บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

สารทำอีมัลชันมีอิทธิพลต่อโครงสร้างของเนื้อเค้กโดยจะตัวช่วยให้เม็ดไขมันในแบตเตอร์(batter) มีความเสถียร(stable) และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในแบตเตอร์(3) ซึ่งแบตเตอร์เค้ก(batter cake) เป็นระบบที่มีลักษณะผสมระหว่าง อีมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ(O/W emulsion) และโฟม(form) โดยเม็ดไขมันจะกระจายตัวอยู่ในน้ำ ซึ่งจะมีอากาศอยู่ภายในเม็ดไขมัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1(4) ดังนั้นสารทำอีมัลชันจึงเป็นตัวช่วยรักษาความเสถียรของเซลอากาศ(air cell) ในแบตเตอร์ และช่วยการกระจายตัวของเซลอากาศในแบตเตอร์(5) เนื่องจากฟิล์มของสารทำอีมัลชันจะล้อมรอบระหว่างน้ำกับไขมันและไขมันกับอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.1(6) ซึ่งฟิล์มนี้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นจะไม่แตกในขณะที่แกสเกิดการขยายตัว(expanding gas)ในระหว่างการอบ(7) หากไม่ใส่สารทำอีมัลชัน เซลอากาศจะมีขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่ในแบตเตอร์อย่างหยาบๆ(8) และจะไม่มีความคงตัวในระหว่างการอบ(9) โดยจะมีผลทำให้เค้กมีปริมาตรต่ำ เนื้อเค้กมีลักษณะแน่น(compact) เซลอากาศหยาบ(coarse) เปิด(open cell) และหนา(thick cell)(10)

เซลอากาศนี้จะเกิดขึ้นในระหว่างการผสมเท่านั้นและจะขยายตัวในระหว่างการอบ ซึ่งจะมีผลต่อปริมาตรและลักษณะของเนื้อเค้ก(11) หากขั้นตอนการผสมไม่ดีเซลอากาศในแบตเตอร์จะเกิดการแตก(break down)ในระหว่างการอบทำให้เกิดริ้วหรือเค้กยุบ(12) เซลอากาศที่มีขนาดเล็กมากจะมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกัน(coalesce) และหลุดออกจากแบตเตอร์ซึ่งจะมีผลทำให้ปริมาตรของเค้กต่ำและเนื้อเค้กมีลักษณะแน่นไม่เป็นที่ต้องการ(unaccepted) ส่วนเซลอากาศที่มีขนาดเล็กปานกลาง(ไม่ใหญ่มาก) จะทำให้ลักษณะเนื้อเค้กละเอียด(เซลอากาศมีขนาดเล็กสม่ำเสมอ) และเค้กมีปริมาตร(volume) มาก(9) เนื่องจากเซลอากาศที่มีขนาดเล็กจำนวนมากจะมีแรงลอยตัว(buoyant)น้อย สามารถคงอยู่ในแบตเตอร์ทำให้ได้เค้กที่มีปริมาตรมากและเนื้อเค้กละเอียด(fine)(13)

ความถ่วงจำเพาะ(specific gravify)ของแบตเตอร์เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณอากาศทั้งหมดที่อยู่ในแบตเตอร์(12) โดยถ้าค่าความถ่วงจำเพาะต่ำแสดงว่าปริมาณเซลอากาศในแบตเตอร์มีมาก แต่ไม่ได้หมายความว่าปริมาตรเค้กจะต้องสูงเสมอไป เนื่องจากหากเซลอากาศไม่สามารถคงอยู่ในแบตเตอร์ได้จะทำให้ปริมาตรเค้กต่ำ(14)

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนกระจายและส่วนต่อเนื่องในระบบอีมัลชันและระบบโฟม (4)

Dispersed phase	Continuous phase	System
Gas	Liquid	Foam , Bubble
Liquid	Liquid	Emulsion
- oil	- water	- oil in water (O/W)
- water	- oil	- water in oil (W/O)

