



การประยุกต์ใช้อัลคิเดเรซินทางการค้าสำหรับเคลือบผิวกระดาษ : ผลของ
สารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อสมบัติของสารเคลือบผิว

**Application of Commercial Alkyd Resin for Paper Coating : Effect of Emulsifier
and Stabilizer on Coating Agent Properties**

ธิดารัตน์ พฤษพัฒน์พงศ์

Thidarat Prukpattanapong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Packaging Technology
Prince of Songkla University**

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้อัลติเรซินทางการค้าสำหรับเคลือบผิวกระดาษ : ผลของ
 สารอิมัลชันไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อสมบัติของสารเคลือบผิว

ผู้เขียน นางสาวธิดารัตน์ พุกภัยพัฒน์พงศ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
 (ดร.เถวียน บัวตุ้ม)

.....ประธานกรรมการ
 (ดร.วิรัช ทวีปรีดา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
 (ดร.เถวียน บัวตุ้ม)

.....
 (ดร.วรัญญา ศรีเดช)

.....กรรมการ
 (ดร.วรัญญา ศรีเดช)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานิชย์ ศรีนางแย้ม)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
 เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
 บรรจุภัณฑ์

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ ใช้ อัลติ ดเรซึ นทางการค้าสำหรับเคลือบผิว กระจก : ผ
 สารอิ มัลซิ ไฟเออร์ และสารให้ความเสถียรต่อสมบัติ ของสารเคลือบผิว
 ผู้เขียน นางสาวอิ ดารัตน์ พุกภัย พัฒนพงศ์
 สาขาวิชา เทคโนโลยี บรรจุ ภัณฑ์
 ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการหาสารเคลือบผิว ที่ ผลิต จากขี้เถ้าและสารเคลือบ
 ผิว วังเคราะห์ โดยมี การประยุกต์ ใช้ อัลติ ดเรซึ นมาเป็นสารเคลือบผิว กระจก เป็น อย่ างที่ พบว่า
 สารเคลือบกระดาษจากอัลติ ดเรซึ น (ร้อยละ 3 ของสารละลาย) ช่วยเพิ่ม การต้านทานน้ำ และ
 สมบัติ เชิงกลให้กับกระดาษ แต่มี ปัญหาในด้านความไม่ทนทานระหว่างการใช้งานของสารเคลือบ
 ดังนั้ นในงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษานิ ดและปริ มาณของสารอิ มัลซิ ไฟเออร์ ที่ ให้ความเสถียรเพื่อ
 ปรับปรุง สมบัติ ของสารเคลือบผิว โดยที่ ศึกษาสารอิ มัลซิ ไฟเออร์ ชนิด เจลาติ น พอลิ ซอเบท 20
 พอลิ ซอเบท 60 และพอลิ ซอเบท 80 ที่ ให้ความเข้มข้นร้อยละ 2, 3 และ 4 โดยนั้ นกำหนดของอัลติ ดเรซึ น และ
 สารให้ความเสถียร ชนิด คี ลอสต์ บี นกั ม แชนแทนกั ม และคาร์ ราจี เคนนเข้มข้นร้อยละ 1 ถึง 5
 โดยนั้ นกำหนดของอัลติ ดเรซึ น รวมถึง การที่ ศึกษาผลรวมของสารอิ มัลซิ ไฟเออร์ และสารให้ความเสถียร
 ต่อสมบัติ ของสารเคลือบผิว จากอัลติ ดเรซึ นและกระดาษที่ ผลิต จากการผลิต การที่ ศึกษาพบว่า
 การใช้ เจลาติ น ที่ ให้ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นสารอิ มัลซิ ไฟเออร์ ส่งผลให้ สารเคลือบผิว จาก
 อัลติ ดเรซึ นมี ความคงตัวที่ ดี กระดาษที่ ผ่านการเคลือบมี น้ำหนักค่าเฉลี่ย $25.88 \pm 4.75 \text{ g/m}^2$ และ
 ยังส่งผลให้มี คุณภาพการพิ มพ์ ที่ ดี จึ้ น ในขณะ ที่ ควบคุมปริ มพ์ ชนิด คาร์ ราจี เคนนที่
 ให้ความเข้มข้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ กระดาษที่ ผ่านการเคลือบมี ปริ มพ์ น้ำหนักค่าเฉลี่ย $(25.40 \pm 0.58) \text{ g/m}^2$
 รวมถึง ช่วยปรับปรุง คุณภาพการพิ มพ์ ให้ดี จึ้ น และยังได้ ศึกษากันถึง กลของกระดาษที่ ผ่าน
 การเคลือบด้วยสารเคลือบผิว ในด้านต่าง ๆ ไม่มี การเปลี่ยนแปลง สำหรับผลรวมของ
 สารอิ มัลซิ ไฟเออร์ และสารให้ความเสถียรต่อความคงตัวของสารเคลือบผิว พบว่า การใช้ เจลาติ น
 ร้อยละ 10 ร่วมกับคาร์ ราจี เคนนร้อยละ 1 โดยนั้ นกำหนดของอัลติ ดเรซึ นเป็นสารอิ มัลซิ ไฟเออร์ และ
 สารให้ความเสถียรตามลำดับ ส่งผลให้ กระดาษที่ ผ่านการเคลือบมี ปริ มพ์ น้ำหนักค่าเฉลี่ย $(25.40 \pm 0.58 \text{ g/m}^2)$ รวมถึง ช่วยปรับปรุง คุณภาพการพิ มพ์ ให้ดี จึ้ น

Thesis Title	Application of Commercial Alkyd resin for Paper Coating : Effect of Emulsifier and Stabilizer on Coating Agent Properties
Author	Miss Thidarat Prukattanapong
Major Program	Packaging Technology
Academic Year	2008

ABSTRACT

This research was seeking the natural coating to substitute coating by of alkyd resin application. Hence, the objective in this work was to investigated the effect of types and concentrations of emulsifiers and stabilizers formulated on the stability of alkyd resin coating and coated paperboard properties. This study was to investigate the effect of types of emulsifiers (Lecithin, Gelatin, Polysorbate20, Polysorbate60 and Polysorbate80) at various concentrations (2-12 % w/w of alkyd resin) and also effect of types of stabilizers (Locust bean gum; LBG, Xanthan gum and Carrageenan) at various concentrations (1-5 %w/w of alkyd resin). The result showed that, alkyd resin coating formulated with 10% of gelatin provided the least separation between alkyd resin and starch solution, the lowest water absorptiveness of coated paperboard ($25.88 \pm 4.75 \text{ g/m}^2$) and also could improved printing quality. The addition alkyd resin coating formulated with 1% of carrageenan provided the lower water absorptiveness of coated paperboard ($25.40 \pm 0.58 \text{ g/m}^2$) and demonstrated better printing quality. However, the results show that alkyd resin coating used in this study were not significant effect ($p>0.05$) the mechanical properties of coated paperboard. According to the effect of combination between emulsifiers and stabilizers on alkyd resin coating properties, the result demonstrated that alkyd resin coating formulated with 10% of gelatin and together with 1% of carrageenan yielded the lower water absorptiveness of coated paperboard ($25.40 \pm 0.58 \text{ g/m}^2$) and exhibited printing quality.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(6)
LIST OF TABLES.....	(7)
LIST OF FIGURES.....	(10)
บทที่	
1 บทนำ.....	1
บทนำตั้งเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	35
2 วิธีการวิจัย.....	36
วิธีดำเนินการ.....	36
วัสดุและอุปกรณ์.....	39
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	40
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	91
เอกสารอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	125

LIST OF TABLES

Table		Page
1.	Types and colors of kraft paper	3
2.	Specification of Corrugation flutes.....	6
3.	Specification of alkyd resin.....	12
4.	HLB values used to predict the surfactant properties.....	23
5.	The characteristics of polysorbates.....	32
6.	Experiment of combination between emulsifiers stabilizers on coating properties	38
7.	Effect of types and concentrations of emulsifiers on the viscosity of alkyd resin coating.....	41
8.	Effect of types and concentrations of stabilizers on the viscosity of alkyd resin coating.....	66
9.	Experiment of combination between emulsifiers and stabilizers formulated in alkyd resin coating.....	81
10.	Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the viscosity of alkyd resin coating.....	82
11.	Resulting from analyzed variation of the water absorptiveness of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	99
12.	Resulting from analyzed variation of the bursting strength of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	101
13.	Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	103
14.	Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	105

LIST OF TABLES (Cont.)

Table	Page
15. Resulting from analyzed variation of the elongation at break (machine direction; MD) of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	107
16. Resulting from analyzed variation of the elongation at break (cross machine direction; CD) of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	109
17. Resulting from analyzed variation of the water absorptiveness of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	111
18. Resulting from analyzed variation of the bursting strength of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	112
19. Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	113
20. Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	114
21. Resulting from analyzed variation of the elongation at break (machine direction; MD) of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	115
22. Resulting from analyzed variation of the elongation at break (cross machine direction; CD) of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.....	116
23. Resulting from analyzed variation of the water absorptiveness of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.....	117

LIST OF TABLES (Cont.)

Table		Page
24.	Resulting from analyzed variation of the bursting strength of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.....	118
25.	Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard....	119
26.	Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.....	120
27.	Resulting from analyzed variation of the elongation at break (machine direction; MD) of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.....	121
28.	Resulting from analyzed variation of the elongation at break (cross machine direction; CD) of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.....	122
29.	Gardner color scale.....	123
30.	Viscosity conversion chart.....	124

LIST OF FIGURES

Figure	Page
1. Schematic diagram of food emulsions: (a) oil-in-water emulsion and (b) water-in-oil emulsion.....	21
2. Structure of K -Carrageenan.....	26
3. Structure of λ -Carrageenan.....	26
4. Structure of I -Carrageenan.....	26
5. Double-helix structure.....	27
6. Structure of Lecithin.....	29
7. Structure of Locust bean gum.....	30
8. Structure of Xanthan gum.....	31
9. Structures of Polysorbates; (a) Polysorbate20, (b) Polysorbate60 and (c) Polysorbate80.....	34
10. Roll coating machine.....	39
11. Effect of a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbates20, d) Polysorbates60 and e) Polysorbates80 at various concentrations on the stability of alkyd resin coating.....	43
12. SEM of surface paperboard; a) non-coated, b) commercial coating, c) alkyd resin coating contained 10% of Gelatin and d) alkyd resin coating contained 12% of Gelatin.....	46
13. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the water absorptiveness of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.....	47
14. Effect of types and concentrations of emulsifiers on the printing ability of coated paper; a) commercial coating, b) alkyd resin coating contained 10% of Gelatin and c) alkyd resin coating contained 12% of Gelatin.....	50

LIST OF FIGURES (Cont.)

Figure	Page
15. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.....	52
16. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.....	54
17. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.....	57
18. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (cross machine direction ; CD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.....	59
19. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the bursting strength of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.....	62
20. Effect of a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan at various concentrations on the stability of alkyd resin coating.....	67
21. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the water absorptiveness of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.....	69
22. Effect of types and concentrations of stabilizers on the printing ability of coated paper; a) commercial coating, b) alkyd resin coating contained 1% of Carrageenan and c) alkyd resin coating contained 2% of Carrageenan.....	71

LIST OF FIGURES (Cont.)

Figure	Page
23. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.....	72
24. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.....	74
25. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.....	75
26. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.....	77
27. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the bursting strength of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.....	79
28. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the stability of alkyd resin coating.....	83
29. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the water absorptiveness of coated paperboard.....	85
30. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on printing ability of coated paper; a) commercial coating, b) M2 and c) M3.....	86
31. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of coated paperboard.....	87
32. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of coated paperboard.....	88
33. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the elongation at break (E) (machine direction: MD) of coated paperboard.....	88

LIST OF FIGURES (Cont.)

Figure		Page
34.	Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the elongation at break (E) (cross machine direction; CD) of coated paperboard.....	89
35.	Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the bursting strength of coated paperboard.....	90
36.	Cobb sizing tester.....	96
37.	LLOYD Model LR 30K.....	97
38.	Mullen Tester Model GT 7013AD.....	98

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

บรรจุภัณฑ์กระดาษเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการขนส่งอาหาร และที่ไม่ใช่อาหาร (Robertson, 1993) โดยในขั้นตอนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารและต้องทำการเก็บรักษาในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง เช่น อาหารแช่แข็ง หรืออาหารแช่เย็น เป็นต้น บรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษที่ทำการผลิตต้องทำการเคลือบกระดาษด้วย สารเคลือบผิว (แวกซ์) (Sun *et al.*, 2007) ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการพิมพ์กราฟิก ซึ่งวัตถุประสงค์ในการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการดูดซึมน้ำของกระดาษลูกฟูกและเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ โดยจะเพิ่มจุดอ่อนนิ่ม (softening point) และความมันวาว (gloss) ให้กับกระดาษ สารเคลือบผิวที่ใช้ในปัจจุบันเป็นสารเคลือบผิวนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งผลิตจากวัสดุสังเคราะห์และมีโอกาสส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งราคาค่อนข้างแพงและมีความไม่แน่นอนในการนำเข้า จากปัญหาดังกล่าวทางผู้ประกอบการซึ่งผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก ได้พยายามหาสารเคลือบผิวที่ผลิตจากธรรมชาติเพื่อทดแทนสารเคลือบผิวสังเคราะห์ดังกล่าว ซึ่งสารเคลือบผิวจากธรรมชาติยังไม่มี การดำเนินการวิจัยและผลิตขายในทางการค้า จากการศึกษาคุณสมบัติของอัลคิเดเรซิน (alkyd resin) หรือพอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (condensation polymerization) ระหว่างพอลิไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) ซึ่งปกติใช้กลีเซอรอล (glycerol) กับกรดไดหรือพอลิเบสิก (di-, polybasic) พบว่าอัลคิเดเรซินเป็นสารยึดที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ง่ายต่อการใช้งาน เนื่องจากสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องผสมกับสารอื่น ๆ และมีอายุในการใช้งานนาน ราคาถูก เมื่อเทียบกับเรซินชนิดอื่น สามารถใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากสามารถสังเคราะห์ให้แตกต่างกันออกไปตามความต้องการ ตั้งแต่ชนิดแห้งเร็ว ซึ่งมีความยืดหยุ่นต่ำ ไปจนถึงแห้งช้า ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้ฝังสีเปียกและกระจายตัวได้ดี มีความทนทาน ความยืดหยุ่นและความเงาดีเยี่ยม มีความทนทานต่อตัวทำละลายดี มีความเหนียว ความทนทานต่อความร้อนดี (Swaraj, 1995) และเมื่อนำมาผสมกับสารละลายสตาร์ช เพื่อใช้เป็นสารเคลือบผิวกระดาษพบว่า จะให้คุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสารเคลือบผิวทางการค้า นั่นคือมีความสามารถในการยึดเกาะทั้งระหว่างสารเคลือบผิวด้วยกันเองและระหว่างสารเคลือบกับพื้นผิวกระดาษ

จากคุณสมบัติของอัลคิดเรซินข้างต้น และความสามารถในการประยุกต์ใช้เป็น ส่วนประกอบของสารเคลือบผิว จึงได้คิดค้นแนวทางการวิจัยเพื่อนำอัลคิดเรซินมาประยุกต์ใช้เป็น สารเคลือบผิวสำหรับอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาเบื้องต้นพบว่าการผสมอัลคิดเรซินกับตัวทำละลายซึ่งเป็นสารละลายสตาบิลนั้น ปัญหาที่พบคือ เกิดการแยกชั้น และความไม่คงตัวระหว่างการใช้งาน ทำให้คุณภาพและความสามารถในการเคลือบกระดาษไม่เป็นที่ต้องการ ประกอบกับยังไม่มีงานวิจัยศึกษาการประยุกต์ใช้สารเคลือบผิวกระดาษจากอัลคิดเรซิน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอโครงการวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้อัลคิดเรซินสำหรับเคลือบผิวกระดาษ : ผลของสารอิมัลชันไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อสมบัติของสารเคลือบผิว ซึ่งงานวิจัยนี้ถือเป็น นวัตกรรมใหม่และผลการวิจัยที่ได้คาดว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ได้จริง

การตรวจเอกสาร

กระดาษ (paper)

กระดาษเป็นวัสดุที่ผลิตขึ้นมาสำหรับการจดบันทึก มีประวัติศาสตร์ยาวนาน เชื่อกันว่ามีการใช้กระดาษครั้งแรก ๆ โดยชาวอียิปต์โบราณและชาวจีนตั้งแต่สมัยโบราณ แต่กระดาษในยุคแรก ๆ ล้วนผลิตขึ้นเพื่อการจดบันทึกด้วยกันทั้งสิ้น จึงกล่าวได้ว่าระบบการเขียน คือ แรงผลักดันให้เกิดการผลิตกระดาษขึ้นในโลก ปัจจุบันกระดาษไม่ได้มีประโยชน์ในการใช้จดบันทึกตัวหนังสือ หรือข้อความเท่านั้น ยังใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้มากมาย เช่น กระดาษชำระ กระดาษห่อของขวัญ กระดาษลูกฟูกสำหรับทำกล่อง ฯลฯ กระดาษของชาวอียิปต์ผลิตจากหญ้าที่เรียกว่า ปาปิรุส (papyrus) และเรียกว่า กระดาษปาปิรุส พบว่ามีการใช้กระดาษที่ทำจากปาปิรุสมาตั้งแต่สมัยปฐมราชวงศ์ของอียิปต์ (ราว 3,000 ปีก่อนคริสตกาล) ประวัติการใช้กระดาษในสยามไม่ปรากฏหลักฐานชัดเจน แต่วัสดุที่มีลักษณะกระดาษนั้น เรามีกระดาษที่เรียกว่า สมุดไทย ผลิตจากเยื่อไม้ทูลละเอียด ต้มจนเปื่อยใส่แป้งเพื่อให้กระดาษเหนียว แล้วนำไปกรองในกระเบาะเล็ก ๆ ทิ้งไว้จนแห้ง แล้วลอกออกมาเป็นแผ่น พับทบไปมาจนตลอดความยาว จึงได้เป็นเล่มสมุด เรียกว่า สมุดไทยขาว หากต้องการ สมุดไทยดำ ก็จะผสมผงถ่านในขั้นตอนการผลิต ในทางภาคเหนือของไทยมีการผลิตกระดาษที่คล้ายคลึงกัน เรียกว่า กระดาษสา เมื่อนำมาทำเป็นสมุดใช้เขียน เรียกว่า ปี่ปสา

คำว่า “กระดาษ” ในภาษาไทยไม่ปรากฏที่มาอย่างแน่ชัด มีผู้สันนิษฐานว่าน่าจะทับศัพท์มาจากภาษาโปรตุเกสว่า “kratus” แต่ความจริง คำว่ากระดาษในภาษาโปรตุเกส ใช้ว่า “papel” ส่วนที่ใกล้เคียงภาษาไทยมากที่สุดน่าจะเป็นคำศัพท์ในภาษามลายู คือ “kertas” หมายถึง

กระดาษ เช่นกัน การใช้กระดาษในปัจจุบัน เนื่องจากกระดาษเป็นวัสดุสิ้นเปลือง จึงมีการนำกระดาษกลับมาใช้อีก เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์นำมาพับถุงกระดาษ กระดาษสำหรับเขียนแม้ใช้แล้วทั้งสองหน้า ก็สามารถนำไปพิมพ์อักษรเบลล์สำหรับคนตาบอดได้ เมื่อหมดสภาพแล้วก็นำไปเข้าโรงงานแปรรูปสินค้าประเภทลังกระดาษได้อีก (ปุ่น และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2542)

กระดาษ (paper) เป็นแผ่นวัสดุบางซึ่งทำจากเส้นใยผสมสารเติมแต่งหนึ่งชนิดขึ้นไป โดยทั่วไปกระดาษมีน้ำหนักมาตรฐานไม่เกิน 250 g/m^2

กระดาษคราฟท์ (Strong or kraft paper)

ลักษณะของกระดาษคราฟท์ส่วนใหญ่จะมีเนื้อหยาบสีน้ำตาลตามสีของเนื้อไม้ที่ทำเยื่อแล้วผลิตกระดาษ แต่บางชนิดก็จะมีสีขาว เพราะใช้เยื่อฟอกขาวหรืออาจมีสีอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและความต้องการของตลาด เช่น ในประเทศไทยกระดาษคราฟท์ชนิดต่าง ๆ จะมีสีที่ปรากฏดัง Table 1

Table 1. Types and colors of kraft paper.

Type of kraft paper	Color
Extensible Kraft	Brown
Sack Kraft	Brown, White
Shopping Bag Paper	Brown
Kraft Linearboard	
- KS	White
- KA	Bright Brown
KI	Light Brow
KB	Brown
Corrugating Medium	Brown Gray
Core Paper	Brown Gray
Crepe Tape	Brownish, White
Sub Tape	Brown
Ribbed Kraft	Yellow Brown

ที่มา : ปุ่น และสมพร คงเจริญเกียรติ (2542)

คุณลักษณะของกระดาษคราฟท์

กระดาษเหนียวหรือกระดาษคราฟท์ หมายถึง กระดาษที่ทำขึ้นจากเยื่อซัลเฟตหรือเยื่อคราฟท์ล้วน ๆ หรือต้องมีเยื่อคราฟท์อย่างน้อยร้อยละ 80 เหมาะที่ใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง (ปูน และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2542) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แบ่งประเภทของกระดาษเหนียวออกเป็น 5 ประเภท คือ

1. กระดาษเหนียวสำหรับห่อและทำถุงชั้นเดียว (wrapping or single wall bag paper)
2. กระดาษเหนียวสำหรับทำถุงหลายชั้น (multiwall bag wall)
3. กระดาษเหนียวชนิดธรรมดา (strong paper)
 - กระดาษเหนียวชนิดยืด (stretchable paper)
 - กระดาษเหนียวเวต สเตรงท์ (wet strength paper)
4. กระดาษเหนียวสำหรับทำฝักกล่อง (kraft linerboard)
5. กระดาษเหนียวริบคราฟท์ (ribbed kraft paper)

กระดาษคราฟท์ที่เรานำมาทำแผ่นกระดาษลูกฟูก มีหลายประเภท หลากสีสัน และการนำไปใช้งานก็แตกต่างกัน โดยหลัก ๆ เกรดกระดาษที่ใช้ มีดังต่อไปนี้

KS – กระดาษคราฟท์สีขาวสำหรับทำฝักกล่อง มีความเรียบสะอาด เหมาะสำหรับกล่องที่เน้นความสวยงาม และช่วยให้การพิมพ์ที่มีสีสันชัดเจน ดูโดดเด่น เพิ่มคุณค่าให้สินค้าที่บรรจุภายใน นอกจากนี้กระดาษ KS ยังมีความแข็งแรงสูง สามารถปกป้องสินค้าได้ดี นิยมใช้สำหรับกล่องเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อการส่งออก และกล่องอุปโภคบริโภคที่ต้องการบ่งบอกถึงควมมีระดับของสินค้า เป็นต้น (น้ำหนักมาตรฐาน : 170 g/m²)

KA – กระดาษคราฟท์สีเหลืองทองสำหรับทำฝักกล่อง มีความแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษ สามารถรองรับน้ำหนักได้ดีเยี่ยม และเป็นสีที่นิยมใช้กันมากในประเทศ เหมาะสำหรับสินค้าอะไหล่รถยนต์ อาหารกระป๋อง กล่องเฟอร์นิเจอร์ ที่ต้องการความมั่นใจในเรื่องความแข็งแรงทุกรูปแบบ ทั้งการเรียงซ้อน และการป้องกันการกระแทก (น้ำหนักมาตรฐาน : 125, 150, 185, 230 g/m²)

KI – กระดาษคราฟท์สีน้ำตาลอ่อนสำหรับทำฝักกล่อง สีอ่อนสบายตา เหมาะกับงานพิมพ์ภาพหรือตัวหนังสือให้มีสีสันสวยงาม ด้านการพิมพ์เป็นรองเพียงกระดาษ KS เท่านั้น นิยมใช้กับสินค้าที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากเท่า KA เหมาะกับกล่องสินค้าทั่วไป เช่น กล่องอาหารสำเร็จรูป กล่องเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการพิมพ์เป็นภาพสี เป็นต้น (น้ำหนักมาตรฐาน : 125, 150, 185 g/m²)

KP- กระดาษกราฟที่สีน้ำตาลสำหรับทำผิวกล่อง มีโทนสีกระดาษใกล้เคียงกับกระดาษต่างประเทศ เป็นที่ยอมรับกันในสากล เหมาะกับการใช้ผลิตกล่องสำหรับสินค้าส่งออกทุกชนิด (น้ำหนักมาตรฐาน : 175, 275 g/m²)

KT- กระดาษกราฟที่สีน้ำตาลสำหรับทำผิวกล่อง ผลิตจากเยื่อรีไซเคิล (recycled) 100% เพื่อส่งเสริมด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมแต่ยังคงความสวยงามและความแข็งแรง มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องการเรียงซ้อน เหมาะกับสินค้าส่งออกที่ระบุให้ใช้กล่องที่ทำจากเยื่อรีไซเคิลทั้งหมด (น้ำหนักมาตรฐาน : 125, 150 g/m²)

CA- กระดาษกราฟที่สำหรับทำลอนลูกฟูก มีคุณสมบัติความแข็งแรงในการป้องกันแรงกระแทก สำหรับทำลอนลูกฟูกขนาดต่าง ๆ ได้ทุกลอนให้ได้คุณภาพสูง ความแข็งแรงสัมพันธ์กับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ นอกจากนี้ กระดาษ CA ยังนิยมนำมาใช้ทำเป็นกระดาษทำผิวกล่องด้านหลัง เพื่อลดต้นทุนอีกด้วย (น้ำหนักมาตรฐาน : 105, 125 g/m²)

กระดาษกราฟที่เป็นกระดาษที่มีความเหนียวและแข็งแรงกว่ากระดาษธรรมดาสามารถป้องกันแรงอัดและแรงทิ่มแทงจากภายนอกได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการต้านทานการเปียกน้ำ ต้านทานการเปราะเปื้อนน้ำมัน ต้านทานการเสียดสี มีน้ำหนักกระดาษ มีความหนา และมีความเรียบสม่ำเสมอ สามารถติดกาวได้ดีและเหมาะสำหรับการพิมพ์ จากคุณลักษณะที่ดีเด่นของกระดาษกราฟที่ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าว ทำให้สามารถแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์และภาชนะหีบห่อได้อย่างเหมาะสม ทั้งด้านการผลิต การบรรจุ และการขนส่ง นอกจากนี้ยังสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษได้อีก ช่วยลดปัญหามลพิษด้านสถานะแวดล้อมลงได้ระดับหนึ่ง ดังนั้น กระดาษกราฟที่จึงเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่นิยมมากในวงการอุตสาหกรรม (ปูน และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2542)

โครงสร้างของกระดาษลูกฟูก

แผ่นกระดาษลูกฟูก ประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบหลัก ดังนี้

1. กระดาษแผ่นเรียบ (Liner Board) คือ กระดาษแผ่นเรียบที่ติดอยู่กับลอนลูกฟูก
2. ลอนลูกฟูก (Corrugated Medium หรือ Corrugation Flute) คือ ส่วนของกระดาษที่มีลักษณะเป็นคลื่น และอยู่ติดกับแผ่นกระดาษแผ่นเรียบ

ลอนลูกฟูก (Corrugated Medium หรือ Corrugation Flute)

การนำเส้นโค้งนำมาปรับให้เหมาะสม จะเป็นการทำให้พื้นที่ที่ต้องการทอดข้ามเกิดความแข็งแรงมากที่สุด ดังนั้นผู้ผลิตกระดาษลูกฟูกจึงนำหลักการเดียวกันนี้เข้ามาใช้ในการผลิตความโค้งของลอนกระดาษลูกฟูก โดยเราเรียกกระดาษที่ถูกทำให้โค้งนี้ว่า “ลอนลูกฟูก” และเมื่อนำลอนนี้มาติดกับแผ่นกระดาษเรียบ จะสามารถทนทานต่อความโค้งงอและแรงกดได้จากทุกทิศทาง

ลอนลูกฟูกมีหลายชนิด โดยลอนแต่ละประเภทจะมีขนาดและความสูงไม่เท่ากัน รวมถึงความเหมาะสมกับการใช้งานแตกต่างกันด้วย ลอนกระดาษลูกฟูกที่ใช้มีอยู่ 5 ประเภท คือ ลอน A B C E และ F ลอน A เป็นลอนใหญ่ที่สุด รองลงมา C B E และ F ตามลำดับ โครงสร้างขนาดของลอนกระดาษลูกฟูกจะเรียกตามน้ำหนักของกระดาษเป็นกรัมต่อตารางเมตรแล้วจึงต่อด้วยประเภทลอน เช่น 290/180E/200 หมายถึง แผ่นกระดาษปะด้านนอก = 290 g/m^2 ลูกฟูก = 180 g/m^2 เป็นลอน E แผ่นกระดาษปะด้านใน = 200 g/m^2 (ปูน และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2542)

Table 2. Specifications of Corrugation flutes.

Flute Type	Flute Pitch	Flute Height
A Flute - Coarse flute	8.0 – 9.5 mm	4.0 – 4.9 mm
B Flute - Fine flute	5.5 – 6.5 mm	2.2 – 3.0 mm
C Flute - Medium flute	6.8 – 8.0 mm	3.2 – 4.0 mm
E Flute – Mini flute	3.0 – 3.5 mm	1.0 – 1.8 mm
F Flute - Micro flute	-	0.8 – 1.2 mm

ที่มา : ปูน และสมพร คงเจริญเกียรติ (2542)

การเลือกใช้กล่องกระดาษลูกฟูก กล่องลอน E และ Micro ไม่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ขนส่ง นิยมใช้ลอน B และลอน C มากที่สุด ส่วนลอน A จะใช้น้อยที่สุด เพราะมีความหนาแน่นมากกว่าลอนอื่น ๆ เหมาะสำหรับการทำใส่กล่องกับแผ่นรองด้านใน

ประโยชน์ของกระดาษลูกฟูก

กระดาษลูกฟูกนับได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการออกแบบที่สอดคล้อง สำหรับใช้ในการผลิตและการส่งสินค้า สาเหตุที่กระดาษลูกฟูกได้รับความนิยมในการผลิตบรรจุภัณฑ์ (ปูน และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2542) เนื่องจาก

- ความทนทาน
- สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย
- น้ำหนักเบา
- เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- ทนสมัย
- สามารถปรับเปลี่ยนให้ตรงกับความต้องการ

- สามารถปกป้องสินค้า
- สามารถพิมพ์ลวดลาย เพื่อให้ข้อมูลและทำให้เกิดความสวยงาม
- ราคาประหยัด

ชนิดของแผ่นกระดาษลูกฟูก

โดยทั่วไปแล้ว เราจะแบ่งกระดาษลูกฟูกเป็น 3 ชนิด ตามจำนวนชั้นของกระดาษ

1. กระดาษลูกฟูกสองชั้น (Single face) ประกอบด้วย กระดาษแผ่นเรียบ 1 แผ่น ประกอบกับลอนลูกฟูก 1 แผ่น นิยมใช้กันกระแทกสินค้าหรือปะก่อง
2. กระดาษลูกฟูกสามชั้น (Single wall) ประกอบด้วย กระดาษแผ่นเรียบ 2 แผ่น ประกอบกับลอนลูกฟูก 1 แผ่น โดยลอนลูกฟูกจะอยู่ตรงกลางระหว่าง กระดาษเรียบทั้ง 2 แผ่น มักใช้สินค้าที่มีน้ำหนักปานกลาง หรือไม่เน้นความแข็งแรงมาก
3. กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น (Double wall) ประกอบด้วย กระดาษแผ่นเรียบ 3 แผ่น ประกอบกับลอนลูกฟูก 2 แผ่น โดยกระดาษลอนลูกฟูกที่อยู่ติดกับผิวกล่องด้านนอกจะเป็นลอน B เพื่อประโยชน์ทางการพิมพ์ และกระดาษลอนลูกฟูกที่อยู่ด้านในจะเป็นลอน C เพื่อประโยชน์ทางด้านรับแรงกระแทก นิยมใช้สำหรับสินค้าที่ต้องการป้องกันสูงหรือมีน้ำหนักมาก

สารเคลือบผิว (Surface coating)

คือ วัสดุที่เมื่อเคลือบบาง ๆ ลงบนพื้นที่ใด ๆ แล้วจะทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะมีฤทธิ์เกาะทั้งระหว่างสารเคลือบผิวด้วยกันเองและระหว่างสารเคลือบกับพื้นผิวที่ต้องการ

วัตถุประสงค์ของสารเคลือบผิวประกอบด้วย (อรอุษา สรวารี, 2539)

1. เพื่อป้องกันพื้นผิววัสดุจากมลภาวะต่าง ๆ โดยสารเคลือบผิวจะช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุที่ถูกเคลือบมีความทนทานต่อน้ำ อากาศ และสารเคมีต่างๆ นอกจากนี้ สารเคลือบผิวยังช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการขีดสีได้มากขึ้น และอายุการใช้งานยาวนานขึ้น
2. เพื่อตกแต่งให้ดูสวยงาม ความสวยงามของวัสดุหลังการเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิว อาจมาจากสี (color) จากความเงา (gloss) จากลวดลายตกแต่ง (texture) หรือจากความสว่าง (lighting) หรือจากทั้งหมดรวมกัน
3. เพื่อจุดประสงค์พิเศษ เช่น การทาสีทองเรือเพื่อกันสาหร่ายหรือกันเพรียง การเคลือบใยแก้วนำแสงกันการขีดขีด การทาสีแบ่งช่องจราจรและการทาสีเครื่องบิน เป็นต้น

สารเคลือบผิวแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) และเทอร์โมเซต (thermoset) โดยสารเคลือบผิวประเภทเทอร์โมพลาสติกประกอบด้วยพอลิเมอร์

อย่างน้อย 1 ชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงพอที่จะทำให้ได้สมบัติเชิงกลตามที่ต้องการและสามารถนำไปใช้งานได้ทันที ส่วนสารเคลือบผิวประเภทเทอร์โมเซตประกอบด้วยพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ และจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันต่อไปได้อีกขณะใช้งาน เพื่อให้ได้สมบัติของผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ

ส่วนประกอบของสารเคลือบผิว มีดังนี้

1. สารยึด (Binders) เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญที่สุดของสารเคลือบผิว ทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางเกาะติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ (substrate) และทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ของสารเคลือบผิวเข้าไว้ด้วยกัน สารยึดส่วนใหญ่เป็นสารพวกรезิน (resin) การพิจารณาเลือกใช้สารเคลือบผิวต้องคำนึงถึงชนิดและคุณภาพของสารยึด เพราะฟิล์มของสารเคลือบผิวจะติดแน่น ให้สวยงามความทนทาน ขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของสารยึด โดยสารยึดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดนั้นควรใช้งานประเภทใด

2. ตัวทำละลาย (Solvents) เนื่องจากสมบัติความเป็นของเหลวของตัวทำละลาย จึงทำให้สารเคลือบผิวมีความสามารถในการไหลตัว และจะระเหยไปหลังจากที่ส่วนประกอบอื่น ๆ ทำปฏิกิริยาจนกลายเป็นฟิล์ม ตัวทำละลายมีหน้าที่ปรับความหนืดและช่วยในการผสมส่วนประกอบต่าง ๆ สารเคลือบผิว ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมีมากมายหลายชนิด ซึ่งการเลือกใช้ตัวทำละลายจะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ความสามารถในการละลายสารยึด
- กรรมวิธีในการเคลือบ
- อัตราความเร็วในการแห้งของฟิล์มสารเคลือบผิว
- ความปลอดภัย ตัวอย่าง เช่น สารที่ระเหยออกมาต้องไม่เป็นมลพิษต่อสุขภาพ

