเจอร์ไรซ์ และมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำกะทิเริ่มต้น เมื่อใช้ระบบสูญญากาศ Average firmness มีค่าที่ไม่แน่นอน Energy used for penetrating (20 mm) มีค่าที่ไม่แน่นอน %การขึ้นฟู มีแนวโน้มลดลง และมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.2 ถึง 4.5 สามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติของ texture ได้ดังนี้

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

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

4.4 การใช้พลังงานและการหาประสิทธิภาพของเครื่องทำไอศกรีม

4.4.1 ที่ความดันบรรยากาศปกติ

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

คิดมวลของน้ำแข็งที่ต้องใช้ในการทำไอศกรีม จากความร้อนของน้ำกะทิที่ถ่ายเทออกมาทำให้น้ำแข็งละลาย โดยให้ถึงไม่เป็นฉนวนความร้อน

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

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

c = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำกะทิ ($3.98 \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$) [23]

T_2 = อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกะทิ (60°C)

T_1 = อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำกะทิ (-4°C)

m_2 = มวลน้ำแข็ง (kg)

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

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

$$m_2 = 1.48 \text{kg}$$

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

$$= 1.95 \times 3.98 \times (60 - (-4)) = (1.48 \times 334.8)$$

$$= 496.70 \text{ kJ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของเครื่องทำไอศกรีม(Efficiency)

คิดอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ในส่วนของการทำงานไอศกรีม(ผลิตภัณฑ์) กับพลังงานที่ให้แก่ระบบ (พลังงานที่จ่ายให้แก่อุปกรณ์ต่างๆในระบบและพลังงานจากน้ำแข็งด้วย)

$$\begin{aligned}\text{Eff.} &= \frac{\text{Out}}{\text{In}} \times 100\% \\ &= \frac{496.70}{378.68 + 496.70} \times 100\% \\ &= 56.74\%\end{aligned}$$

4.4.2 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 $= m_2 c \Delta T$

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

$$= 263.87 \text{ kJ}$$

เนื่องจากในขั้นตอนนี้จะ vacuum ไปพร้อมกับการใส่น้ำแข็ง ทำให้อุณหภูมิลดลงเร็วมาก เพื่อให้การคำนวณง่ายขึ้น เราจึงสมมติให้ vacuum อย่างเดียวโดยจะไม่ใช่ค่าอุณหภูมิที่ลดลงจากน้ำแข็ง

- พลังงานที่ใช้หลังจากปิดปั๊มสุญญากาศ (พลังงานที่ใช้จากน้ำแข็งโดยตรง)

โดย $T_2 =$ อุณหภูมิของน้ำกะทิเมื่อความดันคงที่ (26°C)

$T_1 =$ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำกะทิ (-4°C)

$$= m_1 c \Delta T$$

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

$$= 232.83 \text{ kJ}$$

\therefore พลังงานรวมที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ $= 263.87 \text{ kJ} + 232.83 \text{ kJ}$

$$= 496.70 \text{ kJ}$$

คิดมวลของน้ำแข็งที่ต้องใช้ในการทำไอศกรีม (ซึ่งลดลงกว่าเดิม)

$$232.83 = m_2 L$$

$$232.83 = m_2 \times 334.8$$

$$m_2 = 0.70 \text{ kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของเครื่องทำไอศกรีม(Efficiency)

$$\begin{aligned} \text{Eff.} &= \frac{\text{Out}}{\text{In}} \times 100\% \\ &= \frac{496.70}{509.22} \times 100\% \\ &= 97.54\% \end{aligned}$$

4.5 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

4.5.1 ผลการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงาน ที่ความดันบรรยากาศปกติ

1. ต้นทุนคงที่(Fixed Cost)

1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) คิดค่าเสื่อมราคา DP แบบ Straight-line method $DP = (P - S)/L$ โดยราคาของเครื่องทำไอศกรีม (P) เท่ากับ 7293 บาท มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 10% ของราคาเครื่อง