รูปที่ 2.1 แสดงการจัดเรียงตัวของสารทำอีมัลชันในเม็ดไขมัน (6)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดและปริมาณของสารทำอีมัลชันดังแสดงในตารางที่ 2.2 (15) จะมีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของไขมัน ปริมาณของเซลอากาศขนาดของเซลอากาศและปริมาตรของเค้ก(16) ซึ่งผลเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับ โครงสร้างทางเคมีของสารทำอีมัลชัน ความเข้มข้น(concentration)ของสารทำอีมัลชัน ความสามารถในการกระจายตัวในตัวกลาง(dispersing medium)ของสารทำอีมัลชัน และอุณหภูมิ(17) (18)

Cloke และคณะ(16) ได้ศึกษาอัตราการสูญเสียน้ำในระหว่างการอบของแบตเตอร์ที่ไม่มีสารทำอีมัลชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 พบว่า ที่ช่วง T_0 - T_1 (0-6 นาที) อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องจนถึง 75-80°ซ อัตราการสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้นจาก 0 กรัม/นาทีเป็น 0.2 กรัม/นาที ช่วงนี้แป้งจะเริ่มเกิดเปลี่ยนรูปร่าง(starch transformations)(17)

ช่วง T_1 - T_2 (6-11 นาที) อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเป็น 88-110°ซ อัตราการสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้นจาก 0.2 กรัม/นาทีเป็น 0.55 กรัม/นาที ช่วงนี้เม็ดแป้งจะเริ่มเกิดการพองตัว(swelling)

ช่วง T_2 - T_3 (11-17 นาที) อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเป็น 97-107°ซ อัตราการสูญเสียน้ำจะลดต่ำลงในนาทีที่ 13-15 และจะเพิ่มขึ้นสูงในนาทีที่ 15-16 ซึ่งจะเรียกว่าช่วงเวลาที่ 13-16 นาทีนี้ว่า พลาโต (plateau) ช่วงนี้เม็ดแป้งจะเปลี่ยนรูปร่าง โดยจะเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลว(อีมัลชัน)ไปเป็นของแข็งที่มีรูพรุน อัตราการสูญเสียน้ำในช่วงพลาโตจะมีค่าคงที่ ณ ช่วงเวลาสั้นๆ เนื่องจากอากาศในเซลอากาศขนาดใหญ่จะเป็นฉนวนขัดขวางการส่งผ่านความร้อน(heat transfer) ดังนั้นหากกราฟอัตราการสูญเสียน้ำของแบตเตอร์มีค่าคงที่ ณ ช่วงเวลาหนึ่งนั่นคือเกิดช่วงพลาโตแสดงว่าแบตเตอร์มีเซลอากาศขนาดใหญ่(เม็ดไขมันขนาดใหญ่)ปะปนอยู่เป็นปริมาณมาก

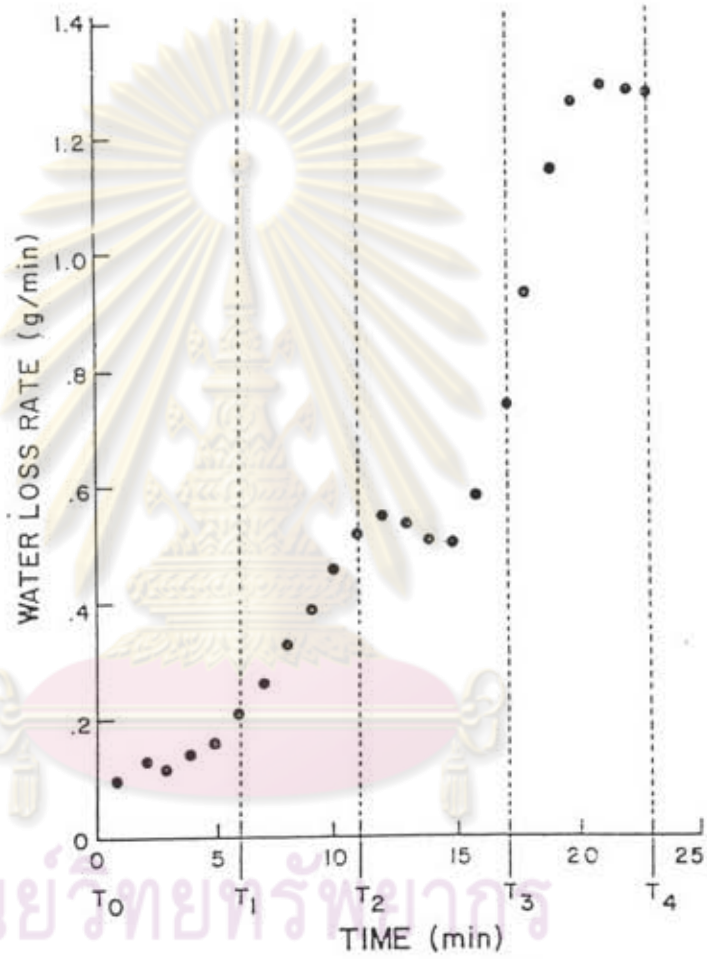
ช่วง T_3 - T_4 (17-23 นาที) อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเป็น 108-115°ซ อัตราการสูญเสียน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเหมือนช่วง T_1 - T_2