และสิ่งแวดล้อม

3. ผงสี (Pigments) เป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดเจดสีและความทึบแสง ช่วยในการปิดบังพื้นผิว นอกจากนี้ในบางกรณียังทำหน้าที่พิเศษอื่น ๆ เช่น ด้านทานการกัดกร่อนหรือการทนไฟ ดังนั้นสารเคลือบผิวที่ดีต้องมีผงสีที่เหมาะสมกับการเคลือบผิวประเภทนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม สารเคลือบผิวบางประเภทก็ไม่จำเป็นต้องใส่ผงสี เช่น วาร์นิช (varnish) และแล็กเกอร์ (lacquer)

4. สารเติมแต่ง (Additives) คือสารผสมพิเศษที่ใส่ลงไปปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของสารเคลือบผิว ประกอบด้วย

- พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) ช่วยลดความเปราะ และเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มสารเคลือบผิวเมื่อแห้ง เพื่อให้สามารถทนแรงกระแทกและแรงคดโค้ง

- สารกันบูด (Bactericide) ส่วนใหญ่ใช้ในสีน้ำพลาสติก เพื่อป้องกันไม่ให้สีภายในภาชนะบรรจุเสื่อมคุณภาพเนื่องจากแบคทีเรีย
- สารป้องกันเชื้อรา (Fungicide) ใช้ในสีน้ำพลาสติกและสีน้ำมันเป็นหลัก เพื่อป้องกันการขยายพันธุ์ และการเจริญเติบโตของสาหร่าย และเชื้อรา
- สารกันการเกิดฟอง (Defoamer) ใช้ป้องกันการเกิดฟองอากาศทั้งในระหว่างขั้นตอนการผลิต การบรรจุ และการใช้งาน
- สารข้น (Thickener) เพื่อปรับความข้นหนืดของสารเคลือบขณะขั้นตอนการใช้งาน
- สารเร่งแห้ง (Driers) ช่วยเร่งการแห้งของสารเคลือบผิว

การเกิดฟิล์ม (Film Formation)

คือ การเปลี่ยนสภาพจากสารเคลือบผิวในภาชนะบรรจุเป็นฟิล์มที่ยึดแน่นกับผิว และทำให้พื้นผิวมีความทนทานเพิ่มขึ้น ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. แอพพลิเคชั่น (application) เป็นการนำสารเคลือบผิวไปเคลือบผิวหน้า หรือทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ ขึ้น การทำ อาจใช้แปรง ลูกกลิ้ง การพ่น หรือการจุ่มก็ได้
2. ฟิกเซชัน (fixation) เป็นการทำให้ฟิล์มติดแน่น ไม่หลุดออกจากผิวหน้าและ ไม่เกิดเป็นชั้นของฟิล์มที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น กรณีที่เป็นสารเคลือบผิวที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นส่วนประกอบ การเกิดเป็นฟิล์มในขั้นตอนฟิกเซชันจะเกิด โดยการระเหยของตัวทำละลายหรือ ถ้าสารเคลือบผิวเป็นแบบระบบลาเทกซ์ (latex system) ขั้นตอนฟิกเซชันจะเกิดโดยการระเหยน้ำ เป็นต้น
3. การบ่ม (curing) เป็นการทำให้ฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนฟิกเซชันแล้วมีความทนทานดีขึ้น ซึ่งทำได้โดยการใช้แสง ความร้อน หรืออากาศ เช่น สีน้ำมันทาบ้านจะเกิดการบ่ม โดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มแห้งแข็งที่มีความทนทานเพิ่มขึ้น หรือการนำเคลือบ (enamel) ที่ทำจากพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตไปอบ ก็เป็นการบ่มอีกวิธีหนึ่ง

การแห้งของสารเคลือบผิว

สารเคลือบผิวจะแห้งโดยกรรมวิธีต่าง ๆ กันได้ 2 แบบ คือ

1. แห้งด้วยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ (physical drying) การแห้งด้วยวิธีนี้เกิดจากการระเหยของตัวทำละลายกลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (secondary force) อย่างอ่อน ๆ ดังนั้น ฟิล์มที่เกิดจึงยังคงละลายได้ในตัวทำละลายของมัน

2. แห้งด้วยกรรมวิธีทางเคมี (chemical drying) ฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีนี้ ยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะปฐมภูมิ (primary force) จากการทำปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นฟิล์มที่ได้จะแข็งแรงและทนทานต่อตัวทำละลาย การแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมีนี้อาจเกิดโดย

- แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเคลือบผิวประเภทนี้จะดูดออกซิเจนในอากาศ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ขนาดของอนุของสารเคลือบผิวใหญ่ขึ้นจนรวมตัวเป็นฟิล์มแห้งแข็งตามต้องการ เช่น สีน้ำมันทาบ้านที่ผลิตจากอัลคิเดเรซิน เป็นต้น การแห้งโดยวิธีนี้อาจเร่งให้แห้งเร็วขึ้นได้โดยการใส่สารเร่งแห้ง

- แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี สารเคลือบผิวประเภทนี้ ส่วนใหญ่จะบรรจุในภาชนะแยกกัน ก่อนใช้จึงนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งเมื่อผสมแล้วจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ดังนั้น เมื่อผสมแล้วต้องใช้ให้หมดภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ ถ้าปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิห้อง เรียก สารเคลือบผิวบ่มเย็น (cold curing coating) ตัวอย่างเช่น ยูเรียเรซิน (urea resin) โพลียูรีเทนเรซิน (polyurethane resin) เป็นต้น แต่ถ้าการเกิดปฏิกิริยาต้องใช้อุณหภูมิสูง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดอบ (stoking or baking coating)

อัลคิเดเรซิน (Alkyd resin)

คำว่าอัลคิเด (alkyd) ใช้ครั้งแรกโดย Kienle ในปี ค.ศ. 1927 เพื่อที่จะใช้เรียกพอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (condensation polymerization) ระหว่างพอลิไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) ซึ่งปกติใช้กลีเซอรอล (glycerol) กับกรดไดหรือพอลิเบสิก (di-, polybasic) ซึ่งโดยทั่วไปใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride) นอกจากนี้มักใช้กรดไขมัน (fatty acid) หรือน้ำมันมาเอสเทอร์ไฟ (esterified) ร่วมด้วย ถ้าให้พอลิไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับกรดไดหรือพอลิเบสิก โดยไม่ใส่สารชนิดอื่น จะได้อัลคิเดเรซินที่ไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไปและมีความเปราะสูง การแก้ปัญหาทำได้โดยเติมกรดโมโนเบสิก (monobasic) ที่มีสายโซ่ยาวของไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon chain) เช่น กรดไขมันเข้าไปในโมเลกุลของอัลคิเดเรซิน และพบว่ากรดไขมันที่เข้าไปในโมเลกุลของอัลคิเดเรซินจะทำให้การละลายของเรซินดีขึ้น และเนื่องจากความยาวของสายโซ่ในโมเลกุลของกรดไขมัน ทำให้เรซินมีความไม่แข็งเพิ่มขึ้น เรซินจึงสามารถละลายได้ในน้ำมันและในตัวทำละลายที่เป็นไฮโดรคาร์บอน (อรอุษา สรวารี, 2539) นอกจากนี้ กรดไขมันยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น (flexibility)

ให้กับเรซิน ทำให้เรซินไม่เปราะ หรือกล่าวได้ว่า กรดไขมันเป็นพลาสติกไซเซอร์ภายใน (internal plasticizer) ของเรซิน (Swaraj, 1995; Patton, 1962)

สมบัติของอัลคิเดเรซิน

อัลคิเดเรซินเป็นสารยึดที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ (อรอุษา สรวารี, 2539) ดังนี้

1. ง่ายต่อการใช้งาน เนื่องจากสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องผสมกับสารอื่น ๆ อีก และมีอายุในการใช้งานนาน
2. ราคาถูก เมื่อเทียบกับเรซินชนิดอื่น
3. สามารถใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากสามารถสังเคราะห์ให้แตกต่างกันออกไปตามความต้องการ ตั้งแต่ ชนิดแห้งเร็ว ซึ่งมีความยืดหยุ่นต่ำ ไปจนถึงแห้งช้า ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง
4. ทำให้ผงสีเปียกและกระจายตัวได้ดี
5. มีความทนทาน ความยืดหยุ่นและความเงาดีเยี่ยม
6. มีความทนทานต่อตัวทำละลายดี
7. มีความเหนียว ความทนทานต่อความร้อนดี

ประเภทของอัลคิเดเรซิน แบ่งได้ 3 ประเภท ตามปริมาณของน้ำมันหรือกรดไขมัน โดยประมาณ คือ

1. ประเภทที่ 1 มีปริมาณน้ำมันหรือกรดไขมันน้อยกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักของสารที่ไม่ระเหย (short oil alkyd resin) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ
 - 1.1 ชนิดที่ 1 น้ำมันกึ่งแห้ง และ/หรือกรดไขมันประเภทเดียวกันเป็นส่วนประกอบ
 - 1.2 ชนิดที่ 2 น้ำมันไม่แห้ง และ/หรือกรดไขมันประเภทเดียวกันเป็นส่วนประกอบ
2. ประเภทที่ 2 มีปริมาณน้ำมันหรือกรดไขมันระหว่างร้อยละ 40 ถึง 60 ของน้ำหนักของสารที่ไม่ระเหย (medium oil alkyd resin) โดยมีน้ำมันแห้งเอง น้ำมันกึ่งแห้ง และ/หรือกรดไขมันประเภทเดียวกันเป็นส่วนประกอบ

3 ประเภทที่ 3 มีปริมาณน้ำมันหรือกรดไขมันมากกว่าร้อยละ 60 ของน้ำหนักของสารที่ไม่ระเหย (long oil alkyd resin) โดยมีน้ำมันแห้งเอง น้ำมันกึ่งแห้ง และ/หรือกรดไขมันประเภทเดียวกันเป็นส่วนประกอบ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1 ชนิดที่ 1 มีสารที่ไม่ระเหยร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก

3.2 ชนิดที่ 1 มีสารที่ไม่ระเหยร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก

Table 3. Specification of alkyd resin.

Properties	Short oil alkyd resin		Medium oil alkyd resin	Long oil alkyd resin		Unit
	Type I	Type II		Type I	Type II	
Solid content	60 ± 1	60 ± 1	60 ± 1	70 ± 1	75 ± 1	%
Viscosity	W - Z ₄	W - Z ₄	Z - Z ₇	Z - Z ₄	U - Z	Gardner-Holdt
Acid value	less than 10	less than 10	5 - 12	5 - 10	5 - 10	mgKOH/g
Fatty acid	32	28	45 - 55	60 - 65	65 - 70	%
Phthalic anhydride	38	38	30 - 36	23 - 30	20 - 25	%
Color	less than 7	less than 5	less than 10	less than 10	less than 10	Gardner

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2529)

สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์อัลคิเดเรซิน

1. น้ำมัน ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ของกรดไขมันชนิดต่างๆ ซึ่งไตรกลีเซอไรด์เป็นสารประกอบเอสเทอร์ (ester) ของกลีเซอรอล 1 โมเลกุลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล โดยกรดไขมันทั้ง 3 โมเลกุลนั้นอาจจะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ ซึ่งความแตกต่างนี้จะส่งผลให้ไขมันมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป (เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, 2534)

น้ำมันถูกนำมาใช้เป็นสารยึดในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมานานแล้ว แต่ปัจจุบันการนำน้ำมันเพียงอย่างเดียวมาใช้เป็นสารยึดมีอยู่น้อยมาก อย่างไรก็ตามยังมีการใช้น้ำมันเป็นส่วนผสมของวาร์นิช หรือสารเคลือบผิวบางชนิดเพื่อจุดประสงค์อย่างอื่น เช่น เพื่อเพิ่มความอ่อนตัว

ของฟิล์ม ทำให้ไม่เปราะ หรือเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติการละลาย เป็นต้น น้ำมันที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว ได้มาจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ น้ำมันพืช (vegetable oils) ซึ่งได้จากการบีบหรืออัดเมล็ดพืชหรือเปลือกของผล และน้ำมันจากทะเล (marine oils) ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ น้ำมันปลา (fish oils) (อรอุษา สรวารี, 2539)

ประเภทของน้ำมัน (อรอุษา สรวารี, 2539) แบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. น้ำมันแห้งเอง (drying oil) เป็นน้ำมันที่สามารถแห้งตัวได้เร็วที่สุด โดยสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ไม่ละลายในตัวทำละลายที่สามารถละลายน้ำได้ และไม่ยอมให้ความชื้นซึมผ่านได้ รวมไปถึงมีความทนทานต่อสารเคมีด้วย น้ำมันชนิดนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 3 พันธะ เช่น น้ำมันทัง (tung oil) และน้ำมันลินสีด (linseed oil)

2. น้ำมันกึ่งแห้ง (semi-drying oil) เป็นน้ำมันที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้น้อยและเกิดเป็นฟิล์มที่แห้งช้ากว่าน้ำมันชนิดแห้งเร็ว กรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันชนิดนี้ จะมีพันธะคู่ 2 พันธะ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) น้ำมันทอลล์ (tall oil) น้ำมันละหุ่งที่ถูกขจัดน้ำออก (dehydrated castor oil) น้ำมันทานตะวัน (sunflower oil) น้ำมันคำฝอย (safflower oil) เป็นต้น

3. น้ำมันไม่แห้ง (non-drying oil) เป็นน้ำมันที่ไม่สามารถแห้งตัวได้ จะประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ มักใช้ประโยชน์เป็นพลาสติกไซเซอร์สำหรับเรซินที่ใช้เป็นสารยึดในแล็กเกอร์ ตัวอย่างเช่น น้ำมันละหุ่ง (castor oil) เป็นต้น

กรดไขมัน เป็นกรดโมโนคาร์บอกซิลิก (monocarboxylic acid) (เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, 2534) ซึ่งประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) ที่ต่ออยู่กับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน 9-22 อะตอม แต่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน 18 อะตอม โดยที่สมบัติของน้ำมันนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่มีอยู่ในโครงสร้าง กรดไขมันแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล คาร์บอนอะตอมทุกอะตอมบนสายโซ่โมเลกุล จะต่ออยู่กับไฮโดรเจนอย่างน้อย 2 ตัว น้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวปริมาณสูงมีสมบัติไม่แห้งตัว เนื่องจากไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับออกซิเจนในอากาศที่ตำแหน่งของพันธะคู่ได้

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลตั้งแต่ 1 พันธะขึ้นไป น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง จะสามารถแห้งตัวได้เอง เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศที่ตำแหน่งของพันธะคู่ได้ ซึ่งจำนวนพันธะคู่ที่มีอยู่ในกรดไขมันยิ่งมากเท่าไร จะทำให้การแห้งตัวยิ่งเร็วขึ้น และ

ตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันออกไป โดยถ้ามีพันธะเดี่ยวคั่นอยู่ระหว่างพันธะคู่ เรียกพันธะคู่แบบนี้ว่า พันธะคู่สลับเดี่ยว (conjugated double bond) แต่ถ้าตำแหน่งของพันธะคู่และพันธะเดี่ยวไม่สลับกัน เรียกพันธะคู่แบบนี้ว่า พันธะคู่แบบห่าง (isolated double bond)

2. พอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของอัลคิเดเรซิน ประกอบด้วย หมู่ไฮดรอกซิล พอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ที่ใช้กันมาก ได้แก่ กลีเซอรอล เพนตะอิริทริทอล (pentaerythritol) นอกจากนี้อาจใช้ไดเพนตะอิริทริทอล (dipentaerythritol) ไตรเมทิลอลโพรเพน (trimethylolpropane) เอทิลีนไกลคอล (ethyleneglycol) และไดเอทิลีนไกลคอล (diethyleneglycol) เป็นต้น (อรอุยา สรวารี, 2539)

3. กรดไดหรือพอลิเบสิก ชนิดที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์อัลคิเดเรซิน ได้แก่ ฟทาสิกแอนไฮไดรด์ เนื่องจากมีราคาถูกและเสถียรที่อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์อัลคิเดเรซิน นอกจากนี้ฟทาสิกแอนไฮไดรด์ยังทนต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต (ultra-violet) ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญที่ทำให้ฟิล์มของอัลคิเดเรซิน มีความทนทานในการใช้งานดี สำหรับกรดไดเบสิกอื่น ๆ ที่ใช้กัน ได้แก่ กรดไอโซฟทาสิก (Isophthalic acid) กรดอะดิปีก (Adipic acid) กรดเซบาสิก (Sebacic acid) กรดมาลีอิก (Maleic acid) กรดฟูมาริก (Fumaric acid) กรดซักซินิก (Succinic acid) กรดซิตริก (citric acid) เป็นต้น (อรอุยา สรวารี, 2539)

สตาร์ช (Starch) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (glucose) และเป็นโฮโมพอลิแซคคาไรด์ (homopolysaccharide) ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืชที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชเก็บสะสมไว้ตามส่วนต่าง ๆ เช่น หัว ราก เมล็ด ลำต้น โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) ที่อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ สตาร์ชที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีโครงสร้างทางเคมี โมเลกุลแตกต่างกันและเม็ดสตาร์ชจะมีรูปร่างและสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันด้วย

โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์กลูแคน (polymerglucan) 2 ชนิด ผสมกัน คือ อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์สายยาวของ $\alpha - (1 \rightarrow 4)$ กลูแคน และอะไมโลเพกติน (amylopectin) เป็นสายแขนงที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีน้ำหนักสูง ต่อกันด้วยพันธะ $\alpha - (1 \rightarrow 4)$ เป็นสายตรงและมีพันธะ $\alpha - (1 \rightarrow 6)$ เป็นสายแขนง อะไมโลสและอะไมโลเพกติน ที่เป็นองค์ประกอบในเม็ดสตาร์ชแต่ละชนิด จะแตกต่างกันที่น้ำหนักโมเลกุล (degree of polymerization) ของแต่ละสาย ตำแหน่งที่อยู่ในเม็ดสตาร์ช และสัดส่วนของอะไมโลเพกติน ส่งผล

ให้สมบัติของสตาร์ชที่ได้จากพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน จึงมีความสามารถในการทำหน้าที่ได้แตกต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

เม็ดสตาร์ชโดยทั่วไปจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก (crystalline) เป็นไปได้ 3 แบบ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) คือ

A-type เป็นโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากธัญพืช เช่น สตาร์ชจากข้าว

B-type เป็นโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากหัว เช่น สตาร์ชจากมันฝรั่ง

C-type เป็นอินเตอร์มีเดียของ 2 ชนิดแรก ซึ่งมักเป็นเม็ดสตาร์ชที่ได้จากถั่วและราก

แป้งดัดแปร (Modified starch)

จุดประสงค์ในการดัดแปร

แป้งดิบโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่าง ๆ ต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ และสิ้นเปลืองงบประมาณในการผลิตโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงมีการดัดแปรคุณสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น คงทนต่อสภาวะการผลิตได้ดี การเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) การคืนตัว (retrogradation) และการบีบน้ำออก (syneresis) ของเจลลดลง มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือความสามารถในการผสมกับตัวทำละลายอื่น ๆ เพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูง มีการปนเปื้อนของสารประกอบเคมีอื่น ๆ ต่ำ เหมาะต่อการนำมาทำปฏิกิริยาเคมี ส่วนอสัณฐาน (amorphous) ของอะไมโลเพกตินจะเป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยาเคมีได้ดีที่สุด

การดัดแปรทางเคมี (Chemical modification)

โดยส่วนใหญ่การทำปฏิกิริยาเคมีกับแป้ง จะทำในสภาพแขวนลอยที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินในเซชัน (45 ถึง 50 °C) สารเคมีจะทำปฏิกิริยากับแป้งบริเวณผิวเม็ดแป้ง โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีของเม็ดแป้งที่บริเวณพื้นผิวของส่วนผลึกและภายในส่วนอสัณฐาน เนื่องจากเม็ดแป้งประกอบด้วยอะไมโลสประมาณร้อยละ 25 เมื่อทำปฏิกิริยาระหว่างเม็ดแป้งกับสารละลายไอโอดีน (Iodine) (มีน้ำเป็นตัวกลาง) เม็ดแป้งจะให้สารประกอบสีน้ำเงินเชิงซ้อนทันที แต่เมื่อทำปฏิกิริยาเม็ดแป้งแห้งกับไอโอดีนจะได้สีน้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งเท่านั้น ดังนั้นการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งแห้ง สารเคมีจะไม่สามารถ

เข้าทำปฏิกิริยาได้ แต่เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับเม็ดแป้งที่ชุ่มน้ำหรือเม็ดแป้งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยต่าง เม็ดแป้งจะพองตัวและสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเคมีที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 1,000 g/mol ได้

ในระหว่างการตัดแปรแป้งทางเคมี จะหลีกเลี่ยงการเกิดเจลาทิโนเซชันได้ โดยการเติมโซเดียมซัลเฟตหรือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) ลงในส่วนผสม การตัดแปรทางเคมีในระบบอุตสาหกรรมจะใช้สารเคมีในการทำปฏิกิริยาน้อย ปฏิกิริยาส่วนใหญ่ทำในน้ำ ให้ค่าระดับการแทนที่ (degree of substitution, DS) ต่ำ ประมาณ 0.1 ถึง 0.2 ใช้วิธีการตัดแปรหลาย ๆ วิธีร่วมกันเพื่อให้ได้ลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

การตัดแปรทางเคมี (chemical modification) แบ่งออกเป็น

1. การเกิดอนุพันธ์ (derivertization)

1.1 การแทนที่สารในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง (monostarch substitution) ทั้งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น แป้งแอซีเทต (acetate starch) หรือปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน เช่น แป้งไฮดรอกซีเอทิล (hydroxyethyl starch)

1.2 การแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เช่น แป้งครอสลิง (cross-linked starch)

2. การลดขนาดโมเลกุลของแป้งโดยใช้กรด (acid thinning) เช่น แป้งย่อยด้วยกรด (acid modified starch)

3. เดกซ์ทริโนเซชัน (dextrinization) เป็นการลดหรือเปลี่ยนแปลงการจับเกาะโดยใช้ความร้อนหรือความร้อนกับกรด เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin)

4. ออกซิเดชัน ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดของโมเลกุล โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น แป้งออกซิไดซ์

5. การย่อยสลาย (hydrolysis) โดยใช้ น้ำย่อยหรือกรด เพื่อย่อยสลายน้ำตาลโมเลกุลเล็ก

การเกิดอนุพันธ์ (Derivertization)

1. **อีเทอร์ริฟิเคชัน (Etherification)** ปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชันเกิดขึ้นระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่เอเทอร์ได้แป้งตัดแปรที่เรียกว่า แป้งอีเทอร์ (ester starch) แบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่

1.1 ไฮโดรซีแอลคิลสตาร์ช (hydroxyalkyl starch)

1.1.1 ไฮโดรซีโพรพิลสตาร์ช (hydroxypropyl starch) เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับโพรพิลีนออกไซด์ (propylene oxide) ในสถานะเบส ใช้เป็นสารเติมแต่งที่ใส่ในอาหารโดยตรง (direct food additive) มีความคงตัวต่อการแช่แข็งและการละลาย มีความคงตัวต่อการเก็บในที่เย็น ได้แป้งเปียกที่มีความใสและเนื้อสัมผัสดีพอเหมาะ สำหรับใช้กับอาหารที่ต้องเก็บในสถานะแช่เย็น

คุณสมบัติและการนำไปใช้

การแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลในเม็ดแป้ง ทำให้ความแข็งแรงของพันธะในเม็ดแป้งลดลง อุณหภูมิเริ่มของการเปลี่ยนรูปลดลง แป้งสามารถพองตัวได้ในน้ำเย็น แป้งเปียกมีความเหนียวเพิ่มขึ้น มีความคงตัวต่อการแช่แข็ง การละลาย การเก็บรักษาในที่เย็น จึงเหมาะกับการใช้ในอุตสาหกรรมแช่แข็ง ในอุตสาหกรรมกระดาศและสิ่งทอ ใช้ผลิตฟิล์ม ใช้เคลือบกระดาศและสิ่งทอ

1.1.2 ไฮดรอกซีเอทิลสตาร์ช (hydroxyethyl starch) เป็นแป้งอีเทอร์ที่ไม่มีประจุ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) ในสถานะเบส ใช้เป็นสารเติมแต่งที่ใส่ในอาหารทางอ้อม (indirect food additive) เป็นแป้งคัดแปรที่มีความหนืดคงตัว ใช้เคลือบกระดาศที่นำมาใช้กับอาหาร

คุณสมบัติและการนำไปใช้

ไฮดรอกซีเอทิลสตาร์ช มีอุณหภูมิเริ่มของการเปลี่ยนรูปต่ำ แป้งคืนตัวน้อยลง มีความหนืดคงตัว มีความคงตัวต่อการแช่แข็งและการละลายเพิ่มขึ้น มีคุณสมบัติยึดเกาะที่ดี ฟิล์มใส และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น มีความต้านทานต่อแรงเฉือน pH และเอนไซม์ เม็ดแป้งมีความเสถียรต่อเกลือและน้ำกระดาศมากกว่าแป้งประจุบวกและแป้งประจุลบ

เนื่องจากฟิล์มของไฮดรอกซีเอทิลสตาร์ชมีความเรียบ ใส และยืดหยุ่นได้ดี จึงนำมาใช้เคลือบกระดาศ เพื่อเพิ่มความมันเงา ความสามารถในการพิมพ์ให้กับกระดาศ รวมทั้งเพิ่มความทนทานต่อน้ำมัน จึงนำมาใช้กับฟิล์มห่อเนื้อ กุ้งใส่แป้ง กุ้งใส่เนยเทียม

1.1.3 ไซยาโนเอทิลสตาร์ช (cyanoethyl starch) เป็นแป้งอีเทอร์ DS ต่ำ ประมาณ 0.05 ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับอะครีโลไนไตรด์ (acrylonitrile) ในสถานะเบส แยกออกจากปฏิกิริยาโดยการกรอง ล้างด้วยน้ำ และทำให้แห้ง มีการใช้ในอุตสาหกรรมกาว หรือใช้เป็นส่วนประกอบของเทอร์โมพลาสติกเรซิน (thermoplastic resin)

1.2 คาร์บอกซีเมทิลสตาร์ช (Carboxymethyl starch) สามารถละลายในน้ำเย็นได้อย่างสมบูรณ์ แป้งเปียกมีความใสและเหนียว มีแนวโน้มในการเกิดเจลและกึ่งตัวน้อยลง มีความหนืดสูง ทนต่อสารเคมีต่าง ๆ फिल्मมีลักษณะใส ละลายน้ำได้ง่าย และไวต่อความชื้น

ในด้านเภสัชกรรม ใช้เป็นสารยึดเกาะหรือสารแตกตัวในการผลิตเม็ดยา ในอุตสาหกรรมกระดาษใช้สำหรับฟอกเยื่อหรือเคลือบกระดาษ ในอุตสาหกรรมสิ่งทอใช้สำหรับพิมพ์สิ่งทอ ใช้ในอุตสาหกรรมกาวและด้านอื่น ๆ ใช้เป็นสารตกตะกอนและใช้ผลิตยาสีฟัน

1.3 แคทไออนิกสตาร์ช (Cationic starch) เป็นแป้งดัดแปรที่มีประจุบวก ได้จากสารเคมีที่มีหมู่อะมิโน (amino), อิมิโน (imino), แอมโมเนียม (ammonium), ซัลโฟเนต (sulfonate) หรือ ฟอสโฟเนียม (phosphonium) ใช้ประโยชน์มากในอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกาว

คุณสมบัติและการนำไปใช้

แคทไออนิกสตาร์ชมีความเสถียรมากขึ้น มีอัตราการคืนตัวลดลง สามารถละลายน้ำได้สูง พองตัวได้ในน้ำเย็น และสามารถเกิดพันธะไอออนิกระหว่างประจุบวกกับประจุลบของเซลลูโลส (cellulose) ที่ใช้ทำกระดาษได้ดี จึงมีการนำไปใช้มากในอุตสาหกรรมทำกระดาษ โดยเพิ่มความเหนียวให้กับกระดาษ ทำให้กระดาษทนต่อการขูดหรือถลอก ด้านทานการแทรกซึมของหมึกหรือของเหลว ป้องกันฝุ่นละออง และทำให้ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) และ COD (Chemical Oxygen Demand) ของน้ำทิ้งมีค่าต่ำ เป็นผลดีต่อภาวะแวดล้อม

2. เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) แป้งเอสเทอร์เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล ของแป้งกับหมู่เอสเทอร์ของสารเคมี แป้ง เอสเทอร์ที่นิยมใช้ทางการค้า ได้แก่ แป้งอะซิเตต และ สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเตอร์

2.1 แป้งอะซิเตต (acetate starch) แป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาเอซิทิเลชัน (acetylation) ระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่เอซิดิล เช่น แอซิดิกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) ไวนิลอะซิเตต (vinyl acetate) หรือกรดแอซิดิก (acetic acid) หมู่เอซิดิลที่เข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลของแป้ง จะยับยั้งการรวมตัวของอะมิโลสและอะไมโลเพกทิน ทำให้แป้งสามารถต้านทานการคืนตัวหลังจากเกิดแป้งเปียกและทำให้เย็นลง แป้งดัดแปรชนิดนี้เป็นสารให้ความเสถียร และสารให้ความข้นในอุตสาหกรรม ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ

คุณสมบัติและการนำไปใช้

โครงสร้างของเม็ดแป้งดัดแปรเหมือนกับแป้งดิบ แป้งดัดแปรสามารถละลายได้มากขึ้น ถ้าระดับการแทนที่ของหมู่เอซิดิลเพิ่มขึ้น มีอุณหภูมิในการเกิดเจลที่ในซต่ำลง มีอัตราการคืนตัวลดลง ความหนืดคงที่ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ไม่เกิดการบีบตัวของน้ำออกมานอกเจล และทำ

ให้สีของแป้งไม่ขุ่น ฟิล์มจากแป้งเอเชียเทต มีความใส มันเงา ยืดหยุ่น ละลายน้ำได้มากและมี
แนวโน้มที่จะแตกน้อยลง

ในอุตสาหกรรมกระดาษ ใช้ผลิตภัณฑ์กระดาษที่มีความยืดหยุ่น เป็นมันเงา และ
เนื่องจากแป้งเอเชียเทตมีคุณสมบัติในการยึดติดกับเซลลูโลสได้ดี จึงนำมาใช้ในการเคลือบกระดาษ
ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการพิมพ์ดีขึ้น

2.2 สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ (starch phosphate monoester) เป็น
แป้งดัดแปรที่มีประจุลบ เกิดจากปฏิกิริยาฟอสฟอรีเลชัน (phosphorylation) ระหว่างแป้งกับ
สารโซเดียมไตรฟอสเฟต (sodium triphosphate, STPP) ในสถานะกึ่งแห้ง หมูฟอสเฟตในแป้งได้มา
จากกรดฟอสฟอริกหรือเกลือละลายน้ำของออร์โท-ไพโร-เมตา- หรือไตรโพสเฟต (ortho-,
pyro-, meta- and triphosphate) โดยส่วนใหญ่หมูฟอสเฟตจะเข้าแทนที่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอน
ตำแหน่งที่ 6

คุณสมบัติและการนำไปใช้

สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์เป็นแป้งดัดแปรที่มีคุณสมบัติของประจุลบ มี
ความหนืดสูงขึ้น ใสมากขึ้น มีความเสถียรและความคงทนต่อการคืนตัวของแป้งได้ดี เนื้อสัมผัส
เหนียวและยืดเกาะได้ดี มีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่ในซ้ต่ำลง ทำให้แป้งสามารถละลายได้ในน้ำเย็น
มีความคงตัวในการแช่แข็งและการละลายสูงกว่าแป้งดัดแปรหลาย ๆ ชนิด มีลักษณะเป็น
อิมัลชันไฟเออร์ที่ดี ฟิล์มมีความโปร่งใส ยืดหยุ่น และละลายน้ำได้ดี

ในอุตสาหกรรมกระดาษ ใช้เคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ
ใช้เป็นสารช่วยยึดเกาะในองค์ประกอบของสารเคลือบ สำหรับผลิตภัณฑ์ความร้อนหรือผสม
สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์กับสารละลายคีเลต (chelate solution) ที่ประกอบด้วยสารส้ม กรด
ทาร์ทาริก (tartaric acid) และแอมโมเนีย (ammonia) ใช้เป็นสารเคลือบกระดาษที่มีความหนืดต่ำ
กันน้ำได้ พิมพ์ได้ดี และมีอายุการเก็บรักษาที่ดี

3. ครอสลิงกิง (Cross-linking) โดยทั่วไปแป้งครอสลิง หรือ crossbonded starch
หรือ inhibit starch เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า
1 หมู่ (multifunctional reagent) เกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันหรืออีเทอร์ริฟิเคชัน โดยขึ้นอยู่กับ
ชนิดของสารเคมีที่ใช้ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งได้มากกว่า
1 หมู่ ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslink หรือ bridge) ระหว่างโมเลกุลของแป้งในสภาพ
แขวนลอย พันธะโควาเลนต์ (covalent bond) จะช่วยเสริมพันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ด
แป้งไว้มีความแข็งแรงมากขึ้น ช่วยลดการพองตัวของเม็ดแป้ง เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง โดย
เพิ่มความต้านทานต่อสถานะความเป็นกรด ความร้อนและสภาพที่มีแรงเฉือน เพิ่มความหนืดของ

แป้งเปียกที่ร้อน ทำให้แป้งเปียกมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง เพิ่มความเหนียวให้แก่เม็ดแป้งที่พองตัว ทำให้เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นหนึ่งเดียวกัน ไม่แตกออก มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความข้นที่มีความหนืดสูง เมื่อเพิ่มระดับการทำครอสลิงจะเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง การทำครอสลิงจะช่วยเสริมพันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้งด้วยพันธะเคมี ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนสะพานเชื่อมระหว่างสายโมเลกุล ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนแก่แป้งครอสลิงในน้ำ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย แต่เม็ดแป้งยังคงอยู่ในสภาพปกติ

คุณสมบัติและการนำไปใช้

ลักษณะโครงสร้างภายนอกของเม็ดแป้งครอสลิงไม่มีการเปลี่ยนแปลง พันธะเคมีที่เกิดขึ้นเสริมพันธะไฮโดรเจน ทำให้เม็ดแป้งแข็งแรงและเสถียรมากขึ้น ไม่แตกง่าย มีการละลายลดลง มีอุณหภูมิในการเกิดเจลที่ในซสูงขึ้น

ในอุตสาหกรรมกระดาษ สิ่งทอ และกาว ใช้แป้งครอสลิงเคลือบกระดาษและสิ่งทอ และผลิตกาวที่ทนน้ำ และฟิล์มที่ได้จากแป้งครอสลิงมีคุณสมบัติที่ดี มีความหนืดคงตัว เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ออกซิเดชัน (Oxidation)

การตัดแปรรูปโดยวิธีออกซิเดชันเป็นการทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite, NaOCl) แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (calcium hypochlorite, Ca(ClO)₂) ในการทำปฏิกิริยาจะทำให้โครงสร้าง คุณสมบัติเคมี และขนาดของโมเลกุลของเม็ดแป้งเปลี่ยนไปได้ ได้แป้งตัดแปรรูปที่เรียกว่า แป้งออกซิไดซ์ (oxidized starch) คลอรีเนตสตาρχ (chlorinated starch) หรือ ออกซิสตาρχ (oxystarch) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลให้เป็นหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) หมู่คีโตน (ketone group) หรือหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) และมีการตัดโมเลกุลแป้ง ทำให้เกิดการกำจัดสีและทำลายจุลินทรีย์ ทำให้แป้งมีความขาวเพิ่มขึ้น

คุณสมบัติและการนำไปใช้

คุณสมบัติของแป้งออกซิไดซ์ คือ แป้งมีลักษณะเป็นประจุลบ เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลเข้าไปอยู่ในโมเลกุลอะไมโลส ทำให้อัตราการคินตัวของแป้งเปียกลดลง แป้งเปียกที่ร้อนจะมีความหนืดต่ำลง ทำให้สามารถใช้แป้งเปียกที่มีความเข้มข้นสูงในน้ำร้อนได้ แป้งเปียกสารละลาย และฟิล์มมีความใสมากขึ้น เจลที่ได้มีความคงตัวสูง เม็ดแป้งขาวขึ้น กลิ่นดีขึ้น และมีปริมาณจุลินทรีย์ลดลง เนื่องจากการฟอกสีของไฮโปคลอไรต์จะไปละลายส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ของแป้งและล้างออกจากแป้ง

ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็นสารยึดเกาะสำหรับเคลือบกระดาษ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ เคลือบผิวหน้ากระดาษให้เรียบ และแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของเยื่อกระดาษสำหรับกันหมึกซึม ใช้สำหรับเคลือบเส้นใยในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

อิมัลชัน (Emulsion)

อิมัลชันเป็นระบบคอลลอยด์ (colloid) ที่พบในอาหารอีกชนิดหนึ่ง ที่ของเหลวเป็นทั้งอนุภาคคอลลอยด์และตัวกลาง โดยมีของเหลวชนิดหนึ่งกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ อยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ของเหลวทั้งสองชนิดนี้จะไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นจะไม่ค่อยคงตัวต้องอาศัยอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ (emulsifying agent) หรือ เซอแฟกแทนท์ (surfactants) เป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคคอลลอยด์รวมตัวกันทำให้อนุภาคคอลลอยด์สามารถกระจายตัวและคงตัวอยู่ในตัวกลางได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

ชนิดของอิมัลชัน (ศิวพร ศิวเวช, 2529) สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. อิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion: O/W) จะประกอบด้วยไขมันหรือน้ำมันเม็ดเล็ก ๆ กระจายตัวอยู่ในน้ำ ตัวอย่างเช่น น้ำสลัด นม ไอศกรีม เป็นต้น
2. อิมัลชันประเภทน้ำในน้ำมัน (water in oil emulsion: W/O) ประกอบด้วยหยดน้ำเม็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำมัน ตัวอย่างเช่น เนยและมาการีน (margarine) เป็นต้น
3. อิมัลชันแบบอากาศในของเหลว (air/liquid emulsion) ประกอบด้วยชั้นของอากาศกระจายตัวอยู่ในชั้นของแข็ง ตัวอย่างเช่น ขนมอบและไอศกรีม

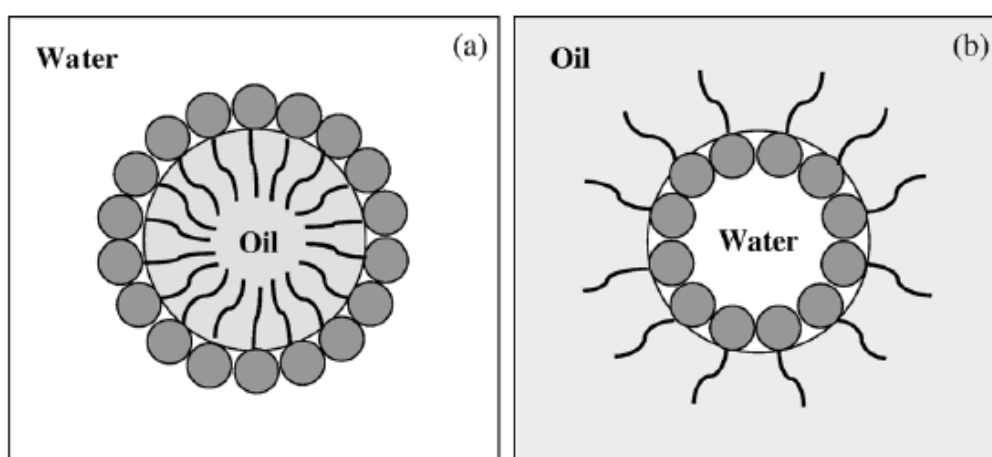


Figure 1. Schematic diagram of food emulsions: (a) oil-in-water emulsion and (b) water-in-oil emulsion.