โดยราคาของเครื่องทำไอศกรีมระบบสุญญากาศ มีรายละเอียด ดังนี้

- ถังไม้ + มอเตอร์	2000 บาท (ราคาเครื่องสำเร็จรูป - ราคาของอุปกรณ์อื่นที่มากับตัวเครื่องยกเว้นถังไม้กับมอเตอร์ = 3990 - 1990 = 2000)
- Pressure Gauge	500 บาท
- ชุดถัง Stainless + ใบพัด Stainless แบบที่ 1	3500 บาท
- ใบพัด Stainless แบบที่ 2	1000 บาท
- วาล์วต่างๆ	196 บาท
- สายยาง	80 บาท
- ข้อต่อ	17 บาท

รวมราคาของเครื่องทำไอศกรีม 7293 บาท

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

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

2) ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest or investment) คิดค่าเสียโอกาส

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\text{รวมต้นทุนคงที่ต่อปี(Fixed Cost)} &= \text{ค่าเสื่อมราคา (DP)} + \text{ค่าดอกเบี้ย(I)} \\ &= 656.37 + 95.26 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 751.63 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

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 กิโลวัตต์-ชั่วโมง 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

4) ค่าน้ำแข็ง 1.35 บาทต่อกิโลกรัม ใช้จำนวน 5.5 กิโลกรัม ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็น $1.35 \times 5.5 \times 1 \times 317 \times 5 = 11768.63$ 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 บาทต่อ 100 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 = 114117.46 บาทต่อปี

คิดต้นทุนการใช้งานเครื่องทำไอศกรีม โดยรวมต้นทุนคงที่กับต้นทุนผันแปร เท่ากับ $= 751.63 + 114117.46 = 114869.09$ บาทต่อปี

4.5.2 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
- ชุดถัง Stainless + ใบพัด Stainless แบบที่ 1	3500 บาท
- ใบพัด Stainless แบบที่ 2	1000 บาท
- วาล์วต่างๆ	196 บาท
- สายยาง	80 บาท
- ข้อต่อ	17 บาท
- ปุ่มสุญญากาศ	1926 บาท

รวมราคาของเครื่องทำไอศกรีม 9219 บาท

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

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

2) ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest or investment) คิดค่าเสียโอกาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\text{รวมต้นทุนคงที่ต่อปี(Fixed Cost) = ค่าเสื่อมราคา (DP) + ค่าดอกเบี้ย(I)}$$

$$= 829.71+120.42 \text{ บาทต่อปี}$$

$$= 950.13 \text{ บาทต่อปี}$$

2. ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost)

1) ค่าบำรุงรักษา

$$\text{- ค่าน้ำมันที่ใช้กับปั๊มสุญญากาศ } \frac{500}{3.78} = 132.27 \text{ บาทต่อลิตร ใน 1 ปี ทำงาน 317}$$

$$\text{วัน เปลี่ยนน้ำมัน 6 วันต่อครั้งๆละ 0.3 ลิตร คิดเป็น } 132.27 \times \frac{317}{6} \times 0.3 \times 1 = 2096.50 \text{ บาท}$$

ต่อปี

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

บาทต่อปี

$$\text{- ค่าชิลิโคนเพื่ออุดรอยรั่ว 80 บาทต่อหลอด ใช้จำนวน 2 หลอด ใน 1 ปี คิดเป็น } 80 \times 2 \times 1 = 160 \text{ บาทต่อปี}$$

2) ค่าไฟฟ้า

$$\text{- ใช้มอเตอร์ปั๊มไอศกรีม สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.11 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.9780 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 317 วัน วันละ 5 ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ } 0.11 \times 2.978 \times 1 \times 317 \times 5 = 519.21 \text{ บาทต่อปี}$$

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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 บาทต่อ 100 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

4.5.3 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 4000 บาท มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 10% ของราคาเครื่อง