ความเข้มข้นและชนิดของสารทำอีมัลชันจะมีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำในระหว่างการอบในช่วงพลาโต(16) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยศึกษาสารทำอีมัลชันชนิดโมโนกลีเซอร์ไรด์อิ่มตัว (saturated monoglyceride ; SMG) กับแบตเตอร์ที่ใช้โมโนกลีเซอร์ไรด์ที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated monoglyceride ; USMG) พบว่าที่ความเข้มข้นของโมโนกลีเซอร์ไรด์อิ่มตัว 0-2% ของแป้งและความเข้มข้นของใช้โมโนกลีเซอร์ไรด์ที่ไม่อิ่มตัว 4-10% ของแป้ง จะทำให้เกิดช่วงพลาโต แสดงว่า แบตเตอร์มีอนุภาคไขมัน(เซลอากาศ)ขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่มากและอนุภาคไขมัน(เซลอากาศ)ขนาดใหญ่นี้จะกลายเป็นโพรงอากาศขนาดใหญ่คล้ายอุโมงค์(tunnel)ในเนื้อเค้ก ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดใหญ่ได้แก่ ความเสถียร(stability)ของอนุภาคไขมัน โดยความเสถียรของอนุภาคไขมันในแบตเตอร์จะมีค่าน้อยที่ความเข้มข้นของโมโนกลีเซอร์ไรด์อิ่มตัวต่ำๆ(0-3%) ซึ่งทำให้เกิดโพรงอากาศในเนื้อเค้ก และจะมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโมโนกลีเซอร์ไรด์อิ่มตัวเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ได้เค้กที่มี

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างชนิดและปริมาณสารทำอีมัลชันในอุตสาหกรรมขนมอบ