ที่มา : Lal *et al.*, (2006)

อิมัลซิไฟอิงเอเจนต์หรืออิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier or Emulsifying agent) หรือ เซอแฟคแทนท์ เป็นตัวช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างผิวของน้ำกับของเหลวอินทรีย์ที่ไม่รวมกับน้ำ โดยลดแรงตึงผิวลงจาก 30 ถึง 50 ไดน์ต่อเซนติเมตร เป็น 0 ถึง 10 ไดน์ต่อเซนติเมตร แต่การลดแรงตึงระหว่างผิวลง อาจไม่สามารถทำให้อิมัลชันคงตัวได้เสมอกัน อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ สามารถทำให้มีความคงตัวอยู่ได้ โดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้

1. ทำให้มีชั้นของประจุไฟฟ้าอยู่ที่ผิวของอนุภาคน้ำมัน ในอาหารที่เป็นอิมัลชันประจุไฟฟ้าเหล่านี้มักเกิดขึ้นจากการดูดซับเอาพวกอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ไว้ที่ผิว

2. ทำให้มีการเกิดฟิล์มของโปรตีนหรือเซอแฟคแทนท์อื่น ๆ รอบ ๆ หยดน้ำมัน ฟิล์มเหล่านี้จะมีผลดีต่อหยดน้ำมัน ฟิล์มบางชนิดเกิดขึ้นจากสารประกอบหลาย ๆ ชนิดถูกดูดซับอยู่ที่ผิวระหว่างน้ำและน้ำมัน เช่น ฟิล์มที่ล้อมรอบอนุภาคไขมันในน้ำมัน เป็นฟิล์มที่ซับซ้อน (complex film) ของสารประกอบหลายชนิด ได้แก่ ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) คอเลสเตอรอล (cholesterol) สเตอรอยด์ (steroid) และ โปรตีนรวมกัน ทำให้อนุภาคไขมันในน้ำมันกระจายตัวอยู่ในน้ำ ได้เป็นอิมัลชันที่คงตัว อิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ที่นิยมใช้กับ W/O อิมัลชัน ได้แก่ แคลเซียมโอเลเอต (calcium oleate) และคอเลสเตอรอล ส่วนอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ที่นิยมใช้กับ O/W อิมัลชัน ได้แก่ โปรตีน เลซิทิน เลซิธิน (lecithin) โมโน- และไดกลีเซอไรด์ (mono-, diglyceride) ใน การทำน้ำสลัด เช่น มายองเนส (mayonnaise) นิยมใส่ไข่แดงลงไป เลซิธินในไข่แดงจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ ช่วยทำให้มายองเนสมีความคงตัวมากขึ้น

3. ทำให้มีความหนืดสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันอีกอย่างหนึ่งคือ ความหนืด การทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยการเติมพวกกัม หรือสารเพิ่มความหนืด (thickener) ลงในอิมัลชัน เพื่อเพิ่มความหนืดให้กับสารละลาย จะทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนตัวได้ช้าลงมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian movement) ลดลง ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่มีโอกาสที่จะรวมตัวกันได้ และไม่มีโอกาสเกิดการแยกตัว จะทำให้อิมัลชันคงตัวได้ดีขึ้น

การเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสม

ในการเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์จะต้องทราบเสียก่อนว่า จะเตรียมอิมัลซิไฟเออร์ชนิดไหน (O/W หรือ W/O) อาจใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ แต่ส่วนมากนิยมใช้ร่วมกันหลายชนิด เพราะให้อิมัลชันที่เสถียรกว่า ปริมาณการใช้จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึง 10 หรืออาจมากถึงร้อยละ 15 วิธีการหนึ่งที่สะดวกและประหยัด เวลาในการเลือกสารลดแรงตึงผิว คือ การใช้ค่าไฮโดรฟิลิก/ไลโปฟิลิกบาลานซ์ (Hydrophilic/Liophilic Balance: HLB) ค่า HLB เป็นค่าที่ใช้อธิบายสมบัติเฉพาะตัวของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด ขึ้นกับโครงสร้างส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ซึ่งหาได้จากการทดลองหรือประสบการณ์ในอุตสาหกรรม เป็นเลขจำนวนเต็ม ไม่มี

หน่วย ถ้ามีค่า HLB ต่ำเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ชอบละลายในน้ำมันมากกว่าน้ำ ถ้ามีค่า HLB สูงเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ชอบละลายในน้ำมากกว่าน้ำมัน (วรรณิ อุโพบูรณ์, 2547) สามารถนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้งานต่าง ๆ โดยดูจากค่า HLB (Table 4)

Table 4. HLB values used to predict the surfactant properties.

HLB value	Used
0 – 3	antifoaming agent
4 – 6	W/O emulsion
7 – 9	wetting agent
8 – 18	O/W emulsion
13 – 16	detergent
16 – 18	solubilizing agent or hydrotrope

ที่มา : Griffin (1954)

จาก Table 4 พบว่าถ้าต้องการเตรียมอิมัลชันชนิด W/O ควรเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB อยู่ในช่วง 4 ถึง 6 ถ้าต้องการเตรียมอิมัลชันชนิด O/W ควรเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB อยู่ในช่วง 8 ถึง 18 การหาค่า HLB ที่แท้จริงของสาร ต้องทำการทดลองซึ่งจะใช้เวลามาก แต่ถ้าต้องการทราบค่าโดยประมาณ สามารถหาได้โดยการสังเกตการละลายของสารที่ต้องการหาในน้ำ

สารให้ความเสถียร (Stabilizer)

สารให้ความเสถียรเป็นสารพวกไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ที่พบพืชและสัตว์ มีหน้าที่เพิ่มความหนืดให้กับส่วนผสม และสามารถป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งใหญ่ ๆ บนไอศกรีมได้ การใช้สารให้ความเสถียรที่มากเกินไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสขณะรับประทานเป็นเมือกหรือแข็งได้ นอกจากนี้ไฮโดรคอลลอยด์หลายชนิดยังไปลดหรือต้านการปลดปล่อยของกลิ่นรส ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) ซึ่งหน้าที่หลัก ๆ ของสารให้ความเสถียร มีดังต่อไปนี้

- ควบคุมการแยกชั้น
- ป้องกันการสูญเสีย

- เพิ่มอายุการเก็บของอาหาร
- ช่วยเพิ่มความรู้สึกของการเคี้ยว
- ป้องกันหรือลดการเกิดผลึก
- ช่วยทำให้เกิดเจล
- เพิ่มความสามารถในการกระจายตัว

ชนิดของสารให้ความเสถียร แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1. ชนิดเจลาติน (Gelatin type) ได้จากสัตว์ เช่นหนังลูกวัว หนังหมู กระดูกสัตว์
2. สารให้ความเสถียรจากพืช (Vegetable stabilizer) ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ คาร์ราจีแนน (Carrageenan) อาการ์ (Agar) โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethyl cellulose, CMC) และกัมชนิดต่าง ๆ

เจลาติน (Gelatin)

เจลาตินเป็นสารที่ไม่มีอยู่ในธรรมชาติโดยตรงแต่ได้มาจากการแปรรูปคอลลาเจน (collagen) ที่มีอยู่ในผิวหนัง กระดูก รวมทั้งเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ ด้วยวิธีเทอร์โมไฮโดรไลซิส (Thermo-hydrolysis) โดยการใช้ความร้อนและใช้สารช่วยอื่น เช่น กรดหรือด่าง ทำให้โครงสร้างคอลลาเจนถูกทำลายและเปลี่ยนแปลงเป็นสารเจลาติน (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2545; <http://www.lsbu.ac.uk/water/hygel.html>, 2009)

ชนิดของเจลาติน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามวิธีการเตรียม (Stansby, 1990) คือ

1. เจลาติน A – ส่วนมากเตรียมจากหนังของหมูและผ่านขบวนการเตรียมด้วยกรด มีค่า isoelectric point ที่ pH 6 ถึง 9
2. เจลาติน B – ส่วนมากเตรียมจากกระดูกและหนังของสัตว์และผ่านขบวนการเตรียมด้วยด่าง มีค่า isoelectric point ที่ pH 5

เจลาตินทั้ง 2 ชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันโดย เจลาตินที่ได้จากกระดูกสัตว์จะให้ฟิล์มที่แข็งแรงแต่ค่อนข้างเปราะ ส่วนเจลาตินที่ได้จากหนังหมูจะทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นและมีความใส

เจลาตินเป็นสารที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง (heterogenous product) ประกอบด้วยส่วนผสมระหว่าง แอลฟา, เบต้า, แกรมมา เปปไทด์ (α , β , δ peptides) และ เปปไทด์ (peptides) ชนิดอื่น ๆ ซึ่งสัดส่วนและน้ำหนักโมเลกุลจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้นและวิธีการเตรียม ดังนั้นจึงไม่สามารถบอกโครงสร้างที่แน่นอนของเจลาตินได้ เจลาตินเป็นของผสม

เนื้อเดียวของพอลิเปปไทด์ชนิดเดียวหรือหลายชนิด (heterogenous mixture of single or multi-standardized polypeptides) ซึ่งมักจะประกอบด้วยโมเลกุลของ ไกลซีน (glycine), โพรลีน (proline) และ 4-ไฮดรอกซีโพรลีน (4-hydroxyproline) ลักษณะทางกายภาพของ เจลาติน จะเป็นผงไม่มีสีหรือสีเหลืองจาง ๆ มีกลิ่นและรสเล็กน้อย ละลายได้ดีในน้ำที่อุณหภูมิร่างกาย แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 °C จะไม่ละลายน้ำแต่จะคูดน้ำไว้และพองออก และมีคุณสมบัติเป็นแอมโฟเทอริก (amphoteric) คือ จะมีประจุบวกเมื่ออยู่ในสารละลายกรดแก่ และจะมีประจุลบเมื่ออยู่ในสารละลายด่างแก่ มีการนำเจลาตินมาใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดและเป็น อิมัลซิไฟเออร์ ประเภท O/W โดยเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เครื่องสำอางค์ ยา และอาหาร ในทางเภสัชกรรมจะใช้เจลาตินในการเคลือบเม็ดยาและผลิตเป็นแคปซูลทั้งชนิดแคปซูลแข็งและแคปซูลนิ่มเพื่อใช้บรรจุนอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในตำรับยาต่าง ๆ อีกด้วย (สนทยา ลิ้มมัทวาทิรัตน์, 2544; Wade and Weller, 1994)

คาร์ราจีแนน (Carrageenan)

คาร์ราจีแนน หรือไอริสมอส (Irish Moss) เป็นพอลิแซคคาไรด์ซัลเฟต (polysaccharidesulfate) อีกชนิดหนึ่งที่สกัดได้จาก สาหร่ายทะเลสีแดง คือ *Chondrus crispus* และ *Gigartina Stellata* ด้วยสารละลายด่างเจือจาง โดยเฉพาะสาหร่ายทะเลสีแดงชนิดแรกที่ใช้ผลิตคาร์ราจีแนนเป็นการค้าในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ในยุโรปใช้ทั้ง 2 ชนิด คาร์ราจีแนน แบ่งได้เป็น แคปป์ (kappa, K) ไอโอตา (iota, I) และแลมบ์ดา (lambda, λ) โดยแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันที่จำนวนและตำแหน่งของหมู่เอสเทอร์ซัลเฟต (ester sulfate) ในโมเลกุลของกาแลคโตส (galactose) ที่ซ้ำ ๆ กัน (Lal et al., 2006) ชนิดแคปป์และไอโอตา เท่านั้นที่มีสมบัติเกิดเจลได้เมื่อมีโพแทสเซียมไอออน ส่วนแลมบ์ดา-คาร์ราจีแนนเกิดเจลไม่ได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545; Piculell, 1995)

แคปป์-คาร์ราจีแนน (K-Carrageenan) สกัดจาก *Eucheuma cottonii* โครงสร้างประกอบด้วย 1,3-linked α -D-galactose-4-sulfate และ 1,4-linked 3,6-anhydro- β -D-galactose (Figure 2) ซึ่งในโมเลกุลของ 3,6-anhydro-D-galactose คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกเอสเตอริไฟด์ด้วยหมู่ซัลเฟตประมาณ 20-30% และบางส่วนของ 1,4-linked อาจเป็น galactose-6-sulfate แทน 3,6-anhydro-D-galactose แคปป์-คาร์ราจีแนนมีความไวต่อโพแทสเซียม และสามารถตกตะกอนแยกออกมาจากคาร์ราจีแนนชนิดอื่นได้โดยใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ (Piculell, 1995)

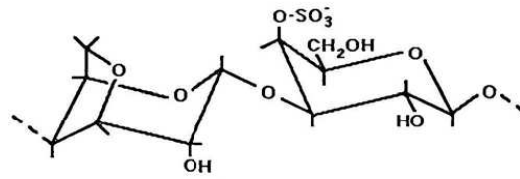


Figure 2. Structure of K-Carrageenan

ที่มา : Piculell (1995)

แลมบ์ดา-คาร์ราจีแนน (λ -Carrageenan) โครงสร้างประกอบด้วย 1,3-linked α -D-galactose-2-sulfate และ 1,4-linked β -D-galactose-2,6-disulfate (Figure 3) (Piculell, 1995)

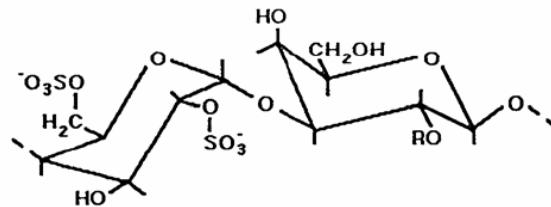


Figure 3. Structure of λ -Carrageenan

ที่มา : Piculell (1995)

ไอโอตา-คาร์ราจีแนน (I-Carrageenan) เป็นชนิดที่มีความไวต่อแคลเซียม สกัดได้จาก *Eucheuma spinosum* โครงสร้างประกอบด้วย 1,3-linked α -D-galactose-4-sulfate และ 1,4-linked 3,6-anhydro- β -D-galactose-2-sulfate (Figure 4) (Piculell, 1995)

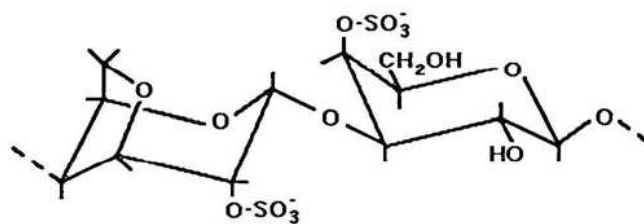


Figure 4. Structure of I-Carrageenan

ที่มา : Piculell (1995)

สมบัติของคาร์ราจีแนนขึ้นอยู่กับประจุลบของหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโมเลกุลเป็นสำคัญและยังแตกต่างกันในแต่ละชนิดของคาร์ราจีแนนด้วย คาร์ราจีแนนละลายได้ดีที่น้ำอุณหภูมิ

82 °C ถ้าที่น้ำอุณหภูมิต่ำกว่านี้จะไม่ละลาย แต่จะเกิดการพองตัวแทน และมีความคงตัวที่ pH สูงกว่า 7 ถ้า pH ต่ำกว่า 7 ความคงตัวจะลดลง คาร์ราจีแนนสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนได้ (นิธิยารัตนาปนนท์, 2545) เมื่อคาร์ราจีแนนอยู่ในรูปสารละลายในน้ำจะมีโครงสร้างเป็นแรนคอมคอยล์ (random coil) ขณะเย็นตัวลงจะเกิดโครงสร้าง double-helix (Figure 5) เมื่อปล่อยให้เย็นลงจะเกิดโครงสร้าง 3 มิติ โดยพอลิเมอร์แต่ละสายจะรวมตัวเข้ามาใกล้กัน และเกิดเป็น junction point ซึ่งเมื่อเกาะรวมกันมากขึ้นจะทำให้เกิดการแข็งตัวเป็นเจล (Piculell, 1995)

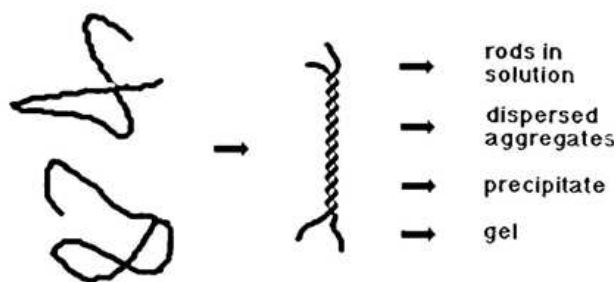


Figure 5. Double-helix structure

ที่มา : Piculell (1995)

เจลที่ได้จากแคปปา-คาร์ราจีแนน จะมีลักษณะเปราะ แตกง่าย และเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) และไอโอตา-คาร์ราจีแนน จะเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่น ไม่เกิดการแยกตัวของน้ำ สำหรับแลตทา-คาร์ราจีแนน จะไม่มีสมบัติในการเกิดเจล

เลซิทิน (Lecithin)

เลซิทินเป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ เป็นสารประกอบของไขมันและฟอสฟอรัส (phosphorus) เรียกว่า ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) มีสารสำคัญคือ ฟอสฟาติล คอลีน (phosphatidyl choline) ฟอสฟาติล เอทานอลามีน (phosphatidyl ethanolamine) ฟอสฟาติล อินอซิทอล (phosphatidyl inositol) และกรดฟอสฟาติก (phosphatidic acid) ผลิตภัณฑ์ของเลซิทินมีลักษณะทั้งที่เป็นของเหลว ชั้น เหนียว และเป็นของแข็ง ซึ่งขึ้นกับปริมาณสารสำคัญทั้ง 4 ชนิด ดังกล่าวข้างต้น เลซิทินพบมากทั้งในไข่แดง นม สมอ ตับ ไต ถั่วเปลือกแข็ง ปลา รัชูพืช น้ำมันพืช และสัตว์ต่างๆ ในไข่แดงมีเลซิทินประมาณร้อยละ 6 ถึง 8 สำหรับในพืช พบว่าถั่วเหลืองมีเลซิทินสูงที่สุดประมาณ ร้อยละ 1.1 ถึง 3.2 ในข้าวโพดมี ร้อยละ 1.0 ถึง 2.4 และในเมล็ดฝ้ายพบเพียงร้อยละ 0.7 เดิมการผลิต เลซิทินเพื่อการค้าจะผลิตจากไข่แดง เนื่องจากปริมาณสูง แต่มีปัญหาที่สำคัญคือ มีต้นทุนการผลิตสูง ภายหลังพบว่าสามารถผลิตเลซิทินได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันถั่วเหลือง ทำให้

มีต้นทุนการผลิตลดลง และเลซิทินที่ได้จากถั่วเหลืองมีคุณภาพดีกว่าจากไข่แดง เนื่องจากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ดังนั้นเลซิทินที่สกัดจากถั่วเหลืองจึงเป็นที่นิยมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เลซิทินที่สกัดแยกออกจากน้ำมันถั่วเหลืองที่อยู่ในรูปของเหลว จะมีส่วนประกอบของไขมันประเภทไตรกลีเซอไรด์สูงถึงร้อยละ 37 และมีโคลีน (choline) อยู่ร้อยละ 15 ส่วนเลซิทินที่อยู่ในรูปผงได้มาจาก เลซิทินในรูปของเหลวจึงมีโคลีนสูงถึงร้อยละ 23 และมีไตรกลีเซอไรด์เหลือเพียงร้อยละ 3 สารเลซิทินสังเคราะห์ที่วางขายในท้องตลาดมี 3 รูปแบบคือ แบบของเหลว แบบแคปซูล และแบบผง คุณภาพของเลซิทินที่ดีจะต้องมีสารประกอบอื่นๆ เช่น น้ำมัน คาร์โบไฮเดรตปะปนมาในปริมาณน้อย แต่ ต้องมีส่วนประกอบของฟอสโฟลิปิดในปริมาณสูงโดยเฉพาะฟอสฟาติดีล โคลีน เลซิทินที่สกัดได้จะมีสีแตกต่างกัน ตั้งแต่สีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล ถ้าต้องการเลซิทินสีอ่อนอาจใช้สารเคมี เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide) ช่วยในการฟอกสีให้ได้สีตามต้องการ

ประโยชน์ของเลซิทิน

เลซิทินถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตมาการีนจะมีการเติมเลซิทินลงไป เพื่อให้สามารถรวมตัวได้กับน้ำมัน และยังช่วยป้องกันการกระเด็นของน้ำมัน เมื่อใช้มาการีนทอดอาหาร ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม โกโก้ เลซิทินจะช่วยทำให้ส่วนผสมที่ไม่ค่อยละลายน้ำ ให้ละลายในน้ำได้เร็ว ในอุตสาหกรรมลูกกวาด โดยเฉพาะลูกกวาดที่มีความนุ่ม เช่น คาราเมล จะมีการเติมไขมันเพื่อลดความเหนียวแข็ง ทำให้ลูกกวาดนุ่มขึ้น และตัดเป็นชิ้นไม่ติดกัน (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2538)

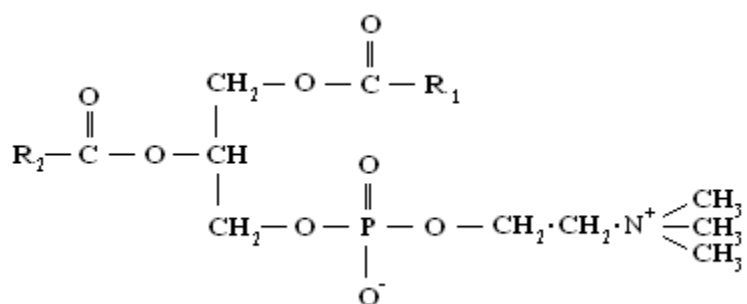


Figure 6. Structure of Lecithin

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545)

กัม (gum)

กัมเป็นคำที่มีความหมายกว้างรวมถึงสารที่มีลักษณะเหนียว แต่กัมจากพืชที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนั้นหมายถึง พอลิแซคคาไรด์และอนุพันธ์ซึ่งแขวนลอยได้ในน้ำ และพองตัวได้เมื่อเกิดเจลหรือทำให้สารละลายนั้นมีความหนืดสูง ดังนั้นในความหมายนี้ไม่ได้จำกัดถึงเพียงลักษณะที่เหนียวแบบยาง แต่รวมถึงลักษณะเป็นเมือกด้วย ซึ่งเพกติน (pectin) และอนุพันธ์ของเซลลูโลสก็จัดเป็นกัมในความหมายนี้ด้วย ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของกัม คือธรรมชาติในการชอบน้ำ และความสามารถในการเกิดความหนืดสูงได้แม้ความเข้มข้นต่ำ (เสาวลักษณ์ จิตบรรรเจ็ดกุล, 2534)

โลคัสต์บินกัม (Locust bean gum)

โลคัสต์บินกัมได้จากเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ของเมล็ดจากต้นคาร์รอป (*Ceratonia siliqua*) ซึ่งเป็นไม้ยืนต้นในพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งมีขนาดสูงประมาณ 40 ถึง 50 ฟุต มีเมล็ดอยู่ในฝักประมาณ 10 เมล็ดต่อฝัก อาจเรียกว่า คาร์รอปซีดกัม (carob seed gum) ก็ได้ โครงสร้างโมเลกุลมีโครงสร้างหลักเป็นพอลิเมอร์สายยาวของแมนโนส (mannose) ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1,4 และมีกิ่งแขนงของน้ำตาลกาแลคโทส (galactose) ต่อกันด้วยพันธะ 1,6 อัตราส่วนของแมนโนสต่อกาแลคโทสเป็น 4:1 (Figure 7) มีน้ำหนักโมเลกุล 310,000 ดาลตัน โลคัสต์บินกัมไม่ละลายในน้ำเย็น ต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลาย จะให้สารละลายที่มีความหนืดสูงที่สุดเมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 95 °C สารละลายจะมีสีขุ่นเนื่องจากมีโปรตีน และเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบอยู่เล็กน้อย (ศิวพร ศิวเวชช, 2529) แล้วจึงทำให้เย็นลง ปัจจุบันได้พัฒนาโลคัสต์บินกัมให้มีสมบัติพองตัวได้ในน้ำเย็นและนำมาใช้ผลิตภัณฑ์ในนม โลคัสต์บินกัมไม่สามารถเกิดเจลได้ ต้องนำมาผสมกับแซนแทนกัมจึงจะเกิดเจลได้ และเมื่อรวมกับแคปไซ-คาร์ราจีแนนจะเพิ่มความแข็งแรงของเจล ทำให้มีลักษณะเนื้อเปลี่ยนไป และลดการสูญเสีย น้ำ ตัวอย่างเช่น ใช้คาร์ราจีแนน 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับโลคัสต์บินกัมร้อยละ 33.33 และโพแทสเซียมคลอไรด์ร้อยละ 16.66 จะทำให้คาร์ราจีแนนเจลที่ได้ มีความยืดหยุ่นมากขึ้น เพราะโลคัสต์บินกัมไม่แตกตัวเป็นไอออน ทนต่อความเป็นกรด-ด่างได้ในช่วง 3.5 ถึง 11.0 และสามารถตกตะกอนออกจากสารละลายได้ด้วยกรดแทนนิก (tannic acid) และตะกั่วอะซิเตต (lead acetate) หน้าที่หลักของโลคัสต์บินกัม คือเพิ่มความหนืดและความคงตัวให้กับอิมัลชัน และช่วยยับยั้งการสูญเสีย น้ำ ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่ใช้โลคัสต์บินกัม ได้แก่ น้ำสลัด อาหารกระป๋อง ซอส ขนมหวานเครื่องดื่ม เนยแข็ง ไอศกรีม และ

ผลิตภัณฑ์เนื้อ ในไอศกรีมโลคัสต์บีนั้นก็จะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความคงตัวและช่วยอุ้มน้ำ ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อเนียน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

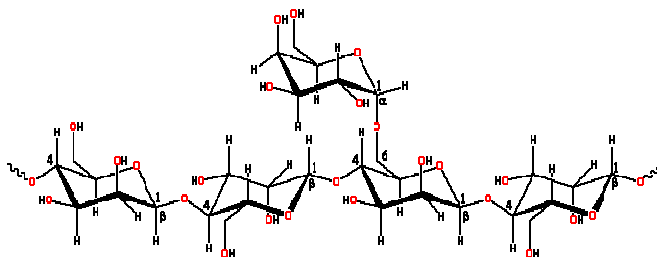


Figure 7. Structure of Locust bean gum

ที่มา : <http://www.lsbu.ac.uk/water/hyloc.html> (2009)

แซนแทนกัม (Xanthan gum) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

แซนแทนกัม ได้มาจากการหมักด้วยแบคทีเรียบริสุทธิ์ คือ *Xanthanomonas campestris* หลังจากเกิดกระบวนการหมักแล้ว จะนำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนแยกเอาแซนแทนกัมออก ด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (propylalcohol) ทำให้แห้งแล้วบดเป็นผงละเอียด แซนแทนกัมหรือเรียกทางการค้าว่า Kelrol เป็นเฮเทอโรโพลีแซคคาไรด์ (heteropolysaccharide) ที่มีน้ำตาลกลูโคส แมนโนสและกรดไพรูวิก (glucuronic acid) ประมาณร้อยละ 3 โดยน้ำตาลกลูโคสต่อกับแมนโนสด้วยพันธะ β -(1 \rightarrow 4) และน้ำตาลแมนโนสที่เป็นสายแขนงต่อกับสายหลักด้วยพันธะ 1 \rightarrow 2 หรือ 1 \rightarrow 3 ส่วนกรดไพรูวิกต่อกันด้วยพันธะ β -(1 \rightarrow 2) (Figure 8) แซนแทนกัมไม่มีคุณสมบัติเป็นสารทำให้เกิดเจล (gelling agent) แต่สามารถเกิดการเปลี่ยนกลับไปมาได้เมื่อความร้อน (thermo-reversible gel) ที่มีความยืดหยุ่นได้ เมื่อใช้ร่วมกับ โลคัสต์บีนั้นกัม และเมื่อร่วมกับกัวร์กัมจะให้สารละลายที่มีความหนืดสูง แซนแทนกัมนิยมใช้มากในอาหารเพราะมีคุณสมบัติพิเศษที่สำคัญคือ กระจายตัวและละลายได้ดีทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สารละลายที่ได้มีลักษณะขุ่นความหนืดสูง แม้จะมีความเข้มข้นต่ำและทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ มีความคงตัวสูงต่อความร้อนและพีเอช โดยเฉพาะความหนืดของสารละลายแซนแทนกัมจะคงที่ถึงแม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงในช่วง 0 ถึง 100 °C หรือพีเอชจะเปลี่ยนแปลงในช่วง 1 ถึง 13 ก็ตาม นอกจากนั้น สารละลายแซนแทนกัมยังมีสมบัติเป็นซูโดพลาสติกซึ่งมีความสำคัญต่อกลิ่น ลักษณะปรากฏ และความรู้สึกเมื่ออาหารอยู่ในปาก (mouthfeel) แซนแทนกัมใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดทั้งเป็น สารช่วยแขวนตะกอน (suspending agent) และอิมัลชันทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว และทำให้อนุภาคแขวนลอยได้ เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม

เพราะเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อความหนืดน้อยมาก เช่น ความหนืดไม่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

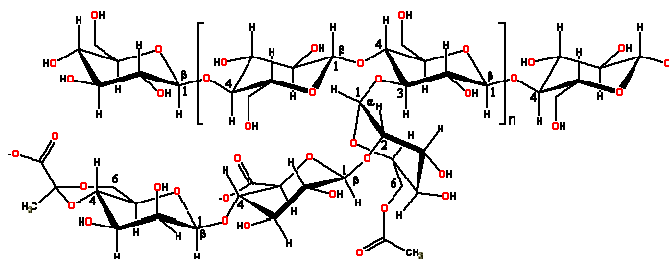


Figure 8. Structure of Xanthan gum

ที่มา : <http://www.lsbu.ac.uk/water/hyxan.html> (2009)

พอลิซอร์เบท (Polysorbate)

พอลิซอร์เบทเป็นสารประเภทอิมัลซิไฟเออร์ใช้กับอุตสาหกรรมยาและอาหาร และยังมีการใช้ละลายสารพวกน้ำมันที่จำเป็น (essential oils) เพื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก พอลิซอร์เบทได้มาจากปฏิกิริยาเอทเทอริฟายด์ของพอลิเอททีลีนไกลคอล (Polyethyleneglycol, PEG) ด้วยกรดไขมัน การที่พอลิซอร์เบทมีหลายชนิด ทำให้ได้สารที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ดังแสดงใน Table 5 ในทางการค้าพอลิซอร์เบทมีชื่อว่า ทวิน (Tween[®])

Table 5. The specification of polysorbates.

