

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของสารทำให้คงตัวต่อคุณสมบัติการไหลของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ

**Effect of Stabilizers on Rheological Behaviour of Coconut Milk
as a Function of Temperature**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

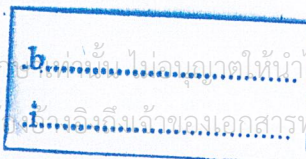
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 49836

วันที่เดือนปี..... ๕ 2 เม.ย. 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษา b. ไม่ถูกต้องให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามนำออกให้ผู้อื่นดูหรือทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต และต้อง i. ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2547

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

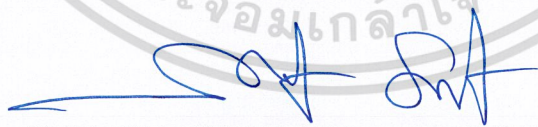
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ผลของสารทำให้คงตัวต่อคุณสมบัติการไหลของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ

ผู้จัดทำ

น.ส. ฉันทกร สุวรรณปรีรักษ์

นาย ปิยะ เปี่ยมรักธรรม

น.ส. สายฝน หาญชัยกุล



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์กัมตกันิชฐ์ ขวัญพฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของสารทำให้คงตัวต่อคุณสมบัติการไหลของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ

น.ส. ฉันทกร สุวรรณบริรักษ์

นาย ปิยะ เปี่ยมรักธรรม

น.ส. สายฝน หาญชัยกุล

อาจารย์กนกนิตย์ ขวัญพุกภัย อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาผลของสารทำให้คงตัวต่อคุณสมบัติทางด้านความหนืด และความหนาแน่นของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ โดยกะทิที่ใช้เตรียมจากเนื้อมะพร้าวต่อน้ำโดยอัตราส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนัก สารทำให้คงตัวที่ใช้คือ โซเดียมคาร์บอกซิเมทิล เซลลูโลส (CMC) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำกะทิ และที่อุณหภูมิ 50 - 90 °C การวัดค่าความหนืด ใช้เครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น DV-III และการวัดความหนาแน่น ทดลองโดยใช้ พิคโนมิเตอร์ ซึ่งค่าความหนืด และความหนาแน่น ของน้ำกะทิที่สภาวะต่างๆจะนำมาหาความสัมพันธ์ และเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ จากการทดลองพบว่า น้ำกะทิแสดงคุณสมบัติเป็นของไหลประเภท non-Newtonian ชนิด Shear thinning โดยผลของอุณหภูมิต่อความหนืด คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดลดลง และผลของความเข้มข้นของสารทำให้คงตัวต่อความหนืด คือ เมื่อความเข้มข้นของสารทำให้คงตัวสูงขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น ส่วนผลของอุณหภูมิต่อความหนาแน่น คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นลดลง และผลของความเข้มข้นของสารทำให้คงตัวต่อความหนาแน่น คือ เมื่อความเข้มข้นของสารทำให้คงตัวสูงขึ้น ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยสมการสำหรับความหนืดคือ $\eta = 41.745 - 14.858C + 116.482C^2 - 0.31233T + 0.0006T^2$, $R^2 = 0.96$ และสมการสำหรับความหนาแน่น คือ $\rho = 1.1078 + 0.125C - 0.032C^2 - 0.0046T + (2.42 \times 10^{-5})T^2$, $R^2 = 0.987$ ค่าดัชนียกกำลังและดัชนีความหนืดคำนวณจากสมการยกกำลัง (Power Law Equation) โดยสมการสำหรับดัชนียกกำลัง คือ $n = 0.495 - 0.1386C + 5.2005C^2 - 9.4444C^3 - 0.0025T + (4.23 \times 10^{-6})T^2$, $R^2 = 0.82$ และสมการสำหรับดัชนีความหนืด คือ $k = 241.874 - 324.293C - 4061.47C^2 + 10772.56C^3 + 4.1593T - 0.0252T^2$, $R^2 = 0.87$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect of Stabilizers on Rheological Behaviour of Coconut Milk as a Function of Temperature

Chanthakon Suwanborirak

Piya Piamraktham

Saifon Hanchaikul

Kankanit Khwanpruk Adviser

2002

Abstract

The effect of stabilizing agent on rheological characteristics and density of coconut milk were studied at different temperature (50 - 90°C). Coconut milk was prepared by using coconut flesh or meat : distilled water at ratio of 1 : 1 by weight. Carboxymethylcellulose (CMC) was used to be a stabilizing agent at concentrations of between 0.1 - 0.5 % by weight per volume. In this experiment, viscosity and density of coconut milk were measure by using Brookfield Viscometer DV-III and pycnometer respectively. The relationship between rheological parameters, temperature and concentration of stabilizing agent was determined. The results were analyzed to obtain these properties as functions of temperature and concentration of stabilizing agent in mathematics models. Results showed that coconut milk is non-Newtonian fluid at all temperatures and concentrations of stabilizing agent studied. Increasing in shear rate resulted in decreasing in viscosity, this shows shear thinning flow behavior. The viscosity of coconut milk's equation was $\eta = 41.745 - 14.858C + 116.482C^2 - 0.31233T + 0.0006T^2$, $R^2 = 0.96$. For density, increase in temperature generally decreased the density. The density of coconut milk's equation was $\rho = 1.1078 + 0.125C - 0.032C^2 - 0.0046T + (2.42 \times 10^{-5})T^2$, $R^2 = 0.987$. The power law model has been used to characterize effects of shear rate on viscosity in order to obtain the consistency index and the flow behavior index. The power law index of coconut milk's equation was $n = 0.495 - 0.1386C + 5.2005C^2 - 9.4444C^3 - 0.0025T + (4.23 \times 10^{-6})T^2$, $R^2 = 0.82$. The consistency index of coconut milk's equation was $k = 241.874 - 324.293C - 4061.47C^2 + 10772.56C^3 + 4.1593T - 0.0252T^2$, $R^2 = 0.87$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญรูปภาพ	ค
สารบัญตาราง	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร	3
2.1 ทฤษฎี	3
2.1.1 กะทิ	3
2.1.2 ลักษณะการไหลของอาหาร	6
2.1.3 ความหนืด และการวัดความหนืด	8
2.1.4 พฤติกรรมการไหล	11
2.1.5 วัตถุประสงค์ของอาหาร	14
2.1.6 อิมัลชัน	17
2.1.7 ไฮโมจีไนเซชัน	23
2.2 การตรวจเอกสาร	32
บทที่ 3 แผนการทดลอง	36
3.1 แผนการทดลอง และการดำเนินงาน	36
3.1.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำกะทิ	36
3.1.2 วิธีการใช้เครื่อง Brookfield DV-III	36
3.1.3 วิธีการใช้เครื่อง Ultrasonics Homogenizer	37
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
3.2.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำกะทิ	37
3.2.2 การทดลองหาค่าความหนืด	38
3.2.3 การทดลองหาความหนาแน่น	38
3.3 วิธีการทดลอง	38
3.3.1 วิธีการหาค่าความหนืด	38
3.3.2 วิธีหาค่าความหนาแน่น	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 แผนผังการทดลอง	40
บทที่ 4 ผลการทดลอง	45
4.1 ผลการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (rpm) กับ ความหนืดปรากฏ(cP) ของน้ำกะทิ	45
4.2 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิ	45
4.3 ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำกะทิ	52
4.4 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์	54
4.4.1 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับความหนืด	54
4.4.2 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับดัชนียกกำลัง	55
4.4.3 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับดัชนีความหนืด	56
4.4.4 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับความหนาแน่น	57
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	58
เอกสารอ้างอิง	60
สัญลักษณ์ที่ใช้	62
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก.	64
ภาคผนวก ข.	72
ภาคผนวก ค.	75
กิตติกรรมประกาศ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า	
รูปที่ 2.1	หลอดวัดความหนืด	9
รูปที่ 2.2	Rotation Viscometer	10
รูปที่ 2.3	ภาพจำลองแสดงการไหลเนื่องจากแรงเฉือนที่กระทำต่อของเหลว	12
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ของแรงเฉือน อัตราเฉือน และความหนืดของสารนิวโตเนียน	13
รูปที่ 2.5	ชนิดของอิมัลชัน	18
รูปที่ 2.6	การเคลื่อนที่เข้าหากันของเม็ดน้ำมันพืช	19
รูปที่ 2.7	การจัดเรียงตัวของโมเลกุลสารอิมัลซิไฟเออร์ที่อยู่ระหว่างผิวร่วม	21
รูปที่ 2.8	เครื่องบดคอลลอยด์ความเร็วสูง	26
รูปที่ 2.9	แผนภาพของเครื่องบดคอลลอยด์ชนิดเพสต์มิลล์ที่ฟีดด้านบน	26
รูปที่ 2.10	เครื่องบดคอลลอยด์ชนิดที่เป็นรอยหัก	27
รูปที่ 2.11	เครื่องไฮโมจิโนเซอร์ชนิดอุลตราโซนิก	28
รูปที่ 2.12	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอิมัลชันระหว่างการทำเนย	31
รูปที่ 3.1	การขูดมะพร้าวด้วยเครื่องขูดมะพร้าว	41
รูปที่ 3.2	เครื่องคั้นน้ำกะทิ	41
รูปที่ 3.3	เครื่อง Ultrasonics Homogenizer	42
รูปที่ 3.4	น้ำกะทิขณะทำการไฮโมจิโนซ์	42
รูปที่ 3.5	อ่างควบคุมความร้อน	43
รูปที่ 3.6	น้ำกะทิขณะให้ความร้อนในอ่างควบคุมความร้อน	43
รูปที่ 3.7	เครื่อง Brookfield รุ่น DV-III สำหรับการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิ	44
รูปที่ 3.8	พิก โนมิเตอร์ขนาด 25 มิลลิเมตร สำหรับการทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำกะทิ	44
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (rpm) กับ ความหนืดปรากฏ(cP) ของน้ำกะทิที่ความเข้มข้น CMC 0.2%	45
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับ %CMC ของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 55 rpm	46
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิของน้ำกะทิที่ %CMC ต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 55 rpm	47
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนียกกำลังกับความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ	50
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนียกกำลังกับอุณหภูมิของน้ำกะทิที่%CMC ต่างๆ	50

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหนักกับความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ	51
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหนักกับอุณหภูมิของน้ำกะทิที่ %CMC ต่างๆ	52
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับ %CMC ของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ	53
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอุณหภูมิของน้ำกะทิที่ %CMC ต่างๆ	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำกะทิ	6
ตารางที่ 2.2 แสดงผลของการโฮโมจีไนเซชันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์	29
ตารางที่ 2.3 ผลของการโฮโมจีไนเซชันต่อเคิร์ดเทนชันในหน่วยกรัม	30
ตารางที่ 2.4 เคิร์ดเทนชันของนมที่ผ่านการโฮโมจีไนเซชัน	30
ตารางที่ 2.5 ผลของการอิมัลซิฟิเคชันต่อคุณค่าทางอาหารในการทำเนย	32
ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของ CMC ต่อ ค่าพารามิเตอร์ของคุณสมบัติการไหลของน้ำกะทิ	48
ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรต่างๆ สำหรับสมการความหนืด	54
ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรต่างๆ สำหรับสมการดัชนียกกำลัง	55
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรต่างๆ สำหรับสมการดัชนีความหนืด	56
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรต่างๆ สำหรับสมการความหนาแน่น	57
ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0%	65
ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.1%	66
ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.2%	67
ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.3%	68
ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.4%	69
ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.5%	70
ตารางที่ ก.7 ผลการคำนวณค่าดัชนียกกำลังและดัชนีความหนืดของน้ำกะทิที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆของสารให้ความคงตัว	71
ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆของสารให้ความคงตัว	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของสารให้ความคงตัวที่ความเข้มข้นต่างๆต่อคุณสมบัติความหนืดและความหนาแน่นของน้ำกะทิ
2. เพื่อสร้างสมการคณิตศาสตร์ของค่าความหนืดและความหนาแน่นในเทอมของความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวและอุณหภูมิ

1.2 หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา

ปัจจุบันมะพร้าวถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของเมืองไทยโดยในปี 2544 ที่ผ่านมา ได้มีปริมาณการส่งออก 16,088 ตัน เป็นมูลค่า 253.3 ล้านบาท[1] เพื่อเป็นการเก็บรักษาผลิตผล และเพิ่มมูลค่าให้กับมะพร้าว จึงได้มีการแปรรูปผลิตผลมะพร้าวไปในรูปแบบต่างๆ เช่น การแปรรูปเป็นกะทิ โดยการบีบหรือคั้นของเหลวออกจากเนื้อของมะพร้าวห้าว ซึ่งน้ำกะทิที่ได้นั้นสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบของอาหารได้ทั้ง คาว และหวาน อาทิเช่น ไอศกรีมกะทิ วุ้นกะทิ ส่วนประกอบสำคัญของอาหารไทย ซึ่งในปัจจุบันชื่อเสียงของอาหารไทยก็ถือได้ว่าเป็นที่ยอมรับกันทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ และอีกมากมาย และในปัจจุบันนี้การผลิตน้ำกะทิเชิงการค้าในระดับอุตสาหกรรม ได้รับการพัฒนาไปในรูปแบบต่างๆ ดังนี้ กะทิพาสเจอร์ไรซ์ กะทิสเตอริไรซ์ กะทิยูเอชที กะทิเข้มข้น [2]

ในกระบวนการแปรรูปน้ำกะทิจำเป็นจะต้องเติมสารต่างๆ เช่น สารกันการเกิดสีน้ำตาล วัตถุกันหืน สารเสริมสารกันหืน สารทำให้คงตัว [3] ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้จะมีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กะทิ ประสงค์(2531) [4] ได้ศึกษาถึงการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์และกัมในการรักษาความคงตัวของน้ำกะทิบรรจุกระป๋องโดยศึกษาสารที่ใช้และปริมาณที่เหมาะสมที่น้ำกะทียังคงมีคุณลักษณะที่เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้นน้ำและไขมัน แต่ไม่ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติการไหล เช่น ความหนืดของน้ำกะทิ และคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของการไหล และคุณสมบัติทางกายภาพ จะเป็นตัวที่จะช่วยในการออกแบบกระบวนการผลิตที่เหมาะสม อีกทั้งยังสามารถควบคุมคุณภาพทั้งในกระบวนการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ [5] ซึ่งการศึกษาผลของสารให้ความคงตัวที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านการไหลและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำกะทิในกระบวนการแปรรูป ยังไม่ปรากฏในเอกสารทั้งภายใน และต่างประเทศ ทำให้เห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงมีความสนใจที่จะศึกษาเพื่อหาค่า และความสัมพันธ์ต่างๆ เพื่อนำค่า และความสัมพันธ์ต่างมาใช้ในการแก้ปัญหาและก่อให้เกิดประโยชน์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลของการทดลองจะสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการอุตสาหกรรมกะทิของประเทศไทยเพื่อให้ทราบถึงผลของสารทำให้คงตัวต่อคุณสมบัติการไหลของน้ำกะทิ ในกระบวนการให้ความร้อน ข้อมูลที่นั่นจะมีผลในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากกะทิ ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้อุตสาหกรรม และผลิตภัณฑ์กะทิของประเทศไทย เป็นที่ยอมรับและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้วิธีการวิเคราะห์ต่างๆ บางขั้นตอนที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ อาจจะใช้เป็นมาตรฐาน อ้างอิง และดัดแปรไปใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านอุตสาหกรรม และการศึกษาต่อไป

1.4 ขอบเขตของโครงการ

การศึกษาผลของสารให้ความคงตัวที่มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านความหนืด และความหนาแน่นของน้ำกะทิ ที่อุณหภูมิ 50 – 90 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวที่ 0.1 – 0.5 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 กะทิ

2.1.1.1 มะพร้าว

COMMON NAME COCONUT, Coco Palm

BOTANICAL NAME *Cocos nucifera* L.

FAMILY Palmaceae

OTHER NAMES Coco, Cocotero (Sp.); Cocotier (Fr.). [6]

มะพร้าวเป็นไม้ยืนต้นใบเลี้ยงเดี่ยวตระกูลปาล์มที่นิยมกันแพร่หลายในทุกภาคของไทย ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา พื้นที่เพาะปลูกมีแนวโน้มลดลง แนวโน้มของผลผลิตมะพร้าว การบริโภค การใช้มะพร้าวในภาคอุตสาหกรรมมีภาวะทรงตัว แต่การส่งออกมะพร้าวอ่อนของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ต้นทุนการผลิตมะพร้าวของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

มะพร้าวได้ชื่อว่าเป็นพืชแห่งชีวิต (The tree of life) เนื่องจากมะพร้าวสามารถนำส่วนต่างๆ มาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางทั้งในด้านการบริโภคและการใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมมะพร้าวของไทยมีดังนี้ อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว กะทิเข้มข้น มะพร้าวฝอยอบแห้ง กากมะพร้าว เส้นใยมะพร้าว แท่งเพาะชำ และอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ (ลำต้น) [7]

สำหรับการใช้ประโยชน์ในแง่เป็นอาหารนั้น จะใช้ในรูปแบบของเนื้อมะพร้าวสดและน้ำกะทิซึ่งใช้กันมากทั้งในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม น้ำกะทิเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในการปรุงอาหารของคนไทยและคนในแถบเอเชียอีกหลายประเทศทั้งอาหารคาวและหวาน น้ำกะทิสามารถมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลายชนิดเช่น กะทิบรรจุกระป๋อง และกะทิผง

โดยธรรมชาติของน้ำเมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้น ชั้นบนเป็นหัวกะทิ (Coconut cream) ชั้นล่างเป็นหางกะทิ (Coconut skim milk) Birosel และคณะ (1963) รายงานว่า เมื่อลดอุณหภูมิของน้ำกะทิลงถึง 50 °F (10 °C) เป็นเวลา 30 นาที จะสามารถปั่นแยกเอาหัวกะทิออกมาได้ และถ้าล้างหัวกะทิด้วยสารละลายเกลือ น้ำประปา และน้ำกลั่นเพื่อกำจัดโปรตีน น้ำตาล เกลือแร่ ที่ละลายอยู่ออกไป ระบบอิมัลชันจะเปลี่ยนแปลงจากชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w) เป็นน้ำในน้ำมัน (w/o) คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำกะทิขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน ได้แก่ ความแก่-อ่อนของมะพร้าว และสภาวะที่ใช้ในการแปรรูปซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญ เช่น วิธีสกัดและปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 การสกัดน้ำกะทิ[4]

การสกัดน้ำกะทิขั้นต้นและรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ

1) การคัดเลือกมะพร้าว

มะพร้าวที่ใช้สกัดน้ำกะทิควรมีอายุพอดี การใช้มะพร้าวอายุต่างกันจะทำให้องค์ประกอบของน้ำกะทิเปลี่ยนไป มะพร้าวที่ยังอ่อนมีปริมาณน้ำตาลสูงไขมันต่ำทำให้ได้น้ำกะทิที่มีความมันน้อย แต่มะพร้าวที่แก่เกินไป ปริมาณ โปรตีนจะลดลง เนื่องจากถูกใช้ไปกับกระบวนการเมตาโบลิซึม (Metabolism) มะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับสกัดน้ำกะทิควรมีอายุ 10 เดือน เพราะมีปริมาณไขมันและโปรตีนสูงสุด

2) การกระเทาะกะลา แยกเนื้อ และกำจัดผิวสีน้ำตาล (testa)

อาจทำได้โดยใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรกล สำหรับโรงงานที่ใช้แรงงานคน จะใช้แผ่นมีดหน้ามีรูปร่างเป็นตัวที (T-shaped iron) ทำให้กะลามะพร้าวแตก และจัดเอาเนื้อมะพร้าวออกจากกะลา ใช้มีดปอกผิวสีน้ำตาลออกจากเนื้อมะพร้าว หรืออีกวิธีหนึ่ง ผ่าครึ่งผลมะพร้าวแล้วชูดเอาเนื้อมะพร้าวออกจากกะลาด้วยเครื่องชูดมะพร้าว (rotary grater) การใช้วิธีหลังนี้จะไม่สามารถเอาเนื้อมะพร้าวออกจากกะลาได้หมด ยังคงมีบางส่วนติดอยู่ที่กะลาจึงเป็นการสูญเสีย หรือถ้าชูดเนื้อมะพร้าวออกได้หมด เนื้อมะพร้าวชูดที่ได้จะมีชิ้นส่วนเล็กของผิวสีน้ำตาลปะปนมาด้วยซึ่งเมื่อนำไปแปรรูปต่อไป ถ้าหากไม่สามารถกำจัดผิวสีน้ำตาลออกจากน้ำกะทิได้หมดแล้ว น้ำกะทิที่ได้จะมีสีคล้ำลง และกลิ่นรสไม่ดีหลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อน ส่วนการใช้เครื่องจักรกลนั้นได้ปรับปรุงวิธีการเอาเนื้อมะพร้าวออกจากกะลาเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำกะทิและเนื้อมะพร้าวตากแห้ง โดยใช้ระบบหม้อหนึ่งไอน้ำภายใต้ความดันสูง วิธีการเริ่มด้วยใส่มะพร้าวในหม้อหนึ่งไอน้ำซึ่งออกแบบให้ความดันเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เปิดไอน้ำ จนกระทั่งความดันเพิ่มสูงขึ้นถึงระดับที่ต้องการจับเวลา จากนั้นปล่อยความดันออกจนหมด ถ้าเลี้ยงมะพร้าวไปตามสายพานเข้าสู่เครื่องมือที่ทำให้มะพร้าวแตกเป็นชิ้น ที่จุดนี้จะได้นเนื้อมะพร้าว 3 ลักษณะคือ เนื้อมะพร้าวที่ไม่มีกะลาและผิวสีน้ำตาล เนื้อมะพร้าวที่ไม่มีกะลาแต่มีผิวสีน้ำตาล และเนื้อมะพร้าวที่ยังคงมีส่วนของกะลาติดมาด้วย ถ้าเลี้ยงชิ้นเนื้อมะพร้าวทั้งหมดนี้ไปยังหน่วยคัดเลือกเพื่อแยกกะลาและชิ้นเนื้อมะพร้าวที่มีกะลาติดอยู่ ออก และแยกชิ้นเนื้อมะพร้าวที่ไม่มีสีผิวสีน้ำตาลออกจากเนื้อมะพร้าวที่มีผิวสีน้ำตาล ความดันไอน้ำและเวลาที่ใช้ซึ่งให้ผลดีที่สุดในการบวนการนี้ คือ 60 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว และ 8 นาที ส่วนที่ความดันต่ำกว่านี้ให้ผลไม่คงที่ และที่ความดันสูงกว่าให้กลิ่นเนื้อมะพร้าวสุก ประสิทธิภาพของการแยกเนื้อมะพร้าวออกจากกะลาอยู่ในช่วง 85 – 98 % คิดตามน้ำหนักของเนื้อมะพร้าวที่ได้ทั้งหมด แต่ถ้าพิจารณาตามปริมาณของเนื้อมะพร้าวที่ไม่มีผิวสีน้ำตาลแล้ว ประสิทธิภาพของกระบวนการประมาณ 80 % ปัจจัยสำคัญซึ่งมีผลต่อการแยกของเนื้อมะพร้าวออกจากผิวสีน้ำตาลคือ อายุ และระยะเวลาในการเก็บรักษาของมะพร้าว มะพร้าวที่แก่เต็มที่

สนองต่อกระบวนการให้ความร้อนดี และทำให้การแยกของเนื้อมะพร้าวเป็นไปด้วยดี แต่ถ้าหากมะพร้าวดังกล่าวนี้ถูกเก็บรักษาไว้นานกว่า 1 เดือน จะทำให้การแยกของผิวสีน้ำตาลไม่ดี

3) การล้างหรือแช่เนื้อมะพร้าว

ในขณะที่ทำการกระเทาะกะลา แยกเนื้อมะพร้าวออกจากกะลา และกำจัดผิวสีน้ำตาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นการใช้แรงงานคน ผิวที่ถูกปอกหรือตัดจะมีน้ำมะพร้าวไหลซึมออกมาและเป็นอาหารที่ดีสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์การปนเปื้อนของจุลินทรีย์อาจมาจาก กะลามะพร้าว ภาชนะและเครื่องมือที่ใช้แปรรูป อากาศและมือพนักงาน จึงต้องมีการล้างหรือแช่เนื้อมะพร้าวที่ได้ก่อนจะผ่านไปยังขั้นตอนต่อไป น้ำที่ใช้ล้างหรือแช่เนื้อมะพร้าวอาจใช้น้ำประปา น้ำร้อน และน้ำใส่สารเคมี เช่น โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1% โซเดียมไฮโปคลอไรด์ 0.05% เป็นต้น

4) การลดขนาดเนื้อมะพร้าว

เนื้อเยื่อของเนื้อมะพร้าวประกอบด้วยเซลล์พาราเนโคมา ซึ่งมีรูปร่างยาวเรียวยาว มีความยาว 70-700 ไมครอน กว้าง 15-80 ไมครอน และมีน้ำมันอยู่เป็นลักษณะเม็ดเดี่ยวๆ อยู่ภายใน ดังนั้นในการสกัดน้ำกะทิจึงจำเป็นต้องมีการลดขนาดเนื้อมะพร้าวให้เหมาะสม เพื่อให้องค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ ถูกปลดปล่อยออกมาได้มากที่สุด เครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาดเนื้อมะพร้าวมีหลายชนิด เช่น electric grater, roller pin mill, hammer mill เป็นต้น การใช้เครื่องมือลดขนาดที่แตกต่างกัน จะมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด ไขมันและ โปรตีนออกจากเนื้อมะพร้าว

5) การบีบหรือคั้นน้ำกะทิ

การบีบหรือคั้นน้ำกะทิออกจากเนื้อมะพร้าวสามารถทำได้โดยการคั้นด้วยมือหรือบีบด้วยเครื่องบีบ แรงที่ใช้คั้นหรือบีบเนื้อมะพร้าวจึงเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งเพราะถ้าใช้แรงไม่เหมาะสม จะมีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำกะทิที่ได้ ควรใช้ระบบการบีบ 2 ขั้นตอน คือใช้เครื่องบีบแบบลูกกลิ้งและตามด้วยเครื่อง screw press เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำกะทิมากที่สุด และปริมาณไขมันของน้ำกะทิที่สกัดได้จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องบีบด้วย เครื่องบีบแบบ hander expeller ให้ประสิทธิภาพในการสกัด ไขมันและ โปรตีนออกจากเนื้อมะพร้าวสูงกว่าเครื่องบีบแบบ Hydraulic press

อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น กะทิเข้มข้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำกะทิมะพร้าวระเหยเอาน้ำออกบางส่วน และนำมาบรรจุในภาชนะปราศจากอากาศ ทำให้เก็บรักษาไว้ได้นานและสะดวกต่อการใช้ เมื่อน้ำกะทิดังกล่าวมาผสมน้ำก็จะคืนรูปเป็นกะทิสดธรรมชาติมันเอง อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้นนับเป็นแนวทางหนึ่งที่จะระบายมะพร้าวผลในช่วงที่มะพร้าวออกมาก ซึ่งเวลานั้นราคามะพร้าวจะตกต่ำ ปัจจุบันคนไทยก็นิยมมาบริโภคกะทิเข้มข้นที่บรรจุในรูปของถุงพลาสติกหรือกระป๋องหรือกล่องกระดาษ UHT มากยิ่งขึ้น