Designation	Abbreviation	Mode of Action			Typical Usage Levels for Bakery Products				
		Dough Strengthener	Crumb Softener	Aerating Agent	Bread and Rolls[b]	Cake Mixes[c]	Cookies and Crackers	Sweet Goods and Icings	Shortenings[d]
Lecithin	LC	X			0.2–0.5	0.1–0.3	0.1–4.0		0.5–1.0
Hydroxylated lecithin	HLC	X							
Mono- and diglycerides	MDG		X	X	0.3–0.5	0.5–2.0	0.2–0.8	0.5–2.0	2.0–12.0
Acetylated MG	AMG			X		0.5–1.0			2.0–6.0
Glyceryl-lacto esters of fatty acids	LMG			X			0.1–0.7		
Diacetyl tartaric acid esters of MG and DG	DATEM	X	X		0.3–0.5		0.2–0.7		
Succinylated MG	SMG	X	X		0.3–0.5	0.5–1.0	0.1–0.7	0.5–1.0	
Ethoxylated MG, DG	EMG	X		X	0.3–0.5	0.5–1.0	0.1–0.6	0.5–1.0	2.0–6.2
Stearyl monoglyceridyl citrate	SMGC	X							
Lactylated fatty acid esters of glycerol and propylene glycol	LGPE			X					
Propylene glycol mono- and diesters	PGMS			X		3.0–6.0		3.5–5.0	4.0–6.0
Polyglycerol esters	PGE	X		X		2.0–4.0	0.2–0.7	0.1–0.5	2.0–6.0
Sucrose esters	SUE	X							
Sorbitan monostearate	SMS			X		2.0–4.0	0.1–0.5		
Polysorbate 60	PS 60	X		X	0.3–0.5	2.0–4.0	0.1–0.5	0.1–0.5	2.0–4.0
Polysorbate 65	PS 65			X					
Lactylic esters of fatty acids	SLA	X	X	X	0.2–0.5				
Ca-stearoyl lactate	CSL	X	X		0.3–0.5	0.5–1.0	0.1–0.5	0.5–1.0	0.3–0.5
Na-stearoyl lactate	SSL	X	X	X	0.3–0.5	0.5–1.0	0.1–0.5	0.5–1.0	0.3–0.5
Na-stearoyl fumarate	SSF	X	X		0.2–0.5		0.2–1.5		
Stearoyl tartrate	STA	X							
Copolymer condensates of ethylene and propylene oxides	CEP	X			0.2–0.5				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.2 แสดงอัตราการสูญเสียน้ำในระหว่างการอบของแบตเตอร์ที่ไม่มีสารทำอีมัลชัน

SATURATED				UNSATURATED		
BATTER SPECIFIC GRAVITY	CENTER OF CAKE T°C 13 min	CENTER OF CAKE T°C 16 min	WATER LOSS RATE vs TIME	BATTER SPECIFIC GRAVITY	CENTER OF CAKE T°C 13 min	CENTER OF CAKE T°C 16 min
1.027	97	107	0%	1.027	97	107
1.030	98	107	0.50%	1.037	98	107
1.033	97	107	1.00%	1.039	98	107
1.030	95	105	1.50%	1.036	93	100
1.032	95	104	2%	1.042	92	97
1.032	95	104	2.50%	1.038	93	96
1.032	94	103	3%	1.038	94	100
1.032	95	106	4.00%	1.035	93	99
1.029	94	100	5%	1.031	93	102
1.031	93	99	7.50%	1.025	93	102
1.033	95	99	10%	1.024	96	103

รูปที่ 2.3 แสดงอัตราการระเหยของน้ำในช่วงพลาโตของโมโนกลีเซอร์ไรด์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เซลอากาศมีขนาดเล็ก(เนื้อเค้กละเอียด)และกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ ส่วนโมโนกลีเซอร์ไรด์ที่ไม่อิ่มตัว ความเสถียรภาพของอนุภาคไขมัน(เซลอากาศ)ในแบตเตอร์จะมาก เมื่อความเข้มข้นของโมโนกลีเซอร์ไรด์ที่ไม่อิ่มตัวต่ำ(1.5-2%)และจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของโมโนกลีเซอร์ไรด์ที่ไม่อิ่มตัวมากขึ้น หน้าที่ของโมโนกลีเซอร์ไรด์ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (15)