Commercial name	Chemical name	Molecular weight (g/mol)	Density (g/mol)	CMC ^a (mM)	HLB ^b	Type	Phase
Tween [®] 20	Polyoxyethylene (20) Sorbitan monolaurate	1227.523	1.105	0.050	16.7	Non-ionic	liquid
Tween [®] 60	Polyoxyethylene (20) Sorbitan monostearate	1311.684	1.070	0.023	14.9	Non-ionic	gel solution
Tween [®] 80	Polyoxyethylene (20) Sorbitan monooleate	1309.668	1.064	0.043	15.0	Non-ionic	liquid

^aCMC: Critical Micelle Concentration

^bHLB: Hydrophilic-Lipophilic Balance

ที่มา : ดัดแปลงจาก Lee, Kim and Chang (2005)

สำหรับหมายเลข 20 ในส่วนของพอลิออกซีเอททีลีน (polyoxyethylene) หมายถึงจำนวนออกซีเอททีลีน (oxyethylene; $-(CH_2CH_2O)-$) ในสูตรโมเลกุล โดยชื่อของสารแต่ละตัวจะบ่งบอกถึงประเภทกรดไขมันที่ประกอบอยู่ในโครงสร้าง สารกลุ่มพอลิซอร์บิทสามารถคงตัวดีแม้ในอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ที่มีความเข้มข้นสูง ๆ และ พีเอชในช่วงกว้าง นิยมใช้ร่วมกับซอร์บิทเอสเทอร์ (sorbitan ester) โดยเมื่อนำมาผสมกันจะทำให้ได้ชนิดของอิมัลชันตามต้องการ การใช้พอลิซอร์บิทอาจใช้เดี่ยว ๆ หรือใช้ร่วมกับสารอื่นก็ได้ซึ่งจะทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากกว่าการใช้พอลิซอร์บิทเดี่ยว ๆ เช่น การใช้สเปน (Span) ร่วมกับพอลิซอร์บิทจะนิยมใช้คู่ที่มีความยาวของสายโซ่ของไฮโดรคาร์บอนที่เหมือนกัน เช่น สเปน 20 ร่วมกับพอลิซอร์บิท 20 จะทำให้เกิดฟิล์มที่ซับซ้อนและแข็งแรงรอบ ๆ หยดของวัฏภาคภายใน จึงป้องกันการรวมหยดของวัฏภาคภายในได้ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น

พอลิซอร์เบท20 (Polysorbate20, Tween[®] 20, Polyoxyethylene (20) sorbitan monolaurate, POE (20) sorbitan monolaurate) (Ayorinde *et al.*, 2000)

ได้มาจากกรดลาอูริก (lauric acid) ซึ่งเป็นกรดที่อยู่ในน้ำมันมะพร้าว เป็นสารประเภท non-ionic surfactant และอิมัลซิไฟเออร์ ลักษณะเป็นของเหลวใสสีเหลือง ละลายได้ในน้ำและน้ำมัน นิยมใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์สำหรับสารประเภท O/W โดยจะพบมากในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา และผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับร่างกายต่าง ๆ เช่น ครีม ยาสระผม สบู่เหลว เป็นต้น

พอลิซอร์เบท60 (Polysorbate60, Tween[®] 60, Polyoxyethylene (20) sorbitan monostearate, POE (20) sorbitan monostearate) (Kamande *et al.*, 1999)

ประกอบด้วย ซorbitol เอทิลีนออกไซด์ (sorbitol ethylene oxide) และกรดสเตียริก (stearic acid) เป็นสารประเภทใช้กับอาหาร มีลักษณะเป็นของเหลวใส สีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นเล็กน้อยหรืออาจจะไม่มีกลิ่น เป็นสารที่ไม่มีขั้ว จึงสามารถละลายในน้ำ (ละลายที่อุณหภูมิ 40 °C) หรือแอลกอฮอล์ได้ แต่ไม่ละลายในน้ำมัน มีค่า HLB เท่ากับ 14.9 เหมาะกับการใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์สำหรับสารประเภท O/W มีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา, อุตสาหกรรมพลาสติก และ เครื่องสำอางค์ต่าง ๆ เป็นต้น

พอลิซอร์เบท80 (Polysorbate80, Tween[®] 80, Polyoxyethylene (20) sorbitan monooleate, POE (20) sorbitan monooleate) (Chou *et al.*, 2005)

เป็นสารประกอบของพอลิเอททอกซิลेटซorbitol (polyethoxylated sorbitan) และกรดโอเลอิก (oleic acid) พอลิซอร์เบท80 มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีเหลือง มีจุดเดือดที่ 100 °C ละลายได้ดีในน้ำ และละลายได้ในสารหลายชนิด เช่น เอทานอล (ethanol) น้ำมันเมทิลดีฟาย น้ำมันข้าวโพด เอทิลอะซิเตต (ethyl acetate) เมทานอล (methanol) โทลูอีน (toluene) เป็นต้น พอลิซอร์เบท80 มักใช้ในการทำไอศกรีม เพื่อช่วยในการจับตัวระหว่างหยดไขมันกับโปรตีนในนม โดยจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของไอศกรีม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรที่เหมาะสมต่อการเข้ากันได้ระหว่างอัลคิลเรซินและตัวทำละลายซึ่งเป็นสารละลายสตาร์ชตัดแปร
2. เพื่อศึกษาผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อการเข้ากันได้ระหว่างอัลคิลเรซินและตัวทำละลายซึ่งเป็นสารละลายสตาร์ชตัดแปร
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติและความสามารถในการเคลือบผิวระหว่างสารเคลือบผิวที่ผลิตได้จากสารเคลือบผิวทางการค้า

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วิธีดำเนินการ

1. ศึกษาปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อความสามารถในการกระจายตัวและการเข้ากันได้ระหว่างอัลคิเดเรซินและสตาร์ชดัดแปร

ศึกษาชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์จำนวน 5 ชนิดคือ เลซิติน เจลาติน พอลิซอเบท 20 พอลิซอเบท60 และ พอลิซอเบท80 ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (ร้อยละ 2 4 6 8 10 และ 12 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน) โดยการเตรียมสารละลายสตาร์ชดัดแปรจาก Octanyl succinate starch ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 เติมอัลคิเดเรซินที่ระดับร้อยละ 3 ของสารละลายสตาร์ช และ โลคัสต์บีนกัมที่ระดับร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซินจากนั้นเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ในชนิดและปริมาณต่าง ๆ ทำการผสมโดยการโฮโมจีไนซ์ที่ระดับความเร็ว 10,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที นำสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ได้มาเคลือบกระดาษกราฟท์ โดยใช้เครื่องเคลือบ (Roll coating machine) ทำแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 20 นาที เก็บกระดาษไว้ในสภาวะที่กำหนด (อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50) เป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน ก่อนทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

1.1 การทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน

1.1.1 ความหนืด

1.1.2 ความคงตัว

1.2 การทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษ

1.2.1 การดูดซับน้ำ (TAPPI T 441)

1.2.2 คุณภาพในการพิมพ์ (visual test)

1.2.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

1.2.4 คุณสมบัติเชิงกล

1.2.4.1 ความต้านทานแรงดึง (ASTM D 882 method A)

1.2.4.2 ความต้านทานแรงคั้นทะลุ (ASTM 774-67)

2. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรที่เหมาะสมต่อความคงตัวและการเข้ากันได้ระหว่างอัลคิเดเรซินและสตาร์ชดัดแปร

ศึกษาชนิดของสารให้ความเสถียร 3 ชนิด คือ โลกัสต์บีนกัม แซนแทนกัม และ คาร์ราจีแนน ที่ระดับต่าง ๆ (ร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน) โดยการเตรียมสารละลายสตาร์ชดัดแปรจาก Octanyl succinate starch ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 เติมอัลคิเดเรซินทางการค้าที่ระดับร้อยละ 3 ของสารละลายสตาร์ช และเติมชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่คัดเลือกได้จากขั้นตอนที่ 1 จากนั้นเติมสารให้ความเสถียรในชนิดและปริมาณต่าง ๆ ทำการผสมโดยการโฮโมจีไนส์ที่ระดับความเร็ว 10,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที นำสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ได้มาเคลือบกระดาษกราฟท์ โดยใช้เครื่องเคลือบ (Roll coating machine) ทำแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 20 นาที เก็บกระดาษไว้ในสภาวะที่กำหนด (อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50) เป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน ก่อนทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1

3. ศึกษาผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อความสามารถในการกระจายตัวและการเข้ากันได้ระหว่างอัลคิเดเรซินและสตาร์ชดัดแปร

ศึกษาผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรโดยการเตรียมสารละลายสตาร์ชดัดแปรจาก Octanyl succinate starch ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 3 เติมอัลคิเดเรซินทางการค้าที่ระดับร้อยละ 3 ของสารละลายสตาร์ช เติมสารอิมัลซิไฟเออร์ที่คัดเลือกได้จากขั้นตอนที่ 1 และสารให้ความเสถียรที่คัดเลือกได้จากขั้นตอนที่ 2 ที่ส่งผลดีที่สุดต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษมาอย่างละ 2 ชนิด ตามสัดส่วนต่าง ๆ ตาม Table 6 ดังนี้

Table 6. Experiment of combination between emulsifiers stabilizers on coating properties.

Treatment	Emulsifier 1	Emulsifier 2	Stabilizer 1	Stabilizer 2
M1	1	-	1	-
M2	-	1	-	1
M3	-	1	1	-
M4	1	-	-	1
M5	1	-	0.5	0.5
M6	-	1	0.5	0.5
M7	0.5	0.5	1	-
M8	0.5	0.5	-	1
M9	0.5	0.5	0.5	0.5

ทำการผสมโดยการโฮโมจิไนซ์ที่ระดับความเร็ว 10,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที นำสารเคลือบผิวที่ได้มาเคลือบกระดาษกราฟท์ โดยใช้เครื่องเคลือบ (Roll coating machine) ทำแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 20 นาที เก็บกระดาษไว้ในสภาวะที่กำหนด (อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50) เป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน ก่อนทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดสอบแบบ Completely Randomize Design (CRD) และทำการวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ Duncan's New Multiple range test ด้วยโปรแกรม SPSS V.10 โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 0.95 ($p < 0.05$)

วัสดุและอุปกรณ์

1. อีลคิเดเรซิน (SA 7713-70; Diforce Resin CO.,LTD, Thailand)
2. สารอิมัลซิไฟเออร์ (Lecithin Gelatin Polysorbate 20 Polysorbate60 and Polysorbates80)
3. สารให้ความเสถียร (Locust bean gum Xanthan gum และ Carrageenan)
4. สตาร์ชดัดแปร (Octanyl succinate starch)
5. สารเคลือบผิว (WR3908; SEIKO PMC CORPORATION, Japan)
6. กระดาษกราฟท์ (KS 170 g/m²)
7. เทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอท (Thermometer)
8. เตาไฟฟ้า (Hot plate)
9. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven รุ่น MEMMERT UM-500)
10. ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature & Humidity Chamber รุ่น WTB BINDER, KBR 115)
11. เครื่องพิมพ์ (Flexography printer)
12. เครื่องเคลือบ (Roll coating machine)



Figure 10. Roll coating machine

13. เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer รุ่น IKA ULTRA-TURRAX[®] T25 digital)
14. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy; SEM รุ่น JSM-5800LV, JEOL)
15. เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer รุ่น DV-II)
16. ชุดทดสอบการดูดซับน้ำ (Cobb sizing tester)
17. เครื่องทดสอบความแข็งแรง (LLOYD รุ่น LR 30K)
18. เครื่องทดสอบแรงดันทะลุ (Mullen Tester รุ่น GT 7013AD)
19. เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียด 0.01 กรัม (Sartorius BP 3100S) และ 0.0001 กรัม (Sartorius TE 214S)

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. สมบัติของอัลคิเดเรซินทางการค้าที่ใช้ในการผลิตสารเคลือบผิว

อัลคิเดเรซินชนิด short-oil (SA 7713-70) สั่งซื้อมาจากบริษัท ไคเฟอร์ เรซิน จำกัด มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดใสสีเหลือง ซึ่งค่าสี(Gardner) เท่ากับ 5 (Yxy มีค่า 74, 0.3558 และ 0.3840 ตามลำดับ) (ดูการเทียบค่าในภาคผนวก ค Table 29) ค่าความหนืดเท่ากับ Z_4 ถึง Z_5 Gardner-Holdt เทียบเป็นหน่วยระบบ CGS (centimeter-gram-second) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 6,300 ถึง 9,800 cP (ดูการเทียบค่าในภาคผนวก ค Table 30) โดยมีค่าของกรดและปริมาณร้อยละของสารที่ไม่ระเหย เท่ากับ 9.36 mgKOH/g และร้อยละ 70.8 ตามลำดับ

2. ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อความสามารถในการกระจายตัวและการเข้ากันได้ระหว่างอัลคิเดเรซินทางการค้าและสตรัคเจอร์และสมบัติของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

2.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อสมบัติของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน

2.1.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อความหนืดของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินต่อค่าความหนืด พบว่า การใช้เจลาตินเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์จะส่งผลให้สารเคลือบมีความหนืดมากกว่าการใช้เลซีติน พอลิซอเบท20 พอลิซอเบท40 และพอลิซอเบท80 และเมื่อปริมาณของเจลาตินเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่าความหนืดของสารเคลือบ ทั้งนี้เนื่องจากเจลาตินมีสมบัติเป็นสารให้ความเสถียรด้วย เนื่องจากสารให้ความเสถียรทำหน้าที่เพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์ จึงป้องกันการรวมตัวของอนุภาคในสารละลาย (จันทิมา และคณะ, 2547) (Table 7)

Table 7. Effect of types and concentrations of emulsifiers on the viscosity of alkyd resin coating.

Types and concentration of emulsifiers (%w/w of alkyd resin)	Viscosity (centipoises, cP)
Lecithin 2%	12
Lecithin 4%	13
Lecithin 6%	13
Lecithin 8%	13
Lecithin 10%	14
Lecithin 12%	14
Gelatin 2%	12
Gelatin 4%	13
Gelatin 6%	16
Gelatin 8%	25
Gelatin 10%	28
Gelatin 12%	33
Polysorbate20 2%	10
Polysorbate20 4%	10
Polysorbate20 6%	10
Polysorbate20 8%	12
Polysorbate20 10%	13
Polysorbate20 12%	14
Polysorbate60 2%	10
Polysorbate60 4%	11
Polysorbate60 6%	11
Polysorbate60 8%	12
Polysorbate60 10%	12
Polysorbate60 12%	12

Table 7. Effect of types and concentrations of emulsifiers on the viscosity of alkyd resin coating (Cont.).

Types and concentration of emulsifiers (%w/w of alkyd resin)	Viscosity (centipoises, cP)
Polysorbate80 2%	11
Polysorbate80 4%	12
Polysorbate80 6%	12
Polysorbate80 8%	12
Polysorbate80 10%	12
Polysorbate80 12%	13

2.1.2 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน

เมื่อทำการเตรียมสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินแล้ววางทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ใช้ เจลาติน พอลิซอเบท20 พอลิซอเบท60 และพอลิซอเบท80 เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ มีการแยกชั้นอย่างชัดเจนในทุกความเข้มข้น และความสูงของตะกอนจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีสสารเป็นองค์ประกอบ (พรรณจิรา และคณะ, 2548) อาจเนื่องจากโมเลกุลของสตาร์ชมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงและประกอบไปด้วยสายพอลิแซคคาไรด์เป็นจำนวนมากหลังจากผ่านการไฮโดรจีเนสแล้วทำให้หมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนปลายสายพอลิแซคคาไรด์หันมาสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน เป็นผลให้เหลือหมู่ไฮดรอกซิลที่มาจับกับน้ำลดลง (Alais and Linden, 1991) ส่งผลให้แป้งส่วนนี้มีการละลายต่ำ จึงเกิดการตกตะกอน สำหรับสารเคลือบผิวที่ใช้เจลาตินเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ พบว่าที่ความเข้มข้นของเจลาตินร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน ยังคงมีการแยกชั้นและตกตะกอนอยู่บ้าง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเจลาตินเป็นร้อยละ 8 10 และ 12 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน พบว่าไม่พบเกิดการแยกชั้นของสตาร์ช เนื่องจากความหนืดจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคของคอลลอยด์ ถ้าสารละลายมีความหนืดสูง จะทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคของคอลลอยด์ทำได้ช้าลง การเคลื่อนที่แบบบราวเนียนลดลง ทำให้อนุภาคของคอลลอยด์ไม่มีโอกาสที่จะรวมตัว จึงทำให้อิมัลชันคงตัวดีขึ้น (วรรณิ อุโพบูรณ์, 2547) (Figure 11)

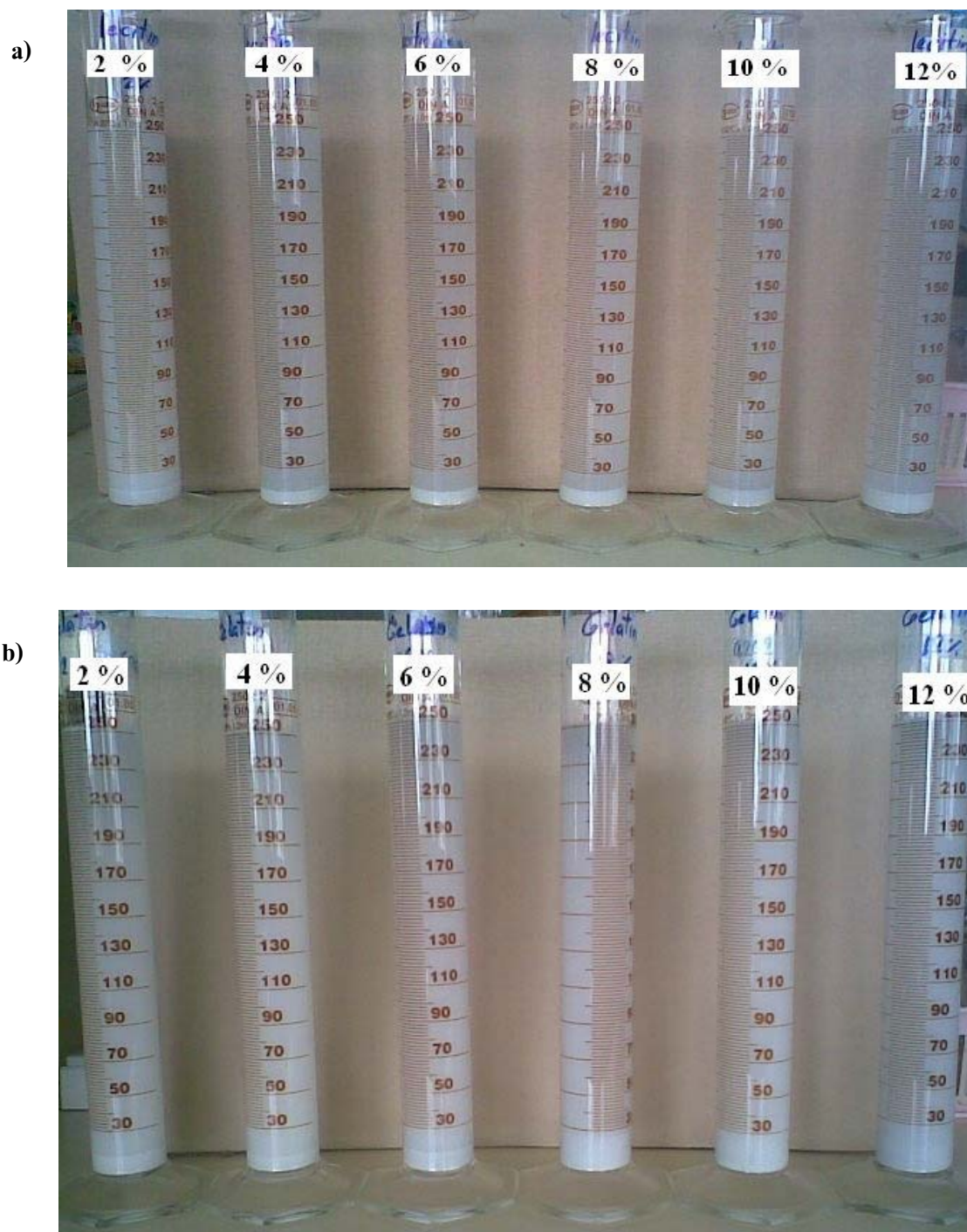


Figure 11. Effect of a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 at various concentrations on the stability of alkyd resin coating.

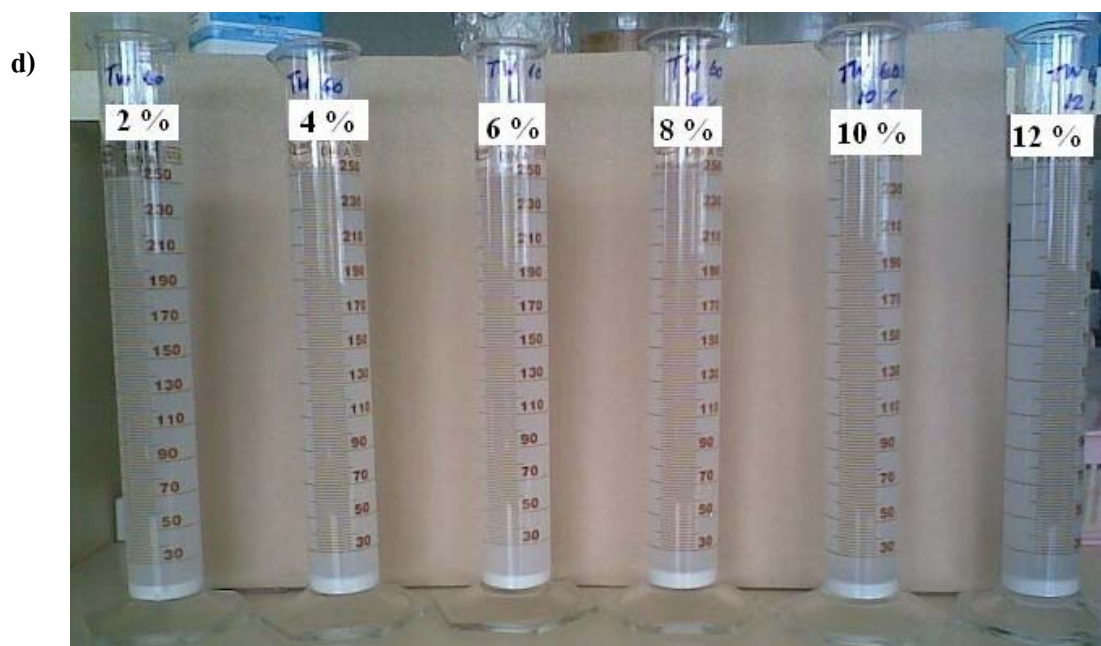


Figure 11. Effect of a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 at various concentrations on the stability of alkyd resin coating (Cont.).

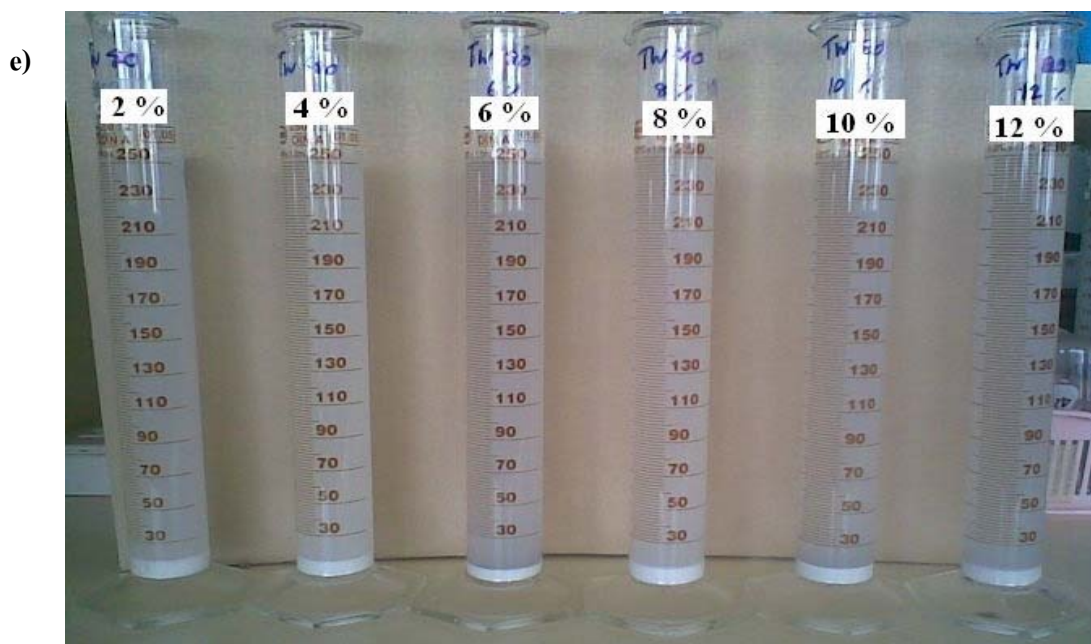


Figure 11. Effect of a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 at various concentrations on the stability of alkyd resin coating (Cont.).

2.2 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อสมบัติของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

2.2.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

Figure 12 แสดงผลจากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของกระดาษด้วยเทคนิค SEM พบว่า กระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่ใช้เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (c) และ 12 (d) โดยน้ำหนักของอัลคิเรซิน จะมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า (b) และกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ (a) ตามลำดับ โดยสารเคลือบผิวจะเข้าไปปิดช่องว่างระหว่างเส้นใย รวมถึงยังทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางอยู่บริเวณผิวของกระดาษ ส่งผลให้กระดาษมีพื้นผิวที่เรียบขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการดูดซับน้ำและคุณภาพในการพิมพ์ของกระดาษ โดยจะพบว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซินสามารถปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษให้มีความเรียบกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า อย่างไรก็ตามพบว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่ใช้เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 12 โดยน้ำหนักของอัลคิเรซิน มีลักษณะของพื้นผิวที่ไม่แตกต่างกัน

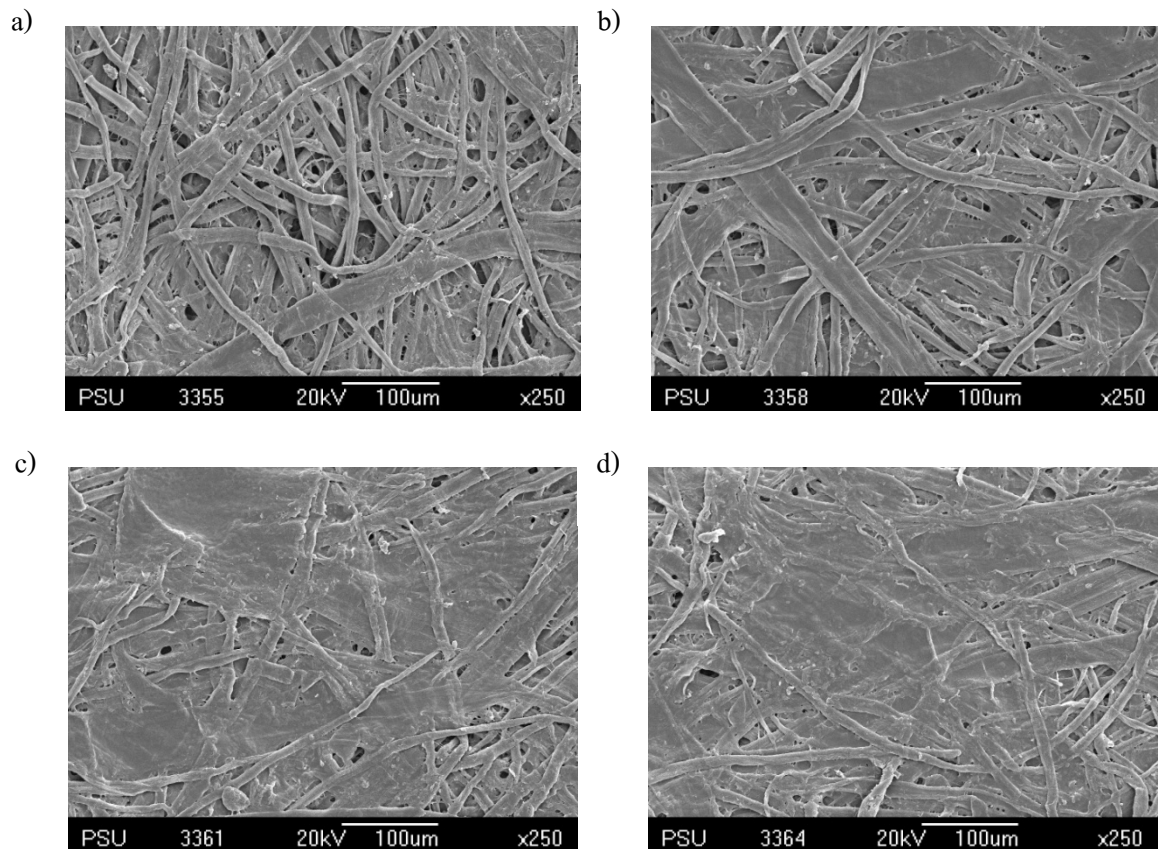


Figure 12. SEM of surface paperboard; a) non-coated, b) commercial coating, c) alkyd resin coating contained 10% of Gelatin and d) alkyd resin coating contained 12% of Gelatin.

2.2.2 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อค่าการดูดซับน้ำ (water absorptiveness) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินต่อค่าการต้านทานการดูดซับน้ำของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ พบว่ากระดาษที่เคลือบผิวสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ใช้ พอลิซอเบท20 พอลิซอเบท60 และ พอลิซอเบท80 เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ มีค่าการดูดซับน้ำของกระดาษที่ผ่านการเคลือบสูงกว่าการใช้เลซีติน และ เจลาตินเป็นอิมัลซิไฟเออร์ อีกทั้งพบว่าเมื่อความเข้มข้นของ พอลิซอเบท20 พอลิซอเบท60 และ พอลิซอเบท80 เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำของกระดาษที่ผ่านการเคลือบเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากสารทั้ง 3 ชนิดนี้มีสมบัติในการละลายน้ำที่อุณหภูมิสูง แต่ในการทดสอบค่าการดูดซับน้ำ ใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 29 ± 0.5 °C) ดังนั้นพอลิซอเบท20 พอลิซอเบท60 และพอลิซอเบท80 ทำการดูดน้ำและพองตัวออก จึงส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำของกระดาษมีค่าสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณเลซีติน และเจลาตินในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน พบว่ากระดาษที่ผ่านเคลือบด้วย

สารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ใช้เลซิทินที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ถึง 10 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน และเจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ถึง 12 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน มีค่าการดูดซับน้ำที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า พบว่าสารเคลือบผิวที่ใช้เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และร้อยละ 12 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน จะให้ค่าการดูดซับน้ำของกระดาษที่ต่ำ ($25.88 \pm 4.75 \text{ g/m}^2$ และ $25.68 \pm 2.01 \text{ g/m}^2$ ตามลำดับ) โดยมีค่าการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า ($22.2 \pm 1.48 \text{ g/m}^2$) มากที่สุด (Figure 13)

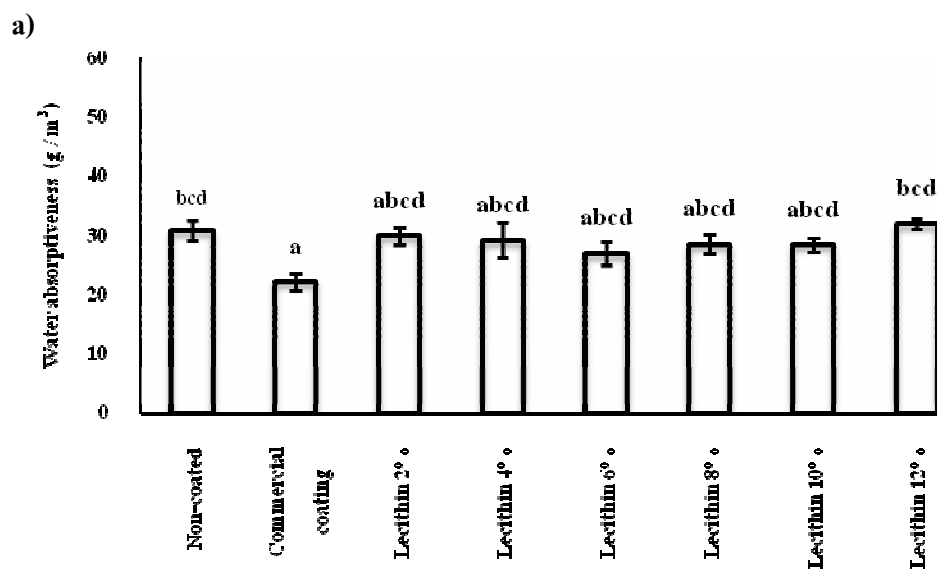


Figure 13. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the water absorptiveness of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.