โดยราคาของเครื่องทำไอศกรีมต้นแบบ 4000 บาท

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

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

2) ดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาส (Interest or investment) คิดค่าเสียโอกาส

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

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

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 กิโลวัตต์-ชั่วโมง 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

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 บาทต่อ 100 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

การวิเคราะห์ตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการต่างๆ ต้องการทราบว่าจำนวนผลผลิตที่ผลิตแล้วคุ้มทุนควรเป็นเท่าไร เพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจ จุดคุ้มทุน (break-even point) คือจุดที่รายได้เท่ากับรายจ่าย นั่นคือกำไรเป็นศูนย์ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุนรายได้ และผลกำไรที่ปริมาณการผลิตต่างๆ การคำนวณหาจุดคุ้มทุน โครงการเดียว

กำหนดให้ C = ต้นทุนรวมในการผลิต

F = ต้นทุนคงที่

V = ต้นทุนแปรผัน

N* = จำนวนที่ผลิตที่จุดคุ้มทุน

N = จำนวนการผลิตที่จุดใดๆ

v = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

R = รายได้

p = ราคาขายต่อหน่วย

ต้นทุนรวมในการผลิต $C = F + V$ (5.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงได้ว่า

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

รายได้

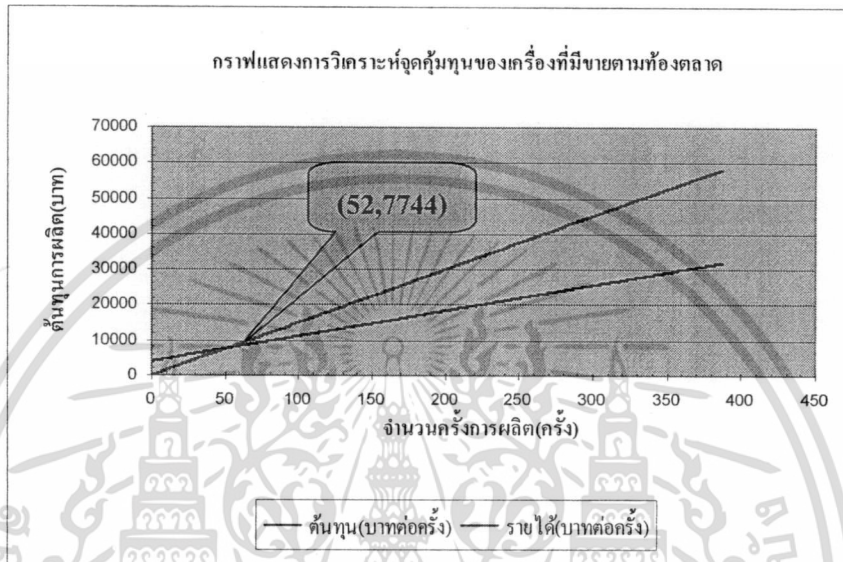
$$C = F + vN \quad (5.3)$$

และ

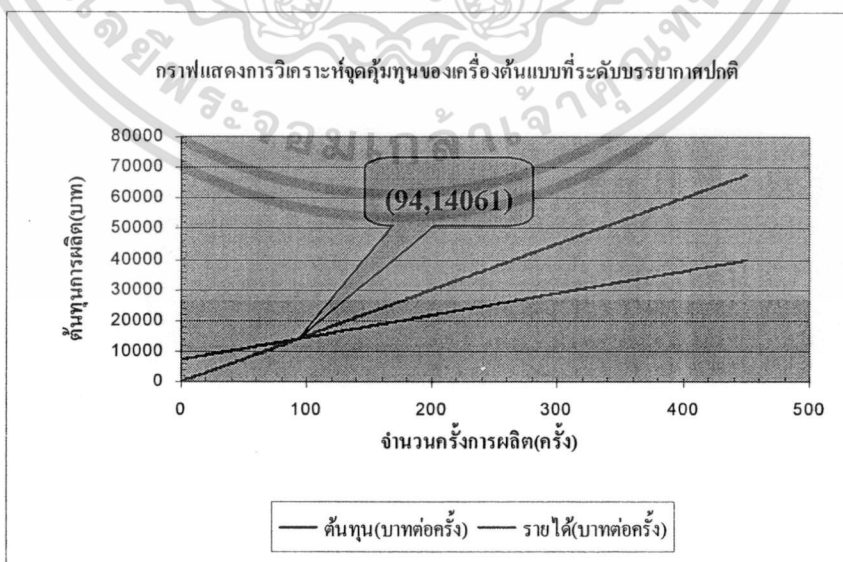
$$R = pN \quad (5.4)$$

$$N^* = F/(p-v) \quad (5.5)$$

เมื่อ N^* เป็นปริมาณที่จุดผลิตคุ้มทุนพอดี สามารถแสดงได้ด้วยกราฟ

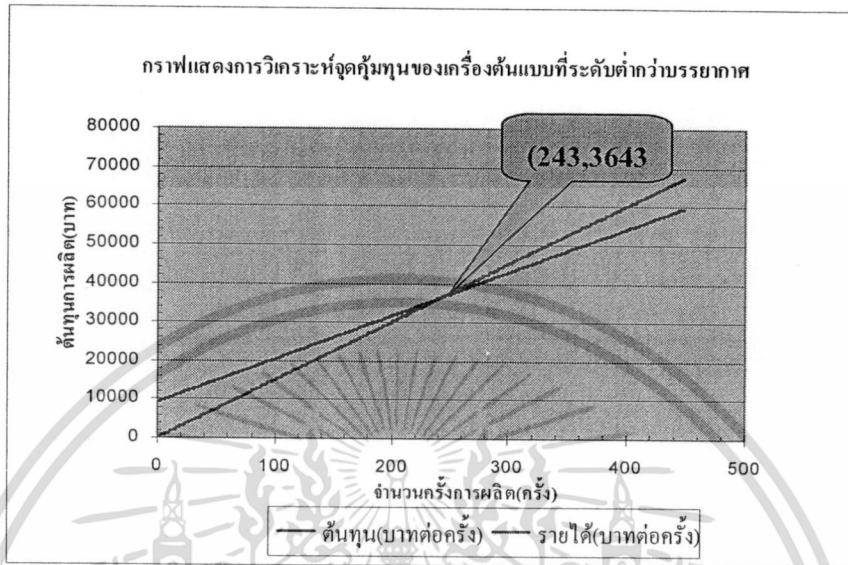