การแปรรูปเป็นน้ำกะทิ คนไทยนำเนื้อมาชุกเป็นฝอยมากขึ้นเป็นน้ำกะทินำไปปรุงอาหารคาวหวาน ปัจจุบันนี้วิทยาการการเก็บรักษาน้ำกะทิได้รับการพัฒนาและสามารถเก็บรักษากะทิได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

- 1). กะทิพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) โดยนำกะทิผ่านความร้อนไม่เกิน 70°C นาน 1 นาที จากนั้นบรรจุลงถุงปิดสนิท เก็บไว้ได้นาน 7 วัน
- 2). กะทิสเตอร์ไรซ์ (sterilization) น้ำกะทิที่ได้รับความร้อน 115°C นาน 45 นาที ความร้อนระดับนี้สามารถทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์ได้ บรรจุในกระป๋องเก็บรักษากะทิได้นาน 2 ปี แต่ความสดจะลดลง
- 3). กะทียูเอชที (Ultra High temperature short Time; UHT) เป็นการนำกะทิผ่านความร้อนสูงกว่า 140°C ภายในเวลาเพียง 4 นาที เอนไซม์และจุลินทรีย์จะถูกทำลาย แต่ยังคงความสดได้ เพราะเวลาในการผ่านความร้อนสั้นมากหลังจากนั้นจึงบรรจุลงในกล่องกระดาษเคลือบ ซึ่งผ่านระบบปลอดเชื้อ วิธีนี้สามารถเก็บกล่องกะทิไว้ในสภาพอุณหภูมิธรรมดาได้โดยไม่เสียเป็นเวลา 1 ปี [2]

น้ำกะทิมีสารอาหารที่สำคัญเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่ต่างกันกล่าวคือ หัวกะทิมีสารอาหารไขมันประมาณ 60-75% โปรตีนประมาณ 1.2-1.5% และความชื้นเท่ากับ 4-7% หางกะทิมีสารอาหารไขมันประมาณ 3-7% โปรตีนเท่ากับ 2-4% และความชื้นสูงถึง 58-64% ในขณะที่น้ำมะพร้าวมีไขมันประมาณ 3.56% โปรตีน 0.23% [8]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำกะทิ [9]

คุณสมบัติทางกายภาพ	ช่วง
ความถ่วงจำเพาะ	1.0029-1.0080
แรงตึงผิว (dynes/cm ²)	97.76-125.43
ความหนืด (poise)	0.0161-0.0202
ดัชนีหักเหแสง	1.3412-1.3446
PH	5.93-6.30

2.1.2 ลักษณะการไหล (RHEOLOGY) ของอาหาร [10]

การกินการดื่มเป็นเรื่องสำคัญของมนุษย์มาแต่ไรแล้ว และทำให้ดำรงเผ่าพันธุ์มาได้จนทุกวันนี้ ลักษณะการกินการดื่มมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยมา ตั้งแต่ย่างเนื้อด้วยกองไฟ หุงหาอาหารในถ้ำ มาจนถึงค้นหาซื้ออาหารในซูเปอร์มาร์เก็ตและเข้าสู่ยุคของอาหาร กึ่งสำเร็จรูป ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตสูงขึ้น และเป็นที่มาของการใช้สิ่งเจือปนในอาหารต่าง ๆ เพื่อให้ได้ลักษณะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลิ่น รส สัมผัส และอายุการเก็บของอาหารตามต้องการ ศัพท์แสงทางวิชาการที่เกี่ยวข้องก็มีมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากแสดงถึงคุณสมบัติของของไหล (Fluid) ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การบีบอัด การไหล การผสม การขนส่ง เป็นต้น

Rheology หมายถึง วิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนรูป (deformation) และการไหลไป (flow) เมื่อวัสดุถูกกระทำด้วยแรงมันจะเปลี่ยนรูปและไหลไปบางครั้งมันจะเคลื่อนที่ไปด้วยคุณสมบัติทาง Rheology ได้แก่คุณสมบัติที่อธิบายออกมาในรูปของแรงการเปลี่ยนรูป และเวลา แต่ละหน่วยของวัสดุอาหารและอาหารสัตว์ที่คัดเลือกมาจากผลิตภัณฑ์เกษตรเป็นระบบชีววิทยามันเป็นสิ่งมีชีวิตและเปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่องในรูปร่าง ขนาด การหายใจ และขบวนการของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในระหว่างการพัฒนาการ และการเก็บรักษาเซลล์ต่างๆ ของหน่วยวัสดุเหล่านั้นจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอิทธิพลภายนอก ได้แก่ความชื้น อุณหภูมิ ออกซิเจน การจัดหาอาหาร ความสิ้นเปลือง พลังงาน เช่นเดียวกับการกระทำร่วมกันของตัวประกอบภายในต่าง ๆ ซึ่งยากที่จะควบคุม ผลที่ได้จากสถานการณ์ที่ยุ่งยากซับซ้อนนี้ทำให้การศึกษาเกี่ยวกับ Rheology ของชีววิทยาต่าง ๆ เป็นไปได้เพียงเอมไพริคัล (Empirical approach) การนำเอาหลักการพื้นฐานทางกลศาสตร์ และ Rheology นับว่าเป็นการเริ่มต้นที่ดีสำหรับการศึกษาพฤติกรรมเชิงกลในระบบชีววิทยาต่าง ๆ เมื่อมีการนำมาใช้กับอาหารก็เพิ่งเล็งไปที่อาหารซึ่งเป็น Fluid หมายถึงอาหารที่มีลักษณะไหลได้ Rheology มีความสัมพันธ์อย่างแนบแน่นกับ Stress (ความเค้น) และ Strain (ความเครียด) ของวัตถุ

Stress หมายถึง แรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่ และสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับทิศทางของแรงเข้ามากระทำกับพื้นที่ลักษณะใด ถ้าแรงกดลงบนพื้นที่ในแนวตั้งก็เป็น Compressive stress ถ้าดึงขึ้นในแนวตั้ง ก็เป็น Tensile stress ถ้าแรงมีทิศทางขนานไปกับพื้นที่เป็น Shear stress พื้นที่ที่ถูกแรงกระทำที่อ้างถึงนี้ เป็นพื้นที่ของพื้นผิวที่ถูกสมมติไว้ข้างในวัตถุ ตัวอย่างเช่น

แรงเค้นปกติ (Normal stress) หมายถึง ส่วนประกอบแรงเค้นที่ตั้งฉากกับระนาบที่มีแรงมากระทำ แรงเค้นปกติอาจจะได้แก่แรงเค้นดึง แรงเค้นกด

แรงเค้นดึง (Tensile stress) หมายถึง แรงเค้นปกติ เนื่องจากแรงที่พุ่งออกมาจากระนาบที่ซึ่งแรงนั้นกระทำ

แรงเค้นอัด (Compressive stress) หมายถึง แรงเค้นปกติเนื่องจากแรงพุ่งเข้าหาระนาบที่ซึ่งแรงนั้นกระทำ

แรงเค้นเฉือน (Shear stress) หมายถึง ส่วนประกอบแรงเค้นที่สัมผัสกับระนาบที่ซึ่งแรงนั้นกระทำ

แรงเค้นบิด (Torsional stress) หมายถึง แรงเค้นเฉือนบนภาคตัดขวางที่เป็นผลมาจากการบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเค้นประธาน (Principal stress) หมายถึง แรงเค้นปกติที่มากที่สุดหรือน้อยที่สุดที่จุด ๆ หนึ่งในระนาบหนึ่งๆ เมื่อพิจารณาใน โอเรียลเทชั่นต่าง ๆ แล้ว ได้ว่าแรงเค้นเฉือนเป็น 0
แรงเค้นแตกหัก (Fracture stress) หมายถึง แรงเค้นปกติจริงบนพื้นที่ภาคตัดขวางที่น้อยที่สุดในขณะที่วัตถุเริ่มแตกหัก

Strain เป็นค่าอัตราส่วนของความยาวต่อความยาว เช่น ระยะของตัวอย่างที่ยุบลงไปเมื่อถูกกดต่อความสูงของตัวอย่างก่อนถูกกด Strain ยังเป็นค่าอัตราส่วนของปริมาตรต่อปริมาตรได้อีก และเรียกว่า Volumetric strain ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในเชิงปริมาตรอันเนื่องมาจากความดันที่เกี่ยวข้องกับสมดุลของไหล (Fluid) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ปริมาตรเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจาก Volumetric stress ความเครียดที่ใช้กันบ่อย ได้แก่

ความเครียดเชิงเส้น (Linear strain) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลง 1 ไปต่อความยาวเดิม 1 เนื่องจากแรงกระทำในแนวแรงกระทำนั้น

ความเครียดแกน (Axial strain) หมายถึง ความเครียดเชิงเส้นในระนาบที่ขนานกับแนวแกนยาวของวัตถุนั้น

ความเครียดขวาง (Transverse strain) หมายถึง ความเครียดเชิงเส้นในระนาบที่ตั้งฉากกับแกนของวัตถุนั้น

ความเครียดเฉือน (Shear strain) หรือความเครียดเชิงมุม (Angular strain) หมายถึง ค่าแทนเจน (Tangent) ของการเปลี่ยนแปลงมุมที่จุดใดจุดหนึ่งในวัตถุระหว่างเส้น 2 เส้นที่ตอนแรกตั้งฉากซึ่งกันและกัน

การทดสอบทาง Rheology จึงเป็นการประสานกันอย่างสลับซับซ้อนระหว่าง Tensile, Compressive, และ Shear stress กับ Strain ที่เกิดขึ้นภายในตัวอย่างที่ถูกทดสอบ ถ้าตัวอย่างถูกทดสอบด้วยแรงกดในแนวตั้ง (Compression) ค่าของ Stress และ Strain จะแม่นยำถ้าหากตัวอย่างมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก และถูกกดด้วย Plunger ที่มีหน้าตัดใหญ่กว่าตัวอย่าง และระยะที่ถูกกดยุบลงน้อยกว่า 10 % ของความสูงของตัวอย่าง ค่าของ Stress หาด้วย Strain คือค่าสัมประสิทธิ์ของความหยุ่น (Elastic modulus) ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนค่าความหยุ่น (Elasticity) ได้

2.1.3 ความหนืด และการวัดความหนืด [11]

ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ที่บ่งบอกชนิดของของไหลอย่างหนึ่ง และเป็นค่าที่วัดได้ง่าย จึงเป็นค่าที่นิยมใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและคุณสมบัติของสารในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น น้ำมัน ตัวทำละลาย (Solvent) เครื่องสำอาง ยา และอื่น ๆ นอกจากจะใช้เพื่อตรวจสอบสารโดยตรงแล้ว ความหนืดยังสามารถประยุกต์ใช้รูปแบบอื่น ๆ เช่น การหาน้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์ และตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของแป้ง เป็นต้น

ความหนืดเป็นแรงต้านภายในของของเหลว เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวต้านต่อการไหล ดังนั้น ในการวัดความหนืดจะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหล (Rheology) ของของเหลว ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืด รวมทั้งเครื่องมือวัดความหนืดด้วย

2.1.3.1 ประเภทความหนืด

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า ความหนืดเป็นแรงต้านภายในของของเหลว การบอกค่าความหนืดจึงขึ้นอยู่กับวิธีวัดความหนืดซึ่งโดยทั่วไปจะพูดถึงความหนืดใน 2 ลักษณะ คือความหนืด ไคเนมาติก (Kinematic Viscosity) และความหนืดไดนามิก (Dynamic Viscosity)

1). ความหนืดไคเนมาติก เป็นค่าความหนืดที่ได้มาจากการวัดการไหลของของเหลวภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืดแบบนี้คือ หลอดวัดความหนืด (Viscometer Tube) ซึ่งการวัดความหนืดทำได้โดยจับเวลาการไหลของของเหลว สารที่ไหลได้เร็วจะมีความหนืดน้อย

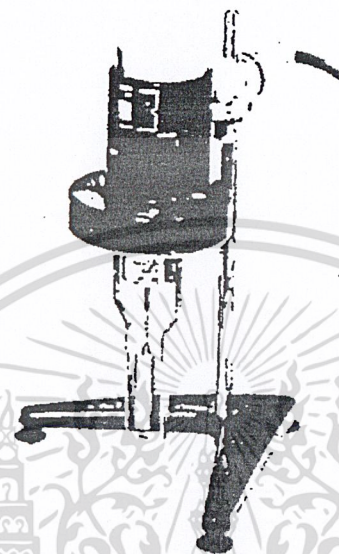


รูปที่ 2.1 หลอดวัดความหนืด [11]

2). ความหนืดไดนามิก มีหน่วยวัดเป็น m^2/s หรือ mm^2/s ในระบบ SI และหน่วยที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเป็นระบบ CGS มีหน่วยเป็น St (Stokes) หรือ cSt. โดยหน่วยทั้ง 2 ระบบ มีความสัมพันธ์กัน คือ

$$1 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt.} \quad (2.1)$$

3). ความหนืดไดนามิก เป็นค่าความหนืดที่ได้จากการวัดโดยอาศัยแรงไปกระทำกับของเหลว แรงกระทำนี้เรียกว่า แรงเฉือน (Shear stress) ซึ่งของเหลวจะมีแรงต้านต่อแรงที่กระทำ ตัวอย่างของเครื่องมือวัดแบบนี้ เช่น Rotation Viscometer โดยของเหลวที่มีความหนืดมากจะมีแรงต้านต่อแรงที่ไปกระทำสูง



รูปที่ 2.2 Rotation Viscometer [11]

ความหนืดไดนามิกมีหน่วยเป็น Pa.s(Pascal-second) หรือ mPa.s ในระบบ SI และ P (Poise) หรือ cPในระบบ CGS ระบบหน่วยทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน คือ

$$\text{Dynamic Viscosity} = (\text{Specific Gravity}) \times (\text{Kinematic}) \quad (2.2)$$

2.1.3.2 ปัจจัยที่ผลต่อความหนืด [11]

ปัจจัยที่ผลกระทบต่อค่าความหนืด ได้แก่

1). อุณหภูมิ (Temperature) ความหนืดจะเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดของของเหลวจะลดลง โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ต่างกัน 1°C จะทำให้ความหนืดเปลี่ยนไป 1-10% ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความหนืดกับอุณหภูมิ จะมีลักษณะเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของ Arrhenius คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta \propto \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

จะได้สมการ คือ

$$\eta = Ke^{E/RT} \quad (2.4)$$

โดยที่ K	คือ ค่าคงที่ของของเหลวแต่ละชนิด
E	คือ พลังงานกระตุ้น (Activation Energy) สำหรับการไหล
R	คือ ค่าคงที่ของก๊าซ
T	คือ อุณหภูมิ (K)

ดังนั้น ในการบอกค่าความหนืดจึงต้องบอกอุณหภูมิที่วัดด้วย

2). ความดัน (Pressure) การเปลี่ยนแปลงความดันจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดเช่นกัน โดยปกติที่ความดันสูง ๆ จะทำให้ปริมาตรอิสระ (Free Volume) ลดลงทำให้ของเหลวมีความหนืดสูงขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความหนืดจะเป็นไปตามสมการ

$$\eta = Ae^{BP} \quad (2.5)$$

โดยที่ A, B	คือ ค่าคงที่ของของเหลว ณ อุณหภูมิที่กำหนด
P	คือ ความดัน

โดยปกติในการตรวจสอบคุณภาพจะวัดความหนืดที่ความดันปกติของห้อง

3). ความเข้มข้น ความเข้มข้นของอนุภาคที่กระจายตัวในของเหลว ในกรณีที่เป็นสารผสมหรือ สารละลาย (Solution) ความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะมีผลกระทบบต่อความหนืดของสารละลาย คือ สารละลายมีความเข้มข้นสูง ค่าความหนืดจะสูงขึ้นไปด้วย

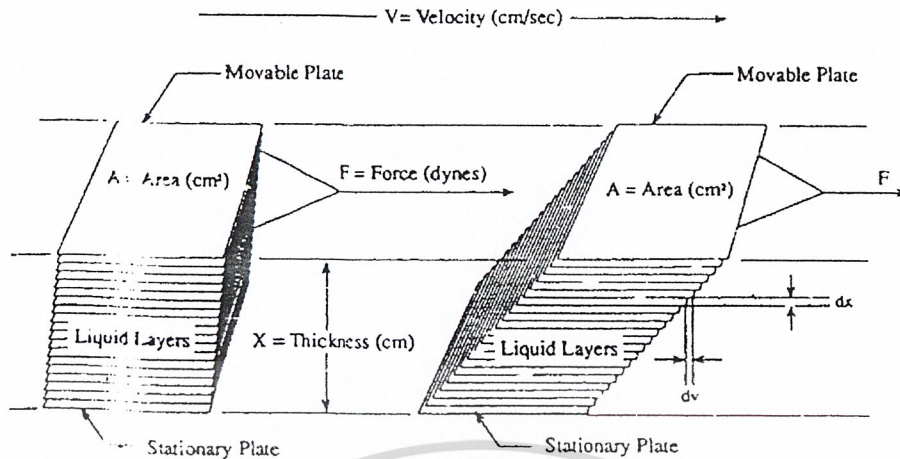
ในสารผสมหรือสารละลาย ความสามารถในการแพร่ของสารในของผสม หรือในตัวทำละลาย จะมีผลต่อความหนืด คือสารที่แพร่ได้ดี จะมีความหนืดต่ำกว่าสารที่แพร่ได้ไม่ดี

2.1.4 พฤติกรรมการไหล

พฤติกรรมการไหลของของเหลวที่เกิดจากแรงกระทำต่อแรงเฉือนเนื่องจากการกระทำทางกล เช่น การเท การทา การปั่น หรือการผสม สามารถแบ่งชนิดของของเหลวได้ตามพฤติกรรมที่เกิดขึ้น โดยใช้กฎของ Sir Isac Newton

Sir Isac Newton ได้เสนอภาพจำลองเพื่อใช้ในการพิจารณาความหนืดดังรูป 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ภาพจำลองแสดงการไหลเนื่องจากแรงเฉือนที่กระทำต่อของเหลว [11]

พิจารณาระบบของของเหลวที่อยู่ระหว่างแผ่นระนาบ (Plate) ที่ขนานกัน 2 แผ่น โดยแผ่นระนาบมีพื้นที่ $A \text{ (cm}^2\text{)}$ ความหนาของแผ่นระนาบทั้งสอง $X \text{ (cm)}$ แผ่นระนาบแผ่นล่างอยู่กับที่ (Stationary Plate) ส่วนแผ่นระนาบแผ่นที่เคลื่อนที่ (Movable Plate) เมื่อออกแรง $F \text{ (Dynes)}$ กระทำต่อแผ่นบนด้วยความเร็ว $U \text{ (cm/sec)}$ ทำให้ของเหลวเกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้น จะได้แรงเฉือน คือ

$$\tau = F/A \quad (2.6)$$

โดยที่ τ คือ แรงเฉือน (Dynes/cm²)

เมื่อมีการเคลื่อนที่ ของเหลวระหว่างแผ่นระนาบจะเคลื่อนที่ โดยชั้นบนสุดของของเหลวที่ติดกับแผ่นระนาบจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด ส่วนชั้นล่างที่ติดกับแผ่นระนาบที่อยู่กับที่ จะมีความเร็วต่ำสุดเท่ากับศูนย์

การเปลี่ยนแปลงความเร็วในแต่ละชั้นของของเหลวที่อยู่ระหว่างแผ่นระนาบ (Velocity Gradient) คือ อัตราความเร็วต่อระยะทาง หรือเรียกว่า อัตราเฉือน (Shear Rate)

จากภาพจำลอง สมมติให้อัตราเลื่อนมีความสม่ำเสมอ (Uniform) ดังนั้น จะได้

$$\gamma = dv / dx = V / X \quad (2.7)$$

โดยที่ γ คือ อัตราเลื่อน (sec^{-1})

อัตราส่วนระหว่างแรงเฉือนกับอัตราเลื่อนที่ได้ คือ ความหนืด

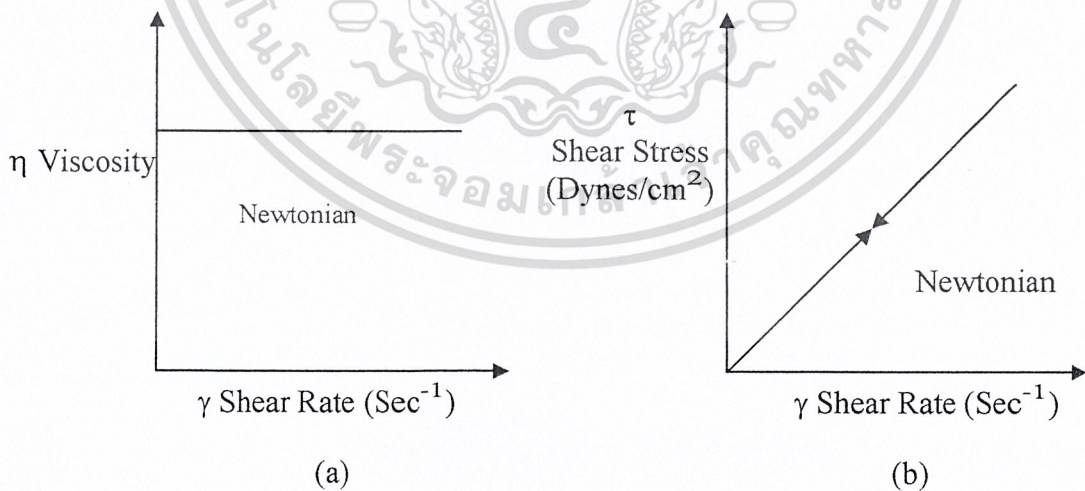
$$\eta = \tau / \gamma \quad (2.8)$$

จากสมการเป็นกฎของ Newton ดังนั้น การแบ่งชนิดของของเหลวจึงแบ่งตามพฤติกรรม การไหลโดยใช้กฎของ Newton ทำให้แบ่งของไหลออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ของไหลที่มี พฤติกรรมตามกฎของนิวตัน (Newtonian Fluid) และของไหลที่ไม่เป็นไปตามกฎของนิวตัน(non-Newtonian Fluid)

Newtonian Fluid คือของเหลวที่มีพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian ดังสมการ

$$\tau = \eta \gamma \quad (2.9)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับอัตราเลื่อน (ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (b)) จะได้สมการเส้นตรง



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของแรงเฉือน อัตราเลื่อน และความหนืดของสารนิวโตเนียน[11]

โดยมีความหนืดเท่ากับความชื้นที่ได้ และความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือน ค่าความหนืดที่ได้จะคงที่เท่ากันตลอด ไม่ขึ้นกับอัตราเฉือน (ดังรูปที่ 2.4 (a)) สารในกลุ่มนี้ได้แก่ น้ำ น้ำมัน น้ำผึ้ง สารละลาย เป็นต้น

2.1.5 วัตถุเจือปนอาหาร[12]

2.1.5.1 ความสำคัญของวัตถุเจือปนอาหาร

ปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์นั้น ไม่ว่าจะเป็นยุคใดสมัยใดก็ยังคงเป็นปัจจัย 4 คือ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรคอยู่เช่นเดิม เพียงแต่ได้มีการพัฒนาปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวให้ก้าวหน้าทันสมัยมีคุณภาพดีขึ้น มีมากพอเพียงและสามารถอำนวยความสะดวกและความสุขให้มนุษย์มากขึ้นรวมทั้งในเรื่องเกี่ยวกับอาหารด้วย ซึ่งเริ่มจากการที่มนุษย์รู้จักแต่การหาอาหารจากการล่าสัตว์หรือเก็บผักผลไม้ในป่ามาเป็นอาหาร เปลี่ยนเป็นรู้จักทำการเพาะปลูก และเลี้ยงสัตว์เป็นแหล่งอาหาร ระยะเวลาที่เพียงเพื่อการบริโภคของตนเองเท่านั้น และได้มีการพัฒนาเรื่อยๆ จนกระทั่งรู้จักที่จะปลูกและเลี้ยงให้มากขึ้น เพื่อจะนำไปแลกเปลี่ยนเป็นปัจจัยอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต และรู้จักเก็บสะสมและถนอมรักษาไว้เพื่อบริโภคในยามขาดแคลน เนื่องจากจำนวนประชากรมากขึ้นแต่จำนวนอาหารมิได้มีการเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน และความต้องการบริโภคอาหารชนิดต่างๆ ในเวลานอกฤดูกาลมีมากขึ้น เป็นต้น

การรู้จักเก็บสะสมอาหารและถนอมอาหารในช่วงแรกๆ นั้น ส่วนใหญ่เกิดจากความบังเอิญ และความช่างสังเกตของมนุษย์ทั้งนั้น ตัวอย่างเช่น หลังจากที่เกิดไฟไหม้ป่าแล้ว พวกเนื้อของสัตว์ที่ถูกไฟไหม้จะสุกซึ่งพบว่าอร่อยและเก็บได้นานกว่าเนื้อสด เป็นต้น และจากนั้นก็ได้มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบต่างๆ เรื่อยๆ จนในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ต่างๆ มากมาย ผลไม้ที่บริโภคไม่หมด เมื่อทิ้งไว้จะเกิดการเน่าเสียและอาจมีแอลกอฮอล์เกิดขึ้น และถ้ามีการทิ้งต่อไปอีกก็อาจจะมีรสเปรี้ยวเกิดขึ้นด้วยเนื่องจากมีน้ำส้มสายชูหรือกรดอื่นๆ เกิดขึ้น ซึ่งมนุษย์ก็ได้อาศัยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้มาช่วยในการถนอมอาหารและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้น เช่น ทำให้เกิดอุตสาหกรรมผักและผลไม้ดอง อุตสาหกรรมแอลกอฮอล์ ไวน์ และอุตสาหกรรมน้ำส้มสายชู เป็นต้น และเมื่อมนุษย์ทราบจากประสบการณ์ว่า เชื้อจุลินทรีย์สามารถสร้างสารต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหาร จึงได้มีการทดลองนำเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ มาใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งจะเห็นได้ว่ามนุษย์ได้มีการรู้จักใช้วัตถุเจือปนอาหาร โดยไม่รู้ตัวมาตั้งแต่สมัยโบราณกาลแล้ว

ปัจจุบันความต้องการใช้วัตถุเจือปนอาหารในอุตสาหกรรมอาหารได้มีมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากวัตถุเจือปนอาหารมีประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมอาหารหลายประการ ตัวอย่างเช่น วัตถุเจือปนอาหารจะมีส่วนช่วยในการถนอมหรือยืดอายุการเก็บอาหาร ช่วยป้องกันการสูญเสียอาหาร เนื่องจากการที่มีผลผลิตมากเกินไปในฤดูกาล หรือในประเทศที่กำลังพัฒนา ซึ่งส่วนใหญ่จะขาดแคลนอุปกรณ์ที่จะช่วยในการแปรรูปการเก็บและการขนส่งที่ทันสมัย ความจำเป็นที่จะต้องใช้ออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุเจือปนอาหาร เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บจะยิ่งเพิ่มมากขึ้นส่วนในประเทศเขตร้อน มีอุณหภูมิและความชื้นที่ค่อนข้างสูงซึ่งเป็นสภาวะที่ช่วยเร่งการเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมี ฉะนั้นในพื้นที่ที่กล่าวถึงมีความจำเป็นหรือมีความต้องการในการใช้วัตถุกันเสียและวัตถุเจือปนอาหารที่จะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีมากกว่าพื้นที่อื่นๆ

สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้ว มีอุปกรณ์ในการแปรรูปพร้อม มีห้องเย็นและมีระบบการขนส่งที่ทันสมัยความต้องการในการใช้วัตถุกันเสียอาจจะลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ความต้องการที่จะบริโภคอาหารที่มีลักษณะที่ดึงดูดใจผู้บริโภค ไม่ว่าจะเป็นทางด้านลักษณะปรากฏหรือในด้านคุณภาพ และต้องการจะมีอาหารหลากหลายชนิดบริโภคตลอดปี ไม่ว่าจะเป็นฤดูกาลหรือนอกฤดูกาลและที่สำคัญมีการนิยมบริโภคอาหารสำเร็จรูปและกึ่งสำเร็จรูปมากขึ้น เนื่องจากสะดวก รวดเร็วและแม่บ้าน ไม่มีเวลาประกอบอาหาร เนื่องจากต้องออกไปประกอบอาชีพเช่นกัน และบางครั้งอาจต้องมีการขนส่งอาหารจากแหล่งผลิตไปยังแหล่งจำหน่าย ในระยะทางที่ไกลทำให้ความจำเป็นที่จะต้องใช้วัตถุเจือปนอาหารชนิดต่างๆมีเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลก โดยมีสัดส่วนของการเพิ่ม ไม่ได้สัดส่วนกับการเพิ่มของอาหาร จึงต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ๆขึ้น ซึ่งการที่จะพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์ที่กล่าวเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค วัตถุเจือปนอาหารจะมีบทบาทสำคัญยิ่งขึ้นเช่นกัน

2.1.5.2 ความหมายของวัตถุเจือปนอาหาร

ความหมายของวัตถุเจือปนอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 119 (พ.ศ. 2532) ได้ให้คำจำกัดความของวัตถุเจือปนอาหารไว้ว่า

“วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึง วัตถุที่ตามปกติมิได้ใช้เป็นอาหารหรือส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนในอาหาร เพื่อประโยชน์ในทางเทคโนโลยีการผลิต การบรรจุ การเก็บรักษาหรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือมาตรฐานหรือลักษณะของอาหารและให้หมายความรวมถึงวัตถุที่มิได้ใช้เจือปนอาหาร แต่ใช้รวมอยู่กับอาหารเพื่อประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นด้วย”

ความหมายของวัตถุเจือปนอาหาร ตามที่คณะกรรมการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ(Codex Alimentarius Commission, CAC) ให้การรับรอง ในการประชุมร่วมกันครั้งแรกขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติและองค์การอนามัยโลกในเรื่องเกี่ยวกับวัตถุเจือปนอาหารที่กรุงเจนีวาในปี 1955 นั้น ได้มีการให้คำจำกัดความวัตถุเจือปนอาหารไว้ว่า

“วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึงสารที่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร ที่ได้นำมาใช้ในอาหารอย่างเจตนา โดยทั่วไปจะใช้ในปริมาณที่เล็กน้อย (ไม่เกิน 2%) เพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะปรากฏ กลิ่นรสลักษณะเนื้อสัมผัสและอายุการเก็บรักษาอาหาร”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาในปี 1972 คณะกรรมการพิจารณาว่ามาตรฐานอาหารระหว่างประเทศได้มีการแก้ไขใหม่ เป็น

“วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึง สารซึ่งปรกติมิได้ใช้บริโภคเป็นอาหาร หรือใช้เป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจมีคุณค่าทางอาหาร หรือไม่มีคุณค่าทางอาหารเลยก็ได้ และวัตถุประสงค์ในการใช้สารนั้นในอาหารก็เพื่อประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับเทคนิคในการแปรรูป (รวมถึงลักษณะในด้านประสาทสัมผัส) กรรมวิธีการแปรรูป การเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ การขนส่งและอายุการเก็บอาหารนั้น และมีผลหรืออาจมีผลทางตรงหรือทางอ้อมทำให้สารนั้นหรือผลิตภัณฑ์ของสารนั้นกลายเป็นส่วนประกอบของอาหารนั้น หรือมีผลต่อคุณลักษณะของอาหารนั้น แต่ไม่ได้รวมถึงสารปนเปื้อนหรือสารที่เติมลงไป เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของอาหาร”

2.1.5.3 หลักเกณฑ์ในการใช้วัตถุเจือปนในอาหาร

- 1) หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาการใช้วัตถุเจือปนในอาหารตามที่คณะกรรมการพิจารณาว่ามาตรฐานอาหารระหว่างประเทศได้กำหนดไว้มีดังนี้
- 2) วัตถุเจือปนในอาหารทุกชนิด ไม่ว่าจะชนิดที่ได้มีการอนุญาตให้ใช้แล้ว หรือที่กำลังมีการอนุญาตให้ใช้ควรจะต้องได้ผ่านการทดสอบและประเมินผลทางพิษวิทยาเสียก่อน ซึ่งในการประเมินนั้น ควรรวมถึงการศึกษาถึงผลในด้านการสะสม การเสริมฤทธิ์หรืออันตรายจากการใช้สารนั้น
- 3) สำหรับวัตถุเจือปนในอาหารที่สมควรให้มีการรับรองให้ใช้ได้ นั้น ควรจะเป็นสารที่ได้รับการพิจารณาประเมินผลทางพิษวิทยาจากข้อมูลที่มีอยู่แล้วว่าจะไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคในปริมาณที่กำหนดให้ใช้
- 4) วัตถุเจือปนในอาหารทุกชนิดที่ใช้ ควรจะต้องมีการเฝ้าระวังการใช้อย่างต่อเนื่อง และควรจะมีการประเมินผลทางพิษวิทยาใหม่เสมอเมื่อจำเป็น เช่น ในกรณีการเปลี่ยนสถานะการใช้หรือเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์
- 5) ข้อกำหนด (specifications) ของวัตถุเจือปนในอาหารที่ใช้ควรจะต้องตรงกับข้อกำหนดที่ได้ผ่านการรับรองแล้ว
- 6) การใช้วัตถุเจือปนในอาหารจะเป็นที่ยอมรับ ต่อเมื่อการใช้นั้นมีวัตถุประสงค์ ตรงตามวัตถุประสงค์ที่จะกล่าวถึงในข้อใดข้อหนึ่งในข้อ ก-ง และการที่จะให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการใช้นั้น ไม่สามารถที่จะใช้วิธีการอื่นที่ประหยัดกว่าและให้ผลดีกว่า และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคด้วยได้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.4 วัตถุประสงค์ของการใช้วัตถุเจือปนในอาหาร

- 1) เพื่อสงวนคุณค่าทางโภชนาการ
- 2) เพื่อเป็นการให้ส่วนประกอบที่จำเป็นแก่ผลิตภัณฑ์อาหาร ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตขึ้นเพื่อกลุ่มบุคคลที่ต้องการอาหารพิเศษ
- 3) เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บ หรือช่วยให้อาหารนั้นมีคุณภาพคงที่ หรือช่วยปรับปรุงคุณภาพในด้านเกี่ยวกับ สี กลิ่น รส ลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏ โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือคุณภาพของอาหาร ซึ่งเป็นการหลอกลวงผู้บริโภค
- 4) เพื่อเป็นการช่วยในด้านเกี่ยวกับกรรมวิธีการแปรรูป การเตรียม การบรรจุ การขนส่ง และการเก็บรักษาอาหาร โดยวัตถุประสงค์ที่ใช้มิได้ใช้เพื่อปิดบังการใช้วัตถุที่มีคุณภาพไม่ดี หรือการแปรรูปที่มีการสุขาภิบาลที่ไม่ถูกต้อง

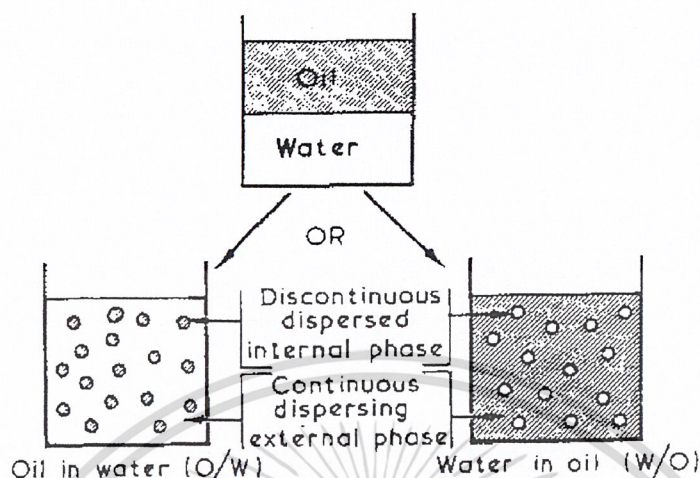
การให้การรับรองหรือการรับรองเพียงชั่วคราวในการอนุญาตให้ใช้วัตถุเจือปนในอาหารนั้นๆ โดยการรวมวัตถุเจือปนอาหารนั้นไว้ใน advisory list หรือมาตรฐานอาหารควรดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) ถ้าหากเป็นไปได้ ควรจะกำหนดให้ใช้อาหารเฉพาะอย่าง โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์อย่างแน่ชัด และภายใต้สภาวะที่กำหนด
- 2) ควรจะให้มีการใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุดที่พอเพียงจะให้ได้ผลตามที่ต้องการ เท่านั้น
- 3) ควรจะมีการทำการศึกษาและประเมินหา Acceptable Daily Intakes หรือ probable daily intakes ของวัตถุเจือปนในอาหารนั้น และในกรณีที่วัตถุเจือปนในอาหารนั้น เป็นวัตถุเจือปนในอาหารที่ใช้สำหรับผู้บริโภคกลุ่มพิเศษ ก็ควรมีการทำการศึกษา probable daily intakes จากผู้บริโภคกลุ่มนั้นๆด้วย[10]

2.1.6 อิมัลชัน (Emulsion) [9,13]

ระบบ อิมัลชัน ของของเหลว-ของเหลว แบ่งเป็น 2 ชนิด โดยถือเอาการกระจายเป็นเกณฑ์ คือ ระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ (o/w) เช่น นม น้ำกะทิ และระบบอิมัลชันน้ำในน้ำมัน (w/o) เช่น มาร์การีน รูปที่1 แสดงชนิดของอิมัลชัน ดังกล่าว อิมัลชันเหล่านี้ค่อนข้างจะเป็นอิมัลชันแบบง่าย ๆ ส่วนอิมัลชันที่ค่อนข้างซับซ้อนขึ้นมักพบในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศกรีม ไข่กรอก และเค้กเป็นต้น การเรียกชื่ออิมัลชันจะเริ่มด้วยเฟสที่กระจายตัวก่อนแล้วตามด้วยเฟสต่อเนื่อง โดยมีคำว่า “ใน” เป็นตัวเชื่อมอิมัลชันที่เกิดขึ้นมักจะแสดงคุณสมบัติส่วนใหญ่ของของเหลวที่เป็นเฟสต่อเนื่อง เช่น อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำอาจทำให้เจือจางด้วยน้ำ ทำให้เกิดสีได้ด้วยสีที่ละลายน้ำและแสดงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่สอดคล้องกับเฟสของน้ำ (aqueous phase) ดังนั้นอิมัลชันสองชนิดที่มีองค์ประกอบคล้ายกันจะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันอย่างมากขึ้นกับน้ำหรือน้ำมันเป็นเฟส

ต่อเนื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดของอิมัลชันที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำและน้ำมันผสมกันได้แก่ ชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) สัดส่วนของเฟสทั้งสอง และวิธีการเตรียมอิมัลชัน



รูปที่ 2.5 ชนิดของอิมัลชัน [13]

อิมัลชันที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้จากการเตรียมด้วยเทคนิคพิเศษ จะเรียกว่าอิมัลชันหลายชั้น (multiple emulsion) อาจเป็นชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (w/o/w) น้ำมันในน้ำในน้ำมัน (o/w/o)

2.1.6.1 ความคงตัวของอิมัลชัน

เม็ดของเหลวที่กระจายตัวอยู่ในอิมัลชัน มีขนาดระหว่าง $2 - 5 \mu\text{m}$ อาจมีบางส่วนเล็กกว่านั้น หรือมีบางส่วนขนาดใหญ่กว่านั้น อิมัลชัน ที่อยู่ในสภาพนี้จะไม่อยู่ตัวมากนัก เนื่องจากมีพลังงานผิวมาก เฟสกระจายตัวจะเข้ามาจับตัวเป็นตะกอนขุ่นหรือรวมตัวกันเป็นเม็ดมีขนาดใหญ่ขึ้น (coalescence) การรวมตัวเป็นตะกอนขุ่นนั้นบางครั้งมีมากจนส่วนหนึ่งลอยขึ้นสู่ผิวหน้า (creaming) หรือจมลงสู่ก้นภาชนะ (sedimentation) สำหรับการรวมตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ขึ้น บางครั้งเกิดขึ้นมากจนกระทั่งน้ำมันและน้ำแยกตัวออกจากกัน (breaking) ในสถานะที่ไม่มีสารอิมัลซิไฟเออร์ ทั้งน้ำมันและน้ำต่างก็มีแรงตึงผิว (interfacial tension) ของตนเอง เมื่อเขย่าหรือคนอย่างแรงๆ ของเหลวทั้งสองจะรวมตัวกัน โดยต่างก็แตกออกเป็นเม็ดเล็กๆ ซึ่งจะมีผลให้พลังงานในระบบเพิ่มขึ้น เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นในของเหลวทั้งสอง เมื่อหยุดเขย่าเม็ดน้ำมันและน้ำจะแยกตัวออกจากกัน โดยต่างก็ไปรวมตัวกันแยกชั้นออกมาเนื่องจากการลดพลังงานในระบบให้ต่ำลง

เม็ดน้ำมันจะมีประจุเป็นลบถ้าเฟสต่อเนื่องเป็นน้ำ และจะมีการเคลื่อนไหวยูสมอ ศักย์ภาพไฟฟ้า (electrical potential) ที่มีอยู่ไม่สูงมากพอที่จะป้องกันไม่ให้เม็ดน้ำมันเคลื่อนที่เข้ามาจับตัวกันได้เนื่องจากเม็ดน้ำมันมีพลังงานมากเป็นพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวโดยธรรมชาติ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกววน หรือ โดยแรง โน้มถ่วงของโลก ส่วนการรวมตัวของเม็ดน้ำมันจะเป็นอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนไหวของน้ำที่อยู่รอบๆ การเคลื่อนที่ของน้ำจากส่วนที่อยู่ระหว่างเม็ดน้ำมันออกไป หรือ การเคลื่อนที่ของน้ำจากส่วนอื่นเข้ามาระหว่างเม็ดน้ำมันจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของของเหลว ภายในเม็ดน้ำมันด้วย ทำให้รูปร่างของเม็ดน้ำมันเปลี่ยนไป แต่การเปลี่ยนแปลงนี้จะได้รับแรง ต้านทานจากแรงตึงผิวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ถ้าการเคลื่อนที่ของน้ำ เป็นไปอย่างรวดเร็วและรุนแรง เช่นการกววนด้วยความเร็วสูง เม็ดน้ำมันจะแตกออกและมีขนาดเล็ก ลง อย่างไรก็ตามถ้าการกววนนั้นมีความเร็วไม่มากนัก เม็ดน้ำมันจะเคลื่อนที่เข้าหากันเท่านั้น เม็ด น้ำมันที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีแรงเฉื่อยมากและวิ่งเข้าหาเม็ดน้ำมันที่มีขนาดเล็กกว่า และเกิดรอยบุ๋ม ขึ้นตามแนวเส้นตรงที่วิ่งเข้าหากัน แต่ถ้าเม็ดน้ำมันไม่สามารถวิ่งเข้ากระทบกันได้เนื่องจากมีน้ำ บางส่วนแทรกเข้าไปอยู่ในรอยบุ๋มนั้น ดังรูปที่ 2.6 ทำให้ขอบรอยบุ๋มยึดออกและเป็นส่วนที่บอบ บางที่สุด เม็ดน้ำมันจะแตกออกถ้าแรงเฉื่อยสูงมากพอถ้าการเคลื่อนที่เกิดขึ้นกันเม็ดน้ำมันขนาดเล็ก จะไม่ทำให้เกิดรอยบุ๋มขึ้น เพียงแต่ผิวที่อยู่ใกล้กันนั้นจะแบนราบลง และกลับสู่สภาพเดิมหลังจาก นั้น การกระทบกันอาจเกิดขึ้นได้ถ้าน้ำที่กั้นกลางอยู่นั้นได้ระบายออกไป เช่น ในกรณีที่เฟสต่อเนื่อง มีความหนืดต่ำมาก เป็นต้น ผลที่ตามมาคือเม็ดน้ำมันจะแตกและรวมตัวกันเป็นเม็ดและขนาดใหญ่ ขึ้น แต่การเคลื่อนที่ของน้ำเป็นไปอย่างช้าๆ เช่น การเคลื่อนที่ที่เป็นผลมาจากแรง โน้มถ่วงของโลก เม็ดน้ำมันจะมาเกาะกันเป็นกลุ่มเท่านั้น อย่างไรก็ตามเม็ดน้ำมันที่เกาะกลุ่ม อาจรวมตัวกันเป็นเม็ด น้ำมันขนาดใหญ่ก็ได้ถ้ามีเวลามากพอ เนื่องจากน้ำเป็นแผ่นเยื่อบางและแทรกอยู่นั้นได้ค่อยๆ ระบาย ออกไป



(ก) การเกิดรอยบุ๋ม (ข) การเกิดผิวแบนราบ (ค) การเกิดแผ่นเยื่อบางกั้นกลาง

รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่เข้าหากันของเม็ดน้ำมันพืช [9]

การเตรียม อิมัลชัน ให้อยู่ตัวนั้นจำเป็นต้องเติมสารบางอย่างลงไป เพื่อป้องกันไม่ให้ อนุภาคน้ำมันเคลื่อนที่เข้ามาจับตัวกัน สารที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่าอิมัลซิไฟเออร์ โดยสารชนิดนี้จะทำ หน้าที่สองประการคือทำให้ความผิวที่หน้าสัมผัสลดลง และการทำให้เกิดเกราะรอบๆ อนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันเพื่อป้องกันการรวมตัวของอนุภาค เป็นการทำงานทางเคมีกายภาพซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ และชนิดของเฟสที่กระจายตัว (น้ำมัน) สารที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ มีอยู่เป็นจำนวนมาก และมีคุณสมบัติแตกต่างกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติได้แก่ โปรตีน ฟอสโฟไลปิด และสเตอรอล ส่วนสารที่ได้จากการสังเคราะห์ได้แก่ เอสเทอร์ของกลีเซอรอล โพรพีลีน ไกลคอล เซลลูโลสอีเทอร์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น การผลิต อิมัลชัน ให้อยู่ตัวได้นานมักใส่สารให้ความหนืดสูงลงไปด้วย เพื่อเพิ่มความหนืดของน้ำให้สูงขึ้น สารชนิดนี้เรียกว่า สารช่วยให้อยู่ตัว (stabilizer) ปัจจัยที่มีผลทำให้อิมัลชัน มีความเสถียรเกี่ยวข้องกับ Stokes' law ดังนี้

$$v = \frac{D^2 g (\rho_p - \rho_f)}{18\eta} \quad (2.10)$$

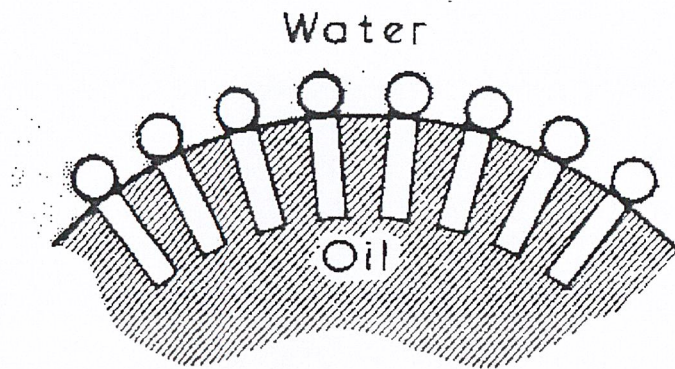
เมื่อ	v	=	ความเร็วของการแยกเฟส (m/s)
	D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคในเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง (m)
	g	=	แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
	ρ_p	=	ความหนาแน่นของเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง (kg/m^3)
	ρ_f	=	ความหนาแน่นของเฟสที่ต่อเนื่อง (kg/m^3)
	η	=	ความหนืดของเฟสที่ต่อเนื่อง ($N.s/m^2$)

จากสมการนี้ชี้ให้เห็นว่า อิมัลชัน ที่มีความคงตัว (มีความเร็วในการแยกต่ำ) จะเกิดเมื่ออนุภาคในเฟสที่ไม่ต่อเนื่องมีขนาดเล็ก (ในทางปฏิบัติอยู่ระหว่าง $1 - 10 \mu m$) ความหนาแน่นของทั้งสองเฟสใกล้เคียงกันและความหนืดของเฟสที่ต่อเนื่องมีค่าสูง

สารอิมัลซิไฟเออร์ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโมเลกุลซึ่งมีทั้งกลุ่มที่มีขั้วและไม่มีขั้วในอิมัลชัน ใดๆ สารอิมัลซิไฟเออร์ จะถูกดูดซับ ณ ตำแหน่งที่อยู่ระหว่างผิวร่วมของเฟสต่างๆ เพื่อลดแรงตึงระหว่างผิว โดยโมเลกุลของสารอิมัลซิไฟเออร์ จัดตัวให้กลุ่มที่ไม่มีขั้วชี้ไปยังเฟสของน้ำมัน ขณะที่กลุ่มที่มีขั้วจะชี้ไปที่เฟสของน้ำที่ยึดอยู่ด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.7 ดังนั้นชั้นหรือฟิล์มของสารอิมัลซิไฟเออร์ จะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของน้ำและน้ำมัน ฟิล์มระหว่างผิวหน้านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันอนุภาคของของเหลวต่างๆ ที่เป็นเฟสไม่ต่อเนื่องเหล่านี้มารวมตัวกันอันเนื่องมาจากแรงตึงระหว่างผิว

เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์ ที่สามารถผลิตได้มีอยู่มากมาย ดังนั้นจึงมีการเลือกใช้สารที่ไม่เป็นอันตรายแก่ผู้บริโภคเท่านั้น สำหรับการนำไปใช้จะต้องเลือกไปใช้ที่เหมาะสมกับระบบอิมัลชัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการลดความตึงผิวของน้ำและน้ำมัน ถ้าสารที่ใช้สามารถลดความตึงผิว

ของน้ำได้ดีเกินไปจะทำให้น้ำละลายในน้ำมัน การเลือกสารอิมัลซิไฟเออร์ ให้เหมาะสมจึงจำเป็นต้องพิจารณาส่วนของโมเลกุลที่ชอบน้ำและส่วนที่ชอบน้ำมันไปพร้อมๆกัน



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงตัวของ โมเลกุลสารอิมัลซิไฟเออร์ที่อยู่ระหว่างผิวร่วม [13]

จากการศึกษาผลของการผสมสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ละลายน้ำได้และชนิดที่ละลายน้ำมันได้ในสัดส่วนต่างๆกัน พบว่าอิมัลชันแต่ละระบบจะอยู่ตัวดีที่สุดที่สัดส่วนหนึ่งเท่านั้น แสดงว่าส่วนที่รวมตัวกับน้ำและส่วนที่รวมตัวกับน้ำมันมีผลต่อความอยู่ตัวของอิมัลชันมาก นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ต่างชนิดกันผสมกันจะให้ผลเหมือนกันถ้าสัดส่วนของส่วนที่ชอบน้ำต่อส่วนที่ชอบน้ำมัน หรือ hydrophilic-lipophilic balance (HLB) เท่ากัน

2.1.6.2 หลักการทั่วไปที่ทำให้เกิดอิมัลชัน

การเกิดอิมัลชันจะต้องมีงานกระทำต่อระบบเพื่อจะให้ชนะความต้านทานที่ก่อให้เกิดผิวร่วมระหว่างเฟสขึ้นใหม่ (ซึ่งเกิดขึ้นจากแรงตึงระหว่างผิว) ในทางทฤษฎี งานของการทำให้เกิดอิมัลชัน เทียบเท่ากับผลคูณของผิวที่เกิดขึ้นใหม่กับแรงตึงระหว่างผิวหน้า นอกจากนี้พลังงานที่ต้องใช้ยังรวมถึงพลังงานที่ให้ของเหลวเคลื่อนที่ (in motion) และชนะแรงต้านทานที่เกิดจากแรงเสียดทานที่พื้นผิวของเครื่องมือ โดยทั่วไป งานที่ให้กับของเหลวกระทำได้โดยการกวนอย่างแรง ชนิดของการกวนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ Emulsification คือชนิดที่ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ของเฟสที่กระจายตัวได้รับแรงเฉือน ในลักษณะเช่นนี้อนุภาคจะเสีรูปร่างและแตกออกเป็นขนาดที่เล็กลง ทำให้มีการกระจายตัวที่ละเอียดกว่า ถ้าสภาวะที่เหมาะสม ฟิล์มของสารอิมัลซิไฟเออร์จะถูกดูดซับที่ระหว่างผิวหน้าร่วมของทั้งสองเฟสและอิมัลชันที่คงตัวจะเกิดขึ้น

เวลาที่ใช้ทำให้เกิด Emulsification จะแตกต่างกันขึ้นกับสูตรของอิมัลชันและเทคนิคที่ใช้ และมักได้จากการทดลอง ในแต่ละกรณีของ Emulsification จะมีช่วงเวลาที่เหมาะสมถ้าต่ำกว่าเวลาดังกล่าวอิมัลชัน ที่เกิดขึ้นค่อนข้างจะไม่คงตัว แต่ถ้าการกวนดำเนินต่อไปเกินระยะเวลาที่เหมาะสมอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจได้รับความเสียหายเนื่องจากฟิล์มที่ทำหน้าที่ป้องกันนั้นเกิดการเสื่อมเสียด้วยการกวนที่มากเกินไป

2.1.6.3 หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์ เพื่อให้ได้อิมัลซิไฟเออร์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหาร อาจได้ดังนี้

- 1) ควรเป็นสารที่อนุญาตให้ใช้ได้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข
- 2) มีความสมดุลระหว่างหมู่ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) และหมู่ไลโปฟิลิก (lipophilic) ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการให้เกิดอิมัลชัน อิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่า HLB ต่ำเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้กับอิมัลชันประเภทน้ำในน้ำมัน และอิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่า HLB สูงจะเหมาะสมกับอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ
- 3) สามารถช่วยลดแรงตึงผิวได้ดี
- 4) มีประสิทธิภาพสูง แม้จะใช้ในความเข้มข้นต่ำๆ
- 5) ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีกลิ่นและรสที่ผิดปกติขึ้นในผลิตภัณฑ์
- 6) ถ้าหากต้องการใช้อิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิดผสมกัน จะต้องนำมาหาค่า HLB ที่เหมาะสม