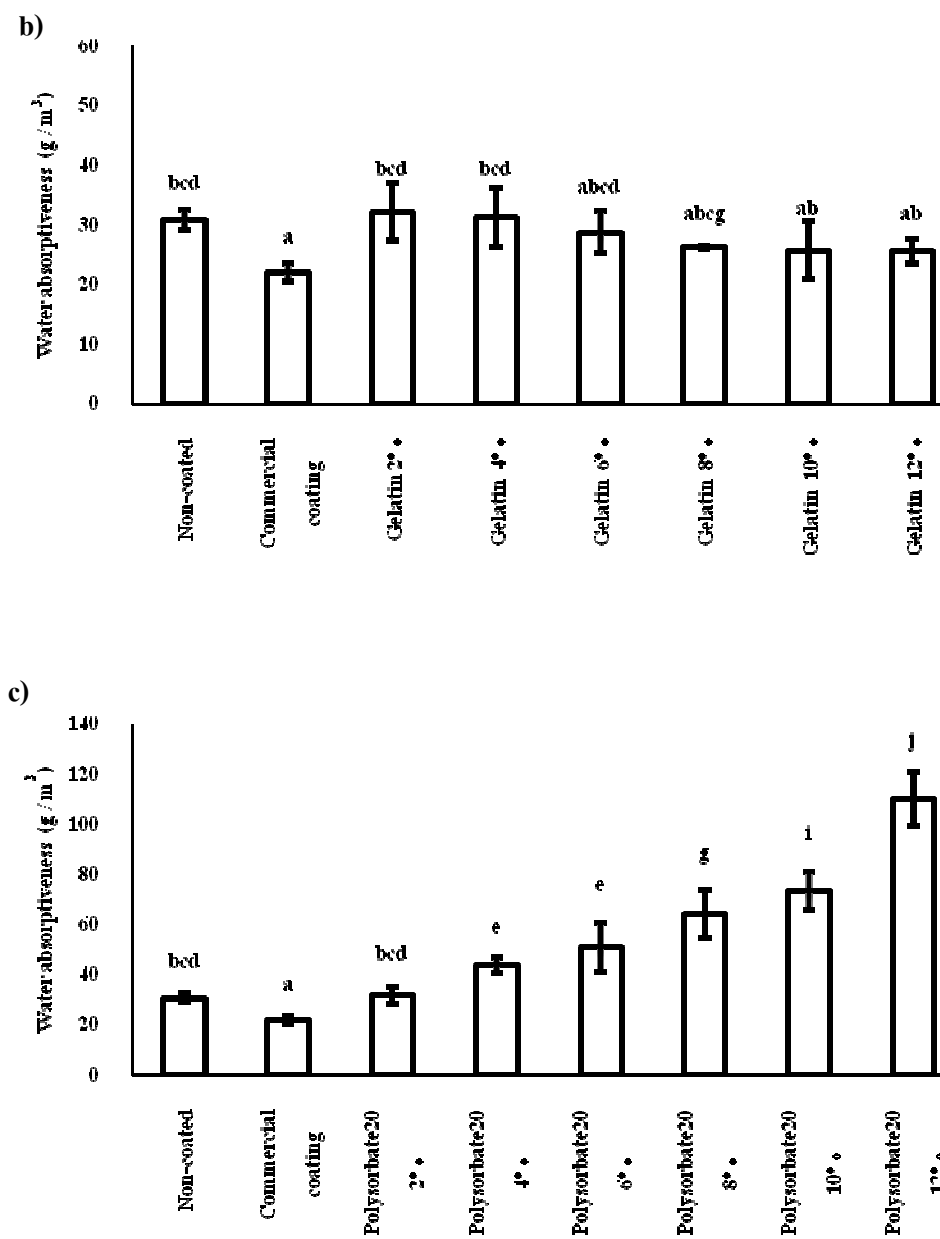


Figure 13. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the water absorptiveness of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

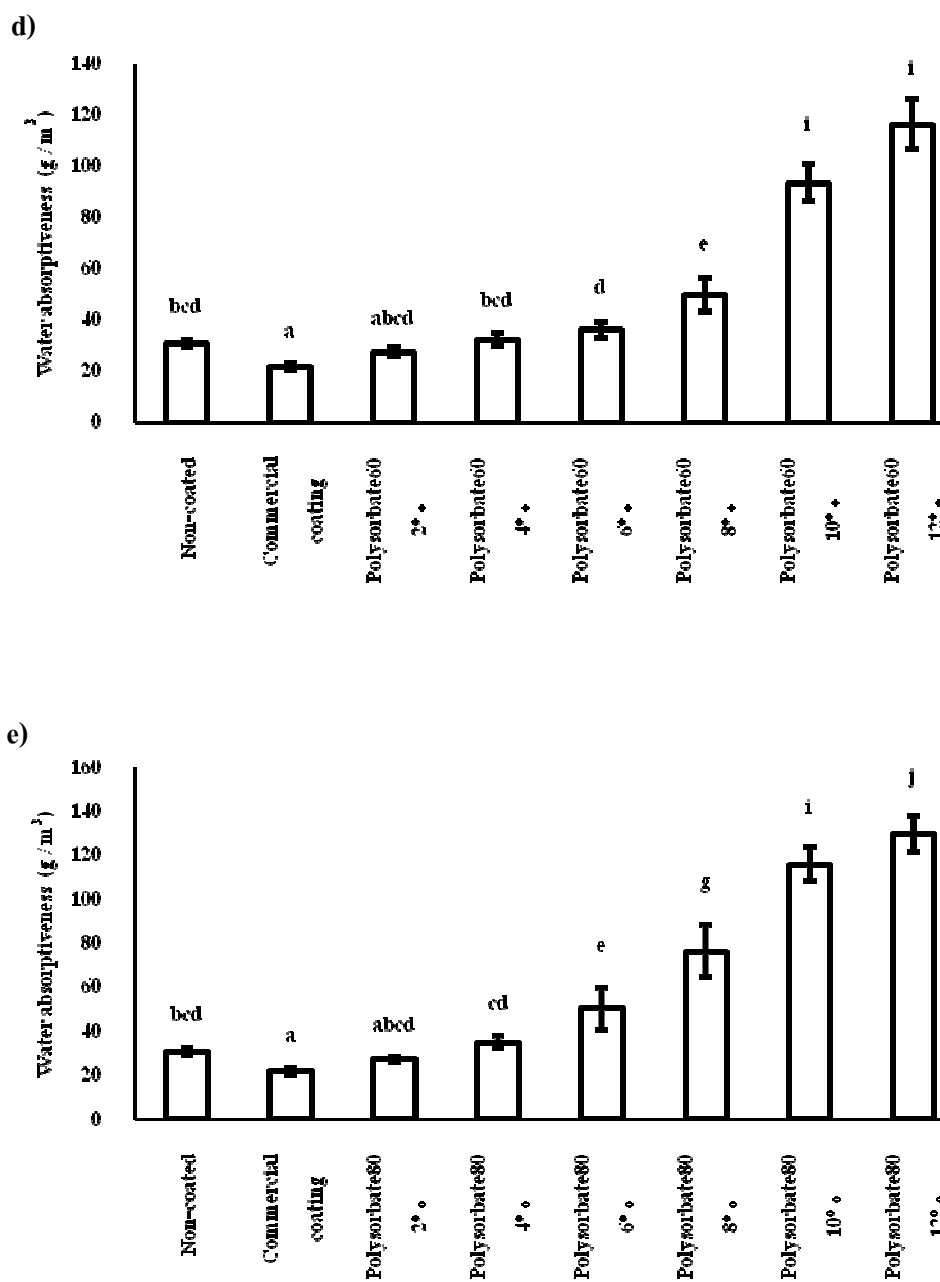


Figure 13. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the water absorptiveness of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

2.2.3 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์คุณภาพในการพิมพ์ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินและค่าการดูดซับน้ำ (water absorptiveness) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ พบว่า การใช้ เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 12 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซินเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ส่งผลให้สารเคลือบผิวที่ได้มีความคงตัวที่ดี รวมถึงยังมีค่าการดูดซับน้ำที่ต่ำ ดังนั้นจึงนำกระดาษที่เคลือบสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่เตรียมโดยใช้เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 12 มาทดสอบคุณภาพในการพิมพ์ พบว่า การใช้เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซินในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน ให้คุณภาพงานพิมพ์ที่คมชัดกว่า เมื่อเทียบกับการใช้สารเคลือบผิวที่ใช้เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน และคมชัดกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า (commercial coating) เนื่องจากสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินมีส่วนประกอบเป็นแป้งคัดแปร ซึ่งมีผลในการช่วยปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษให้มีความเรียบขึ้น จึงส่งผลให้คุณภาพการพิมพ์ดีขึ้น (Figure 14)

a)



Figure 14. Effect of types and concentrations of emulsifiers on the printing ability of coated paper; a) commercial coating, b) alkyd resin coating contained 10% of Gelatin and c) alkyd resin coating contained 12% of Gelatin.

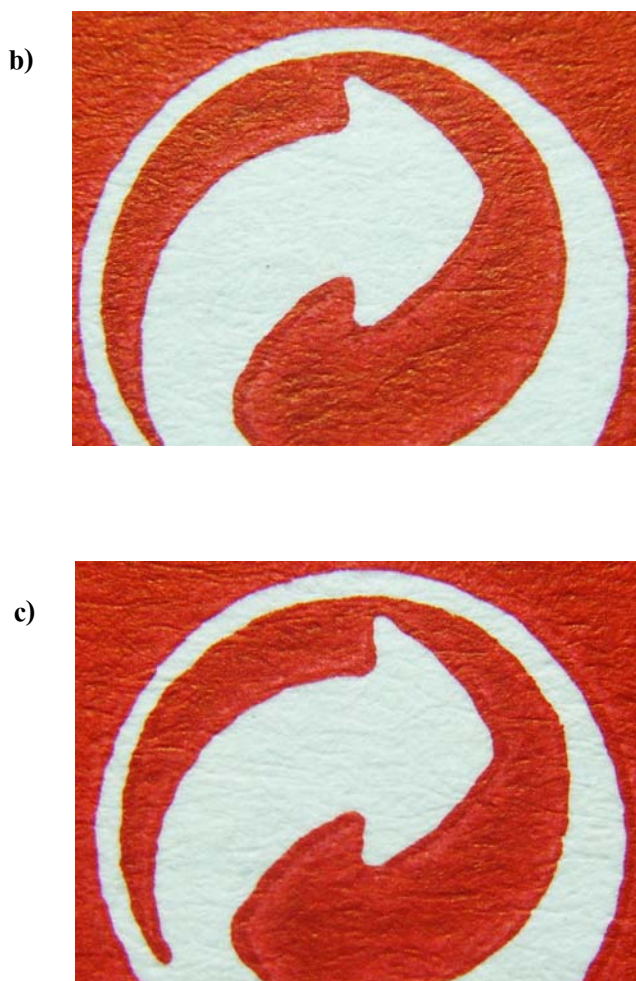


Figure 14. Effect of types and concentrations of emulsifiers on the printing ability of coated paper; a) commercial coating, b) alkyd resin coating contained 10% of Gelatin and c) alkyd resin coating contained 12% of Gelatin (Cont.).

2.2.4 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength, MPa) ค่าการยืดตัวเมื่อขาด (Elongation at break) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ผสมกับสารอิมัลซิไฟเออร์ ชนิดต่าง ๆ จะมีค่าการต้านทานแรงดึงในแนว machine direction (MD) และแนว cross machine direction (CD) ใกล้เคียงกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าและกระดาษที่ไม่เคลือบตามลำดับ และค่าการยืดตัวเมื่อขาดในแนว cross machine direction (CD) ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจะพบว่าค่าการยืดตัวเมื่อขาดตามแนว machine direction (MD) ของกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินมีค่าสูงกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าและกระดาษที่ไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจาก ปริมาณกรดไขมันที่มีอยู่อัลคิเดเรซิน

(Swaraj, 1995) จึงส่งผลให้เมื่อนำสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินมาเคลือบกระดาษแล้ว ค่าการยึดตัวเมื่อขาดมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่า เมื่อปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินไม่ส่งผลต่อค่าการต้านทานแรงดึงและค่าการยึดตัวเมื่อขาดทั้งแนว MD และ CD (Figure 15-18)

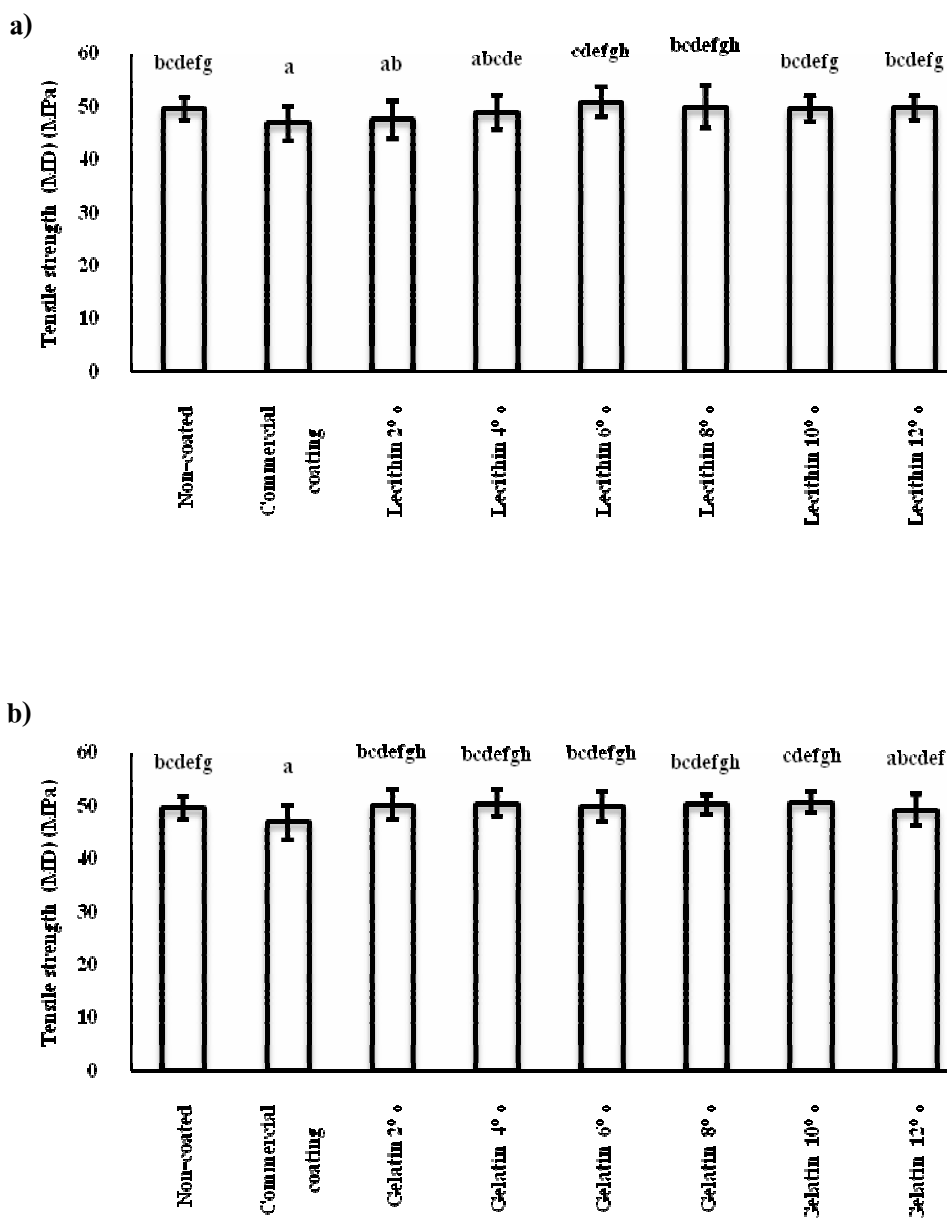


Figure 15. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.

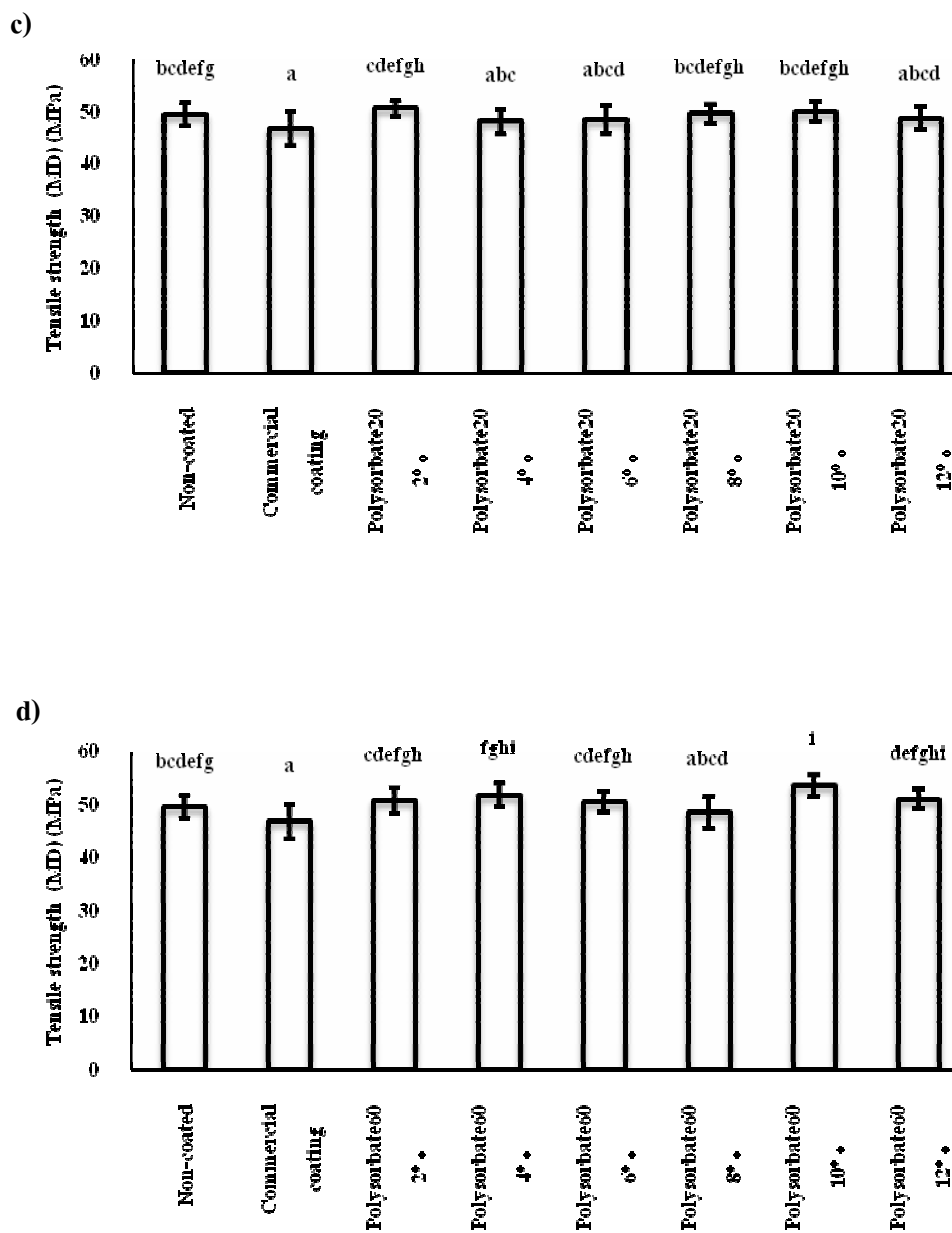


Figure 15. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

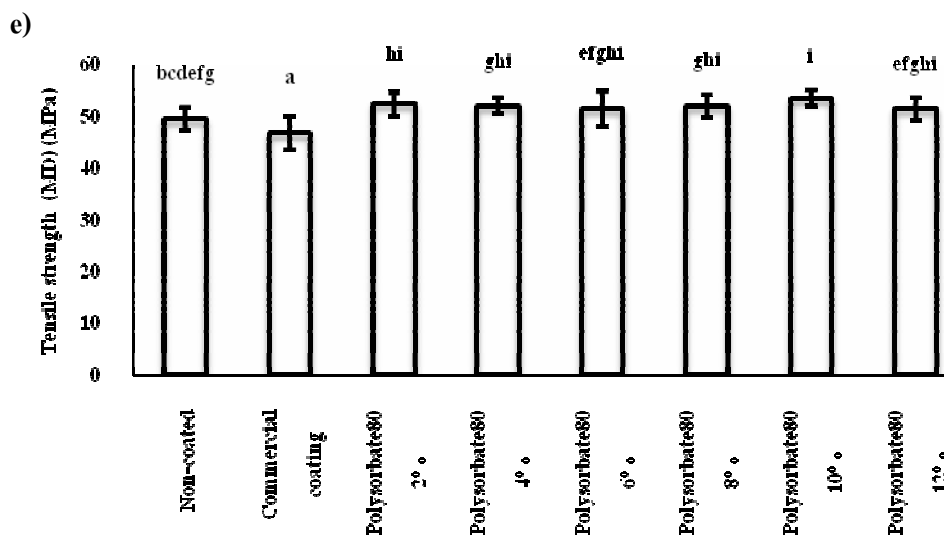


Figure 15. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

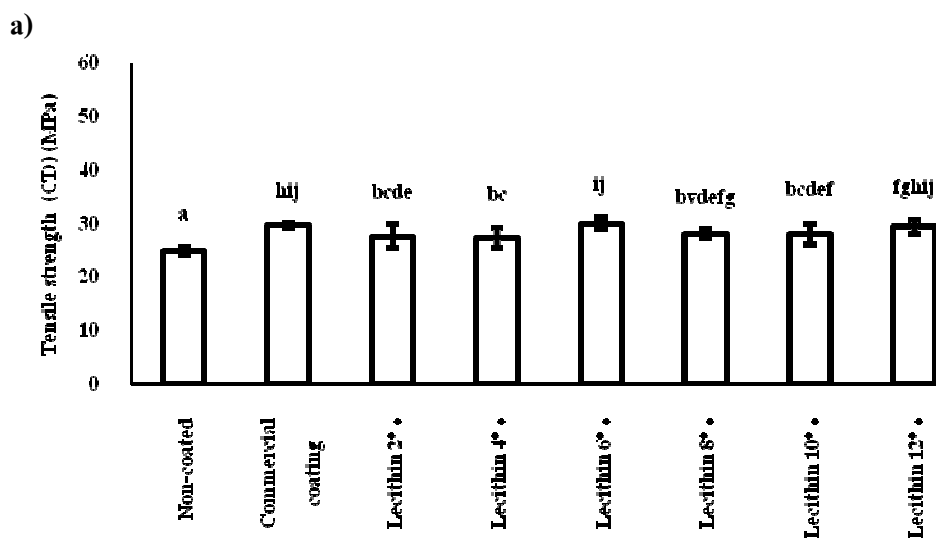


Figure 16. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.

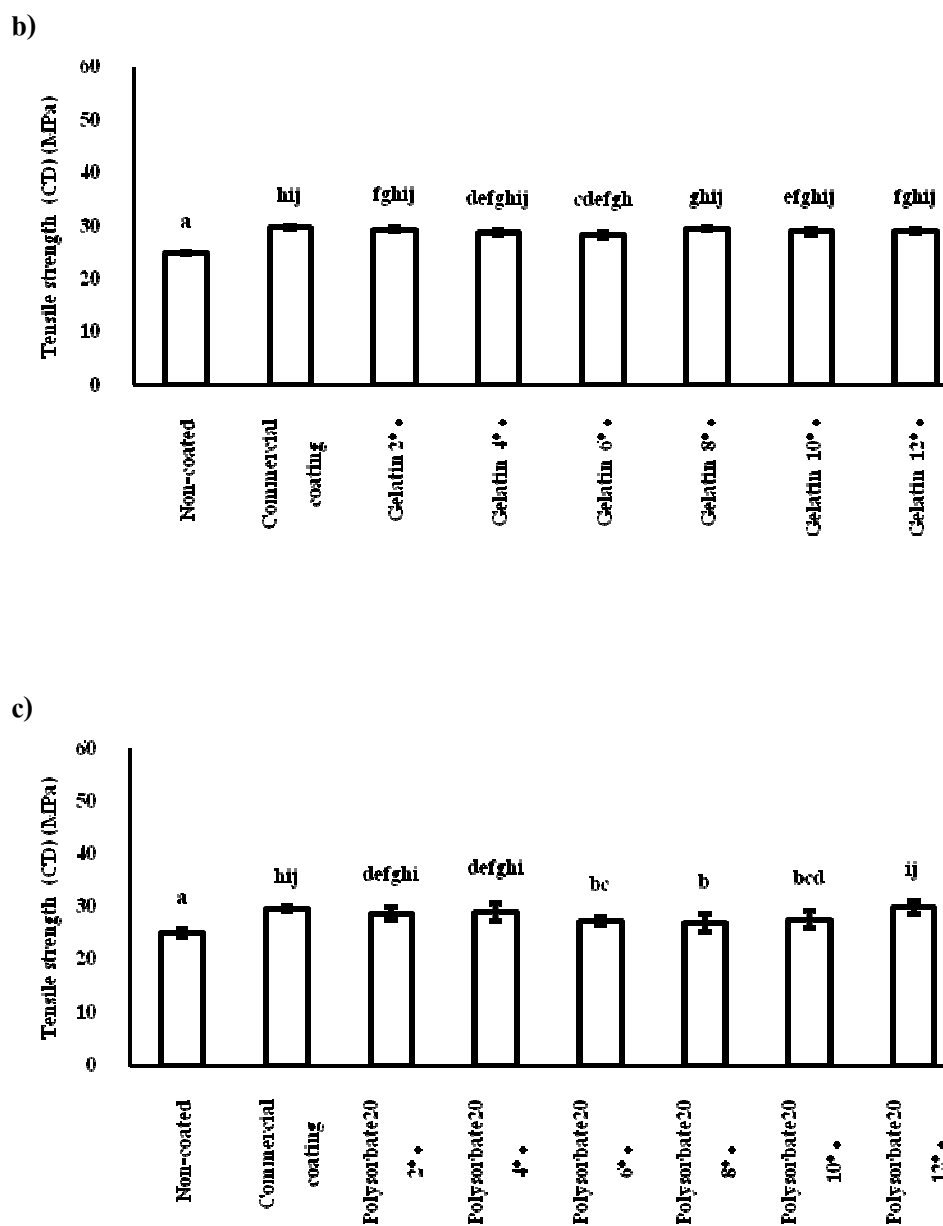


Figure 16. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

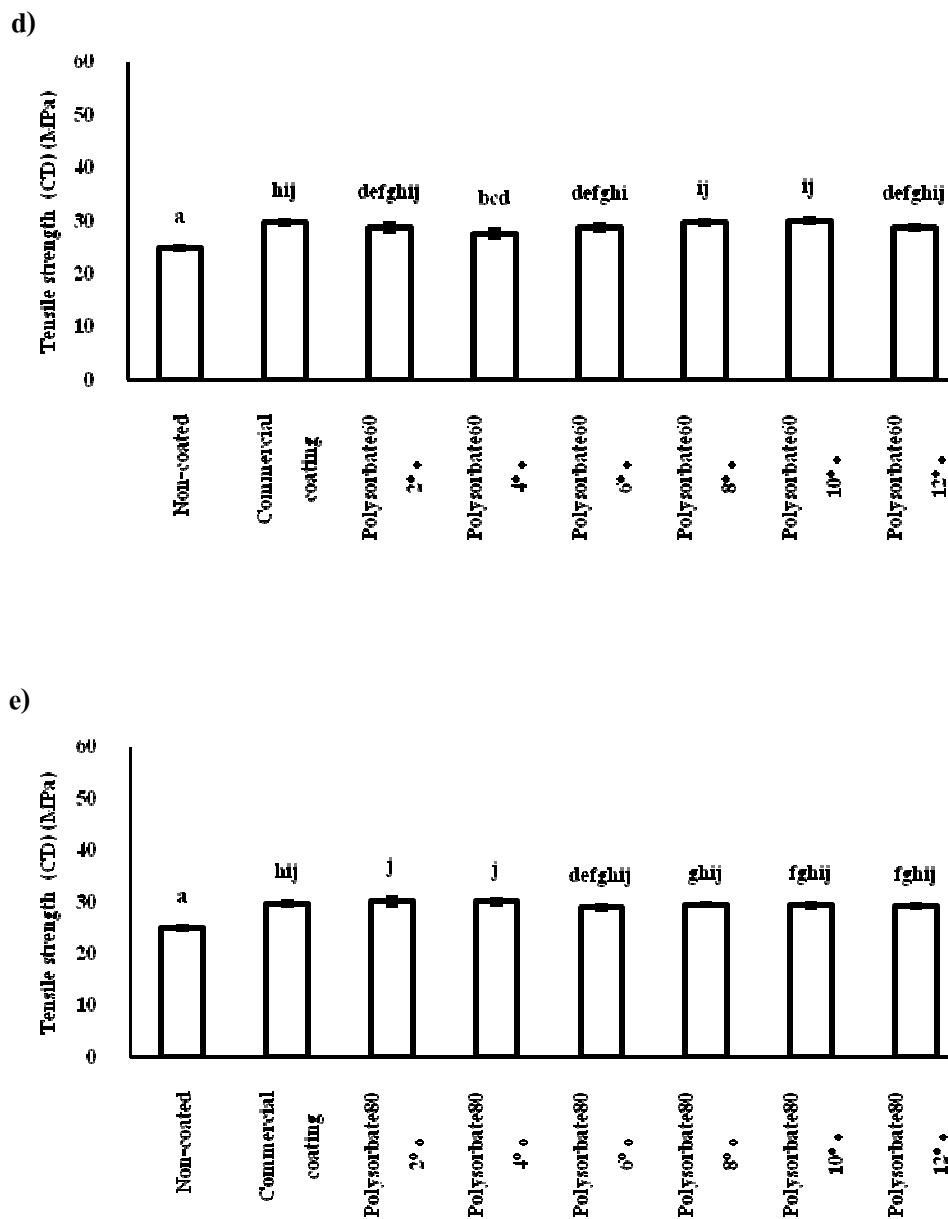


Figure 16. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

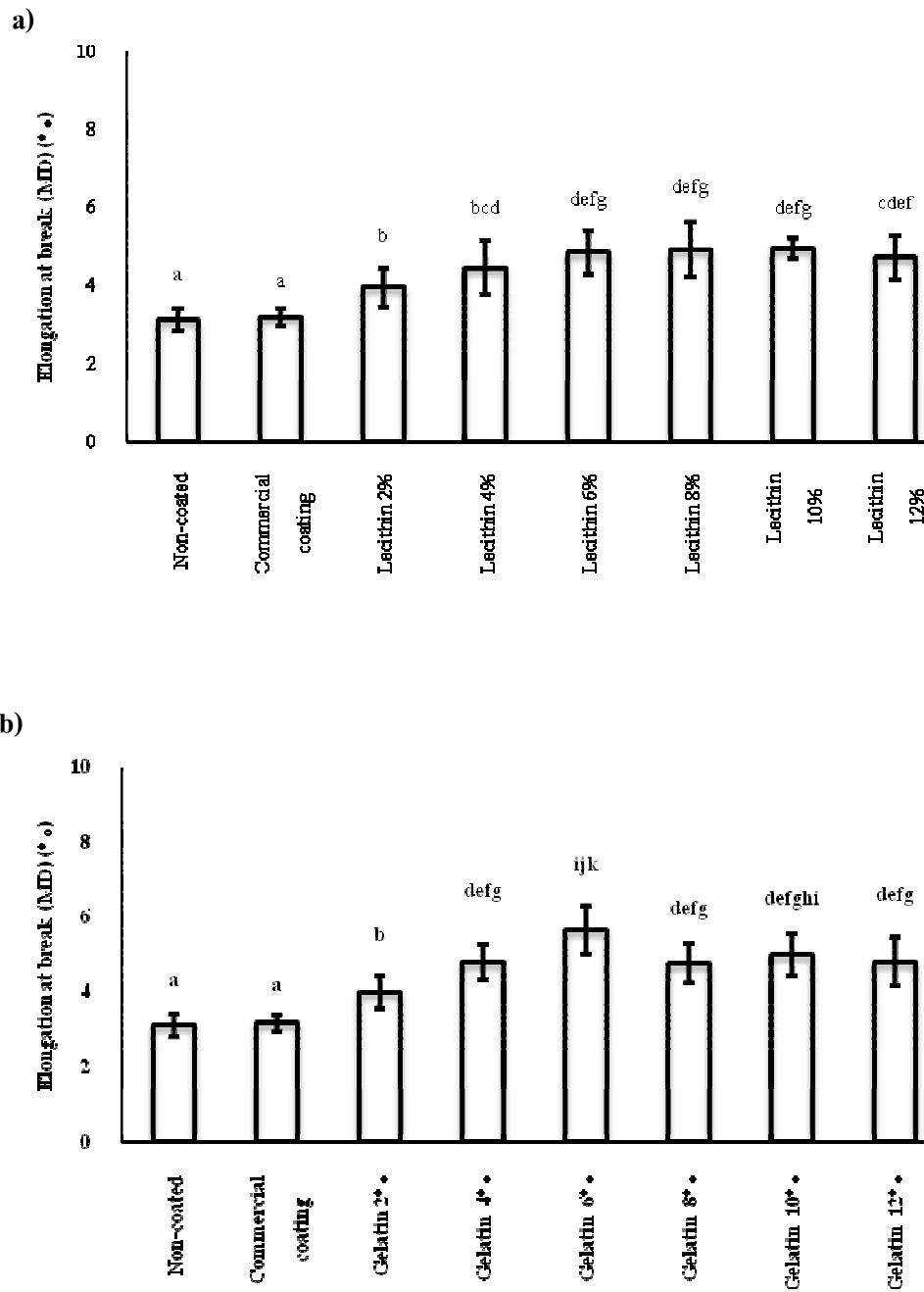


Figure 17. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.