Pierce และคณะ(19), Breyer และคณะ(20) ศึกษาซูโครสเอสเทอร์(sucrose ester)เป็นสารที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสเอสเทอร์กับกรดไขมัน(fatty acid) หลายชนิด จึงทำให้มีค่าเฮชเอลบี(HLB)หลายค่า(12)และเป็นสารทำอีมัลชันสำหรับเค้กที่ไม่มีไขมันหรือไขมันต่ำโดยประเทศญี่ปุ่นได้มีการปรับปรุงซูโครสเอสเทอร์ที่มีค่า HLB 5-15 เพื่อใช้ในอาหารซึ่งซูโครสเอสเทอร์สามารถปรับปรุงคุณภาพเค้กให้มีปริมาตรมากขึ้น และเพิ่มความยืดหยุ่นตัวของเค้กประเภทไขมันต่ำ(8) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์(antimicrobial)จำพวกรา ทำให้มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น(18) โดยพบว่า ซูโครสเอสเทอร์ F-50 (HLB 6) ซึ่งอยู่ในรูปผง (power form) และในรูปไร้น้ำ(hydrate form)ไม่เหมาะสำหรับเค้กประเภทไขมันต่ำ เนื่องจากค่า HLB มีค่าต่ำ (เป็นกลุ่มที่ชอบไขมัน) เมื่อนำมาใช้ในเค้กที่ไม่มีไขมันหรือไขมันต่ำ จะให้ผลเหมือนเค้กที่ไม่ใส่สารทำอีมัลชัน(9) ส่วนซูโครสเอสเทอร์ F-110 (HLB 11) และ F-160 (HLB 15) ที่ความเข้มข้นต่ำๆ (0.5,1,1.5 %ของแป้ง)จะทำให้เม็ดไขมันมีขนาดใหญ่กว่า และมีการกระจายตัวต่ำกว่าโมโนกลีเซอร์ไรด์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน(20) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 1,2.5,4 %ของแป้ง พบว่า ซูโครสเอสเทอร์ F-110 และ F-160 จะทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กกว่า และกระจายตัวสม่ำเสมอดีกว่าโมโนกลีเซอร์ไรด์(19) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

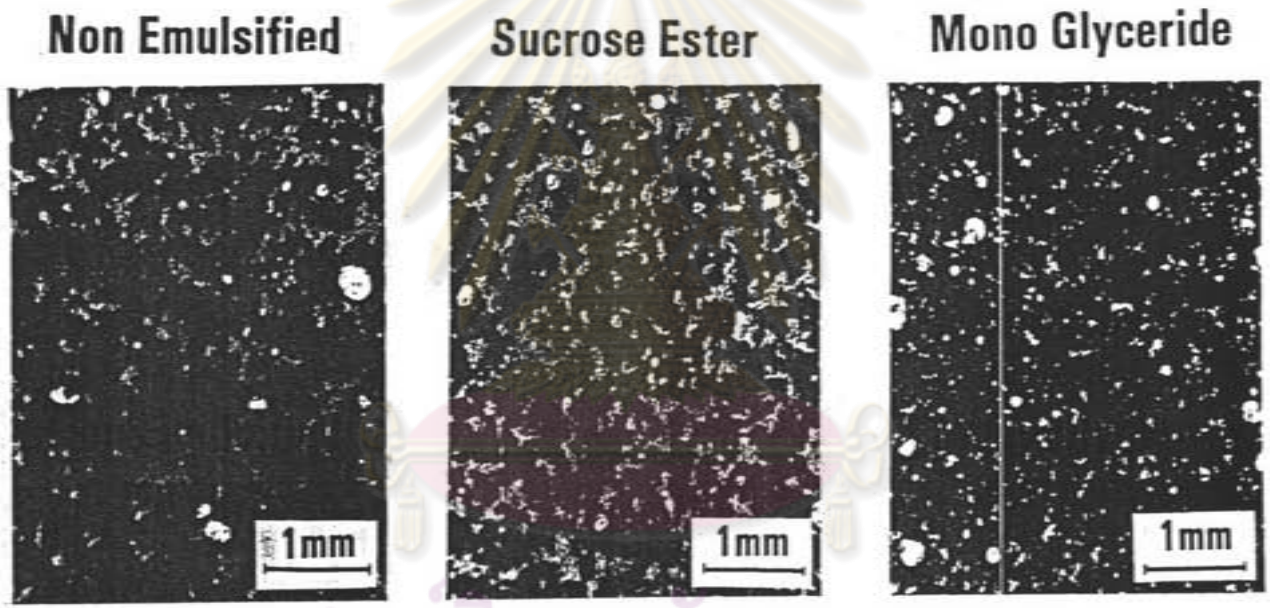
และพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันประสิทธิภาพของซูโครสเอสเทอร์จากมากไปน้อยเป็นดังนี้ : F-160 ในรูปไร้น้ำ > F-110 ในรูปไร้น้ำ > F-160 ในรูปผง > F-110 ในรูปผง(19) หน้าที่ของซูโครสเอสเทอร์ดังแสดงในตารางที่ 2.4 (15)