ก่อน

2.1.6.4 ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในอาหาร

อิมัลซิไฟเออร์ที่มีการใช้ในอาหารนั้น อาจแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้คือ

- 1) อิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งรวมถึงสารประกอบฟอสโฟไลปิดส์ (phospholipids) ที่ได้จากถั่วเหลืองและไข่แดง และกัมชนิดต่างๆ เป็นต้น
- 2) อิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งมักจะเดิมจากสารพอลิออลส์ (polyols) และกรดไขมัน เป็นต้น

สำหรับชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่มีการอนุญาตให้ใช้ได้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 ได้แก่ เลซิทีน (lecithins) โมโนและไดกลีเซอไรด์ (mono- and diglycerides) โมโนและไดกลีเซอไรด์เอสเทอร์ของกรดอะซิติก (mono- and diglycerides ester of acetic acid) โมโนและไดกลีเซอไรด์เอสเทอร์ของกรดไดอะซิติก (mono- and diglycerides ester of diacetic acid) โมโนและไดกลีเซอไรด์เอสเทอร์ของกรดซิตริก (mono- and diglycerides ester of citric acid) โมโนและไดกลีเซอไรด์เอสเทอร์ของกรดอะซิติก (mono- and diglycerides ester of lactic acid) โมโนและไดกลีเซอไรด์เอสเทอร์ของกรดทาร์ทาริก (mono- and diglycerides ester of tartaric acid) โมโนและไดกลีเซอไรด์เอสเทอร์ของกรดอะซีทิลทาร์ทาริก (mono- and diglycerides ester of diacetyl tartaric acid) โพลีกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (polyglycerol ester of fatty acids) โพลีออกซีเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(20) ซอร์บิเทน โมโนโอเลต (polyoxyethylene (20) sorbitan monostearate) ซอร์บิเทน โมพาล์มิแทต (สเปน 40) (sorbitan monopalmitate (span 40)) ซอร์บิเทน ไตรสเตียเรต (สเปน 65) (sorbitan tristearate (span 65)) และ โพลีออกซีเอทีลีน (20) (polyoxyethylene (20)) และให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเนยและเนยเทียมเป็นส่วนใหญ่ สำหรับปริมาณการใช้จะให้ใช้ในปริมาณไม่เกิน 10,000 มิลลิกรัม/1 กิโลกรัมอาหารและอาจจะใช้อย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับวัตถุเจือปนอาหารอื่นๆอีก และในปริมาณที่แตกต่างกันไปด้วย ก่อนที่จะใช้จึงควรศึกษาประกาศกระทรวงสาธารณสุขเสียก่อนให้รอบคอบ ส่วนการใช้มีลธิไซไฟเออร์นอกเหนือไปจากที่กล่าวจะต้องขออนุญาตก่อน

2.1.7 โฮโมจีไนเซชัน (Homogenization) [13]

หลักการของโฮโมจีไนเซชันคือ การให้ของไหลผ่านช่องแคบออริฟิซ (orifice) ที่บางมาก ด้วยความดันสูงและความเร็วสูงมาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านช่องแคบดังกล่าวอย่างเห็นได้ชัด โดยลักษณะการแยกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลของแรงเฉือนระหว่างผิวหน้าต่างๆ ของวาล์วขณะที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านช่องเล็กๆ ด้วยความเร็วสูง อนุภาคของแข็งหรือหยดของเหลวที่อยู่ใกล้กับผนังหรือขอบ (edge) ของกระแสมากที่สุดจะมีแรงต้านทานจากแรงเสียดทานของของไหลในกระแสและกระแสน้อยตรงศูนย์กลางของทางไหลหรือส่วนที่วิ่งเร็วที่สุดของกระแสน้ำวนอนุภาคต่างๆ ที่อยู่ตรงกลางเคลื่อนไปได้เร็วกว่าอนุภาคที่อยู่ใกล้กับขอบของกระแสได้ ความแตกต่างในเรื่องความเร็วนี้ทำให้อนุภาคของของแข็งมีการบดซึ่งกันและกันด้วยแรงเฉือน ทำให้มีขนาดเล็กลง ยิ่งการไหลมีความเร็วมากขึ้น และกระแสแคบขึ้น แรงเฉือนก็จะมากขึ้นด้วย

ลักษณะของโฮโมจีไนเซชันกับการไหลของแม่น้ำที่ไหลเชี่ยวมีความคล้ายกันคือ การทำให้ของแข็งหรือหยดของเหลวแตกออกจากกันมีผลมาจากแรงอิมแพคต์ที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสความเร็วสูงชนกับผิวของของแข็ง เช่น breaker ring ในเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ซึ่งมีการใช้วาล์วบางชนิด หรือผลของการทำให้แตกอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากความดันที่ลดลงรวดเร็วขณะที่ของไหลออกจากวาล์ว นอกจากนี้ แรงที่เกิดขึ้นจากการแตกออก (collapse) ของฟองต่างๆ เนื่องจากคาวิเทชัน (cavitation) อาจเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการโฮโมจีไนเซชันด้วย ในทางปฏิบัติ วาล์วส่วนใหญ่มักใช้หลักการทั้งสาม ขนาดและรูปร่างของช่องแคบออริฟิซกำหนดจากปริมาตรที่ต้องการแปรรูปในเวลาหนึ่งๆ และกำหนดความหนืดของผลิตภัณฑ์ด้วย

จากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดซึ่งได้จากวาล์วของโฮโมจีไนเซอร์เมื่อของไหลถูกบังคับให้ผ่านวาล์วภายใต้ความดันที่คงที่และสม่ำเสมอ เนื่องจากผลของแรงเฉือนของวาล์วเปลี่ยนแปลงไปตามความหนืดของของไหลที่ไหลผ่านวาล์ว เราสามารถแก้ไขได้โดยใช้ความเร็วค่า

หนึ่งความดันที่ขึ้นๆลงๆทำให้ความเร็วแปรเปลี่ยนไป ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่ดีนัก

2.1.7.1 ปรากฏการณ์การทำให้อนุภาคแตก

ขณะที่อนุภาคแขวนลอยหรือหยดของเหลวที่เป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่องผ่านบริเวณที่ทำให้แตก อาจเกิดขึ้นดังนี้

1) กลไกการเฉือนในการไหลแบบลามินาร์และเทอร์บูเลนซ์

การไหลทุกชนิด เช่น การไหลที่เกี่ยวข้องกับความเสียดทาน (friction) ก่อให้เกิดแรงเฉือน (shearing stress) ต่ออนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในกระแส ในการไหลแบบลามินาร์ ความเครียดเหล่านี้เป็นสิ่งที่ปกติและมีลักษณะหนืด แต่ในการไหลแบบเทอร์บูเลนซ์ ความเครียดดังกล่าวเป็นสิ่งไม่ปกติ ได้มีการพิสูจน์ด้วยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์พบว่าเทอร์บูเลนซ์เป็นกลไกที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการแตกขึ้น

2) คาวิเทชัน

เมื่อความดันในระบบถูกลดลงต่ำกว่าความดันไอของของเหลว จะเกิดฟองของไอ (vapor bubbles) ซึ่งฟองของไอเหล่านี้จะแตก (collapse) ในบริเวณที่มีความดัน ณ ตำแหน่งใกล้เคียง (local pressure) ที่สูงกว่า ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่าคาวิเทชัน (cavitation) โดยการให้ความดันประมาณ $5 \times 10^6 - 5 \times 10^7$ Pa ในวาล์วของโซโมจิในเซชันความดันสูง คาวิเทชันจะเกิดขึ้นเสมอ ซึ่งพิสูจน์ได้จากการเสื่อมเสียของผิวของวาล์วของการโซโมจิในเซชันซึ่งเกิดขึ้นจากคาวิเทชัน การมีคาวิเทชันทำให้การแตกมากขึ้นเมื่อพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากัน และทำให้กระบวนการโซโมจิในเซชันมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในเครื่องโซโมจิในเซอร์ทุกชนิดจะมีแรงเฉือน ความเค้นเนื่องจากคาวิเทชัน และแรงที่เกิดจากความเร่งหรือความถ่วงเกิดขึ้นพร้อมกัน

2.1.7.2 เครื่องโซโมจิในเซอร์

ของผสมที่ต้องผ่านกระบวนการโซโมจิในเซชัน ต้องเป็นของผสมที่มีความหนืดที่สามารถขนถ่ายได้ด้วยปั๊ม เนื่องจากเครื่องโซโมจิในเซอร์ชนิดต่อเนื่องใช้ปั๊ม ความดันที่ต้องการในของเหลวที่ท่อส่งออกของปั๊มขึ้นกับกลไกในการลดขนาดซึ่งเกิดขึ้นในเครื่องโซโมจิในเซอร์ ถ้าแรงที่ต้องการในการลดขนาดของอนุภาคที่เป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่องได้รับโดยตรงจากพลังงานของการไหลจำเป็นต้องใช้ความดันสูงซึ่งความดันจะลดลงทันทีเมื่อไหลผ่านช่องเปิดออร์ฟิซ หรือบางครั้งก็เรียกว่าวาล์วของการโซโมจิในเซชัน เครื่องโซโมจิในเซอร์เครื่องนี้จึงเรียกว่าเครื่องโซโมจิในเซอร์ความดันสูงและเป็นชนิดมาตรฐานที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

เครื่องที่มีพลังงานของการไหลต่ำ ก็ต้องการความดันต่ำกว่า แต่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานอื่นๆ เพิ่มเติมสำหรับลดขนาดของอนุภาค เครื่องชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันดี คือ โฮโมจีไนเซอร์ชนิดโรเตอร์-สเตเตอร์ (rotor-stator homogenizers) เช่น คอลลอยด์ มิลล์ แรงที่ใช้ทำให้อนุภาคของเฟสที่ไม่ต่อเนื่องแตกเกิดจากพลังงานของโรเตอร์ที่หมุนด้วยความถี่สูง ปัจจุบันใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลายเช่นกัน

เครื่องโฮโมจีไนเซอร์มี 4 ชนิดหลักๆ คือ

1) เครื่องผสม (mixers)

เครื่องกวนแบบใบพาย (paddle) ที่มีความเร็วต่ำมักนิยมใช้สำหรับการทำอิมัลชัน หรือการผสมก่อนนำไปแปรรูปอื่นๆ เพราะความรุนแรงของการผสมค่อนข้างน้อย

เครื่องผสมชนิดใบพัดกังหัน (turbine) และชนิดใบพัดเรือ (propeller) เป็นชนิดที่มีความเร็วสูง มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เป็นตัวผสมก่อนหรือการทำเป็นอิมัลชัน โดยเฉพาะสำหรับที่มีความหนืดต่ำ ส่วนใบพัดชนิดคิเพลเลอร์ของเครื่องผสมที่มีความเร็วสูงมักออกแบบมาเพื่อใช้ในการทำอิมัลชันพิเศษ

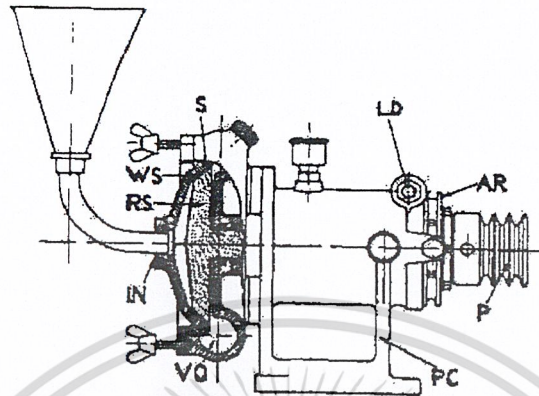
2) เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง (pressure homogenizers)

การโฮโมจีไนเซชันเป็นเทอมที่ใช้อธิบายการปฏิบัติการที่ต้องการลดขนาดของอนุภาคของเฟสที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งทำให้เกิดขึ้น โดยการบังคับอิมัลชันที่หยาบให้ผ่านช่องเปิดแคบๆ มีความเร็วสูง เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ วาล์วของโฮโมจีไนเซชันและปั๊มความดันสูง วาล์วมักจะออกแบบมาเพื่อให้เกิดช่องแคบ (gap) ที่ปรับได้โดยความกว้างระหว่าง $15 - 300 \mu m$ ซึ่งอิมัลชันที่หยาบจะถูกบีบผ่านช่องแคบนี้ที่ความดันสูงถึง 10,000 psi ขณะที่ของเหลวผ่านช่องแคบนี้ ของเหลวถูกเร่งจนมีความเร็วในช่วง 50-200 m/s ทำให้อนุภาคของเฟสที่ไม่ต่อเนื่องเกิดการเสียดสีซึ่งกันและกัน จนเสีรูปร่างแลแตกออกในวาล์วหลายชนิดขณะที่ของเหลวออกจากช่องแคบนี้จะชน (impinge) กับผิวที่แข็งซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการไหล ลักษณะเช่นนี้จะเร่งการแตกหรือการฉีกขาดของอนุภาคที่ไม่เสถียรของเฟสที่ไม่ต่อเนื่องต่อไปอีก ความดันที่ลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ของเหลวไหลออกจากช่องแคบ และการยุบตัวของฟองเนื่องจากคาวิเตชัน อาจจะมีผลต่อการลดขนาดของอนุภาคด้วย

3) เครื่องบดคอลลอยด์ (colloid mills)

รูปแบบทั่วไปของเครื่องบดคอลลอยด์ประกอบด้วยผิวที่หยุดนิ่งเรียกว่าสเตเตอร์ (stator) และผิวที่หมุนหรือตัวหมุนที่เรียกว่าโรเตอร์ (rotor) ซึ่งหมุนรอบแกนนอน ช่องว่างระหว่างผิวที่อยู่นิ่งและตัวหมุนสามารถปรับได้ (ปกติอยู่ในช่วงของ $50 - 150 \mu m$) โดยการเคลื่อนของตัวหมุนของเหลวซึ่งเป็นอิมัลชันที่หยาบจะป้อนเข้าสู่ศูนย์กลางของการหมุนภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ผ่านช่องว่างระหว่างผิวที่หยุดนิ่งและตัวหมุน ในระหว่างที่ผ่านช่องว่างระหว่างผิวทั้งสองดังกล่าวของเหลวจะได้รับแรงเสียดสี ทำให้เกิดเฟสที่ไม่ต่อเนื่องขึ้น จากนั้นของเหลวจะถูกปล่อยออกที่เอกซาร์นี้เป็นเอกซาร์ที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

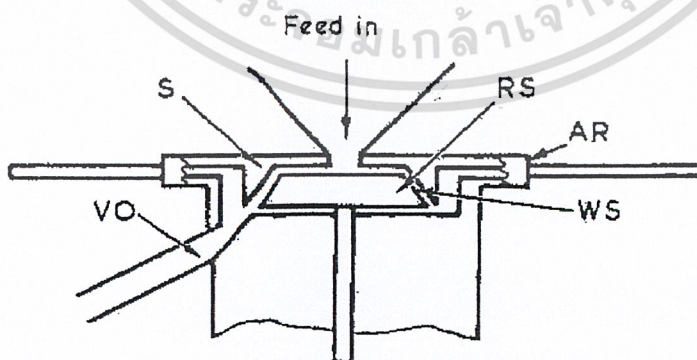
รอบเส้นรอบวงของผิว ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ความเร็วของตัวหมุนอยู่ระหว่าง 3,000 รอบ/นาที สำหรับตัวหมุนขนาด 15 นิ้ว จนถึง 15,000 รอบ/นาที สำหรับตัวหมุนขนาด 3.5 นิ้ว เครื่องบดนี้เหมาะสำหรับของเหลวความหนืดต่ำ



High-speed colloid mill. IN, inlet; RS, rotor; S, stator; WS, working surfaces; VO, volute (outlet); AR, adjusting ring; LD, locking device; P, pulley; PC, pedestal casting. (By courtesy of Premier Colloid Mills Ltd.)

รูปที่ 2.8 เครื่องบดคอลลอยด์ความเร็วสูง [13]

สำหรับของเหลวที่มีความหนืดสูง มักนิยมใช้เครื่องบดที่เป็นแบบตัวหมุนที่หมุนในแกนตั้ง เรียกว่า เพสต์มิลล์ (paste mills) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ความเร็วที่ใช้อยู่ระหว่าง 3,000 รอบ/นาที สำหรับตัวหมุนขนาด 10 นิ้ว จนถึง 10,000 รอบ / นาที สำหรับตัวหมุนขนาด 2.5 นิ้ว โดยที่ผลิตภัณฑ์สามารถออกจากเครื่องและการล้างเครื่องทำได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ยังมีการหุ้มด้วยฉนวนเพื่อควบคุมอุณหภูมิ อิมัลชันที่ได้จากเครื่องบดนี้ค่อนข้างละเอียดซึ่งให้เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคของเฟสที่ไม่ต่อเนื่องถึง $1 - 2 \mu\text{m}$ แต่มีข้อเสียคือการที่อากาศเข้าไปในผลิตภัณฑ์มีผลทำให้การทำงานของเครื่องมีประสิทธิภาพน้อยลง

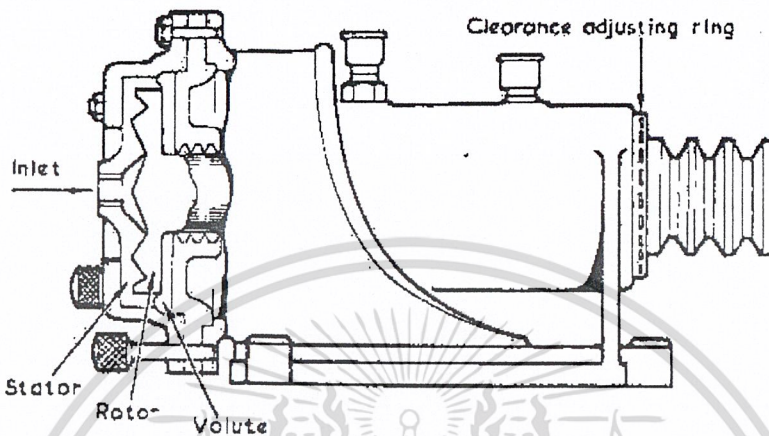


Top-feed 'paste' colloid mill (diagrammatic). RS, rotor; S, stator; WS, working surfaces; VO, volute (outlet); AR, adjusting ring.

รูปที่ 2.9 แผนภาพของเครื่องบดคอลลอยด์ชนิดเพสต์มิลล์ที่ปิดด้านบน [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีเครื่องบดบางชนิดที่ออกแบบมาให้ผิวที่หยาบหนึ่งและผิวที่หมุนมีลักษณะที่หยาบหรือคล้ายลูกฟูก ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งการออกแบบลักษณะลูกฟูกเช่นนี้ทำให้การทำอิมัลชันซีพีเคชันดำเนินต่อไปได้มากขึ้น ผลผลิตของเครื่องภายใต้ความดันสูงถึง 100 psi และการเกิดอากาศในผลิตภัณฑ์จะมีน้อยที่สุด



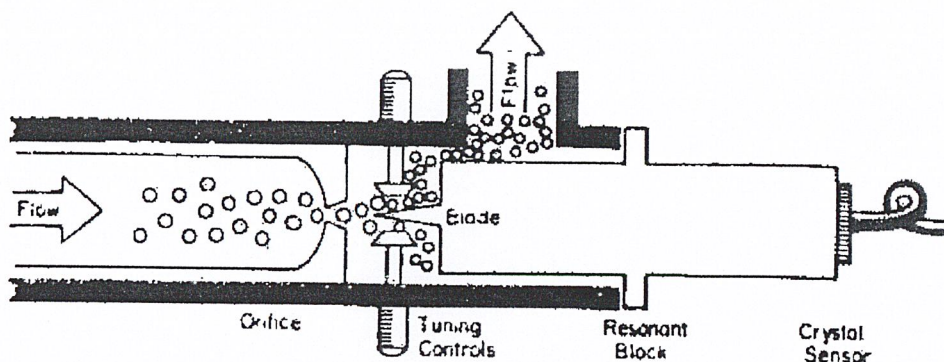
รูปที่ 2.10 เครื่องบดคอลลอยด์ชนิดที่เป็นรอยหัก [13]

โดยทั่วไปเครื่องบดคอลลอยด์มีข้อดีกว่าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง เมื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง (มากกว่า 1.0 N.s/m^2) ส่วนเครื่องโฮโมจีไนเซอร์เหมาะสำหรับสารที่มีความหนืดต่ำมาก (น้อยกว่า 1.0 N.s/m^2)

4) เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก (ultrasonic homogenizer)

การใช้คลื่นอัลตราโซนิก เช่น คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า ($18\text{-}30 \text{ kHz}$) ซึ่งระดับความถี่ที่มนุษย์สามารถรับฟังได้ (16 MHz) เป็นวิธีการหนึ่งในการกระจายของเหลวที่ไม่สามารถละลายเข้ากับของเหลวอีกชนิดหนึ่งเกิดเป็นอิมัลชันขึ้น คลื่นอัลตราโซนิกพลังงานสูงก่อให้เกิดวงจรสลับของแรงอัดและแรงดึงในของเหลวที่มีความหนืดต่ำ เพื่อทำให้เกิดอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาค $1 - 2 \mu\text{m}$

ในทางปฏิบัติ ของเหลวที่เป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่องของอิมัลชันจะถูกเติมเข้าไปในของเหลวที่เป็นเฟสต่อเนื่องแล้วของเหลวทั้งสองจะถูกบีบผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ความดัน $340\text{-}1,400 \text{ kPa}$ พลังงานของอัลตราโซนิกเกิดจากไบพัดโลหะที่สั่นด้วยความถี่เรโซแนนท์ (resonant frequency) การสั่นอาจเกิดขึ้นทางไฟฟ้าหรือเกิดจากการเคลื่อนที่ของของเหลว ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ความถี่นี้สามารถควบคุมได้ด้วยการปรับตำแหน่งที่ยึดไบพัด เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ประเภทนี้ใช้ในการผลิตครีมสด ไอศกรีม เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในการกระจายผงต่างๆ ในของเหลวด้วย



รูปที่ 2.11 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิก [13]

2.1.7.3 ประสิทธิภาพของกระบวนการโฮโมจีไนเซชัน

วิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งในการหาประสิทธิภาพของกระบวนการโฮโมจีไนเซชันคือ การตรวจสอบตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังสูงๆ ประมาณ 1,000 เท่า เพื่อสังเกตขนาดของเม็ดไขมันหรืออนุภาคซึ่งเป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่องที่เกิดขึ้น และปริมาณของอนุภาคที่จับเป็นกลุ่ม เม็ดไขมันทั้งหมดควรแตกออกมากพอที่จะป้องกันการแยกชั้นของทั้งสองเฟสในผลิตภัณฑ์ และไม่ควรมีการเกาะเป็นกลุ่มของอนุภาคมามากเกินไป ในกรณีการโฮโมจีไนเซชันของส่วนผสมของไอศกรีมจะพิจารณาว่าใช้ได้ต่อเมื่อประมาณ 85% ของอนุภาคเม็ดไขมันมีเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า $2\ \mu\text{m}$ ในพื้นที่จตุรัสมาตรฐานขนาด $100\ \mu\text{m}$ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 1,000 เท่า ค่าดัชนีของฟาร์ราลต์นี้ขึ้นกับปริมาณของเม็ดไขมันที่มีขนาดมากกว่า $2\ \mu\text{m}$ ข้อดีของการใช้ดัชนีของฟาร์ราลต์คือ เป็นวิธีการที่รวดเร็วและค่อนข้างถูกต้อง มักใช้กับส่วนผสมของไอศกรีม นมข้นจืด อย่างไรก็ตาม ผู้ปฏิบัติงานในส่วนของโฮโมจีไนเซชันมักสามารถเรียนรู้และตัดสินใจได้ว่าผลของกระบวนการโฮโมจีไนเซชันดีหรือไม่จากลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ หรือตัดสินใจว่า เครื่องมือควรมีการปรับอย่างไร เช่น เพิ่มความดันของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์จากประสบการณ์การทำงาน

ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ความหนืดของครีมหรือส่วนผสมของไอศกรีมสูงมากเกินไป จะชี้ให้เห็นว่ามีเกาะเป็นกลุ่ม (clustering) มากเกินไปควรจะมีการลดความดัน หรือถ้าใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่เป็น 2 ชั้นก็ควรจะปรับวาล์วใหม่ นอกจากนี้ ความเป็นกรดของครีมที่มีมากเกินไป หรือสมดุลของเกลือที่ใช้ไม่เหมาะสมส่วนก่อให้เกิดการจับเป็นกลุ่มก็ค่อนข้างมากเกินไป

2.1.7.4 ผลของการโฮโมจีไนเซชันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1) ผลต่อการทำให้ไขมันกระจายตัว

แสดงผลของของความดันโฮโมจีไนเซชันต่อการแตกของเม็ดไขมันโดยทำการทดลองวัดขนาดของเม็ดไขมันในนมอุณหภูมิมันเนยหลังจากผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดขั้นเดียวโดยใช้ที่

ความดันต่างๆ นม ครีม หรือ ไอศกรีมที่ผ่านการ โฮโมจีไนเซชันพบว่าเม็ดไขมันสามารถอยู่ในสถานะต่างๆกันดังนี้

- 1) เม็ดไขมันเดี่ยวๆ ไม่มีการเกาะติดกัน
- 2) เม็ดไขมันมากกว่า 2 อนุภาคมาเกาะติดกัน(cluster)
- 3) เม็ดไขมันที่มากกว่า 2 อนุภาคมารวมกันแน่นมากทำให้ลักษณะปรากฏของอนุภาคเดี่ยวหายไปเกือบหมด(clumps)
- 4) แต่ละอนุภาคของเม็ดไขมันไม่สามารถแยกออกจากกันได้(churned or buttered particles)

ซึ่งการกระจายตัวที่ไม่เหมาะสมก่อให้เกิดการเกาะติดกันของเม็ดไขมันที่มากเกินไปไม่ว่าจะเป็นแบบ clustering หรือ clumping หรือ buttering ซึ่งทำให้วัตถุประสงค์ของการ โฮโมจีไนเซชันผิดพลาดได้ และอาจทำให้เกิดความหนืดมากเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์ยากต่อการขนถ่ายโดยการปั๊มหรือยากต่อการทำให้เย็นลง โดยความหนืดที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนของเม็ดไขมัน และการดูดซับเอาเคซีนเข้าไปบนผิวของเม็ดไขมัน

เครื่องโฮโมจีไนเซอร์บางชนิดทำให้เม็ดไขมันแตกออกได้ดีมาก แต่การกระจายตัวไม่ดีทำให้เกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มของเม็ดไขมัน เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดสองชั้นช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของการกระจายตัวของเม็ดไขมัน อย่างไรก็ตาม เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ปัจจุบันมีการปรับปรุงให้มีการทำให้แตกและมีการกระจายตัวได้ดีด้วยตัวเพียงชั้นเดียว การเกาะเป็นกลุ่มของเม็ดไขมันในผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น พินด์บัตเตอร์ หรือชีสโกแลต อาจไม่มีปัญหาดังกล่าว แต่ในผลิตภัณฑ์พวกครีม ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์นมปัญหานี้มีความสำคัญมาก

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของการ โฮโมจีไนเซชันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [13]