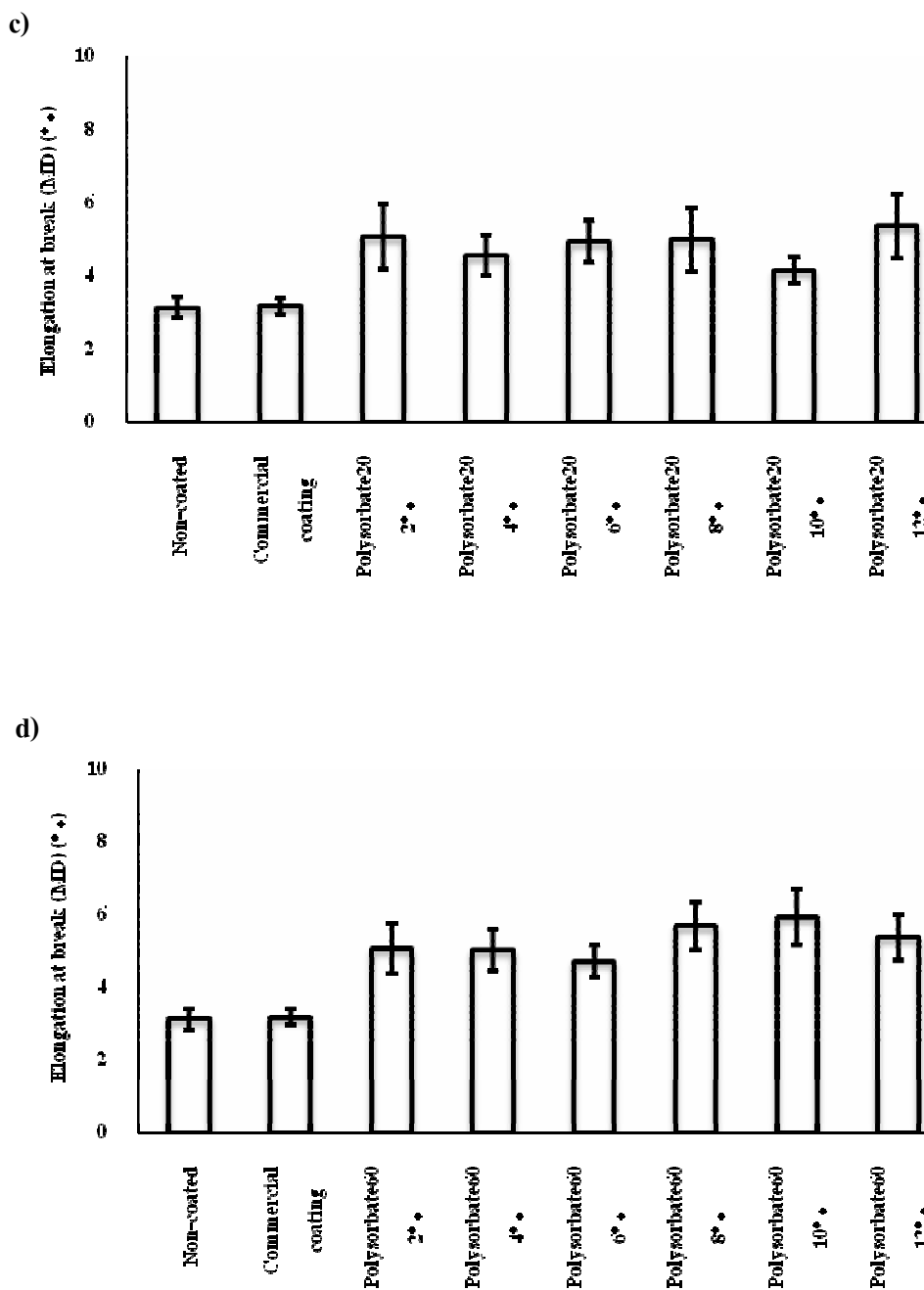


Figure 17. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

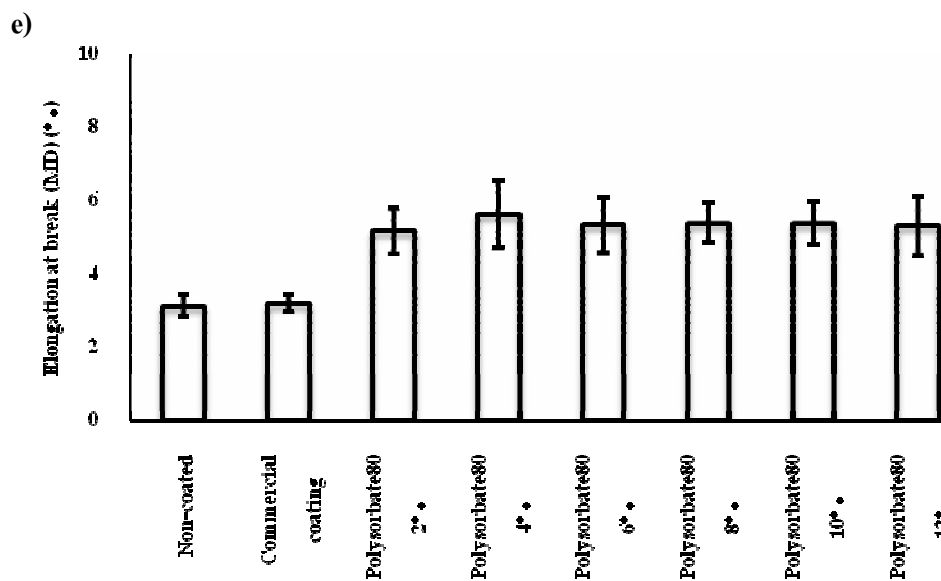


Figure 17. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

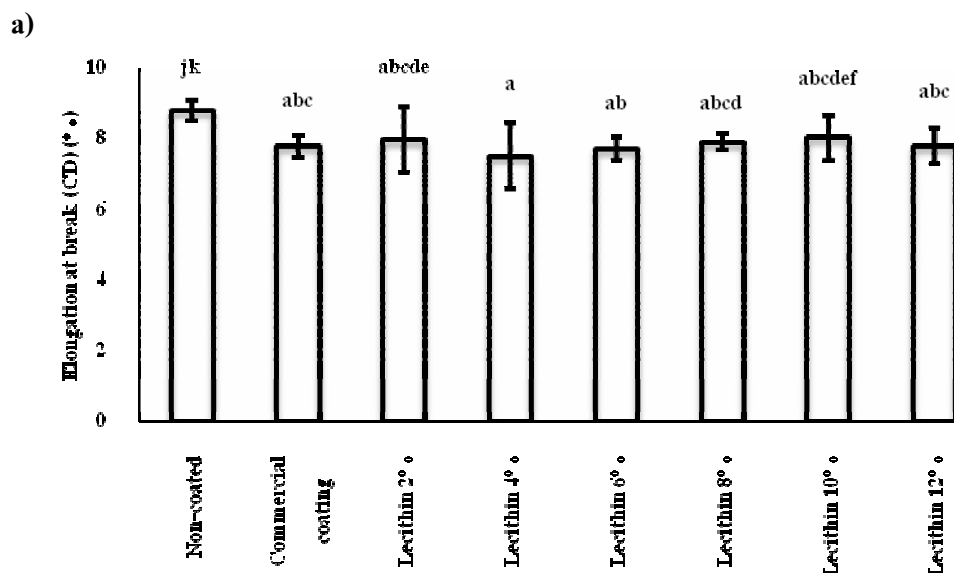


Figure 18. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.

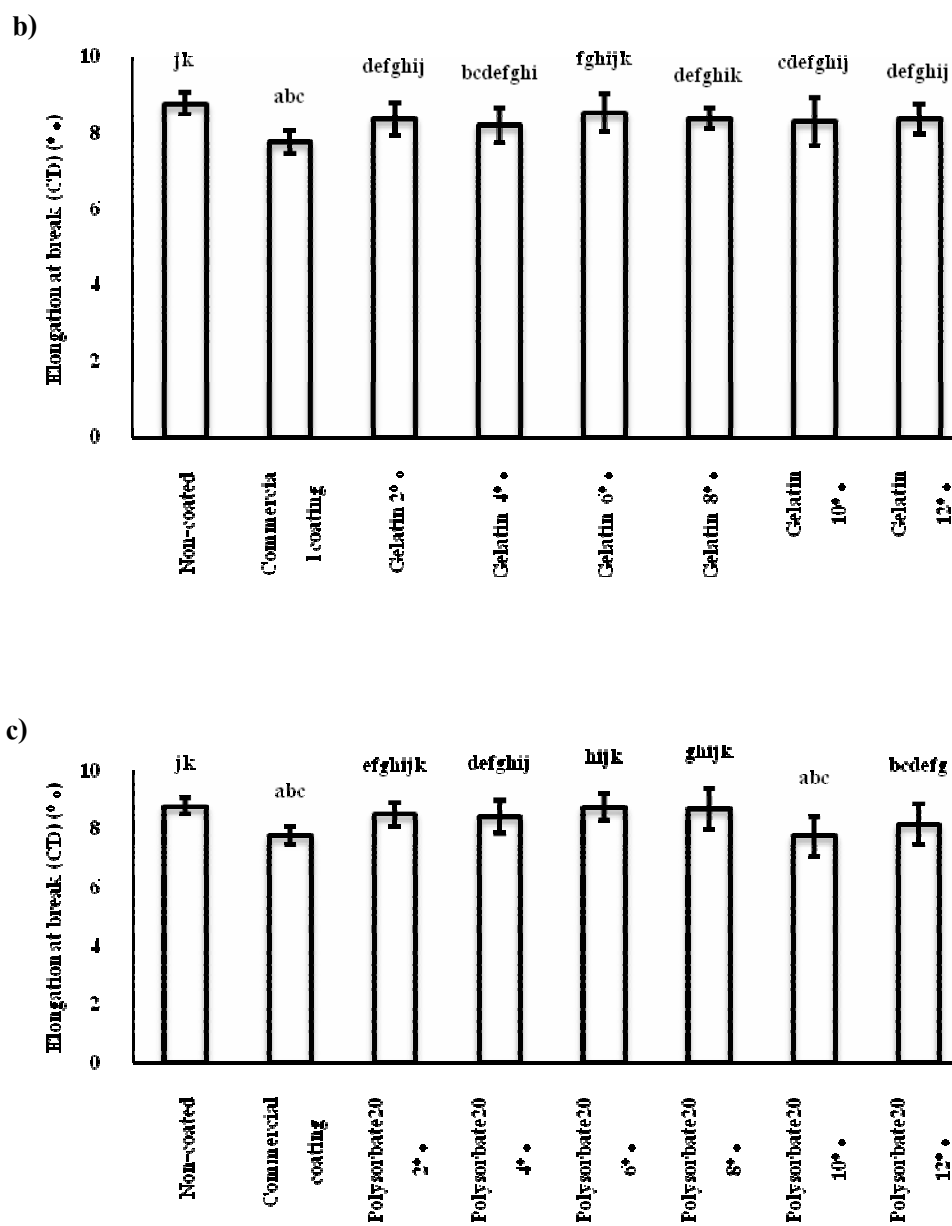


Figure 18. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

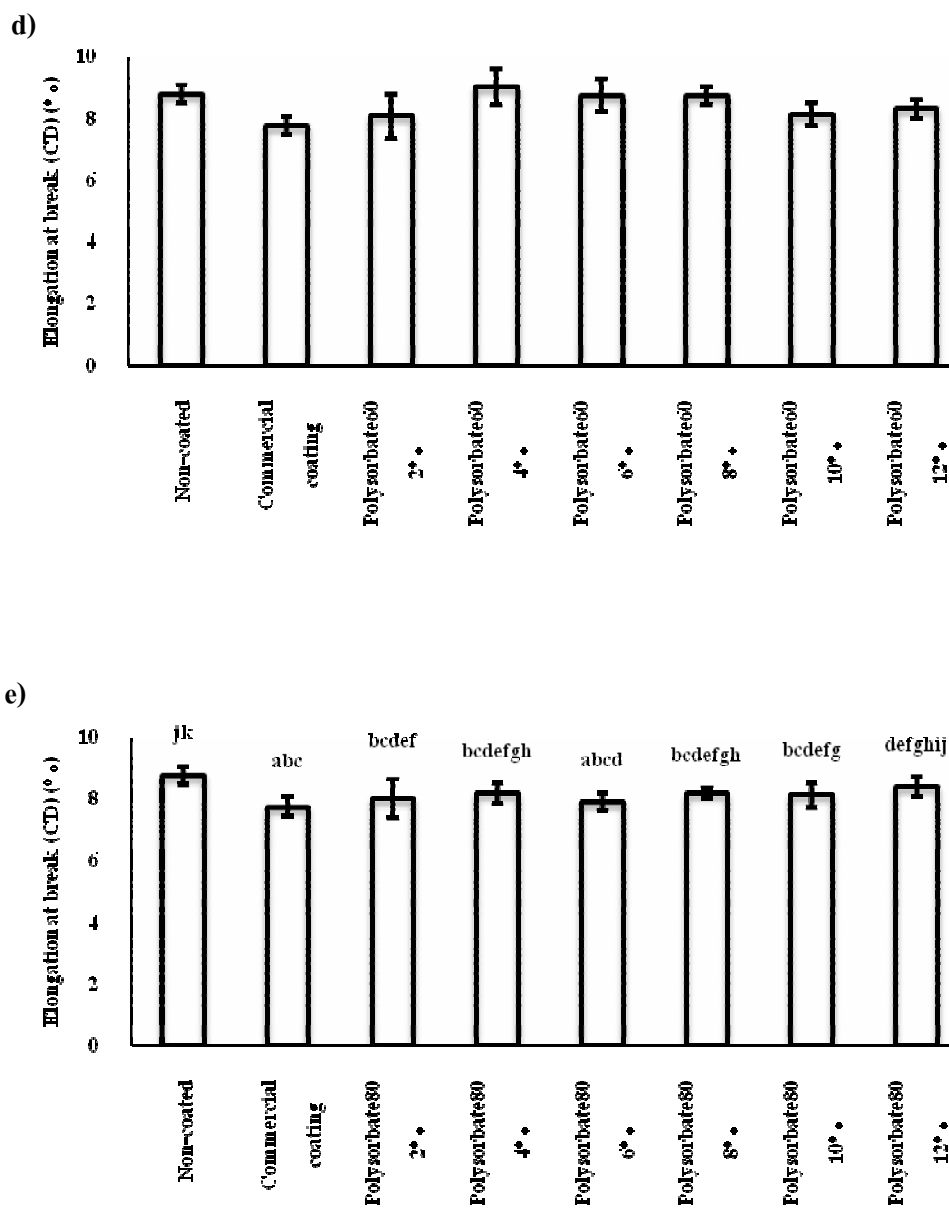


Figure 18. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

2.2.5 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อค่าการต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินต่อค่าการต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ พบว่าชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ในสารเคลือบผิวไม่มีผลต่อค่าการต้านทานแรงดันทะลุอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และไม่มี ความแตกต่างกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ อย่างไรก็ตามค่าการต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้ามีแนวโน้มที่สูงกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ทำการศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเคลือบกระดาษด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินไม่ส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ (Figure 19)

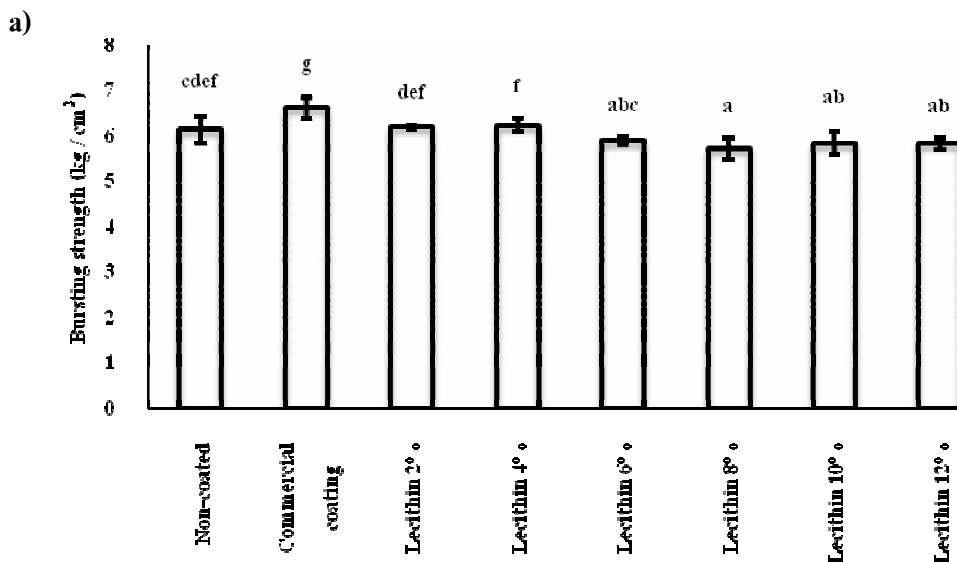


Figure 19. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the bursting strength of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80.

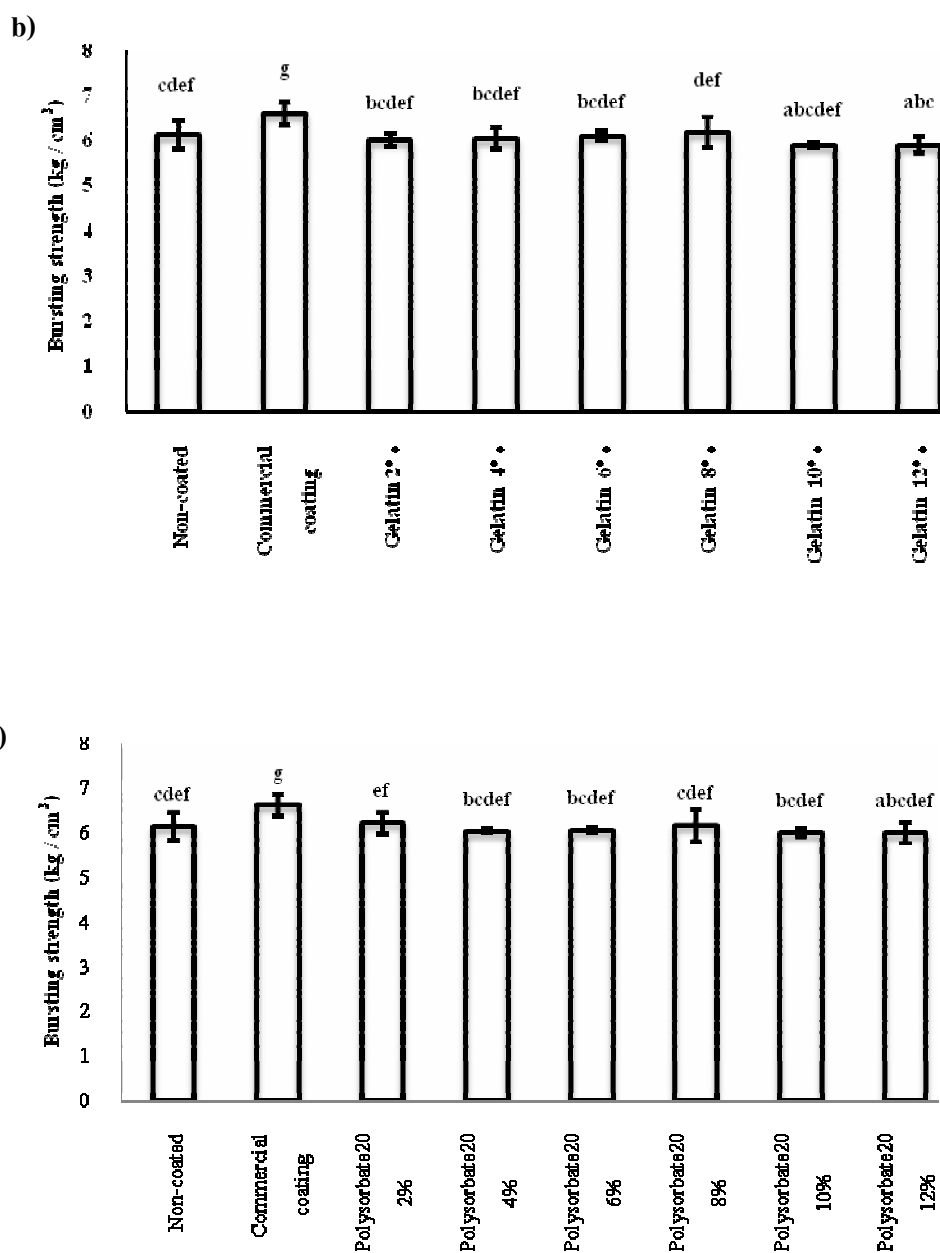


Figure 19. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the bursting strength of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

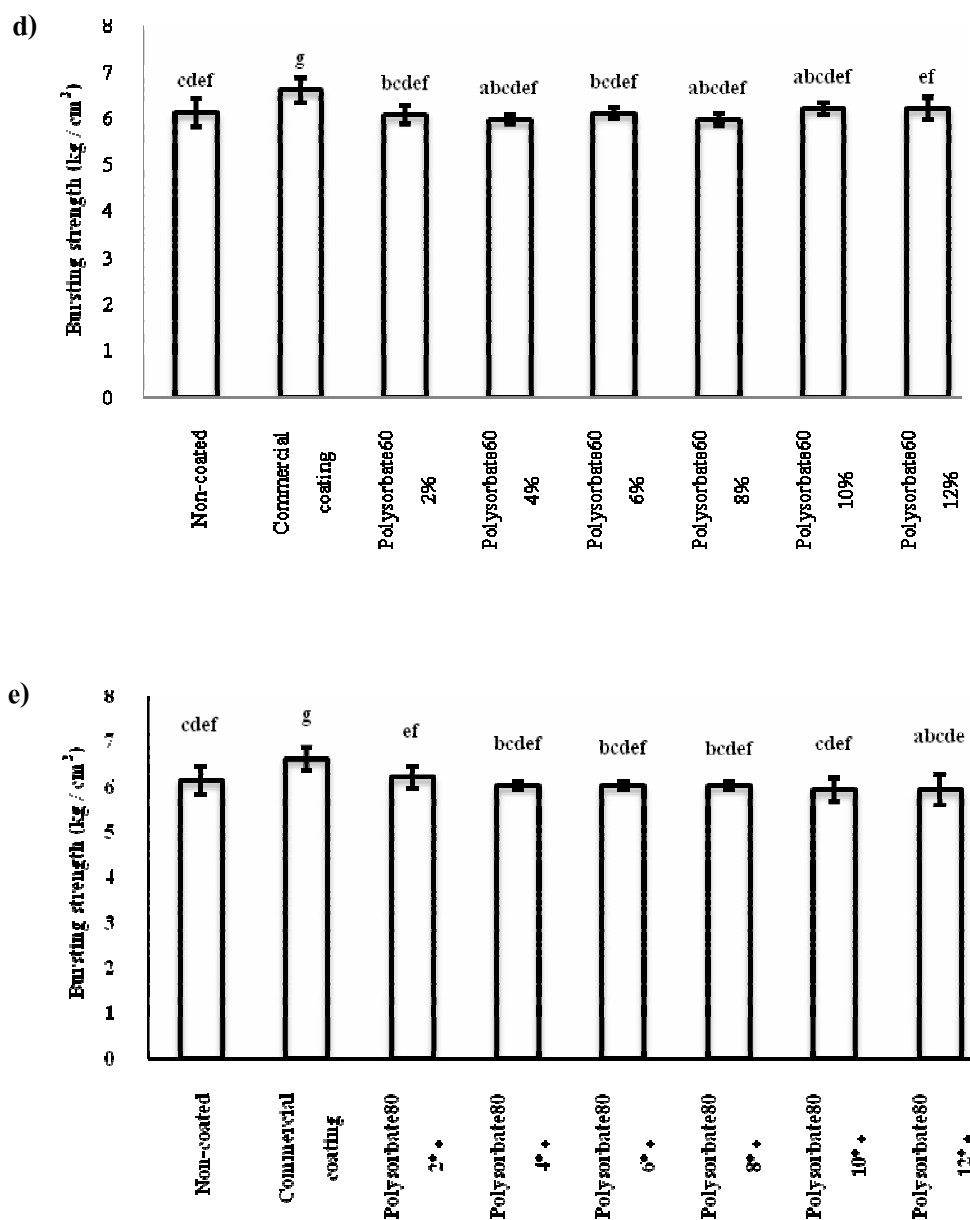


Figure 19. Effect of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating on the bursting strength of coated paperboard; a) Lecithin, b) Gelatin, c) Polysorbate20, d) Polysorbate60 and e) Polysorbate80 (Cont.).

จากการทดลองข้างต้นพบว่า ชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน คือ เจลาตินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 12 เนื่องจากสารเคลือบผิวมีอัลคิเดเรซินมีการกระจายตัวได้ดีในสารละลายสตาร์ช แม้เวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง อีกทั้งกระจายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ผสมด้วยเจลาตินที่ 2 ระดับความเข้มข้นนี้ มีค่า

การดูดซับน้ำใกล้เคียงกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า แต่ให้คุณภาพในการพิมพ์ที่ดีกว่า เมื่อพิจารณาทั้งในด้านคุณภาพของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินและสมบัติของกระดาษที่ผ่านการเคลือบแล้วพบว่าการใช้เจลาตินที่ 2 ระดับความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์หลักในขั้นต่อไป

3. ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรต่อความสามารถในการกระจายตัวและการเข้ากันได้ระหว่างอัลคิเดเรซินทางการค้าและสตาบิไลเซอร์และสมบัติของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

3.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรต่อสมบัติของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน

3.1.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรต่อความหนืดของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินต่อค่าความหนืด พบว่าการใช้แซนแทนกัม เป็นสารให้ความเสถียรจะส่งผลให้สารเคลือบมีความหนืดมากกว่าการใช้โลคัสต์บีนกัมและคาร์ราจีแนน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของแซนแทนกัม ($MW \approx 22.4 \times 10^6 \text{ g/mol}$) มีค่าสูงกว่าโลคัสต์บีนกัม ($MW \approx 310,000 \text{ g/mol}$) และคาร์ราจีแนน ($MW \approx 100,000 \text{ g/mol}$) ซึ่งส่งผลต่อความหนืดของสารเคลือบ โดยเมื่อน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำให้สารเคลือบที่ได้มีความหนืดสูงเช่นกัน และเนื่องจากสารให้ความเสถียรทำหน้าที่เพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์ จึงป้องกันการรวมตัวของอนุภาคในสารละลาย (จันทิมาและคณะ, 2547) (Table 8)

Table 8. Effect of types and concentration of stabilizers on the viscosity of alkyd resin coating.

Types and concentration of stabilizers (%w/w of alkyd resin)	Viscosity (centipoises, cP)
Locust bean gum 1%	8
Locust bean gum 2%	11
Locust bean gum 3%	17
Locust bean gum 4%	20
Locust bean gum 5%	24

Table 8. Effect of types and concentration of stabilizers on the viscosity of alkyd resin coating (Cont.).

Types and concentration of stabilizers (%w/w of alkyd resin)	Viscosity (centipoises, cP)
Carrageenan 1%	9
Carrageenan 2%	9
Carrageenan 3%	10
Carrageenan 4%	10
Carrageenan 5%	11
Xanthan gum 1%	8
Xanthan gum 2%	10
Xanthan gum 3%	13
Xanthan gum 4%	23
Xanthan gum 5%	33

3.1.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรต่อความคงตัวของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน

จากการศึกษาพบว่าชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรมีผลต่อความคงตัวของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน พบว่าการใช้แซนแทนแทนที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ถึง 5 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน เป็นสารให้ความเสถียร สารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ได้มีความคงตัวที่ดีกว่าหรือแยกชั้นน้อยกว่าการใช้โกลด์สตีบีนกัมและคาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ถึง 5 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน (Figure 20) ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ความเสถียร จึงส่งผลให้สารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินมีความหนืดเพิ่มขึ้น และมีความคงตัวที่ดีขึ้น

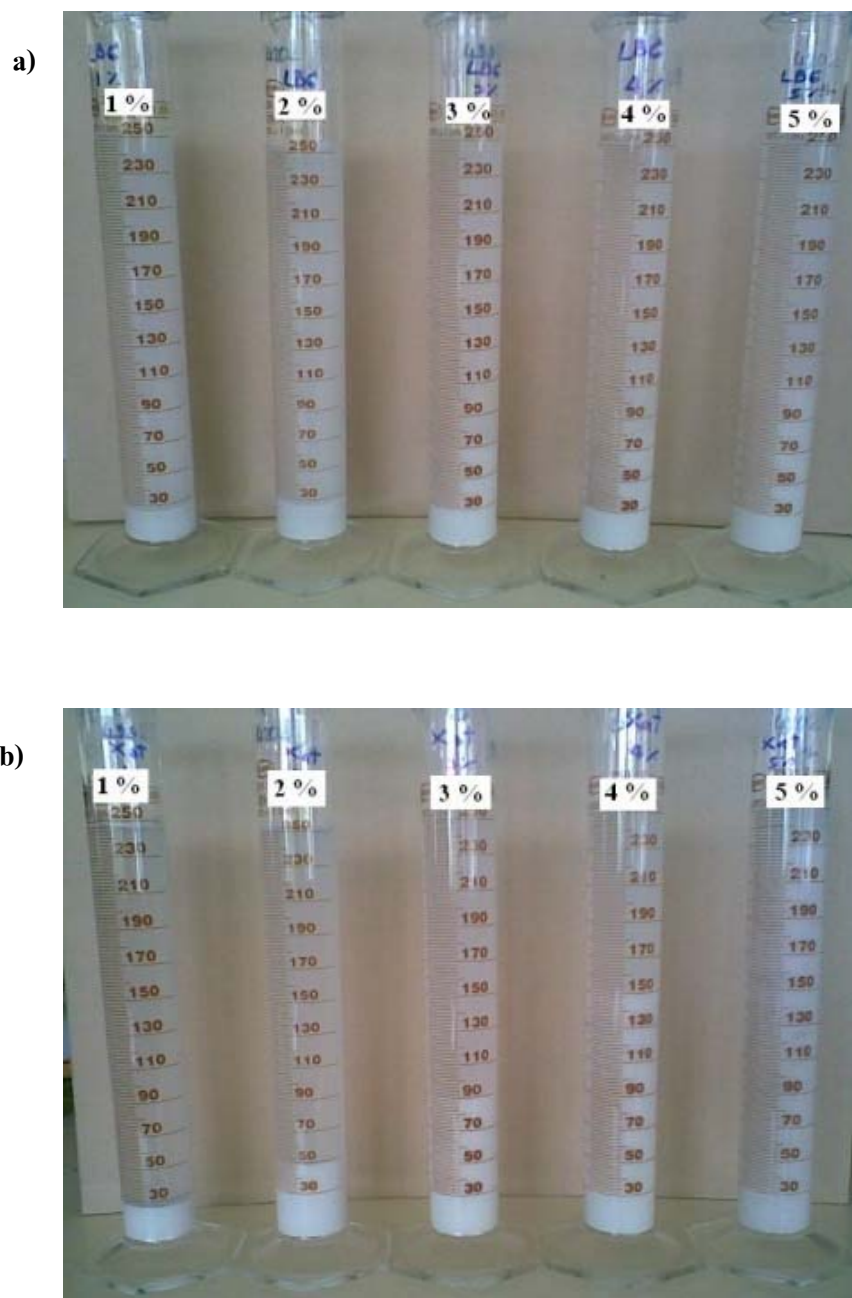


Figure 20. Effect of a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan at various concentrations on the stability of alkyd resin coating.



Figure 20. Effect of a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan at various concentrations on the stability of alkyd resin coating (Cont.).

3.2 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรต่อสมบัติของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

3.2.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรต่อค่าการดูดซับน้ำ (water absorptiveness) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินต่อค่าการต้านทานการดูดซับน้ำของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ พบว่ากระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ใช้โกลด์สตาร์บีนกัมและแซนแทนกัมเป็นสารให้ความเสถียรมีค่าการดูดซับน้ำของกระดาษที่ผ่านการเคลือบสูงกว่าการใช้คาร์ราจีแนนเป็นสารให้ความเสถียร อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของโกลด์สตาร์บีนกัมและแซนแทนกัม ไม่ส่งผลต่อค่าการดูดซับน้ำของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ แต่พบว่าเมื่อความเข้มข้นของคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำของกระดาษที่ผ่านการเคลือบเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้คาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน จะให้ค่าการดูดซับน้ำของกระดาษที่ต่ำ ($25.40 \pm 0.58 \text{ g/m}^2$ และ $25.58 \pm 0.38 \text{ g/m}^2$ ตามลำดับ) โดยมีค่าการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า ($22.2 \pm 1.48 \text{ g/m}^2$) มากที่สุด (Figure 21)

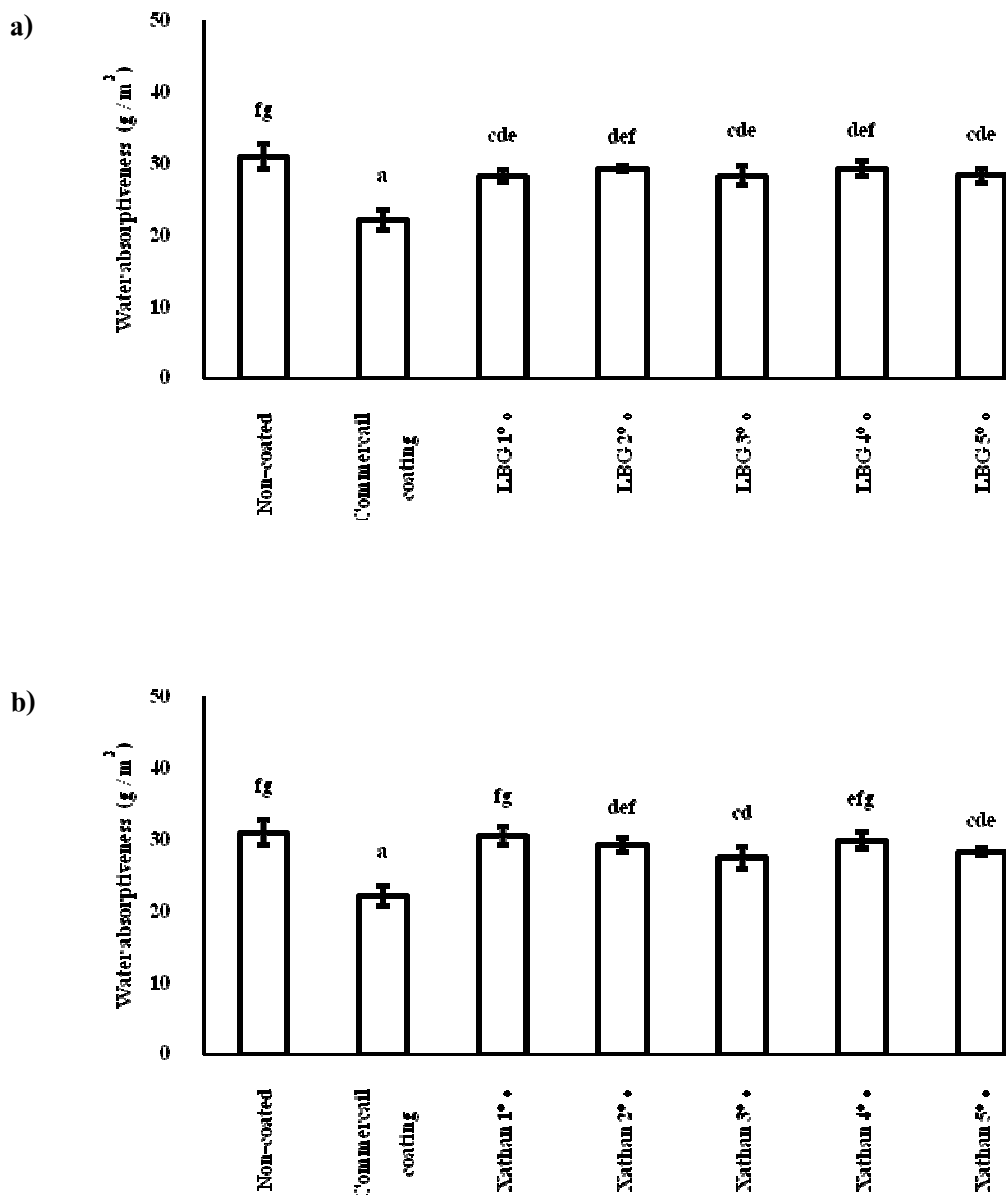


Figure 21. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the water absorptiveness of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.

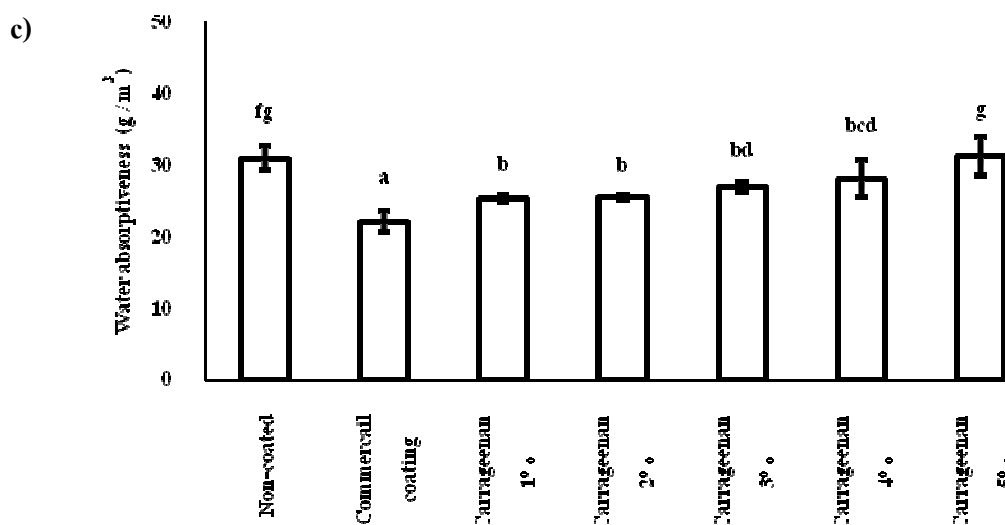


Figure 21. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the water absorptiveness of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan (Cont.).