Mizukoshi และคณะ(21) ศึกษาผลของซิลิโคนในเค้กเนื่องจากเค้กที่มีคุณภาพสูงจะต้องมีปริมาตรใหญ่เซลอากาศ(เม็ดไขมัน)เล็กสม่ำเสมอ ในบางครั้งแบตเตอร์อาจจะมีเซลอากาศ(เม็ดไขมัน)ขนาดใหญ่ปะปนอยู่บ้าง ซึ่งสามารถลดความเสถียรของเซลอากาศ(เม็ดไขมัน)ขนาดใหญ่ได้โดยใช้ซิลิโคน(silicon) เนื่องจากโมเลกุลของซิลิโคนสามารถดูดซับบนผิวของเซลอากาศขนาดใหญ่ ทำให้ความเสถียรลดลงโดยพบว่า หากปริมาณความเข้มข้นของซิลิโคนเพิ่มขึ้น ปริมาตรของเค้กจะลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.5 หน้าที่ของซิลิโคนดังแสดงในตารางที่ 2.5 (15)

ตารางที่ 2.3 แสดงหน้าที่ของโมโนกลีเซอร์ไรด์ (15)

Function	
Emulsification	- Combination of oil and water in a compatible dispersion
Emulsion stabilization	- to improve the stability or quality of an emulsion
Aeration of foaming	- to initiate or control gas-in-liquid dispersion

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



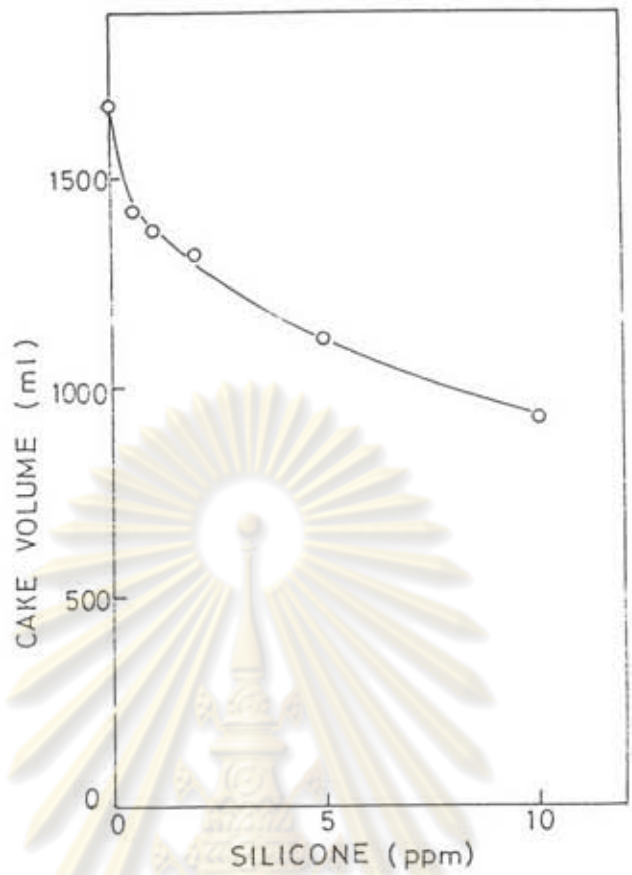
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายตัวของเม็ดไขมันในแบตเตอร์ที่ไม่มีสารทำอีมัลชัน สารทำอีมัลชันชนิดซูโครสเอสเทอร์และชนิดโมโนกลีเซอไรด์

ตารางที่ 2.4 แสดงหน้าที่ของซูโครสเอสเทอร์ (15)

Function	
Emulsification	- Combination of oil and water in a compatible dispersion
Aeration of foaming	- to initiate or control gas-in-liquid dispersion

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซิลิโคนต่อปริมาตรของเค้ก

ตารางที่ 2.5 แสดงหน้าที่ของซิลิโคน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	Function
Defoaming	- de-emulsification of gas-in-liquid emulsion usually on top of liquid system