ความดัน (lb)	ช่วงของขนาดเม็ดไขมัน (μm)	ขนาดของเม็ดไขมันเฉลี่ย (μm)
None	1-18	3.71
500	1-14	2.39
1000	1-7	1.68
1500	1-4	1.40
2000	1-3	1.08
2500	1-3	0.99
3500	0.5-2	0.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผลต่อค่าเคิร์ดเทนชัน

การโฮโมจีไนเซชันของนํ้านมภายใต้บางสภาวะมีผลอย่างมากต่อค่าเคิร์ดเทนชัน (curd tension) ดังแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 เคิร์ดเทนชันของนมที่ผ่านการโฮโมจีไนเซชันดูเหมือนว่ามีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับระดับการแตกตัวของไขมัน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเคิร์ดเทนชันจะมีค่าเท่ากันในเรื่องบางชนิดที่ทำงานที่ความดัน 2,000 ปอนด์ และจากเครื่องที่ทำงานที่ความดัน 3,000 ปอนด์ ถ้าการแตกตัวของไขมันเหมือนกันในเครื่องทั้งสอง อุณหภูมิของการโฮโมจีไนเซชันมีส่วนในการกำหนดค่าเคิร์ดเทนชัน โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่าให้ค่าเคิร์ดเทนชันที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 2.3 ผลของการโฮโมจีไนเซชันต่อเคิร์ดเทนชันในหน่วยกรัม [13]

Product	0 lb	500 lb	1,000 lb	2,000 lb	3,000 lb	4,000 lb
Skim milk	70	66	67	70	73	63
30%cream	...	16	11	5
Regular 4 % milk	53	40	33	29	26	23

ตารางที่ 2.4 เคิร์ดเทนชันของนมที่ผ่านการโฮโมจีไนเซชัน [13]

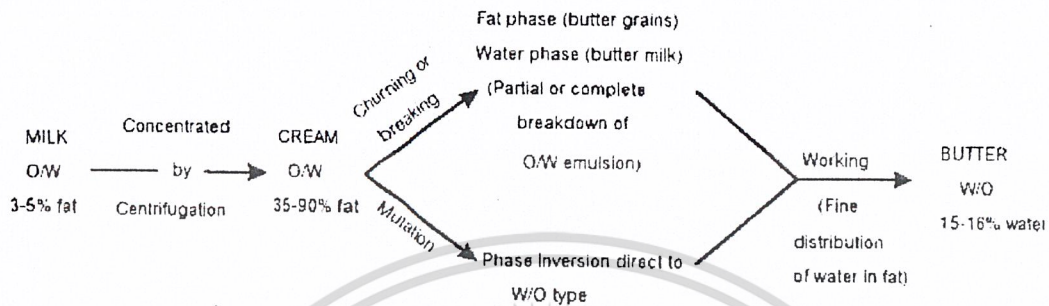
Pressure	Grams Curd Tension Homogenization		
	Temperature °F		
	145	120	90
None	51	59	60
500	47	58	58
1000	27	40	48
1500	22	32	39
2000	20	25	27
2500	18	26	23
3000	17	25	23

3) ผลต่อความหนืดและลักษณะเนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนครีมซึ่งเป็นอิมัลชันชนิด o/w ไปเป็นเนยซึ่งเป็นอิมัลชันชนิด w/o ไม่สามารถทำให้เกิดอิมัลชันดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์ ครีมจะถูกตีปั่น (churning) เพื่อให้อิมัลชันของ o/w แยกบางส่วน ในระหว่างนี้ อากาศจะเข้าร่วมด้วยทำให้เกิดลักษณะคล้ายโฟม (เป็นระบบคอลลอยด์ที่มีของเหลวเป็นเฟสต่อเนื่องและแก๊สเป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง) น้ำมันจะออกมาจากเม็ดไขมันมาที่ผิวของฟองอากาศแล้วรวมเป็นกลุ่มเม็ดไขมันเข้าด้วยกันก่อให้เกิดเกรนของเนย (butter 'grain') จากนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตีด้วยความเร็วต่ำเพื่อกระจายน้ำเป็นอนุภาคขนาดเล็กๆจนทั่วของผสม และเพื่อทำลายเม็ดไขมันใดๆที่อาจหลงเหลืออยู่ในครีม ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีเฟสที่ต่อเนื่องของไขมัน 85 % ซึ่งประกอบด้วยโกลบูลและผลึกของไขมันกับฟองอากาศ ส่วนเฟสที่ไม่ต่อเนื่องอีก 15% ประกอบด้วยอนุภาคของน้ำและนมเนย (buttermilk) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอิมัลชันระหว่างการทำเนย [13]

4) ผลต่อสี กลิ่นรส คุณค่าทางอาหารและอายุการเก็บ

การไฮโมจิในเซชันมีผลต่อสีของอาหารบางชนิด เช่น ในน้ำมัน ยังมีจำนวนของเม็ดไขมันมากจะทำให้เกิดการสะท้อนแสง ทำให้มีสีขาวมากขึ้น กลิ่นรสอาจจะดีขึ้นในอาหารบางชนิดเนื่องจากทำให้สารประกอบที่ระเหยง่ายเหล่านี้กระจายทั่วอาหาร ทำให้มีการสัมผัสกับตัวรับรสมากขึ้นขณะที่รับประทานอาหาร คุณค่าทางอาหารจะเปลี่ยนไปเมื่อองค์ประกอบบางชนิดถูกแยกออกไป เช่น ในการทำเนยดังแสดงในตารางที่ 5 แต่ในกรณีของอาหารในเด็กทารก อาจเป็นการเพิ่มความสามารถในการย่อยของไขมันและโปรตีนเนื่องจากการลดขนาด ส่วนคุณค่าทางอาหารขึ้นอยู่กับสูตรของอาหาร ไม่ขึ้นกับการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ผลของการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน และสารอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้อาหารคงตัว มีลักษณะปรากฏที่สม่ำเสมอและป้องกันการแยก แต่ไม่ใช่การรักษาถนอม หน่วยปฏิบัติการที่เพิ่มขึ้นมา เช่น การทำให้เย็น การแช่แข็ง และการอบ จึงมีความจำเป็นสำหรับการยืดอายุการเก็บของอาหาร

ตารางที่ 2.5 ผลของการอิมัลซิฟิเคชันต่อคุณค่าทางอาหารในการทำเนย [13]

Nutrient (per 100 g food)	Amount in the following	
	Cream (double)	Butter (salted)
Water (g)	48.0	15.4
Protein (g)	1.5	0.4
Fat (g)	48.0	82.0
Carbohydrate (g)	2.0	-
Energy (kJ)	1,850.0	3,040.0
Vitamin A (μ g)	430.0	730.0
Vitamin D (μ g)	0.3	0.5
Thiamin (μ g)	20.0	-
Riboflavin (μ g)	80.0	-

2.2 การตรวจเอกสาร

ศิริวรรณ (2528) [14] พบว่า การสกัดแบบสองครั้งเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อเนื้อมะพร้าวเท่ากับ 1 : 1 จะได้น้ำกะทิมีปริมาณไขมัน 17.04% โปรตีน 1.51% ของแข็งทั้งหมด 22.91% แต่การสกัดแบบครั้งเดียวเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อเนื้อมะพร้าวเท่าเดิม ได้น้ำกะทิมีปริมาณไขมัน 15.20% โปรตีน 1.05% ของแข็งทั้งหมด 19.78%

ประสงค์ หุ่นแก้ว (2531) [4] ทำการศึกษาถึงอุณหภูมิในการสกัดน้ำกะทิต่อคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์และเคมีของน้ำกะทิ พบว่า ที่อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวขูดต่อน้ำเท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการสกัดน้ำกะทิไม่มีผลต่อปริมาณ โปรตีนและไขมัน แต่มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ในช่วง 120 นาที โดยที่น้ำที่ใช้ในการสกัดน้ำกะทิที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ช้าลง และในการทดลองใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ผสมกัน 4 คู่ พบว่า คู่ที่ทำให้ น้ำกะทิมี ลักษณะปรากฏดีที่สุด ไม่มี การแยกชั้นภายในระยะเวลา 3 วัน และมีลักษณะเนื้อเนียน สี กลิ่นและรสชาติ ดี ได้แก่ คู่ Tween 40 กับ GMS ที่ค่า HLB \geq 14.0, ความเข้มข้น 0.6% และคู่ Tween 60 กับ Span 80 ที่ ค่า HLB \geq 14.0, ความเข้มข้น 0.5% นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับกัม จะไม่ก่อให้เกิดผลดี คือ จะทำให้น้ำกะทิเกิดการแยกชั้นเป็นชั้นครีมและชั้นน้ำ และเกิดเป็นก้อน curd ขนาดใหญ่.

จารุวรรณ ศิริพรรณพร, ปราโมทย์ ธรรมรัตน์, จุติภา มาลีหวล, ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์ (2543) [21] ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้น้ำกะทิแทนน้ำนมโคในการผลิตโยเกิร์ต โดยทำการเปรียบเทียบและหาสัดส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมในการผลิตและผลของการยอมรับทางประสาทสัมผัส เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำกะทิและน้ำนมโคแตกต่างกัน กล่าวคือ ในกะทิมีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันสูงกว่าปริมาณ โปรตีน แต่น้ำมัน โคมิ ไขมันและ โปรตีนในปริมาณที่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปริมาณไขมันและปริมาณของแข็งทั้งหมดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดี โดยการผสม 12% น้ำกะทิ และ 15% สารละลายนมผงเข้าด้วยกัน และหาอัตราส่วนของน้ำกะทิต่อสารละลายนมผงที่จะให้ปริมาณไขมันและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสม โดยอ้างจาก Robinson and Tamine (1981) ว่า โยเกิร์ตที่มีคุณภาพดีได้จากนมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 15-16% นอกจากนี้ ในการผลิตน้ำกะทิโดยทดลองใช้มะพร้าวที่มีอายุอ่อนแก่ต่างกัน 2 ชนิด คือ มะพร้าวที่ขึ้นทึกและมะพร้าวห้าว พบว่า กะทิจากมะพร้าวที่ขึ้นทึกมีปริมาณไขมันต่ำกว่ากะทิจากมะพร้าวห้าว คือ 3.49 - 3.58% และ 18.50 - 17.98% และผลจากการให้ความร้อนกับน้ำกะทิจะทำให้ ปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ลดลง และป้องกันการตกตะกอนของโปรตีนและการรวมตัวของเม็ดไขมัน อันจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นด้วย.

Senal Ibanogul and Esra Ibanogal (1998) [15] ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลของซूपพื้นเมืองของตุรกี 3 ชนิด ได้แก่ Lentil soup, Yogurt soup และ Lentil and tomato soup ที่อุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 15 - 70°C โดยวัดความหนืดโดยใช้ Brookfield RTV viscometer พบว่า ซूपทั้ง 3 ชนิดประพฤติตนเป็นแบบ pseudoplastic และค่าความหนืดปรากฏลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความหนืดก็จะลดลง โดยที่ค่าดัชนีการไหล, n , เป็นตัวแปรที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ และค่า consistency index, k , เป็นตัวแปรที่ขึ้นกับอุณหภูมิ โดยเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอาร์เนียส.

A.M. Ramos and A. Ibarz (1998) [16] ทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อความหนาแน่นของน้ำพีชและน้ำส้ม และศึกษาถึงผลของอุณหภูมิต่อความหนาแน่นของน้ำแอ๊ปเปิ้ลและน้ำ quince พบว่า การหาความหนาแน่นโดยใช้ พิคโนมิเตอร์ ที่อุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 5 - 70°C โดยเปลี่ยนแปลงทีละ 5°C และที่ความเข้มข้น 10 - 60°Brix โดยเปลี่ยนแปลงทีละ 10°Brix สำหรับน้ำพีช และสำหรับน้ำส้มที่อุณหภูมิ 0 - 80°C โดยเปลี่ยนแปลงทีละ 5°C และที่ความเข้มข้นต่างๆเช่นเดียวกับน้ำพีช พบว่า ความหนาแน่นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น และสามารถหาความสัมพันธ์ได้ว่า ความหนาแน่นของน้ำผลไม้ทั้ง 2 ชนิดเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ส่วนน้ำแอ๊ปเปิ้ลและน้ำ quince ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 0-80°C เปลี่ยนแปลงทีละ 5°C เช่นกัน แต่ที่ความเข้มข้นเดียว คือ 12.3°Brix พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นจะลดลง และหาค่าความสัมพันธ์ในรูปของฟังก์ชันของอุณหภูมิได้.

Sevim Kaya and Ali R. Tekin (2001) [17] ทำการศึกษาถึงผลของปริมาณ salep ที่มีต่อพฤติกรรมการไหลในไอศกรีม โดย salep เป็นสารให้ความคงตัวจากธรรมชาติที่สกัดจากกล้วยไม้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดหนึ่ง โดยการทดลองนี้ได้เปรียบเทียบพฤติกรรมของส่วนผสม 2 อย่าง คือ นม-salep-น้ำตาล และน้ำ-salep-น้ำตาลที่ปริมาณความเข้มข้นต่างๆของ salep ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ Brookfield viscometer แบบดิจิตอล รุ่น RVT พบว่า ความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ salep เพิ่มขึ้นในทุกความเร็วรอบ แต่ให้ผลเด่นชัดในส่วนผสม นม-salep-น้ำตาล มากกว่าน้ำ-salep-น้ำตาล และจากการทดลอง พบว่าส่วนผสม นม-salep-น้ำตาลแสดงพฤติกรรมแบบ non-Newtonian ที่ทุกอุณหภูมิและความเข้มข้น ต่างจากส่วนผสมน้ำ-salep-น้ำตาล ที่เปลี่ยนจาก Newtonian เป็น non-Newtonian เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ salep ขึ้นและค่า consistency index, k ซึ่งใช้วัดคุณสมบัติความหนืดของอาหาร จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความเข้มข้นของ salep เพิ่มขึ้นสำหรับส่วนผสมทั้ง 2 ชนิด

Mahmut Genc, Murat Zorba and Gulden Ova (2002) [18] ทำการศึกษาถึงค่าต่างๆที่แสดงถึงคุณสมบัติการไหลของ boza และใช้การวิเคราะห์ทางกายภาพและประสาทสัมผัสเข้าช่วย โดยการทดลองหาค่าความหนืดโดยใช้ Brookfield viscometer รุ่น RVT พบว่าความหนืดปรากฏลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติแบบ non-Newtonian และจากการหาค่าดัชนีการไหลของ boza พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 จึงกล่าวได้ว่า boza ประพฤติตนเป็นแบบ pseudoplastic และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งและค่าต่างๆที่แสดงถึงคุณสมบัติการไหลของ boza จากการทดลองในห้องทดลอง พบว่า ค่าดัชนีการไหล, n จะลดลงและค่า consistency index, k จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้ว ค่าดัชนีการไหลจะไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งและอุณหภูมิ ซึ่งจะแตกต่างกับ consistency index ส่วนทางด้านประสาทสัมผัส แบ่งเป็นด้านลักษณะปรากฏและรสชาติ พบว่า มีความสัมพันธ์กับ consistency index แบบฟังก์ชัน Power model ซึ่งจะเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงคะแนนทางประสาทสัมผัสได้

Chu และคณะ (1969) [4] รายงานว่า น้ำกะทิที่ได้จากการคั้น 2 ครั้ง โดยครั้งแรกเติมน้ำ 0.5 เท่า ของน้ำหนักมะพร้าว และครั้งที่ 2 เติมน้ำอีก 0.5 เท่าของน้ำหนักกาก เป็นน้ำกะทิที่เหมาะสมสำหรับการทำผลิตภัณฑ์น้ำกะทิบรรจุกระป๋อง และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านรสชาติและลักษณะปรากฏ

UNIDO (1982) [4] รายงานว่า น้ำที่ใช้ล้างหรือแช่เนื้อมะพร้าวควรเป็นน้ำเดือด จะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดแต่ไม่ควรให้อุณหภูมิของเนื้อมะพร้าวทั้งชิ้นสูงกว่า 84 องศาเซลเซียส เพราะวาโปรตีนในเนื้อมะพร้าวจะเสียสภาพไป

Gonzales และคณะ (1982) [4]พบว่า เนื้อมะพร้าวซึ่งลดขนาดด้วยเครื่อง colloid mill จะมีขนาดเล็กที่สุดและให้ประสิทธิภาพการสกัดไขมันและโปรตีนสูงที่สุดกล่าวคือ สามารถสกัดเอาไขมันและโปรตีนออกจากเนื้อมะพร้าวสดได้ถึง 81.55 % และ 74.66% ตามลำดับ

Cancel และคณะ (1974) [4]รายงานว่า การใช้แรงขนาด 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บีบเนื้อมะพร้าวจะได้ปริมาณน้ำกะทิมากที่สุดและมีประสิทธิภาพถึง 90-95% การใช้แรงน้อยได้น้ำกะทิปริมาณไขมันและโปรตีนต่ำและได้ปริมาณน้อยด้วย การคั้นน้ำกะทิด้วยมือนั้น กระทำกันมากในระดับครัวเรือน ไม่เหมาะกับการคั้นกะทิปริมาณมากเพราะองค์ประกอบของน้ำกะทิที่ได้ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของแรงที่ใช้ ดังนั้นการผลิตน้ำกะทิในระดับอุตสาหกรรมซึ่งต้องคั้นน้ำกะทิปริมาณมากและต้องการคุณภาพที่สม่ำเสมอจึงต้องใช้เครื่องบีบ

ต่อมา Cancel และคณะ ได้ทำการทดลองสกัดน้ำกะทิโดยใช้น้ำเย็นอุณหภูมิ 80-86 °F (26.7-30 °C) และน้ำร้อนอุณหภูมิ 190-200 °F(87.8-93.3 °C)อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อเนื้อมะพร้าวเป็น 0:4, 1:4, 2:4, 3:4และ 4:4 พบว่าปริมาณน้ำกะทิที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนน้ำต่อเนื้อที่เพิ่มขึ้นจาก 0:4 ถึง 4:4 โดยการสกัดที่อัตราส่วน 4:4 ได้ปริมาณน้ำกะทิที่มากกว่าการสกัดในอัตราส่วน 0:4 ประมาณ 10% ไม่ว่าจะใช้น้ำร้อนหรือน้ำเย็นก็ตาม แต่การใช้น้ำร้อนไม่ได้ช่วยทำให้น้ำกะทิมีปริมาณไขมันและของแข็งเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

แผนการทดลอง

3.1 แผนการทดลอง และการดำเนินงาน

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำกะทิ

1. ทำการชูดเนื้อมะพร้าวด้วยเครื่องชูดมะพร้าว
2. ทำการคั้นน้ำกะทิด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิ ด้วยคั้นที่อัตราส่วนเนื้อมะพร้าว ต่อ น้ำ 1 : 1 โดย น้ำหนัก
3. ทำการกรองน้ำกะทิด้วยผ้าขาวบาง
4. เติมวัตถุกันเสีย โซเดียมเมตไบซัลไฟต์ 500 ppm
5. นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
6. เติมสารอิมัลซิไฟเออร์ Sugar Ester (HLB 16) 0.1 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำกะทิ
7. เติมสารให้ความคงตัว (CMC) ที่ความเข้มข้น 0.1 เป็น 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 % โดย น้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำกะทิ
8. นำไปโฮโมจิไนซ์ ด้วยเครื่อง โฮโมจิไนซ์ Ultrasonicator รุ่น VC750
9. นำไปให้ความร้อนด้วยอ่างควบคุมความร้อน

หมายเหตุ : กะทิที่ได้จากการคั้นที่อัตราส่วนเนื้อมะพร้าว ต่อ น้ำ 1 : 1 โดยน้ำหนัก มี ปริมาณไขมัน 10% และปริมาณโปรตีน 1.7%

3.1.2 วิธีการใช้เครื่อง Brookfield DV-III

- 1) กดปุ่ม เปิด/ปิด เครื่อง Brookfield หน้าจอจะแสดงว่า “BROOKFIELD DV-III Rheometer V3.X RV Standalone”
- 2) เมื่อหน้าจอแสดงว่า “REMOVE SPINDLE, LEVEL RHEOMETER AND PRESS THE MOTER ON/OFF KEY TO: AUTOZERO.” กดปุ่ม ON/OFF และรอประมาณ 15 วินาที เพื่อให้เครื่องตั้งค่าศูนย์ของเครื่อง
- 3) เมื่อหน้าจอแสดงว่า “AUTOZERO IS COMPLETE REPLACE SPINDLE AND PRESS NEXT KEY.” ให้ทำการใส่เข็มที่ใช้วัด และกดปุ่ม NEXT
- 4) เครื่องจะสามารถจำเบอร์เข็มวัดที่ใช้ครั้งสุดท้ายก่อนจะปิดเครื่องได้ถ้าใส่เข็มวัดเบอร์เดิม ให้กด NEXT ถ้าไม่ได้ใส่เข็มวัดเบอร์เดิมให้กดปุ่ม SELECT SPDL และเลือก เบอร์ของเข็มวัดที่ใช้เช่น 01, 02, 03 และ กดปุ่ม NEXT
- 5) ถ้าในบรรทัดแรกของหน้าจอแสดงผลขึ้นว่า MOTER: OFF, ให้กดปุ่ม MOTER ON/OFF หน้าจอจะแสดงผล RPM: 0.0.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) ใส่ตัวอย่างที่ต้องการวัด และใส่ค่าความเร็วรอบที่ต้องการ โดยสามารถตั้งค่าได้ตั้งแต่ 0-250 รอบต่อนาที(rpm)
- 7) เมื่อใส่ความเร็วรอบที่ต้องการแล้วกดปุ่ม NEXT เพื่อวัดค่า
- 8) ค่าที่สามารถวัดได้ Viscosity, %Torque, Shear Stress และ Shear Rate โดยจะสามารถเลือกดูได้โดยกดปุ่ม SELECT DISP.
- 9) ต้องการวัดที่ความเร็วรอบอื่นๆ ให้ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 6-8
- 10) ถ้าต้องการหยุดกดปุ่ม MOTER ON / OFF เพื่อหยุดการทำงาน

3.1.3 วิธีการใช้เครื่อง Ultrasonics Homogenizer

- 1) เตรียมอุปกรณ์ และติดตั้งหัว probe ให้เรียบร้อย
- 2) กดสวิทช์เปิดเครื่องที่ปุ่ม ON / OFF
- 3) ปรับค่า Amplitude ไปที่ 35% โดยหมุนปรับบริเวณปุ่มซึ่งอยู่ทางด้านใต้ของเครื่อง
- 4) ตั้งเวลาที่ต้องการใช้ โดยกดปุ่ม Timer และตั้งเวลาที่ 5 นาที (ต่อน้ำกะทิ 100 มิลลิลิตร)แล้วกด Enter
- 5) กดปุ่ม Start เพื่อให้เครื่องทำงาน
- 6) กดปุ่ม Stop เพื่อให้เครื่องหยุดทำงาน
- 7) การทำความสะอาดเครื่อง ทำได้โดยนำน้ำอุ่นใส่บีกเกอร์ แล้วนำมาจุ่มที่ probe แล้วกดปุ่ม start ประมาณ 30 วินาที โดยเครื่องจะทำความสะอาดตัวมันเอง
- 8) กดปุ่ม ON / OFF เพื่อปิดเครื่อง จากนั้นใช้ผ้าเช็ดหัว probe ให้แห้งแล้วถอดเก็บ

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำกะทิ

- 1) เนื้อมะพร้าวสด
- 2) น้ำกรอง
- 3) เครื่องชูดมะพร้าว
- 4) เครื่องคั้นน้ำกะทิ
- 5) คราซั้ง
- 6) กระจกตวงน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทดลองหาค่าความหนืด

- 1) ตัวอย่างน้ำกะทิ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
- 2) ชุดเครื่อง Brookfield รุ่น DV-III
- 3) บีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร
- 4) อ่างควบคุมความร้อน(Water Bath)
- 5) เทอร์โมมิเตอร์
- 6) แท่งแก้วคน

3.2.3 การทดลองหาค่าความหนาแน่น

- 1) ตัวอย่างน้ำกะทิ 25 มิลลิลิตร
- 2) พิกโนมิเตอร์
- 3) กรวยแก้ว
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 5) กระจกบอกลูกกลิ้ง

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 วิธีการหาค่าความหนืด

- 1) จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องวัดความหนืด
- 2) เทตัวอย่างน้ำกะทิตลงในบีกเกอร์ 20 มิลลิลิตรนำไปตั้งในอ่างควบคุมความร้อน โดยควบคุมอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
- 3) บันทึกค่าความหนืดของน้ำกะทิจากเครื่อง Brookfield รุ่น DV-III
- 4) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
- 5) ทำการทดลองจาก ข้อ 1- 4 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำกะทิ โดยเพิ่มครั้งละ 10 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
- 6) ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1- 5 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารให้ความคงตัว จาก 0.1 เป็น 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 % ตามลำดับ
- 7) สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.3.2 วิธีหาค่าความหนาแน่น

- 1) จัดเตรียมเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
- 2) ชั่งน้ำหนัก พิกโนมิเตอร์ ขนาด 25 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนัก พิกโนมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) ตรวจสอบว่าน้ำหนัก ความเข้มข้นของ stabilizer 0.1เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เทใส่ พิค โนมิเตอร์ ที่เตรียมไว้
- 7) จดบันทึกน้ำหนักของ พิค โนมิเตอร์ เมื่อบรรจุน้ำหนักที่อยู่เต็ม (รักษาอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการทดลอง)
- 8) ความหนาแน่นของน้ำกะทิหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างมวลและปริมาตรของน้ำกะทิดังสมการ