3.2.2 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรต่อสมบัติการพิมพ์ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

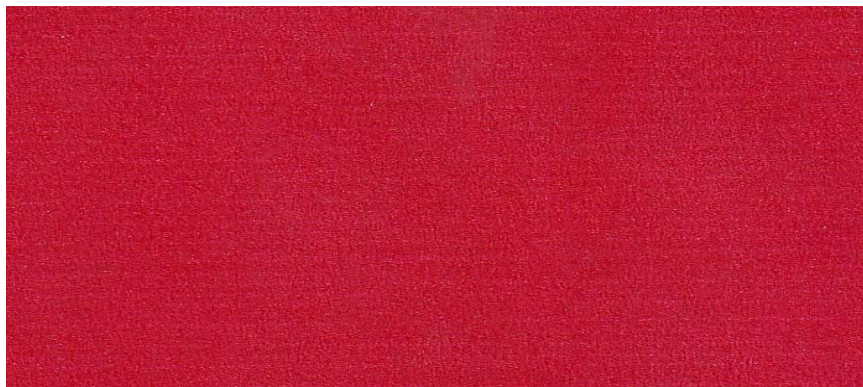
จากการศึกษาผลของความสามารถในการกระจายตัวและการเข้ากันได้ของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน พบว่า การใช้แทนกันที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ถึง 5 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซินสามารถรักษาสภาพการคงตัวของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินได้ดีที่สุด แต่พบว่ามีค่าการดูดซับน้ำที่สูง ($27.49 \pm 1.47 \text{ g/m}^2$, $29.97 \pm 1.23 \text{ g/m}^2$ และ $28.37 \pm 0.45 \text{ g/m}^2$ ตามลำดับ) ซึ่งไม่ตรงกับความต้องการในการนำไปใช้ เนื่องจากจุดประสงค์หลักในการพัฒนาสารเคลือบผิวสำหรับการเคลือบกระดาษในครั้งนี้คือต้องการให้กระดาษที่ผ่านการเคลือบมีความสามารถในการต้านทานการดูดซับน้ำสูง ดังนั้นจึงเลือกใช้คาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน เป็นสารให้ความเสถียรของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน จากนั้นนำกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินไปทดสอบการพิมพ์ พบว่า คุณภาพในการพิมพ์ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่เติมคาร์ราจีแนน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน มีคุณภาพงานพิมพ์ที่ไม่แตกต่างกัน แต่มีความคมชัดกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า (commercial coating) โดยสังเกตได้จากการที่กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าจะเห็นลายแนวกระดาษชัดเจนกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าสารเคลือบผิวจาก

อัลคิเดเรซินช่วยปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษให้มีความเรียบขึ้น จึงส่งผลให้คุณภาพการพิมพ์ดีขึ้น
(Figure 22)

a)



b)



c)



Figure 22. Effect of types and concentrations of stabilizers on the printing ability of coated paper;
a) commercial coating, b) alkyd resin coating contained 1% of Carrageenan and c)
alkyd resin coating contained 2% of Carrageenan.

3.2.3 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรต่อค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength, MPa) ค่าการยืดตัวเมื่อขาด (Elongation at break) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ผสมกับสารให้ความเสถียรชนิดต่าง ๆ จะมีค่าการต้านทานแรงดึงในแนว machine direction (MD) และแนว cross machine direction (CD) ใกล้เคียงกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าและกระดาษที่ไม่เคลือบตามลำดับและค่าการยืดตัวเมื่อขาดในแนว cross machine direction (CD) ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจะพบว่าค่าการยืดตัวเมื่อขาดแนว machine direction (MD) ของกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวจาก อัลคิเดเรซินมีค่าสูงกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าและกระดาษที่ไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจากสารที่นำมาใช้เป็นสารให้ความเสถียร มีสมบัติเป็นสารยึด และช่วยในการประสานเส้นใยจึงส่งผลให้กระดาษที่ผ่านการเคลือบมีค่าการยืดตัวเมื่อขาดมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่อปริมาณสารให้ความเสถียรที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินไม่ส่งผลต่อค่าการต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัวเมื่อขาดทั้งแนว MD และ CD (Figure 23-26)

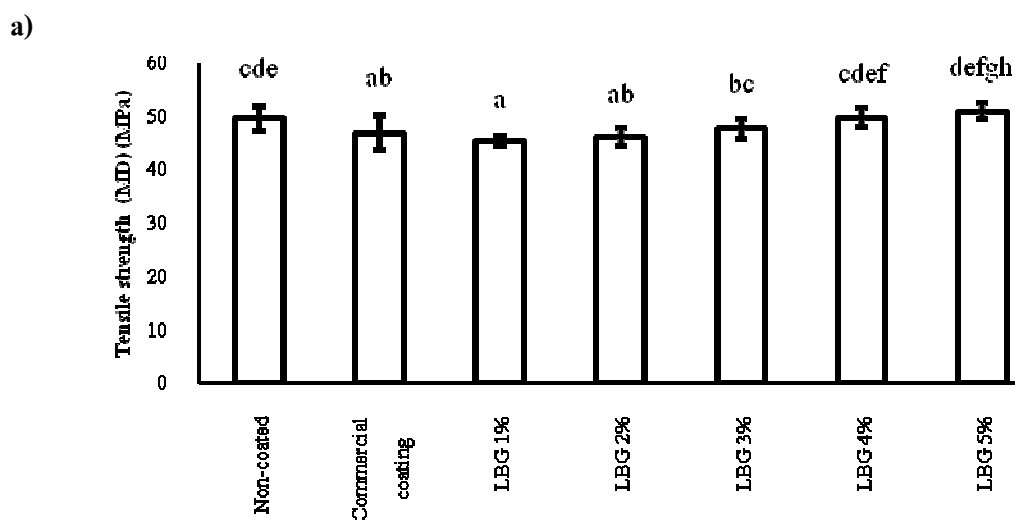
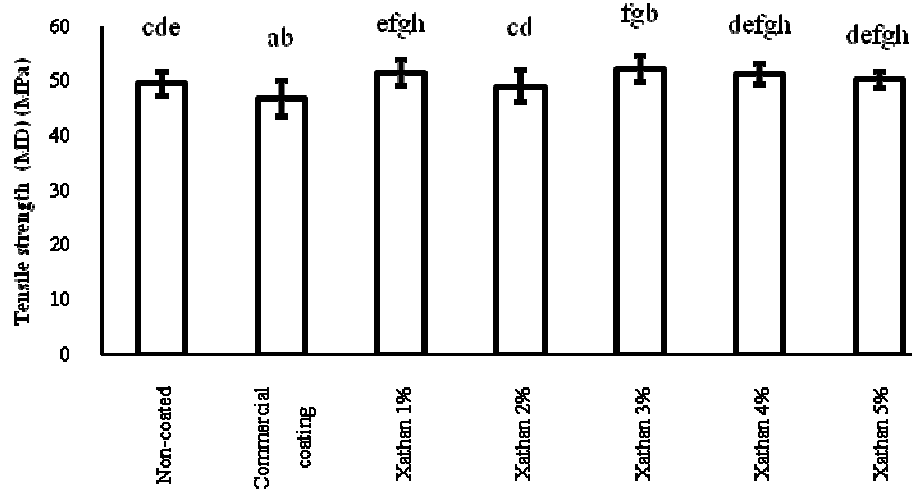


Figure 23. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.

b)



c)

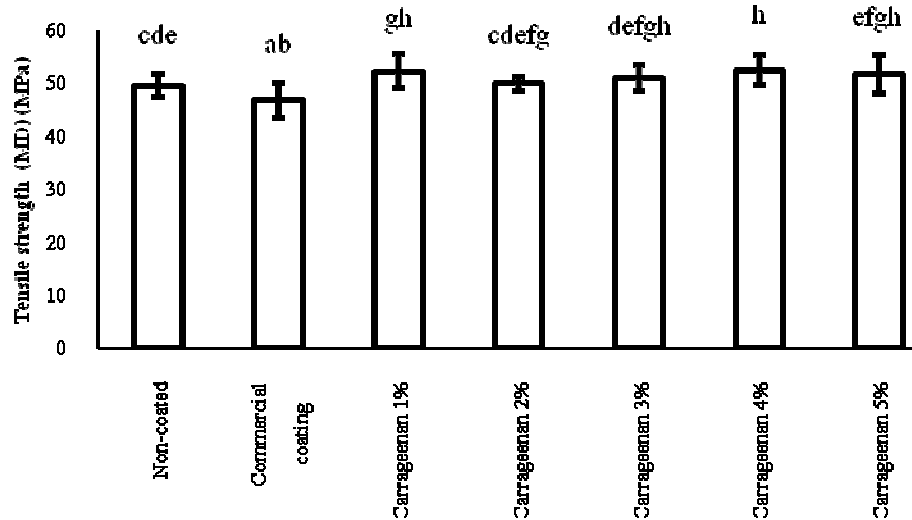


Figure 23. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan (Cont.).

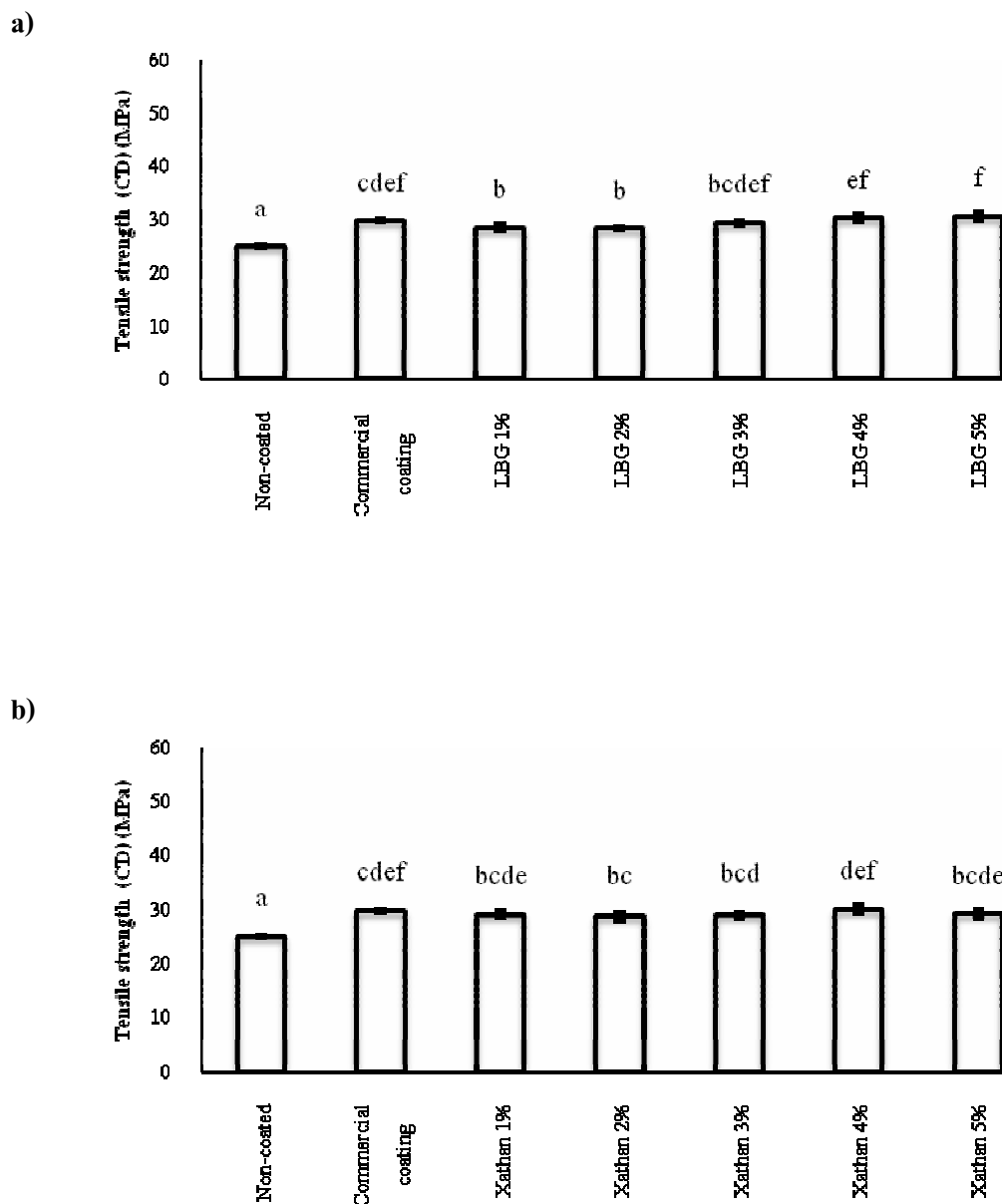


Figure 24. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.

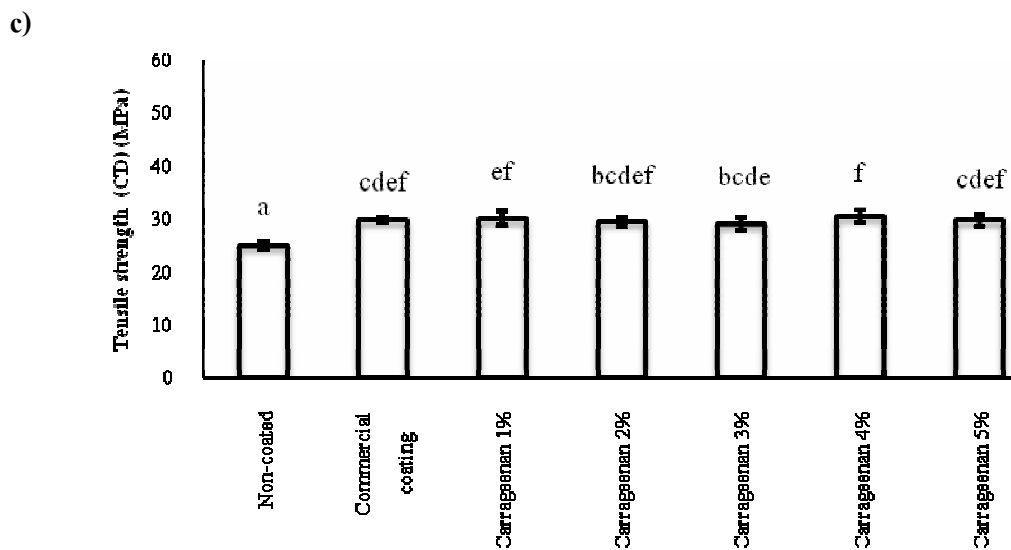


Figure 24. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan (Cont.).

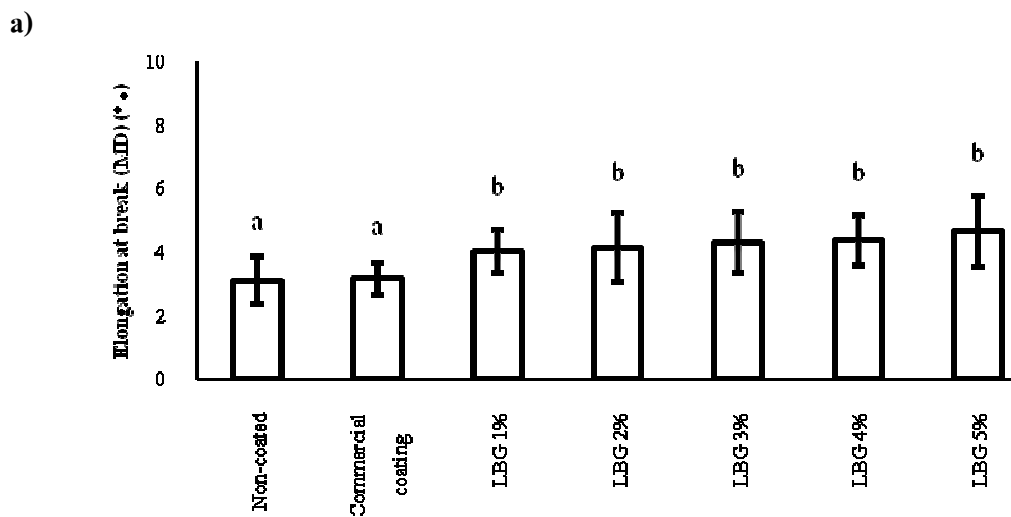
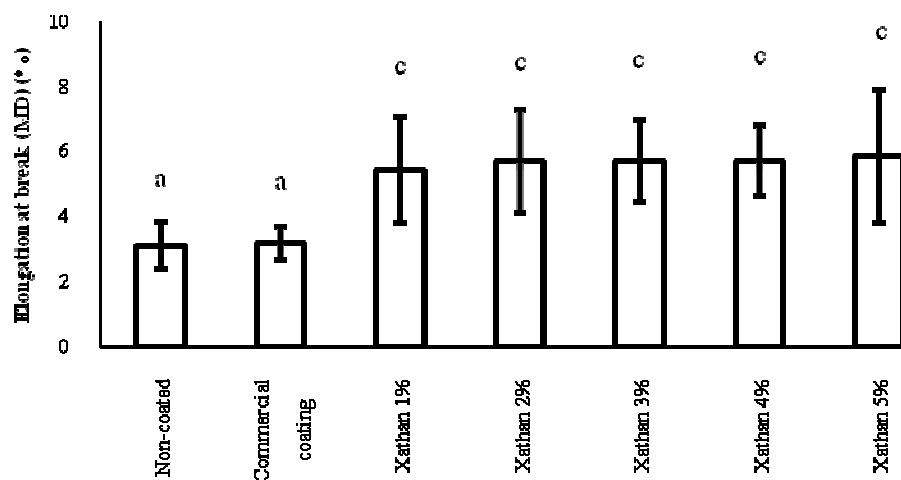


Figure 25. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.

b)



c)

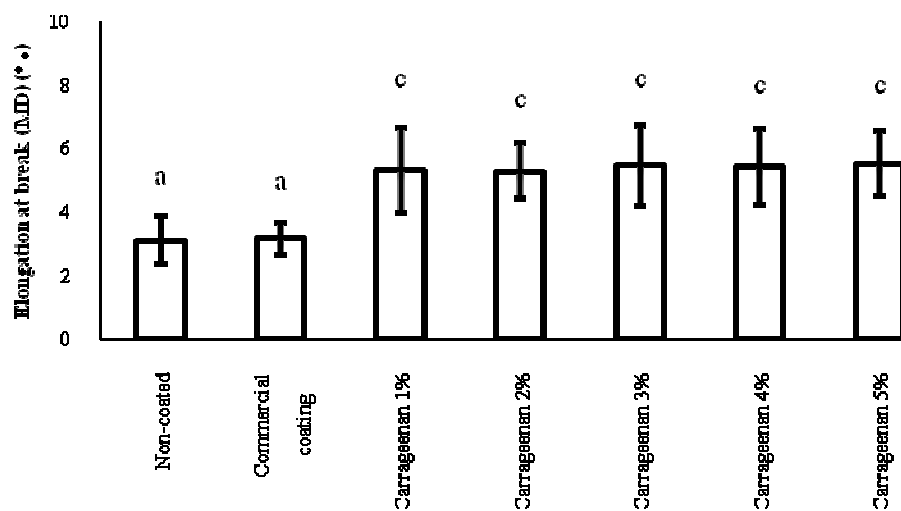


Figure 25. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (machine direction; MD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan (Cont.).

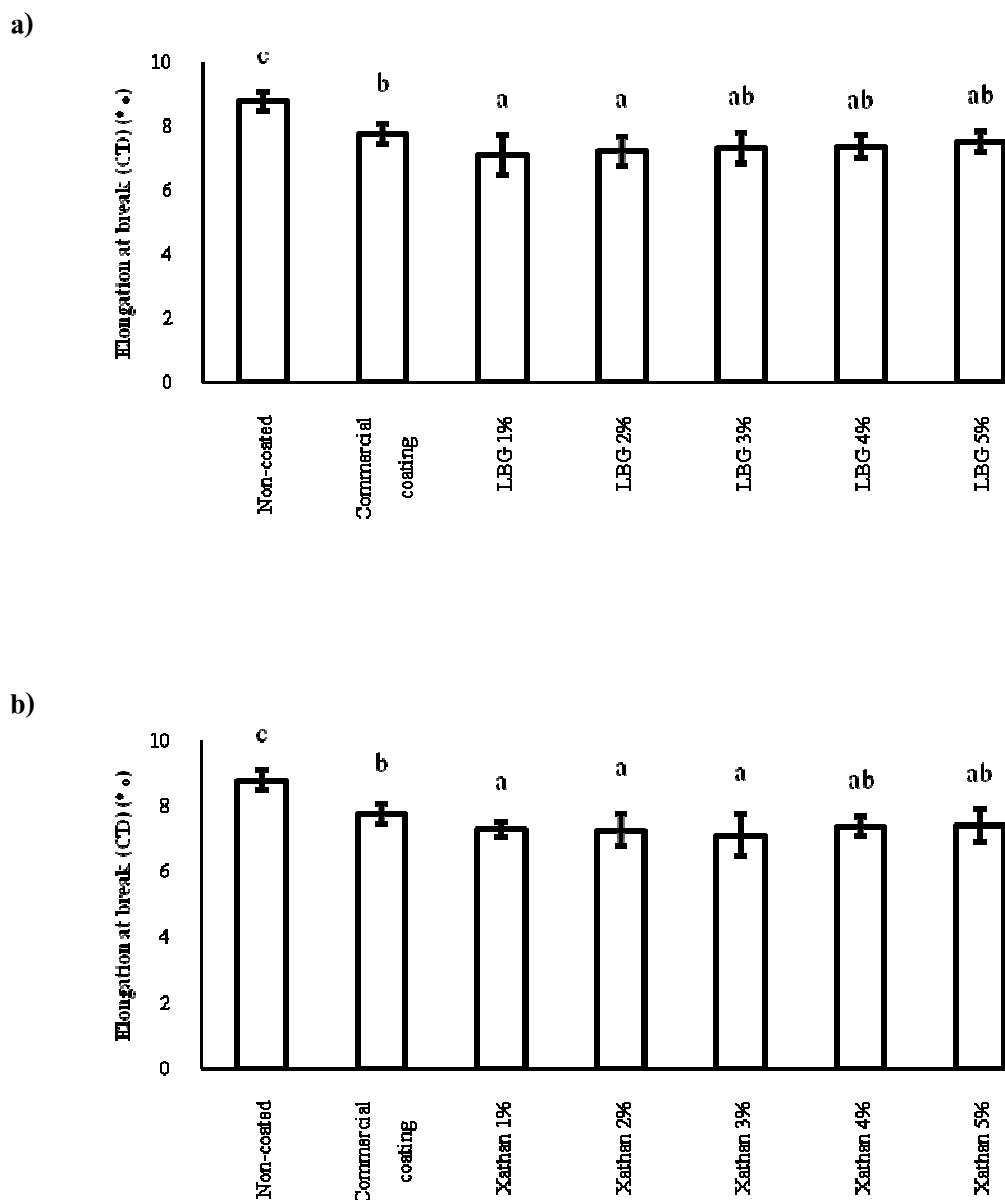


Figure 26. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.

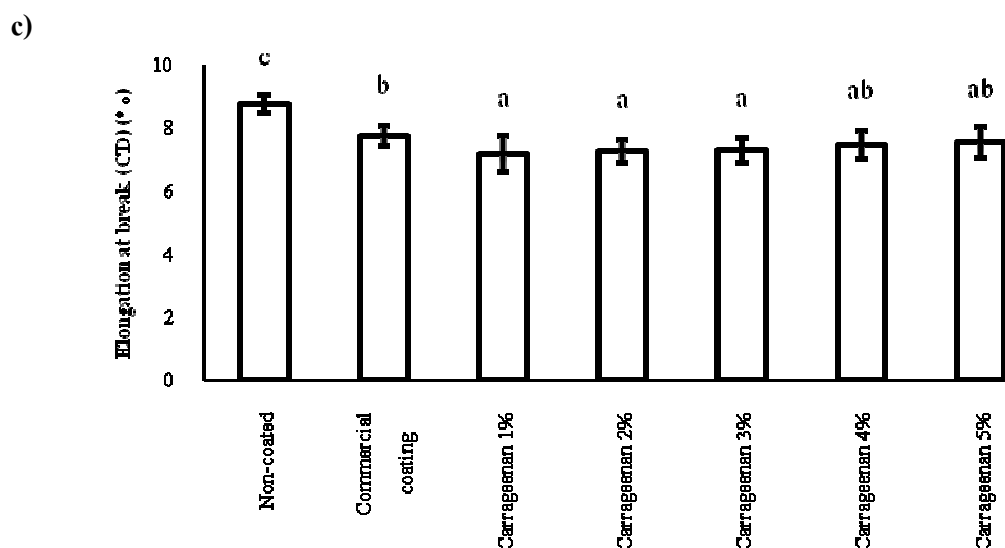


Figure 26. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the elongation at break (E) (cross machine direction; CD) of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan (Cont.).

3.2.4 ผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรต่อค่าการต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินต่อค่าการต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ พบว่าชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรในสารเคลือบผิวไม่มีผลต่อค่าการต้านทานแรงดันทะลุอย่างมีนัยสำคัญและไม่มีความแตกต่างกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ อย่างไรก็ตามค่าการต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้ามีแนวโน้มที่สูงกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ทำการศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลือบกระดาษด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินไม่ส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ (Figure 27)

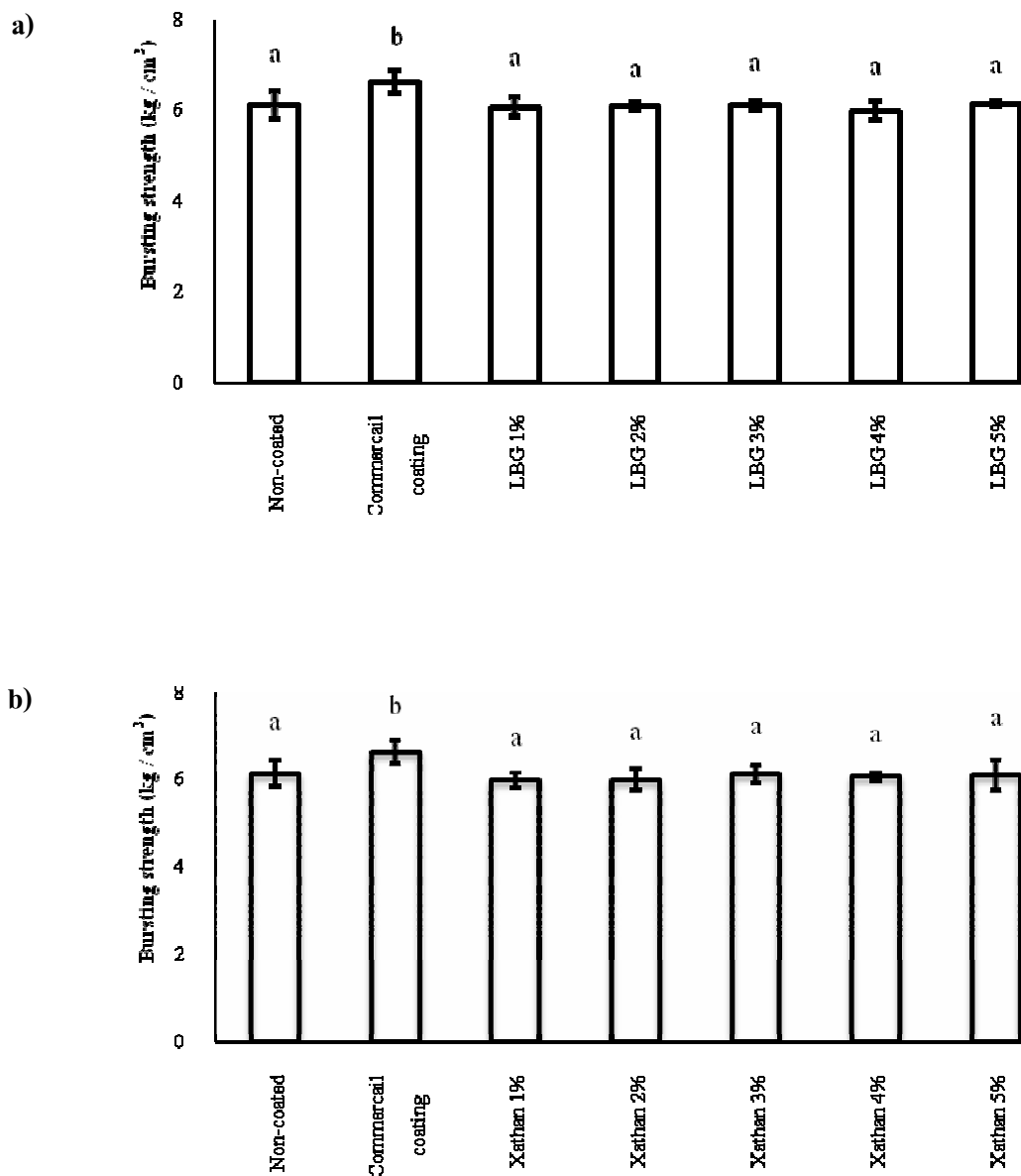


Figure 27. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the bursting strength of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan.

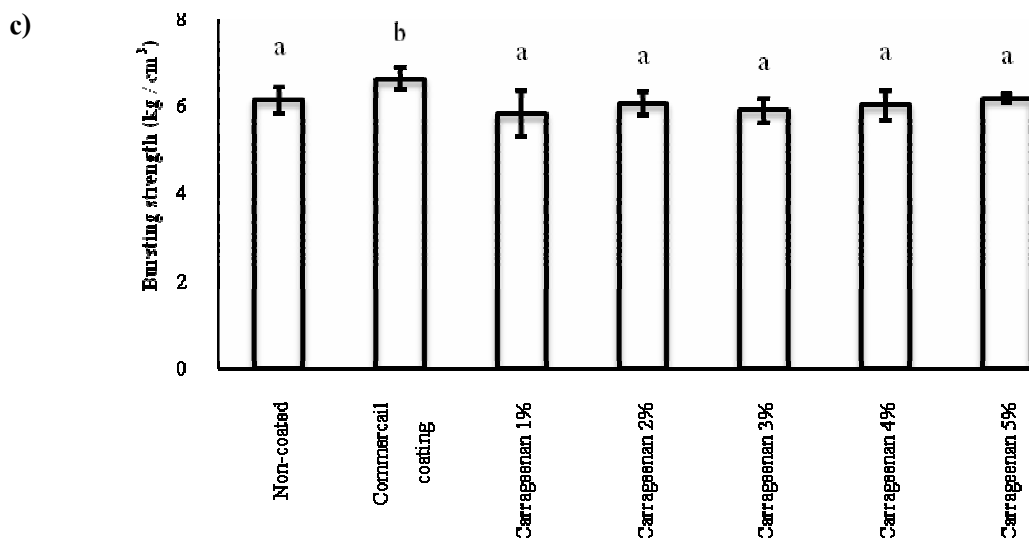


Figure 27. Effect of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating on the bursting strength of coated paperboard; a) Locust bean gum, b) Xanthan gum and c) Carrageenan (Cont.).

จากการทดลองข้างต้น พบว่า ชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน คือ คาร์ราจีแนนที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 เนื่องจากกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่ผสมด้วยคาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับนี้ มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า และมีคุณภาพในการพิมพ์ที่ดีกว่า เมื่อพิจารณาจากสมบัติของกระดาษที่ผ่านการเคลือบแล้วพบว่า การใช้คาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกคาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นสารให้ความเสถียรหลัก เพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

4. ผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อความสามารถในการกระจายตัวและการเข้ากันได้ระหว่างอัลคิเรซินทางการค้าและสตาร์ชตัดแปร

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรข้างต้น พบว่าสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียร 2 ชนิดที่ส่งผลดีที่สุดต่อสมบัติของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ คือ เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของอัลคิเรซินและเลซิดินที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของอัลคิเรซิน สำหรับสารให้ความเสถียรที่คัดเลือก คือ คาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของอัลคิเรซินและแซนแทนกัมที่ความเข้มข้น

ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของอัลคิเดเรซิน ดังนั้นการทดลองขั้นตอนต่อไป คือ ศึกษาผลร่วมของ สารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อสมบัติของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน โดยสัดส่วนของการผสมของสารทั้ง 4 ชนิด แสดงดัง Table 9

Table 9. Experiment of combination between emulsifiers and stabilizers formulated in alkyd resin coating.

Treatment	Lecithin 6 % of alkyd resin	Gelatin 10% of alkyd resin	Carrageenan 1% of alkyd resin	Xathan gum 3% of alkyd resin
M1	1	-	1	-
M2	-	1	-	1
M3	-	1	1	-
M4	1	-	-	1
M5	1	-	0.5	0.5
M6	-	1	0.5	0.5
M7	0.5	0.5	1	-
M8	0.5	0.5	-	1
M9	0.5	0.5	0.5	0.5

4.1 ผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อสมบัติของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน

4.1.1 ผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อความเหนียวของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน

จากการศึกษาผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อความเหนียวของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินต่อ พบว่า สารเคลือบผิวที่ผสมกับสัดส่วน M4 ส่งผลให้สารเคลือบมีความเหนียวมากที่สุด รองลงมาคือ สารเคลือบผิวที่ผสมกับสัดส่วน M9 และ M6 ตามลำดับ (Table 10)

Table 10. Effect of types and concentration of combination between emulsifiers and stabilizers on the viscosity of alkyd resin coating.