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบ
จากกราฟได้จุดที่ตัดกัน คือ ต้นทุนการผลิต 7744 บาท และจำนวนการผลิต 52 ครั้ง ดังนั้น
ต้องผลิตไอศกรีมเท่ากับ 52 ครั้ง จึงจะคุ้มทุน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องต้นแบบที่ระดับบรรยากาศปกติ
จากกราฟได้จุดที่ตัดกัน คือ ต้นทุนการผลิต 14061 บาท และจำนวนการผลิต 94 ครั้ง ดังนั้น
ต้องผลิตไอศกรีมเท่ากับ 94 ครั้ง จึงจะคุ้มทุน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องที่ระดับบรรยากาศ
จากกราฟได้จุดที่ตัดกัน คือ ต้นทุนการผลิต 3643 บาท และจำนวนการผลิต 243 ครั้ง ดังนั้น
ต้องผลิต ไอศกรีมเท่ากับ 243 ครั้ง จึงจะคุ้มทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. จากการหาสภาวะเบื้องต้นที่เหมาะสม (ความดัน) กับเครื่องทำไอศกรีมแบบใช้ระบบการทำ ความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศนั้นพบว่าความดันที่มากที่สุดที่เครื่องสามารถทำได้ คือ - 725 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งเป็นความสามารถสูงที่สุดเนื่องจากการใช้ระบบการทำ ความเย็นที่ความดัน สูญญากาศถ้าความดันยิ่งต่ำมากจุดเดือดของของเหลวจะยิ่งต่ำลงส่งผลให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว
2. จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ พบว่าค่า L^* , a^* , b^* , ความหนืด และ Total soluble Solid ของคุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น มีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าน้ำกะทิที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการทำ ไอศกรีมมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองว่าวัตถุดิบ ไม่มีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์และจากคุณสมบัติของส่วนผสมหลังพาสเจอร์ไรซ์ พบว่าค่า L^* , a^* , b^* , มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความหนืด และค่า Total soluble Solid มีค่าลดลงและ เพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของน้ำกะทิเริ่มต้น