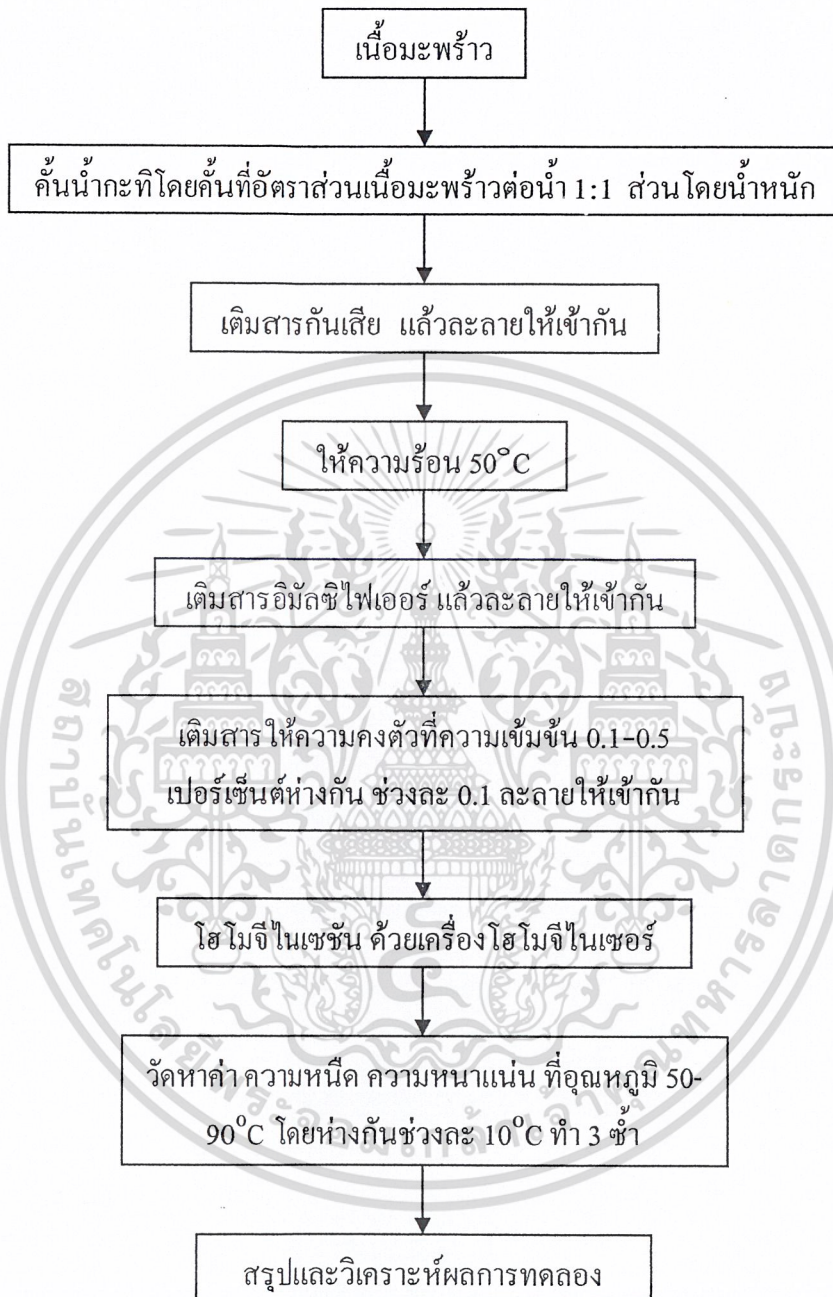
$$SG = \frac{m}{m_w} \quad (3.1)$$

$$\rho = \rho_w \times SG \quad (3.2)$$

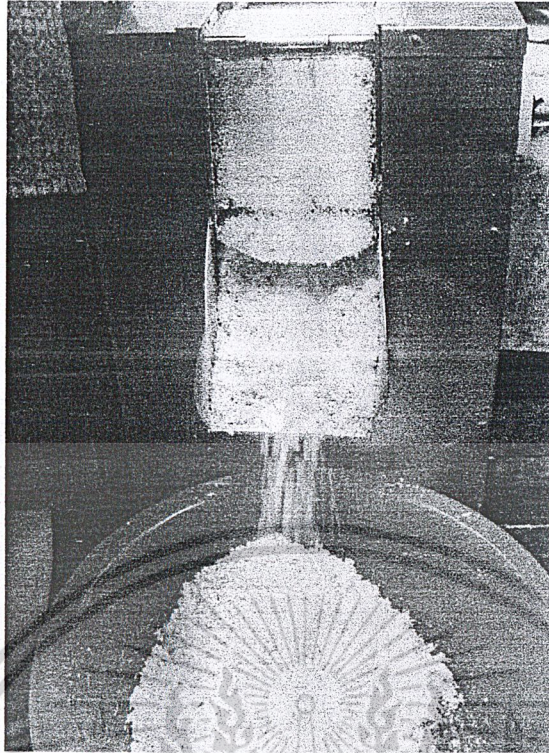
โดยที่ SG = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกะทิ
 m = มวลของน้ำกะทิ (kg)
 m_w = มวลของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน (kg)
 ρ = ความหนาแน่นของน้ำกะทิ (kg/m³)
 ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน (kg/m³)

- 9) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
- 10) ทำการทดลองจาก ข้อ 1-6 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำกะทิโดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
- 11) ทำการทดลองตั้งแต่ ข้อ 1-7 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของ stabilizer จาก 0.1 เป็น 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
- 12) สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

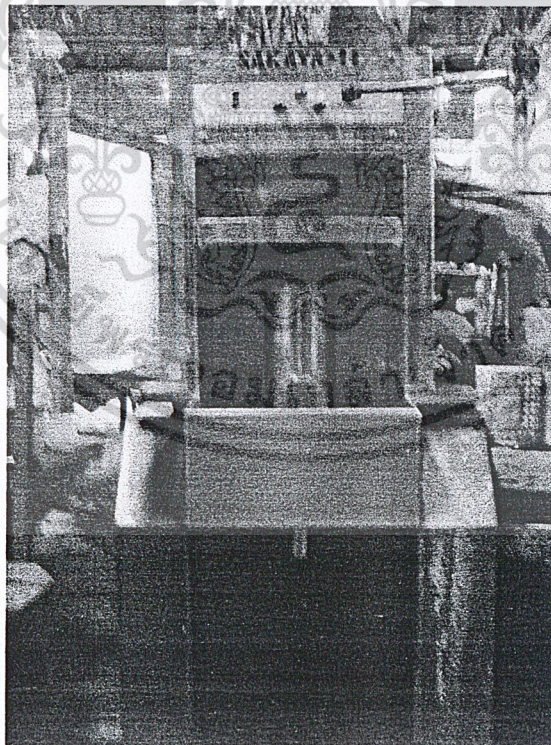
3.4 แผนผังการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

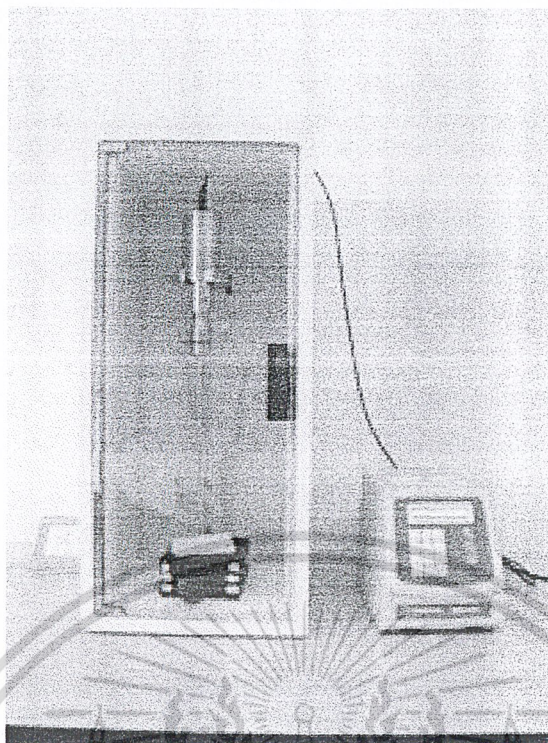


รูปที่ 3.1 การขุดมะพร้าวด้วยเครื่องขุดมะพร้าว

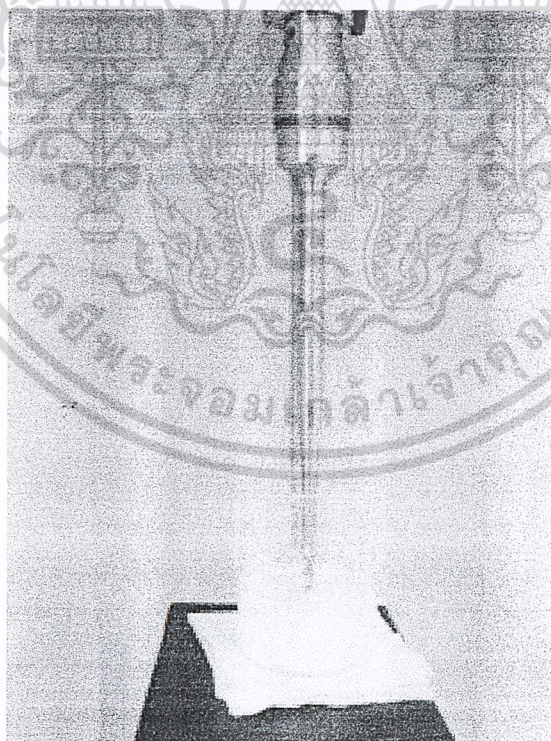


รูปที่ 3.2 เครื่องคั้นน้ำกะทิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

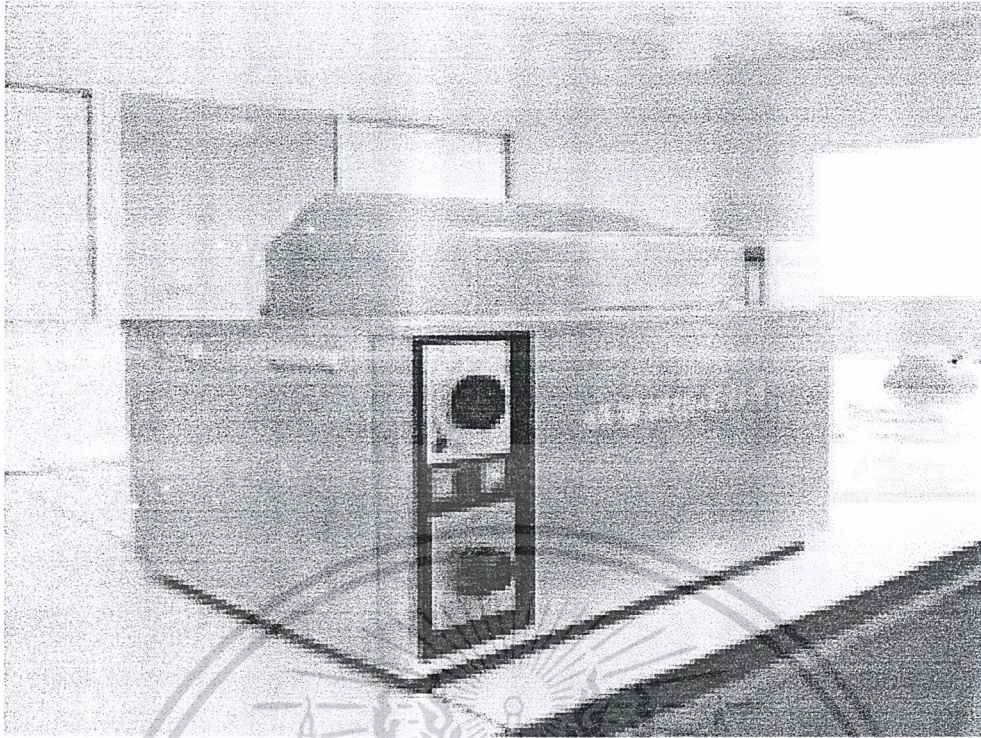


รูปที่ 3.3 เครื่อง Ultrasonics Homogenizer

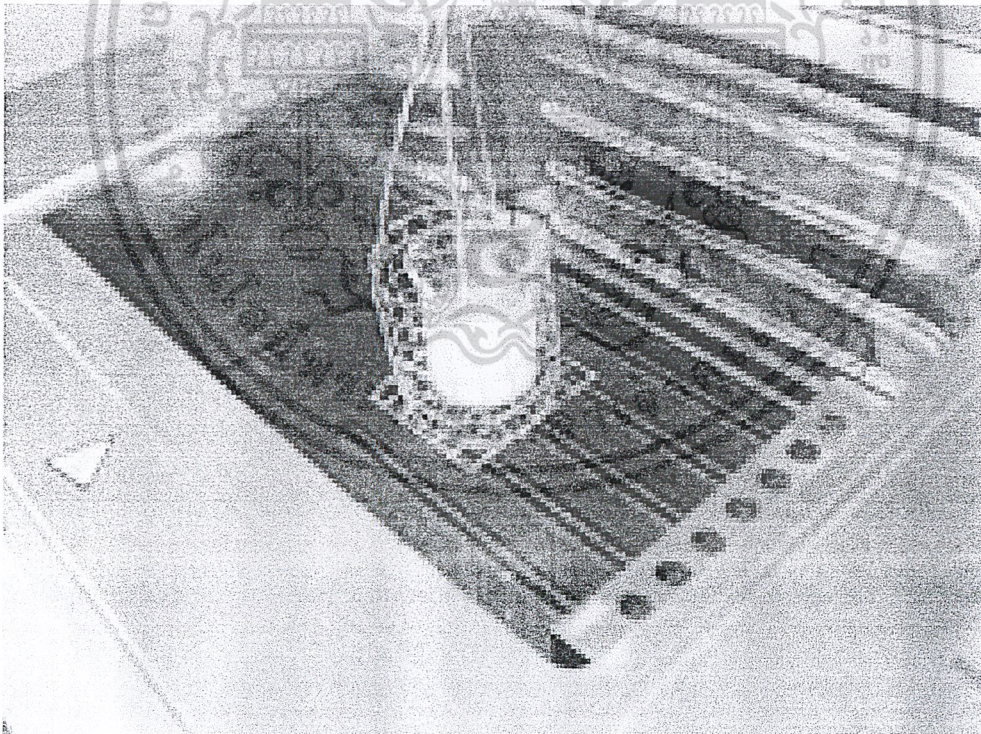


รูปที่ 3.4 น้ำกะทิขณะทำการโฮโมจีไนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

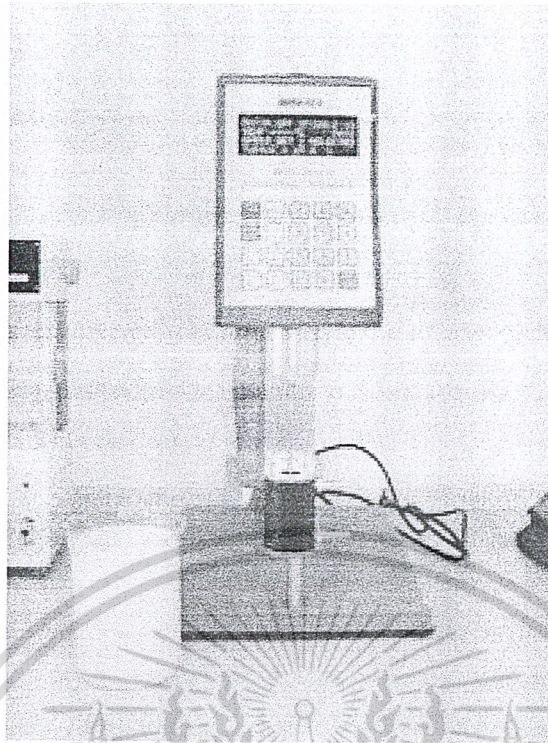


รูปที่ 3.5 อ่างควบคุมความร้อน



รูปที่ 3.6 น้ำกะทิขณะให้ความร้อนในอ่างควบคุมความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เครื่อง Brookfield รุ่น DV-III สำหรับการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิ



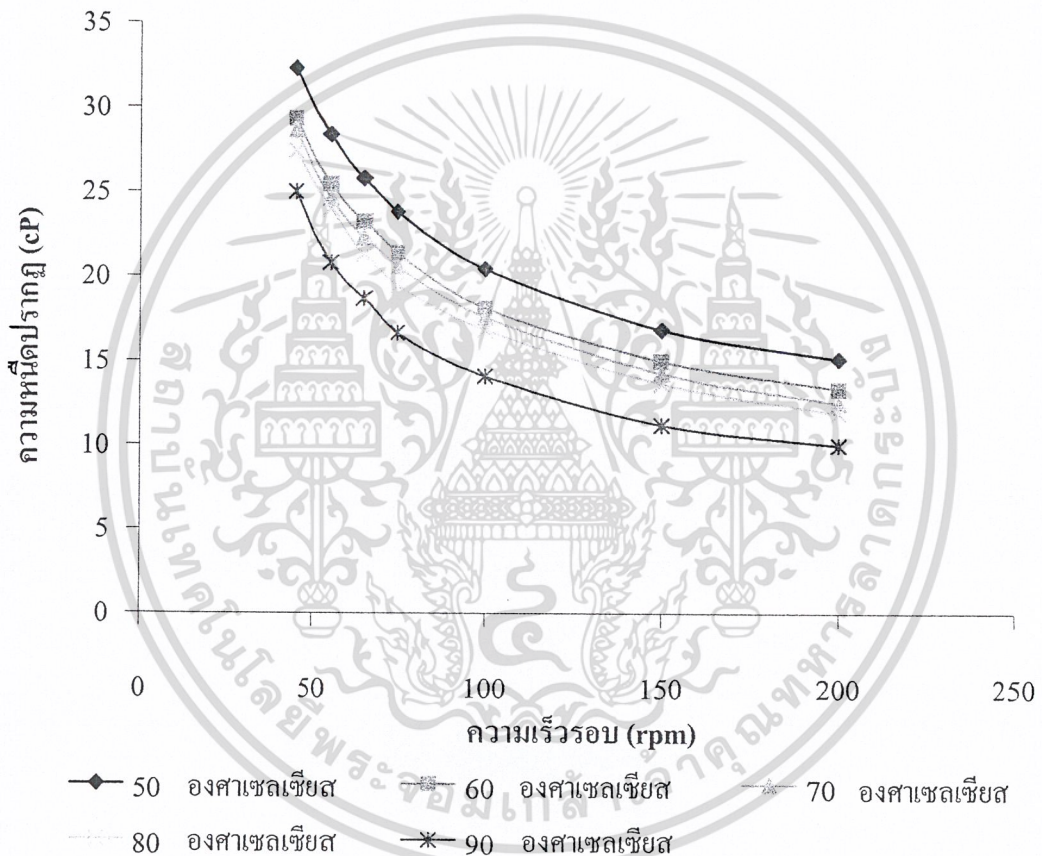
รูปที่ 3.8 พิกโนมิเตอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร สำหรับการทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำกะทิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ(rpm) กับ ความหนืดปรากฏ(cP) ของ น้ำกะทิ

จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราเร็วเพิ่มขึ้น ความหนืดปรากฏจะลดลง (ดังรูปที่ 4.1) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำกะทิแสดงคุณสมบัติเป็นของไหลประเภท Non-newtonian ชนิด shear thinning หรือ pseudoplastics [19]



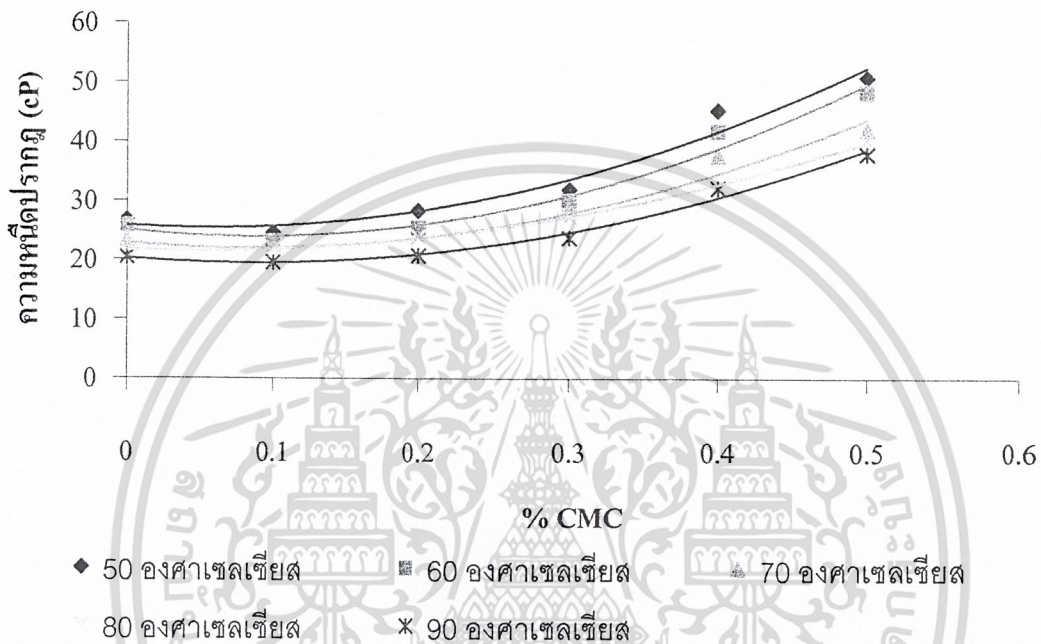
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ (rpm)กับ ความหนืดปรากฏ(cP) ของน้ำกะทิที่ความเข้มข้น CMC 0.2%

4.2 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิ

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ (ดังรูปที่ 4.2) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับความเข้มข้นของสารให้ความคงตัว (ดังรูปที่ 4.3) มีความสัมพันธ์แบบเดียวกัน คือเป็นแบบ โพลี โนเมียล สมการความสัมพันธ์ที่ได้ คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta = K_1 - K_2C + K_3C^2 - K_4T + K_5T^2$$

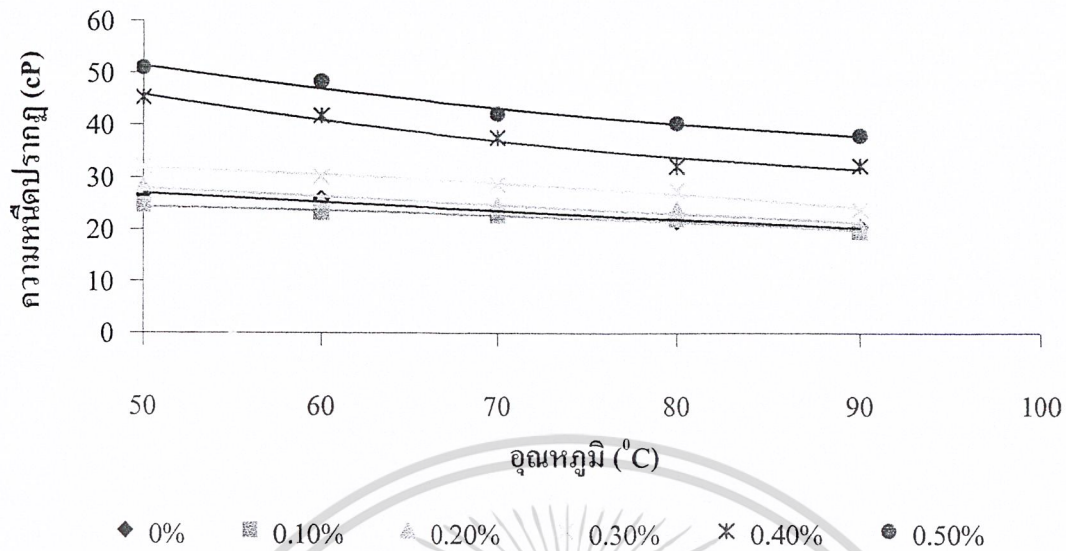
โดยที่ η = ความหนืด, cP
 C = ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว, % โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำกะทิ
 T = อุณหภูมิ, $^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ กับ %CMC ของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 55 rpm

จากกราฟในรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ CMC เพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิ เนื่องจากมีปริมาณ CMC ที่ละลายและไปทำปฏิกิริยากับโปรตีน เกิดเป็น CMC-Protein Complex ปริมาณสูงขึ้น มีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [20]

รูปที่ 4.3 แสดงผลของอุณหภูมิต่อความหนืดปรากฏของน้ำกะทิ พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนืดปรากฏลดลง ในทุกความเข้มข้นของ CMC ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Senal Ibanoglu and Esra Ibanoglu ซึ่งทำการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติการไหลของซูปพื้นเมืองของตุรกี[15]



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิของน้ำกะทิที่ %CMC ต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 55 rpm

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของคุณสมบัติการไหลของน้ำกะทิ ทำได้โดยใช้สมการยกกำลัง (Power Law Equation) ซึ่งมีรูปดังสมการ 4.1

$$\eta = k\gamma^{(n-1)} \quad (4.1)$$

- โดยที่ η = ความหนืดปรากฏ
 k = ดัชนีความหนืด (Consistency Index)
 γ = อัตราเฉือน (Shear Rate)
 n = ดัชนียกกำลัง (Power Law Index)

ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของ CMC ต่อ ค่าพารามิเตอร์ของคุณสมบัติการไหล
ของน้ำกะทิ

%CMC	อุณหภูมิ (°C)	k	n
0	50	277.32	0.4553
	60	374.14	0.3688
	70	463.87	0.3015
	80	488.7	0.2797
	90	427.32	0.2909
0.1	50	327.51	0.3935
	60	326.81	0.3805
	70	340.88	0.3654
	80	345.97	0.3536
	90	351.06	0.3256
0.2	50	251.27	0.4909
	60	241.98	0.4754
	70	258.26	0.4753
	80	253.96	0.4473
	90	282.29	0.3927
0.3	50	310.09	0.4728
	60	254.9	0.5021
	70	211.95	0.531
	80	232.01	0.5008
	90	244.28	0.4583
0.4	50	306.93	0.5553
	60	300.73	0.5416
	70	255.18	0.5565
	80	410.29	0.4069
	90	220.12	0.551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%CMC	อุณหภูมิ (oC)	k	n
0.5	50	584.15	0.4178
	60	561.84	0.4191
	70	569.1	0.3803
	80	577.97	0.3693
	90	595.53	0.3462

เนื่องจากน้ำกะทิจากการทดลองมีลักษณะเป็นของไหลประเภท shear thinning หรือ pseudoplastics ค่าความหนืดที่วัดได้จึงอยู่ในรูปของสมการยกกำลัง หรือ Power Law Equation และค่าความหนืดที่วัดได้อยู่ในรูปของดัชนียกกำลัง (n) และดัชนีความหนืด (k)

4.2.1 ดัชนียกกำลัง

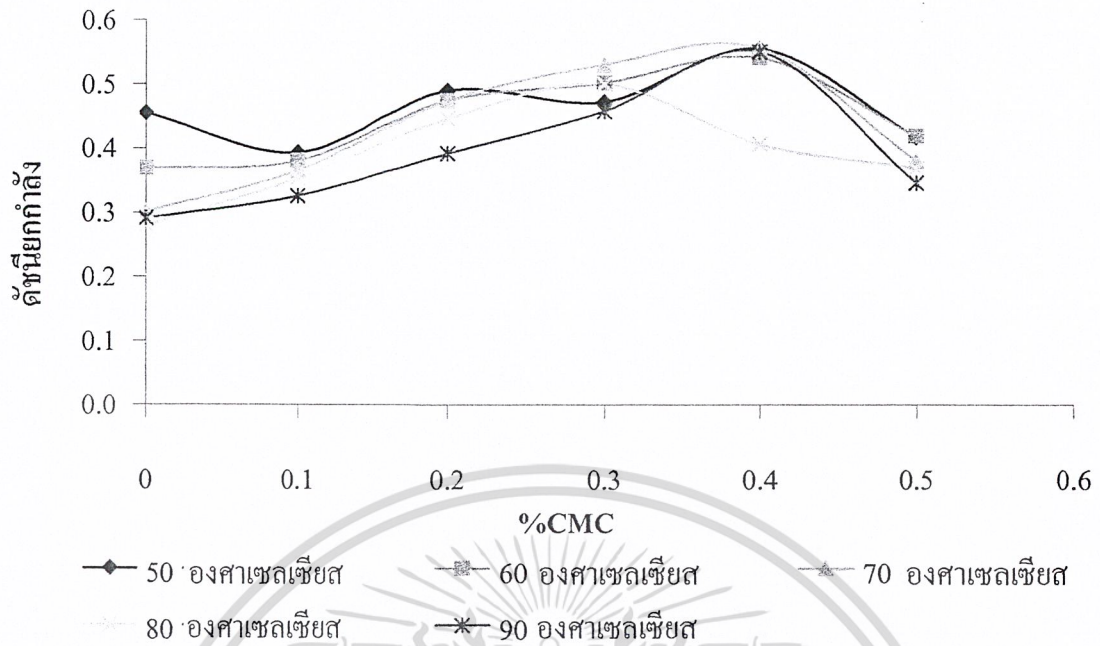
เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนียกกำลังกับความเข้มข้นของสารให้ความคงตัว (ดังรูปที่ 4.4) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนียกกำลังกับอุณหภูมิ (ดังรูปที่ 4.5) มีความสัมพันธ์แบบเดียวกัน คือเป็นแบบ โพลีโนเมียล สมการความสัมพันธ์ที่ได้ คือ

$$n = K_1 + K_2C + K_3C^2 + K_4C^3 + K_5T + K_6T^2$$

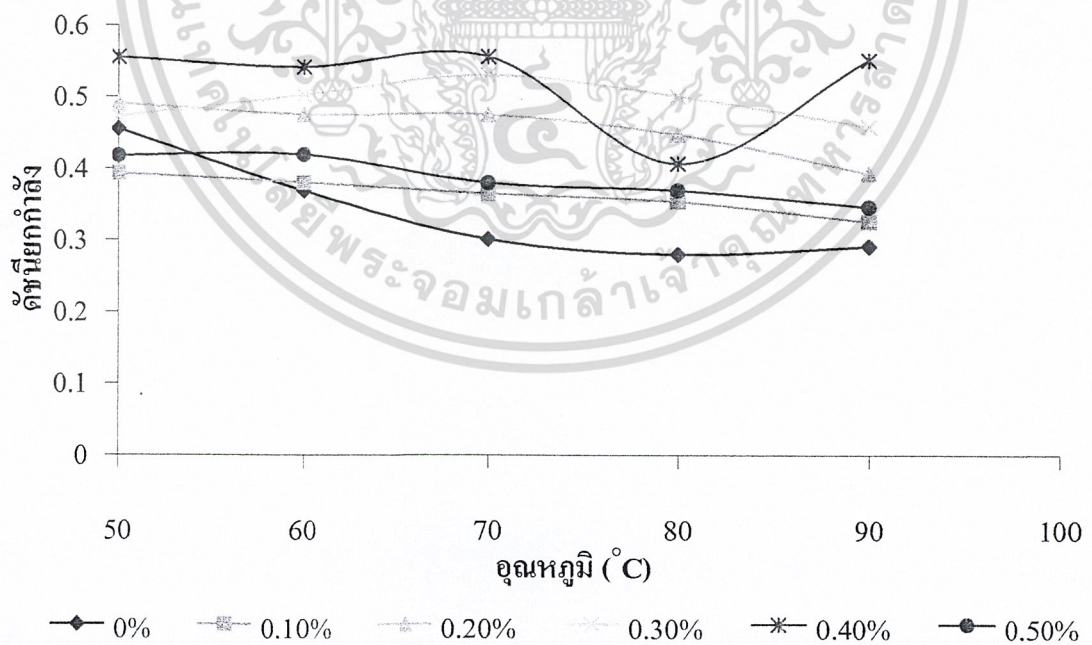
โดยที่ n = ดัชนียกกำลัง

C = ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว,% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำกะทิ

T = อุณหภูมิ, °C



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนียกกำลังกับความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนียกกำลังกับอุณหภูมิของน้ำกะทิที่ %CMC ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ดัชนีความหนืด

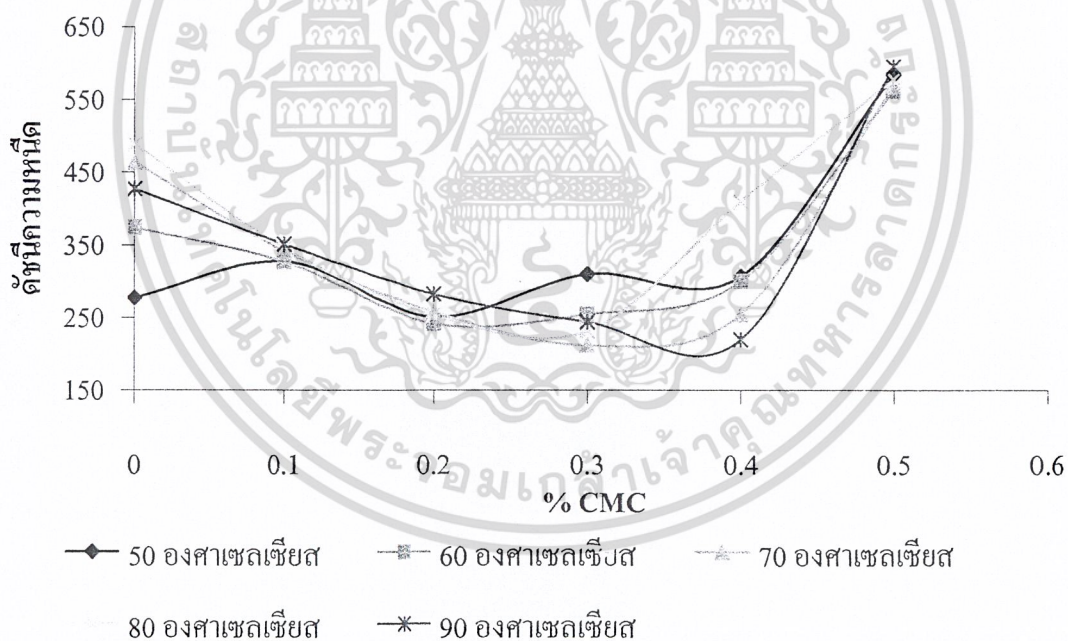
เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหนืดกับความเข้มข้นของสารให้ความคงตัว (ดังรูปที่ 4.6) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหนืดกับอุณหภูมิ(ดังรูปที่ 4.7) มีความสัมพันธ์แบบเดียวกัน คือเป็นแบบ โพลีโนเมียล สมการความสัมพันธ์ที่ได้ คือ

$$k = K_1 + K_2C + K_3C^2 + K_4C^3 + K_5T + K_6T^2$$

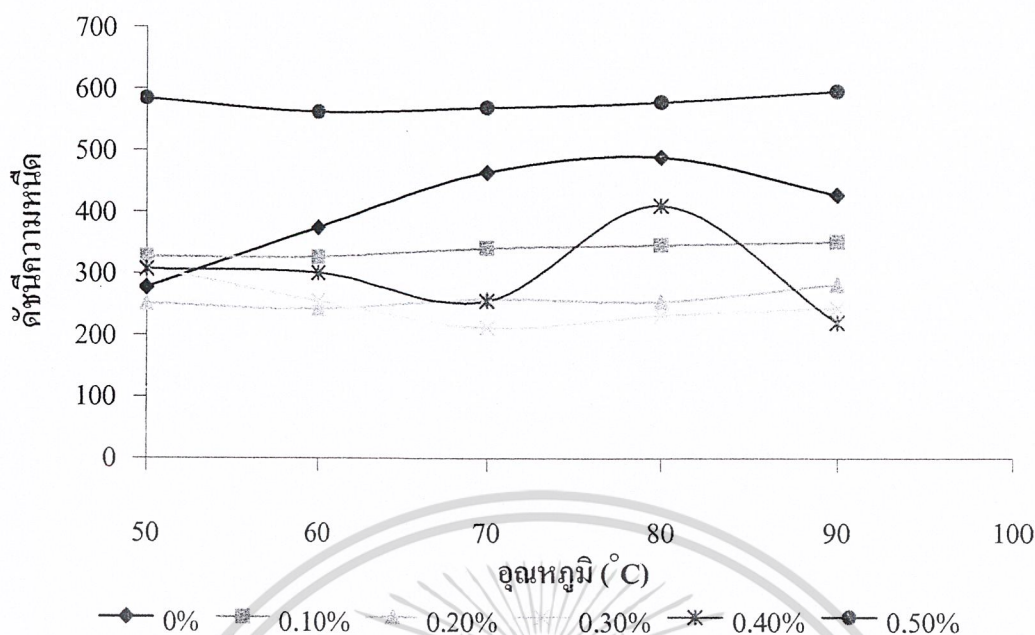
โดยที่ k = ดัชนีความหนืด

C = ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว,% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำกะทิ

T = อุณหภูมิ, °C



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหนืดกับความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหนืดกับอุณหภูมิของน้ำกะทิที่%CMC ต่างๆ

4.3 ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำกะทิ

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอุณหภูมิ และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวมีความสัมพันธ์แบบเดียวกัน คือเป็นแบบโพลีโนเมียล สมการความสัมพันธ์ที่ได้คือ

$$\rho = K_1 + K_2C + K_3C^2 + K_4T + K_5T^2$$

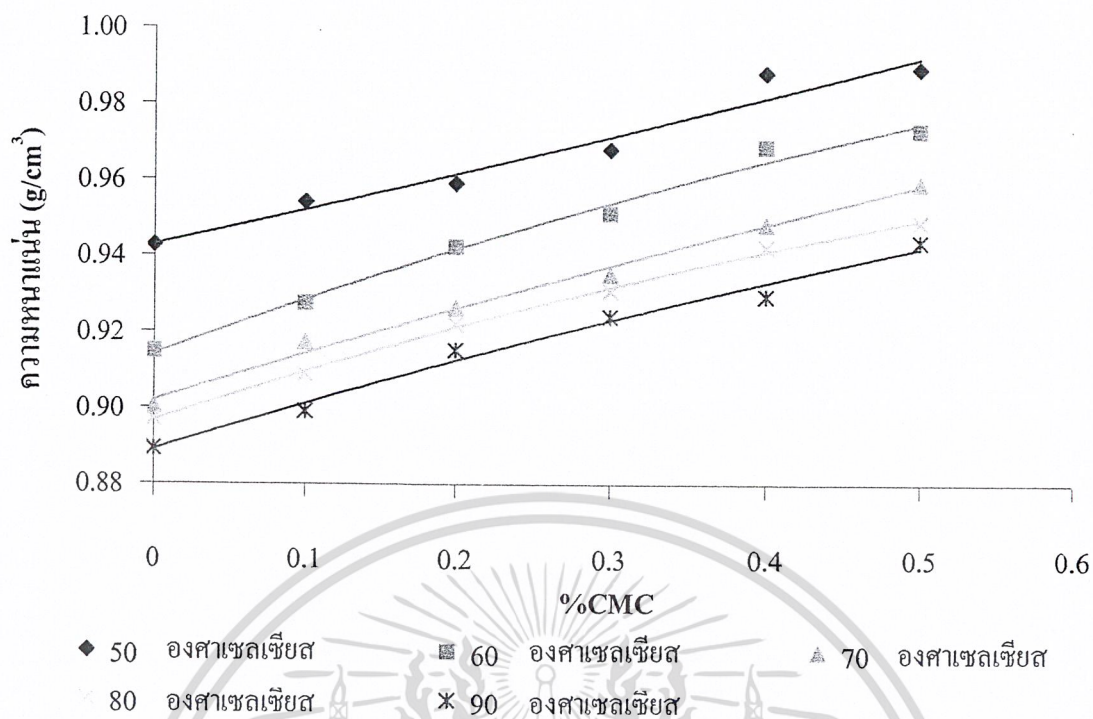
โดยที่ ρ = ความหนาแน่น, g/cm³

C = ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว,% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำกะทิ

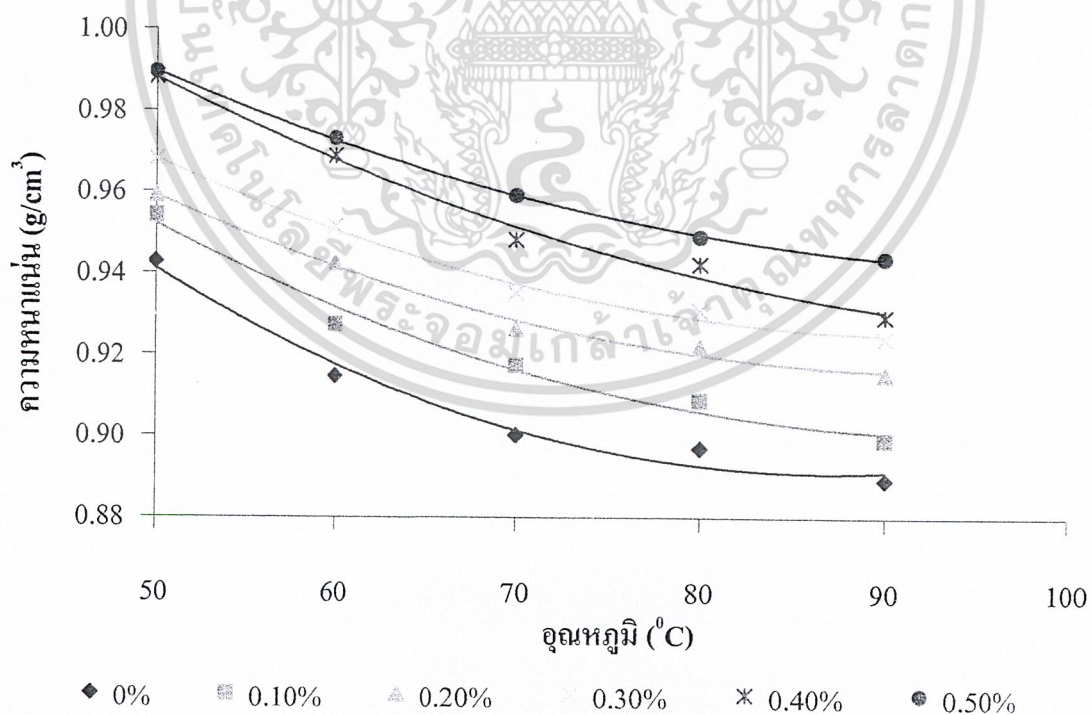
T = อุณหภูมิ, °C

จากกราฟในรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของ CMC เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และจากกราฟในรูปที่ 4.9 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงของไหลเกิดการขยายตัว ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นจึงลดลง ซึ่งผลที่ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ A.M. Ramos and A. Ibarz ซึ่งทำการวิจัยเกี่ยวกับความหนาแน่นของน้ำผลไม้และซูปผลไม้ต่างๆที่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิเปลี่ยน[16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับ %CMC ของน้ำกะทิที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอุณหภูมิของน้ำกะทิที่ %CMC ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์

4.4.1 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับความหนืด

$$\eta = 41.745 - 14.858C + 116.482C^2 - 0.31233T + 0.0006T^2$$

Std.Error of estimate: 1.9638 และ $R^2 = 0.96$

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรต่างๆ สำหรับสมการความหนืด

Independent Variable	BETA	Standard Error of BETA	B	Standard Error of B	t - value	p-level
Intercept			41.74512	10.25654132	4.070097	0.000414
C	-0.29022	0.146241033	-14.8582	7.48700825	-1.98453	0.058275
T	-0.50519	0.48691885	-0.31233	0.301039895	-1.03751	0.309428
C ²	1.185146	0.146241033	116.4821	14.37330815	8.104059	1.86E-08
T ²	0.14609	0.48691885	0.000643	0.002142646	0.30003	0.766635

Analysis of Variance; DV : viscosity

	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	2197.024	4	549.256	142.4277	8.1E-17
Residual	96.40959	25	3.856384		
Total	2293.434				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การวิเคราะห์ห้สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับดัชนียกกำลัง

$$n = 0.4955 - 0.1386C + 5.2005C^2 - 9.4444C^3 - 0.0025T + (4.23 \times 10^{-6})T^2$$

Std.Error of estimate: 0.03794 และ $R^2 = 0.82$

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรต่างๆ สำหรับสมการดัชนียกกำลัง

Independent Variable	BETA	Standard Error of BETA	B	Standard Error of B	t - value	p-level
Intercept			0.495496	0.198256486	2.499269	0.019686
T	-0.44915	1.026638725	-0.00254	0.005816069	-0.43749	0.665664
T ²	0.104812	1.026638725	4.23E-06	4.13958E-05	0.102092	0.919532
C	-0.29535	0.688454814	-0.13855	0.322967568	-0.429	0.671749
C ²	5.774537	1.782180501	5.200548	1.605031589	3.240153	0.003484
C ³	-5.28886	1.180345383	-9.44444	2.10776932	-4.48078	0.000156

Analysis of Variance; DV: n

	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	0.158018	5	0.031604	21.95555	3.07E-08
Residual	0.034546	24	0.001439		
Total	0.192564				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับดัชนีความหนืด

$$k = 241.874 - 324.293C - 4061.47C^2 + 10772.56C^3 + 4.1593T - 0.0252T^2$$

Std.Error of estimate: 48.586 และ $R^2 = 0.87$

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรต่างๆ สำหรับสมการดัชนีความหนืด

Independent Variable	BETA	Standard Error of BETA	B	Standard Error of B	t - value	p-level
Intercept			241.8738	253.8864245	0.952685	0.350247
T	0.487557	0.87307262	4.159267	7.448032973	0.558438	0.581718
T ²	-0.41574	0.87307262	-0.02524	0.053011247	-0.47618	0.638253
C	-0.45907	0.585474747	-324.293	413.5909133	-0.78409	0.440657
C ²	-2.99483	1.515599364	-4061.47	2055.396724	-1.976	0.059759
C ³	4.006134	1.003787614	10772.56	2699.200554	3.991017	0.000539

Analysis of Variance; DV: k

	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	379996.8	5	75999.35	32.19545	6.82E-10
Residual	56653.48	24	2360.561		
Total	436650.2				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับความหนาแน่น

$$\rho = 1.1078 + 0.125C - 0.032C^2 - 0.0046T + (2.42 \times 10^{-5})T^2$$

Std.Error of estimate: 0.00327 และ $R^2 = 0.987$

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรต่างๆ สำหรับสมการความหนาแน่น

Independent Variable	BETA	Standard Error of BETA	B	Standard Error of B	t - value	p-level
Intercept			1.107829	0.017059186	64.94031	2.13E-29
C	0.826856	0.082304782	0.125104	0.012452762	10.04627	2.92E-10
T	-2.5212	0.274039022	-0.00461	0.000500704	-9.20017	1.68E-09
C ²	-0.11064	0.082304782	-0.03214	0.023906396	-1.3443	0.190923
T ²	1.863171	0.274039022	2.42E-05	3.56376E-06	6.798925	3.99E-07

Analysis of Variance; DV: density

	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	0.019764	4	0.004941	463.1405	4.78E-23
Residual	0.000267	25	1.07E-05		
Total	0.02003				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

กะทิที่เตรียมจากเนื้อมะพร้าวค่อน้ำโดยอัตราส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนัก มีไขมันเป็นองค์ประกอบ 10% และ โปรตีน 1.7% เมื่อนำมาทดลองวัดค่าความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น DV-III และวัดความหนาแน่น โดยใช้ Pycnometer พบว่า น้ำกะทิแสดงคุณสมบัติเป็นของไหลประเภท non-Newtonian ชนิด Shear thinning โดยผลของอุณหภูมิต่อความหนืด คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดลดลง และผลของความเข้มข้นของสารทำให้คงตัวต่อความหนืด คือ เมื่อความเข้มข้นของสารทำให้คงตัวสูงขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น ส่วนผลของอุณหภูมิต่อความหนาแน่น คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นลดลง และผลของความเข้มข้นของสารทำให้คงตัวต่อความหนาแน่น คือ เมื่อความเข้มข้นของสารทำให้คงตัวสูงขึ้น ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ค่าที่ได้จากการทดลอง นำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย แบบ Multiple Regression ได้สมการ เป็นดังนี้

1. สมการสำหรับความหนืด คือ

$$\eta = 41.745 - 14.858C + 116.482C^2 - 0.31233T + 0.0006T^2$$

$$\text{Std.Error of estimate: } 1.9638 \text{ และ } R^2 = 0.96$$

2. สมการสำหรับดัชนียกกำลัง คือ

$$n = 0.4955 - 0.1386C + 5.2005C^2 - 9.4444C^3 - 0.0025T + (4.23 \times 10^{-6})T^2$$

$$\text{Std.Error of estimate: } 0.03794 \text{ และ } R^2 = 0.82$$

3. สมการสำหรับดัชนีความหนืด คือ

$$k = 241.874 - 324.293C - 4061.47C^2 + 10772.56C^3 + 4.1593T - 0.0252T^2$$

$$\text{Std.Error of estimate: } 48.586 \text{ และ } R^2 = 0.87$$

4. สมการสำหรับความหนาแน่น คือ

$$\rho = 1.1078 + 0.125C - 0.032C^2 - 0.0046T + (2.42 \times 10^{-5})T^2$$

$$\text{Std.Error of estimate: } 0.00327 \text{ และ } R^2 = 0.987$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ η = ความหนืด, cP
 n = ดัชนียกกำลัง
 k = ดัชนีความหนืด
 ρ = ความหนาแน่น, g/cm³
 C = ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว, % โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำกะทิ
 T = อุณหภูมิ, °C

ซึ่งมีข้อกำหนดของสมการดังนี้

1. ขอบเขตความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวอยู่ในช่วง 0.1 – 0.5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำกะทิ
2. ขอบเขตของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 50 – 90 °C



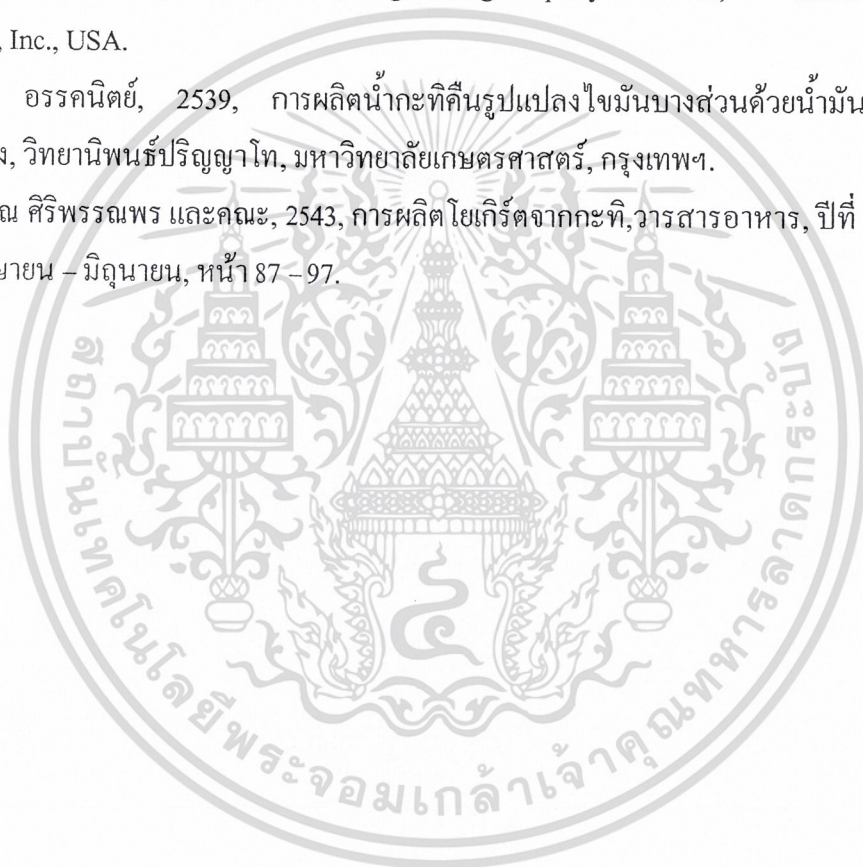
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมศุลกากร, 2544, ปริมาณและมูลค่าการส่งออกพืชสวนอื่นๆ.
2. สุภาวดี ภัทร โกศล, 2541, การปลูกมะพร้าวในประเทศไทย, เอกสารวิชาการกลุ่มไม้ยืนต้นอุตสาหกรรม, กรมส่งเสริมการเกษตร.
3. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูป, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
4. ประสงค์ หุ่นแก้ว, 2531, การใช้สารอิมัลซิไฟเออร์และกัมในการรักษาความคงตัวของน้ำกะทิบรรจุกระป๋อง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
5. Khalil, K.E., Ramakrishna, P., Nanjundaswamy, A.M. and Patwardhan, M.V., 1989, Rheological behaviour of charified banana juice : effect of temperature and concentration, Journal of Food Engineering, 10: 231-240.
6. Godin, V.J. and Spensley, Dr.P.C., 1971, NO.1 Oils and Oilseeds, London WC1X 8LU, England, 23.
7. สุภาวดี ภัทร โกศล, 2541, รายงานการศึกษาเรื่องผลกระทบจากการเปิดตลาดการค้าเสรีและอุตสาหกรรมมะพร้าวไทย, กลุ่มไม้ยืนต้นอุตสาหกรรม, กองส่งเสริมพืชสวน, 108 หน้า.
8. จารุวรรณ ศิริพรรณพร และคณะ, ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำกะทิ,วารสารอาหาร, ปีที่ 31, ฉบับที่ 3, กรกฎาคม – กันยายน 2544, หน้า 166 -173.
9. ปรัชญา วงศ์ธนบัตร, 2543, ผลของปัจจัยการแปรรูปต่อคุณภาพของน้ำกะทิอบแห้งแบบพ่นฝอย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 72 หน้า.
10. อติศักดิ์ อินทพิเชษฐ์, 2537, ลักษณะทาง Rheology ของอาหาร, วารสารจารย์พา, ฉบับที่ 10, ตุลาคม/พฤศจิกายน, หน้า 10-12.
11. ธีราวุธ พงศ์ประยูร์, 2540, ความหนืดและการวัดความหนืดในอุตสาหกรรม, Echnology Journal, ปีที่ 24, มิ.ย.- ก.ค., ฉบับที่ 133, หน้า 85-89.
12. ศิวาพร ศิวเวชช, 2535, วัตถุประสงค์อาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 301 หน้า.
13. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541, วิศวกรรมอาหาร : หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 272 หน้า.
14. ศิริวรรณ เนติวรานนท์, 2528, ความคงตัวของน้ำกะทิ, ปัญหาพิเศษปริญญาโท, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. Ibanogal Senal and Ibanogal Esra, 1998, Rheological Characterization of Some Tradition Turkish Soups, *Journal of Food Engineering*, 35: 251-256.
16. Ramos, A.M. and Ibarz, A., 1998, Density of Juice and Fruit Puree as a function of Soluble Solids Content and Temperature, *Journal of Food Engineering*, 35: 57-63.
17. Sevim Kaya and Ali R. Tekin, 2001, The effect of salep content on the Rheological Characteristics of typical ice-cream mix, *Journal of Food Engineering*, 47: 59-62.
18. Mahmut Genc, Murat Zorba and Gulden Ova, 2002 , Determination of Rheological properties of boza by using physical and sensory analysis, *Journal of Food Engineering*, 52: 95-98.
19. Rao, M.A. and Rixvi, S.S.H., 1995, *Engineering Property of Foods*, 2nd edition, Marcel Dekker, Inc., USA.
20. กรพกา อรรถนิตย์, 2539, การผลิตน้ำกะทิคืนรูปแปลงไขมันบางส่วนด้วยน้ำมันพืชบรรจุกระป๋อง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
21. จารุวรรณ ศิริพรรณพร และคณะ, 2543, การผลิตโยเกิร์ตจากกะทิ, *วารสารอาหาร*, ปีที่ 30, ฉบับที่ 2, เมษายน - มิถุนายน, หน้า 87-97.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ที่ใช้