3. เมื่อเป็น ไอศกรีม พบว่าค่า L^* , a^* , b^* ของ ไอศกรีมมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าของน้ำกะทิเริ่มต้น และหลังพาสเจอร์ไรซ์, ค่า Total soluble Solid มีค่าใกล้เคียงกับค่าของน้ำกะทิหลังพาสเจอร์ไรซ์ และ มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำกะทิเริ่มต้น เมื่อใช้ระบบสูญญากาศ %การขึ้นฟู มีแนวโน้มลดลง และมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น
4. จากการเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของแต่ละพารามิเตอร์ในแต่ละระบบสามารถสรุป ผลได้ดังตาราง

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

5. เมื่อทำการเปรียบเทียบเรื่องของระดับความดันพบว่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศใช้เวลาปั่นไอศกรีมน้อยกว่าแต่ใช้พลังงานมากกว่าที่ความดันบรรยากาศปกติ, ที่ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศสามารถปั่นได้เนื้อไอศกรีมที่หนืดและนุ่มกว่าแต่ฟูน้อยกว่าที่ระดับความดันบรรยากาศปกติ

6. เมื่อทำการเปรียบเทียบในเรื่องของใบกวนพบว่าใบกวนชนิดที่ 2 ใช้เวลาน้อยกว่าและใช้พลังงานน้อยกว่าใบกวนชนิดที่ 1, ใบกวนชนิดที่ 2 สามารถปั่นไอศกรีมได้เนื้อที่เนียนและแน่นซึ่งผู้ชิมมีความชื่นชอบแต่ได้เนื้อไอศกรีมที่ฟูและนุ่มน้อยกว่าใบกวนชนิดที่ 1

7. เมื่อทำการเปรียบเทียบเรื่องของความเร็วรอบพบว่าที่ความเร็วรอบน้อยกว่าจะใช้เวลาน้อยกว่าปั่นไอศกรีมน้อยกว่า, ที่ความเร็วรอบ 70 rpm ปั่นได้เนื้อไอศกรีมที่หนืด ฟูและนุ่มที่สุดและจะลดลงตามความเร็วรอบที่ลดลงตามลำดับ, ที่ความเร็วรอบ 50 rpm ปั่น ไอศกรีมได้เนื้อที่เนียนแน่นที่สุด (ผู้ชิมชื่นชอบ)

8. การเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมต้องพิจารณาจากความต้องการของผู้ผลิตโดยเลือกพารามิเตอร์ให้ตรงตามต้องการได้ดังนี้

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

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีม โดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศนี้เป็นเครื่องต้นแบบตั้งนั้นจึงเกิดปัญหาในเรื่องของความยากลำบากในการติดตั้งหัวแกนใบกวนเข้ากับมอเตอร์ซึ่งทำให้บางครั้งอุณหภูมิเริ่มต้นของการเริ่มปั่นมีค่าไม่เท่ากันถ้ามีการพัฒนาในระดับต่อไปอาจจำเป็นต้องปรับปรุงในเรื่องของระบบการติดตั้ง, การทดลองทั้งหมดอาจต้องมีการทำซ้ำถึง 3 ครั้งเพื่อสามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าทางสถิติให้ได้ค่าที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] เกี่ยวกับไอติม. 2005. [Online].Available:<http://www.thaitv3.com/becnews/index.html>.
- [2] ผลของนมข้าวผงต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมนมข้าว. [Online].Available:<http://www.grad.chula.ac.th/gradresearch6/page.asp?id=115> - 5k
- [3] ไอศกรีมปี'49: สมรภูมิเดือด...ช่วงชิงส่วนแบ่งตลาดรวม 10,000 ล้านบาท. [Online].Available:<http://www.positioningmag.com/prnews/prnews.aspx?id=47147>.
- [4] D.B. Aime, S.D.Amtfield, L.J.Malcolmson, D.Ryland., 2001. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products.
- [5] ปัญญา นามวงศ์, พรเทพ เอี่ยมบำรุง และ มาร์ติน์ ชาญุทธ. 2548. “เครื่องทำน้ำกะทิเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ.”ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต 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].Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/kinetic/watvap.html>.
- [8] นิพนธ์ ชีระพรเพิ่มสุข, บุรณิจน์ ศรีสมศักดิ์ และปณวิช ไกรทอง. 2546. “เครื่องผสมแชมป์” ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] [Online].Available:<http://www.thailandpages.com/customer/machine/Eknavakoll18/>
18/index.html
- [10] [Online].Available: <http://www.wellman.co.th/dt02.html>.
- [11] ครูสุดารัตน์ ณีอุฐ์มีบุญ โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรี. กำลังไฟฟ้า. 2004. [online].Available:http://www.thaigoodview.com/library/teachershow/bangkok/sudarat_n-ok/sec05po1.html
- [12] กองบรรณาธิการ. 2549. ไฟฟ้าอุตสาหกรรม เรื่องน่ารู้สำหรับวิศวกร. “อินเวอร์เตอร์และไดรฟ์, หน้า 93”
- [13] ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. 2522. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่มที่ 1 พิมพ์ครั้งที่10. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอช เอ็น กรุ๊ป จำกัด.

- [14] SWASTIKFOILS.2005.swastikbrochure.pdf. [online].Available:<http://www.swastikfoils>.
- [15] ความเป็นมาของไอศกรีม. [Online].Available:http://www.Welove Eating_com happy Nonstop Eating Online.htm.
- [16] หลักการของไอศกรีมขั้นพื้นฐาน. 2548. [Online].Available:<http://www.Ice-cream fan club\ความรู้ไอติม.htm>.
- [17] รุจิรัตน์ ดรณสนรธา. 2545. รายงานฝึกงาน บริษัท เนสท์เล่ ไอศกรีม (ประเทศไทย. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [18] กระบวนการผลิตไอศกรีม. 2548. [Online].Available:<http://www.Ice-cream fan club-กระบวนการผลิตไอศกรีม.mht>.
- [19] กลิ่นรส. 2550. [Online].Available:<http://www.Ice-cream fan club-เรื่องของกลิ่นรสและเทคนิคการทำไอศกรีมมีกลิ่นรสที่ดี.mht>.
- [20] วิธีการทำไอศกรีม. 2550. [Online].Available:[http://www.pantip.com\สูตรการทำไอติม\[การทำอาหาร\].htm](http://www.pantip.com\สูตรการทำไอติม[การทำอาหาร].htm).
- [21] การตรวจสอบคุณภาพไอศกรีม. 2547. [Online].Available:<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].Available:http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T8J-4FPX2FC-1&_user=1750352&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000054435&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1750352&md5=a854a96ee1369c25b1856c8b10daae53#SECX14.
- [23] Thai Engineering ToolBox, Food and FoodStuff Specific Heat Capacities. 2005. [online].Available:http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html
- [24] พจนานุกรมศัพท์วิทยาศาสตร์ สสวท, ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว. 2005. [online].Available:<http://escivocab.ipst.ac.th/readdoc.asp?no=1643>