- K = ค่าคงที่ของของเหลวแต่ละชนิด
 E = พลังงานกระตุ้น (Activation Energy) สำหรับการไหล
 R = ค่าคงที่ของก๊าซ
 T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
 A, B = ค่าคงที่ของของเหลว ณ อุณหภูมิที่กำหนด
 P = ความดัน
 τ = แรงเฉือน (Dynes/cm²)
 γ = อัตราเฉือน (sec⁻¹)
 v = ความเร็วของการแยกเฟส (m/s)
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคในเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง (m)
 g = แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s²)
 ρ_p = ความหนาแน่นของเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง (kg/m³)
 ρ_f = ความหนาแน่นของเฟสที่ต่อเนื่อง (kg/m³)
 η = ความหนืดของเฟสที่ต่อเนื่อง (N.s/m²)
 = ความหนืดปรากฏ (cP)
 SG = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกะทิ
 m = มวลของน้ำกะทิ (kg)
 m_w = มวลของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน (kg)
 ρ = ความหนาแน่นของน้ำกะทิ (kg/m³)
 ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน (kg/m³)
 k = คำนีความหนืด
 n = คำนียกกำลัง
 C = ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว (% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำกะทิ)
 V = ปริมาตรของน้ำกะทิ (m³)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

1. การหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0 %
2. การหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.1 %
3. การหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.2 %
4. การหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.3 %
5. การหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.4 %
6. การหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.5 %
7. การคำนวณค่าดัชนียกกำลังและดัชนีความหนืดของน้ำกะทิที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆของสารให้ความคงตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0%

อุณหภูมิ(°C)	ความเร็วรอบ (rpm)	Shear Rate (1/s)	ความหนืด (cP)			Shear Stress (D/cm ²)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
50	45	59.40	32.80	30.90	31.85	26.90	30.00	28.45
	55	72.60	27.77	25.63	26.70	27.20	30.50	28.85
	65	85.80	26.24	22.36	24.30	27.90	31.40	29.65
	75	99.00	22.38	20.82	21.60	28.50	32.10	30.30
	100	132.00	19.46	17.74	18.60	30.80	34.40	32.60
	150	198.00	16.19	15.61	15.90	34.60	38.80	36.70
	200	264.00	14.76	12.52	13.64	37.50	40.70	39.10
60	45	59.40	32.14	27.26	29.70	18.50	25.50	22.00
	55	72.60	27.45	24.15	25.80	21.30	26.20	23.75
	65	85.80	20.61	21.79	21.20	21.90	27.10	24.50
	75	99.00	19.99	18.61	19.30	22.60	28.20	25.40
	100	132.00	17.09	17.51	17.30	24.20	30.40	27.30
	150	198.00	14.46	13.94	14.20	27.20	34.60	30.90
	200	264.00	11.30	10.30	10.80	29.70	38.50	34.10
70	45	59.40	25.00	29.70	27.35	14.80	17.70	16.25
	55	72.60	21.20	25.60	23.40	15.40	18.50	16.95
	65	85.80	18.50	22.50	20.50	15.80	19.30	17.55
	75	99.00	16.50	20.40	18.45	16.50	20.00	18.25
	100	132.00	13.30	16.70	15.00	17.70	22.10	19.90
	150	198.00	10.10	12.90	11.50	19.90	25.40	22.65
	200	264.00	8.37	10.90	9.64	22.10	28.70	25.40
80	45	59.40	24.10	27.10	25.60	14.20	16.00	15.10
	55	72.60	20.30	22.80	21.55	14.80	16.50	15.65
	65	85.80	17.90	20.10	19.00	15.20	17.10	16.15
	75	99.00	15.80	17.90	16.85	15.60	17.70	16.65
	100	132.00	12.70	14.70	13.70	16.80	19.50	18.15
	150	198.00	9.52	11.30	10.41	18.60	21.90	20.25
	200	264.00	7.95	9.16	8.56	21.00	24.40	22.70
90	45	59.40	22.50	26.00	24.25	13.50	15.40	14.45
	55	72.60	19.00	21.90	20.45	13.90	15.80	14.85
	65	85.80	16.60	19.40	18.00	14.20	16.60	15.40
	75	99.00	15.00	17.40	16.20	14.50	17.10	15.80
	100	132.00	12.10	14.20	13.15	15.90	18.70	17.30
	150	198.00	9.04	11.00	10.02	17.90	21.90	19.90
	200	264.00	7.54	9.18	8.36	19.80	24.20	22.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.1%

อุณหภูมิ(°C)	ความเร็วรอบ (rpm)	Shear Rate (1/s)	ความหนืด (cP)			Shear Stress (D/cm ²)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
50	45	59.40	28.50	27.70	28.10	17.20	16.50	16.85
	55	72.60	24.90	24.30	24.60	18.00	17.30	17.65
	65	85.80	22.30	21.20	21.75	19.10	18.10	18.60
	75	99.00	20.20	19.50	19.85	20.10	19.40	19.75
	100	132.00	16.90	16.30	16.60	22.40	21.50	21.95
	150	198.00	13.50	12.80	13.15	26.80	25.40	26.10
	200	264.00	11.70	11.10	11.40	30.90	29.10	30.00
60	45	59.40	26.70	26.90	26.80	15.90	16.00	15.95
	55	72.60	23.10	23.20	23.15	16.70	16.90	16.80
	65	85.80	20.50	20.50	20.50	17.70	17.60	17.65
	75	99.00	18.60	18.50	18.55	18.40	19.00	18.70
	100	132.00	15.60	15.40	15.50	20.50	20.30	20.40
	150	198.00	12.30	12.30	12.30	24.30	24.30	24.30
	200	264.00	10.60	10.60	10.60	28.00	27.80	27.90
70	45	59.40	26.10	26.10	26.10	15.40	15.40	15.40
	55	72.60	22.70	22.60	22.65	16.30	16.20	16.25
	65	85.80	20.10	19.90	20.00	17.30	17.00	17.15
	75	99.00	18.20	18.10	18.15	18.10	17.90	18.00
	100	132.00	15.20	14.90	15.05	20.00	19.80	19.90
	150	198.00	12.00	11.70	11.85	23.70	23.20	23.45
	200	264.00	10.30	9.93	10.12	27.10	26.20	26.65
80	45	59.40	25.10	25.20	25.15	15.00	15.00	15.00
	55	72.60	21.90	21.90	21.90	15.80	15.80	15.80
	65	85.80	19.30	19.30	19.30	16.40	16.40	16.40
	75	99.00	17.60	17.40	17.50	17.30	17.30	17.30
	100	132.00	14.50	14.30	14.40	19.00	19.00	19.00
	150	198.00	11.30	11.30	11.30	22.30	22.30	22.30
	200	264.00	9.67	9.55	9.61	25.60	25.10	25.35
90	45	59.40	21.60	24.30	22.95	12.70	14.50	13.60
	55	72.60	18.20	20.90	19.55	13.50	15.20	14.35
	65	85.80	16.20	18.60	17.40	13.80	15.80	14.80
	75	99.00	14.50	16.60	15.55	14.30	16.40	15.35
	100	132.00	11.70	13.60	12.65	15.60	18.20	16.90
	150	198.00	9.02	10.80	9.91	17.90	21.30	19.60
	200	264.00	7.65	9.09	8.37	20.40	24.00	22.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.2%

อุณหภูมิ(°C)	ความเร็วรอบ (rpm)	Shear Rate (1/s)	ความหนืด (cP)			Shear Stress (D/cm ²)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
50	45	59.40	31.60	33.00	32.30	18.90	20.20	19.55
	55	72.60	27.60	29.20	28.40	20.20	21.80	21.00
	65	85.80	25.10	26.50	25.80	21.50	23.10	22.30
	75	99.00	23.10	24.60	23.85	22.80	24.30	23.55
	100	132.00	19.80	21.10	20.45	26.10	27.70	26.90
	150	198.00	16.10	17.60	16.85	31.80	33.20	32.50
	200	264.00	14.20	16.00	15.10	37.30	38.90	38.10
60	45	59.40	28.70	30.00	29.35	16.90	18.40	17.65
	55	72.60	24.70	26.20	25.45	18.10	19.60	18.85
	65	85.80	22.50	24.00	23.25	19.40	21.00	20.20
	75	99.00	20.50	22.30	21.40	20.30	22.10	21.20
	100	132.00	17.40	18.90	18.15	23.10	24.50	23.80
	150	198.00	14.30	15.70	15.00	28.30	29.90	29.10
	200	264.00	12.50	14.20	13.35	32.90	34.40	33.65
70	45	59.40	27.90	29.40	28.65	16.50	18.00	17.25
	55	72.60	23.90	25.30	24.60	17.40	19.10	18.25
	65	85.80	21.60	23.00	22.30	18.60	20.20	19.40
	75	99.00	19.90	21.30	20.60	19.80	21.20	20.50
	100	132.00	16.80	18.40	17.60	22.20	23.90	23.05
	150	198.00	13.50	15.00	14.25	26.60	28.00	27.30
	200	264.00	11.80	13.20	12.50	31.10	32.50	31.80
80	45	59.40	26.70	28.10	27.40	15.90	17.70	16.80
	55	72.60	23.20	24.80	24.00	16.90	18.60	17.75
	65	85.80	20.50	22.10	21.30	17.90	19.80	18.85
	75	99.00	18.80	20.20	19.50	18.60	20.00	19.30
	100	132.00	16.00	17.70	16.85	21.10	22.60	21.85
	150	198.00	12.90	14.40	13.65	25.40	27.20	26.30
	200	264.00	11.10	12.70	11.90	29.30	30.70	30.00
90	45	59.40	25.10	24.90	25.00	15.00	13.90	14.45
	55	72.60	21.40	20.20	20.80	15.60	14.80	15.20
	65	85.80	19.20	18.20	18.70	16.50	15.70	16.10
	75	99.00	17.30	16.00	16.65	17.30	16.90	17.10
	100	132.00	14.70	13.50	14.10	19.40	19.00	19.20
	150	198.00	11.50	10.90	11.20	22.80	22.10	22.45
	200	264.00	10.20	9.80	10.00	26.50	25.70	26.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.3%

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (rpm)	Shear Rate (1/s)	ความหนืด (cP)			Shear Stress (D/cm ²)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
50	25	33.00	50.60	50.80	50.70	16.60	17.30	16.95
	45	59.40	34.70	36.10	35.40	20.70	21.00	20.85
	55	72.60	31.20	32.80	32.00	22.80	22.90	22.85
	65	85.80	28.90	29.00	28.95	24.80	25.00	24.90
	75	99.00	26.90	27.00	26.95	26.70	27.00	26.85
	100	132.00	23.70	23.90	23.80	31.20	31.60	31.40
	125	165.00	21.50	22.00	21.75	35.50	35.70	35.60
60	45	59.40	34.50	33.80	34.15	20.50	20.10	20.30
	55	72.60	30.50	29.70	30.10	22.10	21.30	21.70
	65	85.80	27.80	27.60	27.70	23.80	22.90	23.35
	75	99.00	25.70	24.90	25.30	25.40	24.50	24.95
	100	132.00	22.40	21.60	22.00	29.50	28.60	29.05
	150	198.00	18.90	18.10	18.50	37.30	36.80	37.05
	160	211.20	18.30	17.60	17.95	38.70	38.10	38.40
70	45	59.40	31.50	33.10	32.30	18.60	19.20	18.90
	55	72.60	28.00	29.30	28.65	20.20	20.80	20.50
	65	85.80	25.40	26.90	26.15	21.80	22.60	22.20
	75	99.00	23.50	24.40	23.95	23.30	24.20	23.75
	100	132.00	20.30	21.20	20.75	26.80	27.90	27.35
	150	198.00	16.90	17.60	17.25	33.40	34.80	34.10
	200	264.00	15.00	17.60	16.30	39.50	40.30	39.90
80	45	59.40	30.70	31.20	30.95	18.30	18.30	18.30
	55	72.60	27.20	27.70	27.45	19.90	20.00	19.95
	65	85.80	24.50	25.10	24.80	21.10	21.30	21.20
	75	99.00	22.70	23.60	23.15	22.40	22.50	22.45
	100	132.00	19.50	20.20	19.85	25.50	25.70	25.60
	150	198.00	16.10	16.90	16.50	31.90	32.30	32.10
	200	264.00	14.40	14.90	14.65	38.00	38.80	38.40
90	45	59.40	27.30	27.70	27.50	16.20	17.30	16.75
	55	72.60	23.60	24.00	23.80	17.40	17.80	17.60
	65	85.80	21.50	22.30	21.90	18.40	19.10	18.75
	75	99.00	19.60	20.20	19.90	19.50	19.90	19.70
	100	132.00	16.70	17.30	17.00	22.10	23.10	22.60
	150	198.00	13.90	13.90	13.90	27.40	28.30	27.85
	200	264.00	12.20	12.10	12.15	32.30	33.10	32.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.4%

อุณหภูมิ(°C)	ความเร็วรอบ (rpm)	Shear Rate (1/s)	ความหนืด (cP)			Shear Stress (D/cm ²)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
50	25	33.00	65.10	66.20	65.65	21.50	23.50	22.50
	35	46.20	54.50	56.20	55.35	25.40	27.10	26.25
	45	59.40	48.90	49.80	49.35	29.00	30.30	29.65
	55	72.60	44.80	45.80	45.30	32.30	33.40	32.85
	65	85.80	41.70	43.70	42.70	35.80	37.80	36.80
	75	99.00	39.60	40.60	40.10	39.20	40.30	39.75
60	25	33.00	61.20	61.50	61.35	20.20	21.20	20.70
	35	46.20	51.20	52.20	51.70	23.60	25.10	24.35
	45	59.40	45.00	46.20	45.60	26.60	27.50	27.05
	55	72.60	41.30	42.20	41.75	30.20	31.20	30.70
	65	85.80	38.40	39.30	38.85	32.90	34.40	33.65
	75	99.00	36.40	37.60	37.00	35.90	36.70	36.30
	80	105.60	35.20	36.50	35.85	37.10	38.80	37.95
70	25	33.00	55.40	55.60	55.50	18.30	18.60	18.45
	35	46.20	45.20	46.30	45.75	21.00	21.60	21.30
	45	59.40	40.90	41.20	41.05	24.50	25.30	24.90
	55	72.60	37.50	37.70	37.60	27.40	28.60	28.00
	65	85.80	36.10	36.10	36.10	30.10	30.90	30.50
	75	99.00	32.80	33.10	32.95	32.30	33.50	32.90
	100	132.00	29.20	30.10	29.65	38.50	40.20	39.35
80	45	59.40	34.40	37.50	35.95	20.30	23.40	21.85
	55	72.60	30.70	33.60	32.15	22.40	26.50	24.45
	65	85.80	28.20	30.80	29.50	24.20	29.50	26.85
	75	99.00	26.30	29.10	27.70	26.10	31.50	28.80
	85	112.20	23.20	27.60	25.40	30.60	33.60	32.10
	95	125.40	19.70	25.30	22.50	39.00	39.10	39.05
90	45	59.40	35.80	35.00	35.40	21.30	21.00	21.15
	55	72.60	32.30	32.10	32.20	23.60	23.50	23.55
	65	85.80	29.80	29.50	29.65	25.60	25.30	25.45
	75	99.00	28.00	27.30	27.65	27.70	27.10	27.40
	100	132.00	25.00	24.60	24.80	33.90	33.10	33.50
	125	165.00	22.50	22.00	22.25	37.20	36.30	36.75
	200	264.00	7.54	9.18	8.36	19.80	24.20	22.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำกะทิที่ความเข้มข้นของสารทำให้คงตัว 0.5%

อุณหภูมิ(°C)	ความเร็วรอบ (rpm)	Shear Rate (1/s)	ความหนืด (cP)			Shear Stress (D/cm ²)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
	5	6.60	206.00	208.10	207.05	13.50	13.70	13.60
	10	13.20	122.00	123.80	122.90	16.10	16.30	16.20
	25	33.00	71.50	72.40	71.95	23.60	23.90	23.75
	35	46.20	61.20	61.90	61.55	28.20	28.50	28.35
	45	59.40	54.90	55.40	55.15	32.50	32.90	32.70
	55	72.60	50.70	51.10	50.90	36.70	37.10	36.90
60	5	6.60	201.00	202.40	201.70	13.50	13.70	13.60
	15	19.80	91.80	92.70	92.25	18.20	18.50	18.35
	25	33.00	69.00	69.70	69.35	22.80	23.10	22.95
	35	46.20	58.00	58.60	58.30	26.70	27.10	26.90
	45	59.40	52.00	52.40	52.20	30.90	31.30	31.10
	55	72.60	48.20	48.50	48.35	35.00	35.60	35.30
70	5	6.60	190.00	192.00	191.00	12.70	13.50	13.10
	15	19.80	81.20	84.50	82.85	16.10	17.50	16.80
	25	33.00	58.90	62.60	60.75	19.50	21.30	20.40
	35	46.20	49.40	52.10	50.75	22.90	25.10	24.00
	45	59.40	44.00	46.30	45.15	26.10	28.70	27.40
	55	72.60	40.60	43.60	42.10	29.40	32.10	30.75
80	5	6.60	190.00	188.90	189.45	12.80	12.50	12.65
	15	19.80	83.40	80.60	82.00	16.50	15.80	16.15
	25	33.00	60.00	58.40	59.20	19.80	19.10	19.45
	35	46.20	49.80	49.00	49.40	23.00	22.30	22.65
	45	59.40	44.00	43.70	43.85	26.10	25.60	25.85
	55	72.60	40.30	40.40	40.35	29.20	28.90	29.05
90	5	6.60	187.00	185.00	186.00	12.40	11.30	11.85
	15	19.80	80.80	79.50	80.15	16.00	14.70	15.35
	25	33.00	56.90	54.30	55.60	18.80	17.50	18.15
	35	46.20	47.30	46.20	46.75	21.90	19.50	20.70
	45	59.40	41.90	39.80	40.85	24.90	22.80	23.85
	55	72.60	38.40	37.60	38.00	27.90	25.60	26.75
	65	85.80	35.70	33.70	34.70	30.60	28.40	29.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลการคำนวณค่าดัชนียกกำลังและดัชนีความหนืดของน้ำกะทิที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ ของสารให้ความคงตัว

CMC 0%	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
n	0.2909	0.2717	0.3215	0.2858	0.2433
k	427.32	488.73	463.87	689.20	1023.30
CMC 0.1%	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
n	0.3256	0.3536	0.3654	0.3805	0.3935
k	351.06	345.97	340.88	326.81	327.51
CMC 0.2%	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
n	0.3927	0.4473	0.4530	0.4754	0.4909
k	282.29	253.96	258.26	241.98	251.27
CMC 0.3%	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
n	0.4583	0.5008	0.5310	0.5021	0.4730
k	224.28	232.01	211.95	254.90	310.09
CMC 0.4%	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
n	0.5510	0.4069	0.5565	0.5416	0.5553
k	220.12	410.29	255.18	300.73	306.93
CMC 0.5%	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
n	0.3462	0.3693	0.3803	0.4191	0.4178
k	595.53	577.97	569.10	561.84	584.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

การหาค่าความหนาแน่นของน้ำกะทิที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆของสารให้ความคงตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำกะทิที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆของสารให้ความคงตัว

ค่าความเข้มข้น ของสารให้ ความคงตัว	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักของน้ำกะทิ (g)			น้ำหนักน้ำ (g)	Sg			ความหนาแน่น ของน้ำนม อุณหภูมิที่ควบคุม	density				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	50	23.3714	24.1111	23.6416	24.8482	0.9406	0.9703	0.9514	0.9541	0.9881	0.9294	0.9588	0.9401	0.9428
	60	23.0391	23.7683	23.3055	25.1195	0.9172	0.9462	0.9278	0.9304	0.9832	0.9018	0.9303	0.9122	0.9148
	70	22.2925	22.9981	22.5503	24.5585	0.9077	0.9365	0.9182	0.9208	0.9778	0.8876	0.9157	0.8978	0.9004
	80	22.5333	23.2465	22.7939	24.7634	0.9099	0.9387	0.9205	0.9231	0.9718	0.8843	0.9123	0.8945	0.8970
	90	22.0541	22.7521	22.3092	24.2840	0.9082	0.9369	0.9187	0.9213	0.9653	0.8767	0.9044	0.8868	0.8893
0.1	50	23.6530	24.4016	23.9265	24.8482	0.9519	0.9820	0.9629	0.9656	0.9881	0.9406	0.9703	0.9514	0.9541
	60	23.3597	24.0990	23.6298	25.1195	0.9299	0.9594	0.9407	0.9433	0.9832	0.9143	0.9433	0.9249	0.9275
	70	22.7118	23.4306	22.9745	24.5585	0.9248	0.9541	0.9355	0.9381	0.9778	0.9043	0.9329	0.9147	0.9173
	80	22.8292	23.5518	23.0932	24.7634	0.9219	0.9511	0.9326	0.9352	0.9718	0.8959	0.9242	0.9063	0.9088
	90	22.2997	23.0054	22.5575	24.2840	0.9183	0.9473	0.9289	0.9315	0.9653	0.8864	0.9145	0.8967	0.8992
0.2	50	23.7769	24.5295	24.0519	24.8482	0.9569	0.9872	0.9680	0.9707	0.9881	0.9455	0.9754	0.9564	0.9591
	60	23.7375	24.4887	24.0120	25.1195	0.9450	0.9749	0.9559	0.9586	0.9832	0.9291	0.9585	0.9398	0.9425
	70	22.9363	23.6622	23.2015	24.5585	0.9339	0.9635	0.9447	0.9474	0.9778	0.9132	0.9421	0.9238	0.9264
	80	23.1614	23.8945	23.4293	24.7634	0.9353	0.9649	0.9461	0.9488	0.9718	0.9089	0.9377	0.9194	0.9220
	90	22.6989	23.4173	22.9614	24.2840	0.9347	0.9643	0.9455	0.9482	0.9653	0.9023	0.9308	0.9127	0.9153

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำกะทิที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆของสารให้ความคงตัว(ต่อ)

ค่าความเข้มข้น ของสารให้ ความคงตัว	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักของน้ำกะทิ (g)			น้ำหนักน้ำ (g)	Sg			ความหนาแน่น ของน้ำนม อุณหภูมิต่อความคง ตัว	density					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.3	50	23.9976	24.7571	24.2751	24.3432	24.8482	0.9658	0.9963	0.9769	0.9797	0.9881	0.9543	0.9845	0.9653	0.9680
	60	23.9616	24.7200	24.2387	24.3068	25.1195	0.9539	0.9841	0.9649	0.9676	0.9832	0.9379	0.9676	0.9487	0.9514
	70	23.1566	23.8895	23.4244	23.4902	24.5585	0.9429	0.9728	0.9538	0.9565	0.9778	0.9220	0.9512	0.9326	0.9353
	80	23.3850	24.1251	23.6554	23.7218	24.7634	0.9443	0.9742	0.9553	0.9579	0.9718	0.9177	0.9467	0.9283	0.9309
	90	22.9196	23.6450	23.1847	23.2498	24.2840	0.9438	0.9737	0.9547	0.9574	0.9653	0.9111	0.9399	0.9216	0.9242
0.4	50	24.4978	25.2732	24.7811	24.8507	24.8482	0.9859	1.0171	0.9973	1.0001	0.9881	0.9742	1.0050	0.9854	0.9882
	60	24.4001	25.1724	24.6823	24.7516	25.1195	0.9714	1.0021	0.9826	0.9854	0.9832	0.9550	0.9853	0.9661	0.9688
	70	23.4816	24.2248	23.7531	23.8198	24.5585	0.9561	0.9864	0.9672	0.9699	0.9778	0.9349	0.9645	0.9457	0.9484
	80	23.6733	24.4225	23.9470	24.0143	24.7634	0.9560	0.9862	0.9670	0.9697	0.9718	0.9290	0.9584	0.9398	0.9424
	90	23.0506	23.7801	23.3172	23.3826	24.2840	0.9492	0.9793	0.9602	0.9629	0.9653	0.9163	0.9453	0.9269	0.9295
0.5	50	24.5276	25.3039	24.8112	24.8809	24.8482	0.9871	1.0183	0.9985	1.0013	0.9881	0.9754	1.0062	0.9866	0.9894
	60	24.5109	25.2867	24.7944	24.8640	25.1195	0.9758	1.0067	0.9871	0.9898	0.9832	0.9594	0.9897	0.9705	0.9732
	70	23.7492	24.5009	24.0239	24.0913	24.5585	0.9670	0.9977	0.9782	0.9810	0.9778	0.9456	0.9755	0.9565	0.9592
	80	23.8416	24.5961	24.1173	24.1850	24.7634	0.9628	0.9932	0.9739	0.9766	0.9718	0.9356	0.9652	0.9464	0.9491
	90	23.4060	24.1468	23.6766	23.7431	24.2840	0.9638	0.9943	0.9750	0.9777	0.9653	0.9304	0.9598	0.9412	0.9438

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในกะทิ
2. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในกะทิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในกะทิ (Gerber Method)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ปิเปต (Pipette) 1 ml., 5 ml., 10 ml.
2. จุกยาง (Caout chouc stoppers)
3. หลอด Butyrometer scale 0 – 50 %
4. เครื่อง Centrifuge

สารเคมีที่ใช้

1. H_2SO_4
2. Amyl alcohol

วิธีวิเคราะห์

1. เติมกรด H_2SO_4 10 ml. ลงในหลอด Butyrometer
2. ใส่ตัวอย่างกะทิ 5 ml.
3. เติมน้ำกลั่น 5 ml.
4. เติม Amyl alcohol 2 ml. ปิดจุกหลอด Butyrometer ให้แน่น
5. เขย่าให้เข้ากัน นำไปเหวี่ยงในเครื่อง Centrifuge เป็นเวลา 4 นาที ที่ 1100 rpm
6. นำไปอุ่นใน Water Bath $65^{\circ}C$ เป็นเวลา 3 นาที
7. อ่านผลตามสเกลออกมาเป็น % ไขมันของกะทิ

การวิเคราะห์หาปริมาณ โปรตีนในกะทิ (% Total Nitrogen)

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างใส่ในหลอดโปรตีน 5 ml.
2. เติมกรด H_2SO_4 10 ml.
3. ใส่ Catalyst (K_2SO_4 8 g + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 1g)
4. ใส่ Glass Beads 4 เม็ด เพื่อลดความรุนแรงจากการย่อย
5. ต่อกหลอดโปรตีนเข้ากับเครื่องย่อย
6. ย่อยตัวอย่างประมาณ 1 ชม. หรือจนสารละลายมีสีเขียวใส
7. ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปกลั่น
8. สารละลายที่ได้นำมาไตเตรตหาปริมาณแอมโมเนีย และคำนวณหา % ไนโตรเจน

$$\% \text{ Nitrogen} = \frac{1.4 \times M(V_1 - V_0)}{W}$$

โดย M = Molarity HCl

V_1 = ปริมาตร HCl ที่ใส่ในตัวอย่าง

V_0 = ปริมาตร HCl ที่ใส่ Blank

W = น้ำหนัก / ปริมาตรของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ กัมตกันิชฐ์ ขวัญพฤษ์ ซึ่ง เป็นอาจารย์ควบคุมการวิจัย และกราบขอบพระคุณอาจารย์ รศ. สาทิป รัตนภาสกร, ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, อาจารย์เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง รวมทั้งคุณจักรวาล จิงสมาน (พี่หมู) ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการแก้ไขปัญหา ต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการ ทดลอง

ขอขอบพระคุณสถาบันค้นคว้าพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้องสมุด มหาวิทยาลัยพระนครเหนือ รวมทั้งห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและคำแนะนำ

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่และเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจใน การทำโครงการฉบับนี้จนสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้