Types and concentration of combination between emulsifiers and stabilizers (%w/w of alkyd resin)	Viscosity (centipoises, cP)
M1	15
M2	20
M3	9
M4	50
M5	19
M6	24
M7	13
M8	18
M9	35

4.1.2 ผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อความคงตัวของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซิน

ผลของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินที่ผสมด้วยสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรตามสัดส่วนใน Table 10 หลังจากวางทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง พบว่า ลักษณะปรากฏของสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินมีลักษณะดังต่อไปนี้ สัดส่วน M1 มีลักษณะขุ่น เห็นว่าการตกตะกอนชัดเจน สัดส่วน M2 มีลักษณะใส มีปริมาณตะกอนสูง สัดส่วน M3 มีลักษณะใส มีปริมาณตะกอนน้อยกว่า M2 สัดส่วน M4 มีลักษณะขุ่น มีส่วนที่เป็นสารละลายใสเพียงเล็กน้อยอยู่ด้านบน สัดส่วน M5 มีลักษณะขุ่น มีปริมาณตะกอนสูงกว่า M1 สัดส่วน M6 มีลักษณะขุ่น และบริเวณด้านบนจะมีความโปร่งแสงมากกว่าด้านล่าง สัดส่วน M7 มีลักษณะเกือบใส เห็นการตกตะกอนชัดเจน สัดส่วน M8 เกิดการแยกตัว 2 ลักษณะ คือ มีบางส่วนลอยขึ้นไปด้านบน และบางส่วนตกตะกอนอยู่ด้านล่าง สัดส่วน M9 มีลักษณะขุ่น มีส่วนที่เป็นสารละลายใสอยู่ด้านบน ผลการทดลองดังกล่าวอาจสรุปได้ว่า สัดส่วน M4 (เลซีติน 6 % : แชนแทนกัม 3 %; 1 : 1) M9 (เลซีติน 6 % : เจลาติน 10 % : คาร์ราจีแนน 1% : แชนแทนกัม 3 %; 0.5 : 0.5 : 0.5 : 0.5) และ M6 (เจลาติน 10% : คาร์ราจีแนน 1% : แชนแทนกัม 3 %; 1 : 0.5 : 0.5) มีความสามารถในการคงตัวที่ดีตามลำดับ

เนื่องจากการที่เติมสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรที่สัดส่วนของสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรดังกล่าว (M4 M6 และM9) ในสารเคลือบผิวจากอัลทิดเรซินแล้ว เกิดการแยกชั้นน้อยกว่าการใช้สัดส่วนอื่น ๆ ตามลำดับ

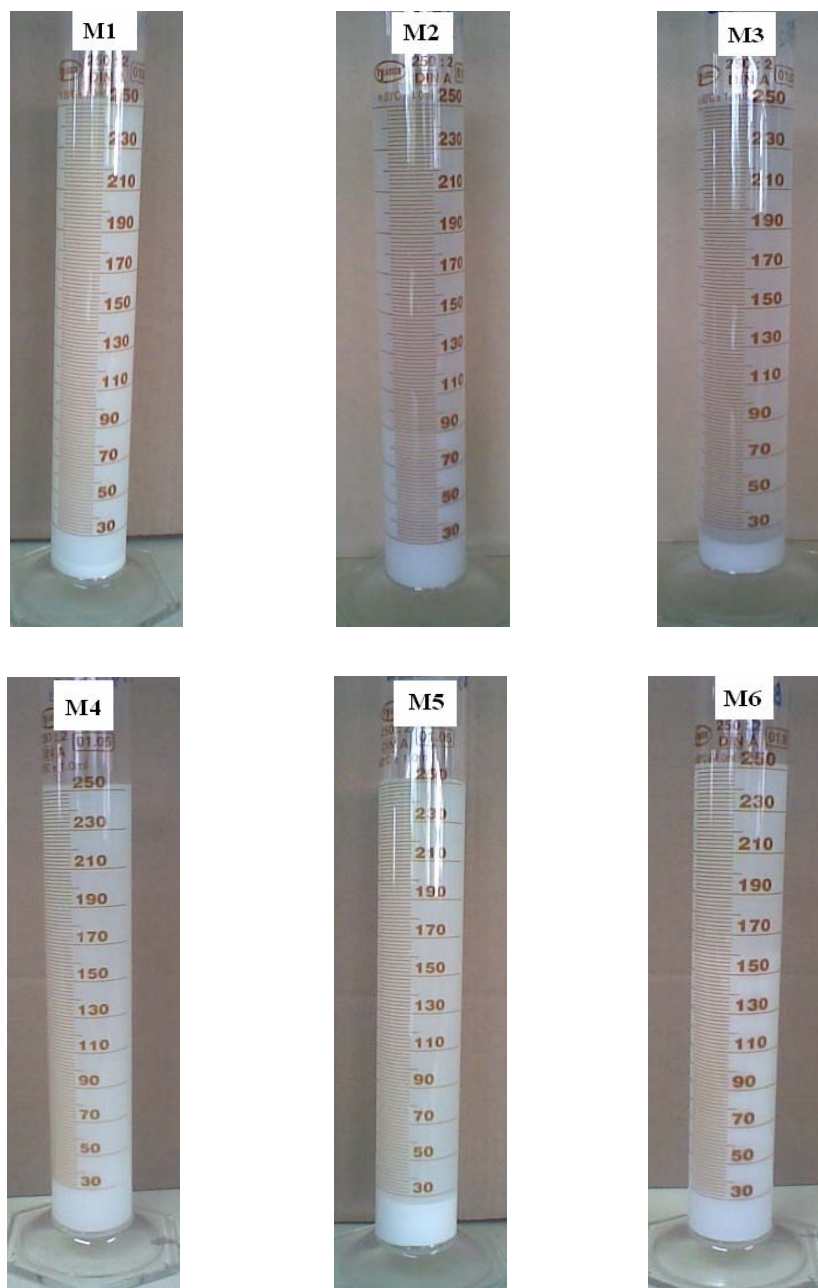


Figure 28. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the stability of alkyd resin coating.

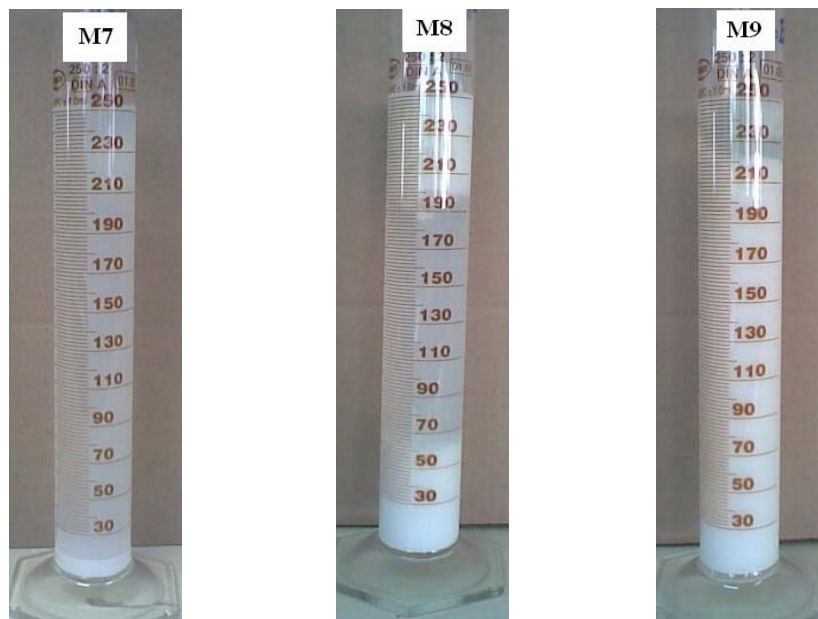


Figure 28. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the stability of alkyd resin coating (Cont.).

4.2 ผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อสมบัติของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

4.2.1 ผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อค่าการดูดซับน้ำ (water absorptiveness) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

จากการศึกษาผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรที่เดิมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเดเรซินต่อค่าการดูดซับน้ำ (water absorptiveness) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ พบว่า สารเคลือบผิวที่ผสมกับสัดส่วน M2 (เจลาติน 10% : แซนแทนกัม 3%; 1 : 1) และ M3 (เจลาติน 10% : คาร์ราจีแนน 1%; 1 : 1) จะให้ค่าการดูดซับน้ำที่ต่ำกว่าการผสมกับสัดส่วนอื่น (ค่าการดูดซับน้ำของสัดส่วน M2 และ M3 มีค่า $25.40 \pm 0.58 \text{ g/m}^2$ และ $27.49 \pm 1.47 \text{ g/m}^2$ ตามลำดับ) โดยจะมีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า ($22.20 \pm 1.48 \text{ g/m}^2$) (Figure 29)

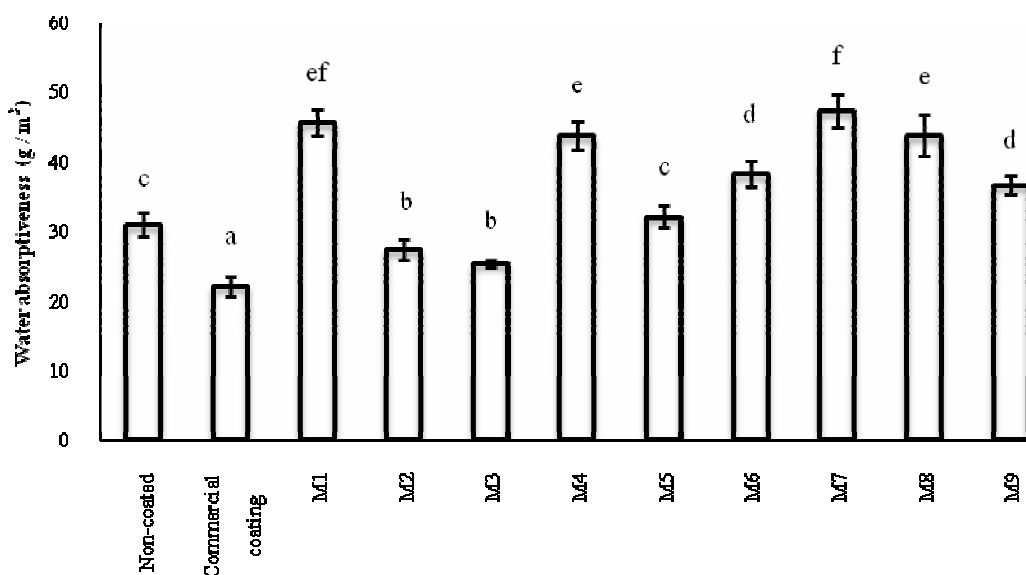


Figure 29. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the water absorbiveness of coated paperboard.

4.2.2 ผลของชนิดและปริมาณสารให้ความเสถียรต่อสมบัติการพิมพ์ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

จากการศึกษาผลของความสามารถในการกระจายตัวและการเข้ากันได้ของสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซิน พบว่า สารเคลือบผิวที่เตรียมโดยใช้สารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรในสัดส่วน M4 M9 และ M6 มีความสามารถในการคงตัวที่ดี แต่มีค่าการดูดซับน้ำสูง ($48.80 \pm 1.99 \text{ g/m}^2$, $36.73 \pm 1.42 \text{ g/m}^2$ และ $45.19 \pm 2.63 \text{ g/m}^2$ ตามลำดับ) ซึ่งไม่ตรงกับจุดประสงค์หลักในการพัฒนาสารเคลือบผิวสำหรับเคลือบกระดาษคือต้องการให้กระดาษที่ผ่านการเคลือบมีสมบัติในการต้านทานน้ำได้ดี ดังนั้นจึงเลือกใช้กระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซินที่เตรียมโดยใช้สัดส่วน M2 และ M3 ไปทดสอบการพิมพ์ พบว่ากระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซินที่เตรียมโดยใช้สัดส่วน M2 และ M3 มีคุณภาพงานพิมพ์ที่ไม่แตกต่างกัน แต่มีความคมชัดกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า (commercial coating) โดยสังเกตได้จากการที่กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าจะเห็นลายแนวกระดาษชัดเจนกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซิน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซินช่วยปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษให้มีความเรียบขึ้น จึงส่งผลให้คุณภาพการพิมพ์ดีขึ้น (Figure 30)

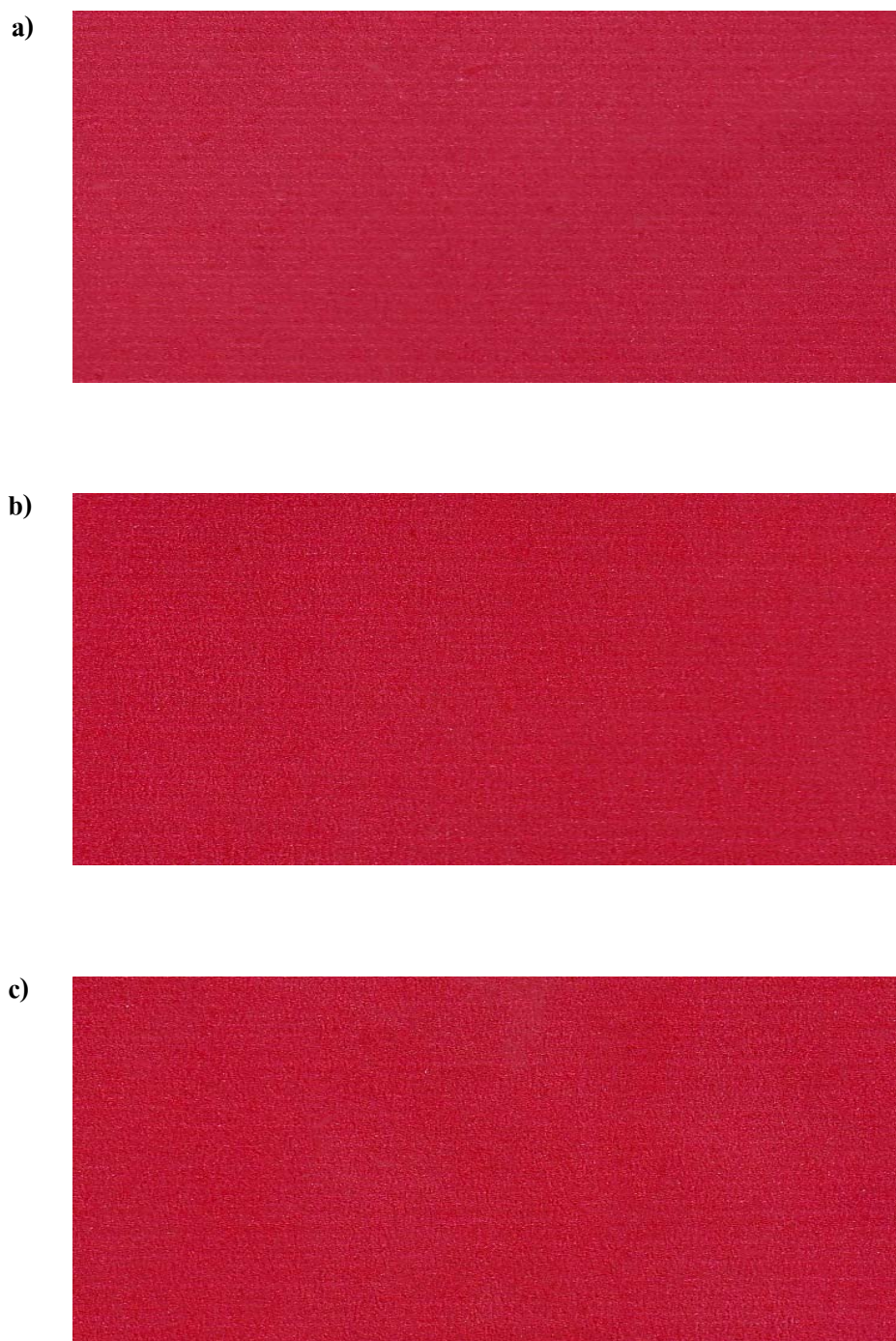


Figure 30. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on printing ability of coated paper; a) commercial coating, b) M2 and c) M3.

4.2.3 ผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength, MPa) ค่าการยืดตัวเมื่อขาด (Elongation at break) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบจากการศึกษากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิลเรซินที่เติมสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่า ค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength, MPa) ในแนว machine direction (MD) มีค่าอยู่ในช่วง 46.83 ± 2.19 ถึง 52.19 ± 2.38 MPa และแนว cross machine direction (CD) มีค่าอยู่ในช่วง 46.83 ± 2.19 ถึง 52.19 ± 2.38 MPa สำหรับค่าการยืดตัวเมื่อขาดแนว machine direction (MD) และแนว cross direction (CD) มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่เติมสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรในสัดส่วน M2 และ M3 จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสัดส่วน M2 และ M3 จะมีค่าการยืดตัวเมื่อขาดแนว MD เท่ากับ $5.70 \pm 0.66\%$ และ $5.33 \pm 0.79\%$ ตามลำดับ และค่าการยืดตัวเมื่อขาดแนว CD เท่ากับ $7.12 \pm 0.64\%$ และ $7.21 \pm 0.56\%$ ตามลำดับ (Figure 31-34)

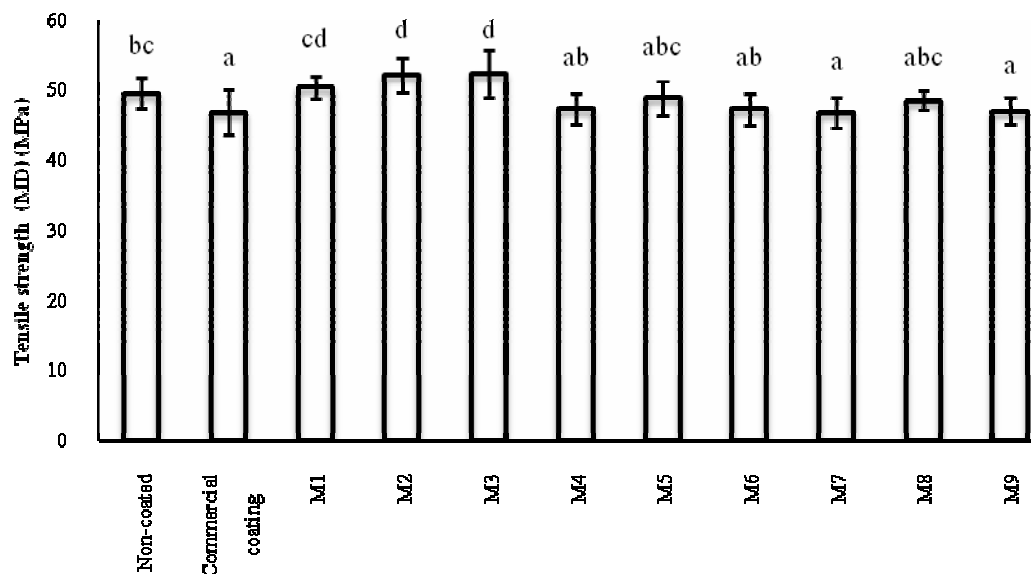


Figure 31. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of coated paperboard.

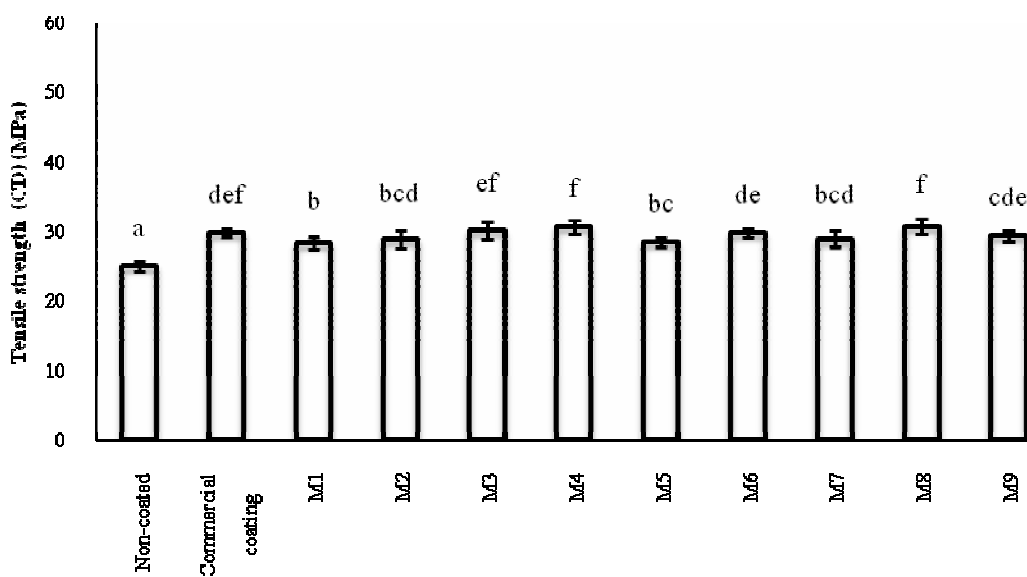


Figure 32. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of coated paperboard.

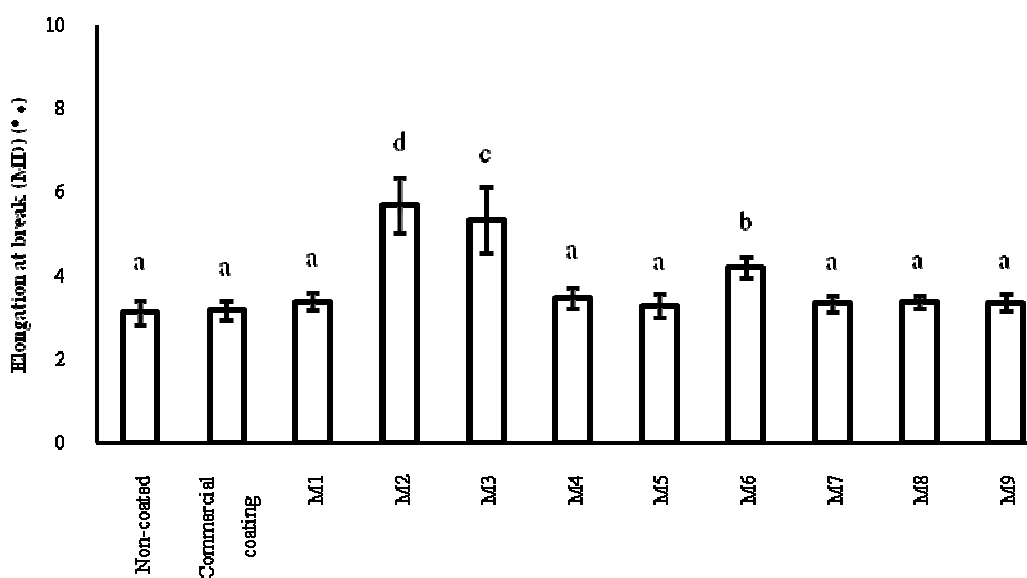


Figure 33. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the elongation at break (E) (machine direction; MD) of coated paperboard.

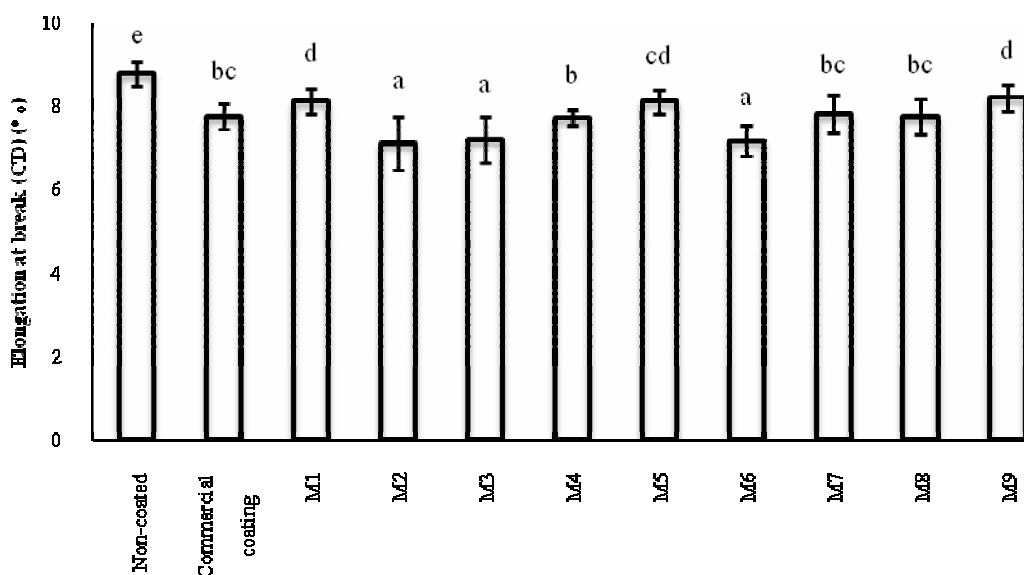


Figure 34. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the elongation at break (E) (cross machine direction; CD) of coated paperboard.

4.2.4 ผลร่วมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อค่าการต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ

จากการศึกษาผลร่วมของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิลเรซินต่อค่าการต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ พบว่าชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรในสารเคลือบผิวไม่มีผลต่อค่าการต้านทานแรงดันทะลุอย่างมีนัยสำคัญและไม่มีความแตกต่างกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าและกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลือบกระดาษด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิลเรซินไม่ส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ (Figure 35)

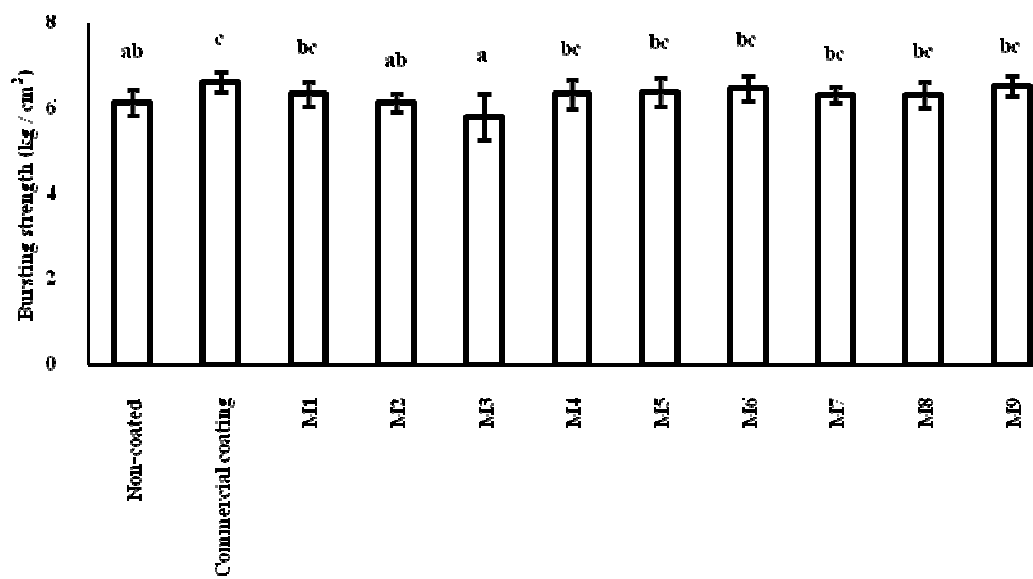


Figure 35. Effect of combination between emulsifiers and stabilizers on the bursting strength of coated paperboard.

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การใช้เจลาตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของอัลคิเรซินเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ส่งผลให้สารเคลือบผิวที่ได้มีการกระจายตัวที่ดี อีกทั้งกระดาษที่ผ่านการเคลือบมีค่าการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกับการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า แต่ให้คุณภาพการพิมพ์ที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซินไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัวเมื่อขาดทั้งแนว MD และ CD และค่าต้านทานแรงดันทะลุ

กระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซินที่ใช้คาร์ราจีแนนความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของอัลคิเรซินเป็นสารให้ความเสถียร พบว่ามีค่าการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า แต่ให้คุณภาพการพิมพ์ที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซินไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัวเมื่อขาดทั้งแนว MD และ CD และค่าต้านทานแรงดันทะลุ

ในการศึกษาผลรวมของสารอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความเสถียรต่อความคงตัวของสารเคลือบผิว พบว่าสารเคลือบผิวที่ใช้เลขดินที่ร้อยละ 6 และแซนแทนกัมที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของอัลคิเรซิน ในสัดส่วน 1 : 1 ให้ความคงตัวดีที่สุด และการใช้เจลาตินที่ร้อยละ 10 และคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของอัลคิเรซิน ในสัดส่วน 1:1 จะให้ค่าการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า แต่ให้คุณภาพการพิมพ์ที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดและปริมาณของสารให้ความเสถียรที่เติมในสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซินไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการต้านทานแรงดึงทั้งแนว MD และ CD และค่าต้านทานแรงดันทะลุ แต่ส่งผลต่อค่าการยืดตัวเมื่อขาดแนว MD และ CD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สำหรับข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากการดูดซับน้ำของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากอัลคิเรซินมีค่าสูงกว่ากระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า ดังนั้นควรที่จะเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของอัลคิเรซิน โดยคาดว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานการดูดซับน้ำได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- เกษมศรี วงศ์เลิศวิทย์. 2540. เลซีทีน สารมหัศจรรย์ละลายไขมัน. เจริญวิทย์การพิมพ์. กรุงเทพฯ
- จันทิมา ภูงามเงิน, นภาพร เชี่ยวชาญ และสุวิษ ศรีวัฒน โยธิน 2547. ผลของสารเพิ่มความคงตัวบางชนิดต่อคุณภาพน้ำกะทิไขมันสูงบรรจุกระป๋อง. ว.วิจัยและพัฒนา มจร. 27,3 : 375-390.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. โรงพิมพ์การศาสนา. กรุงเทพฯ
- ปุ่น และสมพร คงเจริญเกียรติ. 2542. บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรมและสมาคมการบรรจุภัณฑ์ไทย. บริษัทแพคเมทส์จำกัด. กรุงเทพฯ
- พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, มณฑิรา นพรัตน์, อากรณ์ วงษ์วิจารณ์, ปิยะวรรณ เจริญเลิศกุล และรริศรา อิมภาประเสริฐ. 2548. ผลของสารอิมัลซิไฟเออร์และสเตบิลไลเซอร์บางชนิดต่อคุณภาพของนมถั่วเหลือง. อาหาร. 35,3 : 211-219.
- วรรณิ อุโพบูรณ์. 2547. การเลือกใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ในอุตสาหกรรม. ว.กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 52 : 38-40.
- วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2538. เลซีทีน (Lecithin) อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ. อาหาร 25, 2 (เม.ย.-มิ.ย. 38) : 136-137.
- ศิวาพร ศิวเวชช. 2529. วัตถุประสงค์อาหาร--การเจือปนและการตรวจสอบ ว.เกษตรก้าวหน้า 7,4 (ก.ค.-ส.ค. 35) : 65-70.
- สนทยา ลิ้มมัทวาทิรัตน์. 2544. แคปซูล (capsules). ใน เอกสารประกอบการเรียนรายวิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม2. ภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสารยัดสำหรับสีและวาร์นิช : แอลซิคเรซิน (มอก.285). กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ

เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล. 2534. เคมีอาหารเบื้องต้น. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะ
ทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หน้า 158.

อรอุษา สรวารี. 2544. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแล็กเกอร์). พิมพ์ครั้งที่ 2 โรงพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 7-9. กรุงเทพฯ

Aaron Engineered Process Equipment. Viscosity conversion chart (online). Available at
[http://www.pauloabbe.com/productLines/doubleArmSigmaBladeMixers/viscosityCon
versionChart.html](http://www.pauloabbe.com/productLines/doubleArmSigmaBladeMixers/viscosityConversionChart.html) (17 May 2008)

Alais, C. and Linden, G. 1991. Food Biochemistry. Ellis Horwood Ltd. New York.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 1995. Alkyd resin structure : Lewis, in
Paint and Coating Testing Manual, 14th ed. (Koleske, J., ed.). p. 190-208.
Philadelphia. PA.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 1982. Standard test methods for bursting
strength of paper and paperboard D 774-67. *In Annual Book of American Standard
Testing method, Vol 20, p. 424-427. Philadelphia. PA.*

American Society for Testing and Materials (ASTM). 1980. Standard Test Method for Color of
Transparent Liquids (Gardner Color Scale), D-1544. *In Annual Book of American
Standard Testing Methods, p. 264-265. Philadelphia. PA.*

American Society for Testing and Materials (ASTM). 1982. Standard test methods for tensile
properties of thin plastics sheeting D 882-91. *In Annual Book of American Standard
Testing Methods, Vol 8.01, p. 182-190. West Conshohocem. PA.*

A.O.A.C. 1999. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical
Chemists. 16th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Inc.

- Ayorinde, F. O., Gelain, S. V., Johnson, J. H., Jr., Wan, L.W. 2000. Analysis of some commercial polysorbate formulations using matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 22 : 2116–2124.
- Chou, D. K., Krishnamurthy, R., Randolph, T. W., Carpenter, J. F. and Manning, M. C. 2005. Effects of Tween20 and Tween80 on the stability of Albutropin during agitation. *J. Pharm. Sci.* 94 : 1368–81.
- Griffin, W. C: 1954. Calculation of HLB Values of Non-Ionic Surfactants. *J. Soc. Cosmet. Chem.* 5 : 259.
- Kamande, G. M., Baah, J., Cheng, K. J., McAllister, T. A. and Shelford, J. A. 1999. Effects of Tween 60 and Tween 80 on Protease Activity, Thiol Group Reactivity, Protein Adsorption and Cellulose Degradation by Rumen Microbial Enzymes. *J. Dairy Sci.* 83,3 : 536-542.
- Lal, S.N.D., Connor, C.J. and Eyres, L. 2006. Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology. *Adv. Colloid Interface Sci.* 123-126 : 433-437.
- Lee, D. H., Kim, E. S. and Chang, H. W. 2005. Effect of Tween surfactant components for remediation of toluene-contaminated groundwater. *J. Geosci.* 9 : 261-267.
- London South Bank University. Locust bean gum (online). Available at <http://www.lsbu.ac.uk/water/hyloc.html> (17 May 2008)
- London South Bank University. Xanthan gum (online). Available at <http://www.lsbu.ac.uk/water/hyxan.html> (17 May 2008)
- London South Bank University. Gelatin (online). Available at <http://www.lsbu.ac.uk/water/hygel.html> (17 May 2008)
- Patton, T. C. 1962. *Alkyd Resin Technology*. Wiley & Sons. New York.

- Piculell, L. 1995. Gelling Carrageenans. *In* Food Polysaccharides and Their Applications; (Stephens, A., ed.). p 205-244. Marcel Dekker. New York.
- Robertson, G.L. 1993. Paper and paper-based packaging materials. *In* Food packaging, principles and practice. p 12. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Sun, Q., Schork, F. J. and Deng, Y. 2007. Water-based polymer/clay nanocomposite suspension for improving water and moisture barrier in coating. *Compos. Sci. Technol.* 67: 1823–1829.
- Swaraj, P. 1995. Surface Coating : Science & Technology. 2nd ed. Wiley & Sons. New York.
- Stansby, M. E. 1990. Fish oils in nutrition. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper and paperboard (Cobb test) T 441 om-90. *In* TAPPI TEST METHODS. Atlanta. GA.
- Wade, A. and Weller, P. J. 1994. Handbook of Pharmaceutical Excipients. 2nd ed. The Pharmaceutical Press. London.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

1. ความคงตัวของสารเคลือบผิว (Wax solution stability)

วัดค่าความคงตัวของสารเคลือบอัลคิเดเรซิน โดยทำการเก็บสารเคลือบผิวไว้ในกระบอกตวงปริมาตร 250 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นสังเกตจากการแยกชั้นของสารเคลือบผิว

2. การดูดซับน้ำ (Water absorptiveness) (ดัดแปลงจาก TAPPI T 441)

การดูดซับน้ำ หมายถึง ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษในพื้นที่ 1 ตารางเมตรภายในระยะเวลาที่กำหนด มีค่าเป็นน้ำหนักน้ำที่กระดาษดูดซับไว้ต่อพื้นที่สัมผัสกับน้ำ แสดงหน่วยเป็น กรัมต่อตารางเมตร (g/m^2) ใช้สำหรับทดสอบกับกระดาษเหนียวและแผ่นลูกฟูก การทดสอบนี้มีความสำคัญต่อการพิมพ์ (การดูดซึมหมึก) การตากาว การทนทานต่อสภาวะแวดล้อมขณะขนส่ง เช่น การเปียกฝน

ในการทดลองนี้ ใช้ขนาดชิ้นตัวอย่างกว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร วิธีทดสอบเรียกว่า "คอบบ์ เทส" (Cobb Test) เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ Cobb sizing tester โดยใช้เวลาในการทดสอบ 60 วินาทีต่อ 1 ชิ้นตัวอย่าง



Figure 34. Cobb sizing tester

3. คุณภาพของการพิมพ์

นำกระดาษที่ผ่านการเคลือบและกระดาษที่ไม่เคลือบไปทดสอบการพิมพ์ที่บริษัท สยามบรรจุภัณฑ์สงขลา (1994) จำกัดด้วยระบบ Flexography

4. ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว (Elongation) (ตัดแปลงจาก ASTM D 882 method A)

ความต้านทานแรงดึง หมายถึง แรงดึงสูงสุดต่อหน่วยความกว้าง ที่กระดาษสามารถต้านทานได้ก่อนที่จะขาด โดยขึ้นตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดตามที่กำหนดจะถูกตรึงระหว่างที่หนีบ 2 ตัว โดยที่หนีบตัวหนึ่งจะเคลื่อนที่เพื่อดึงแผ่นตัวอย่างจนกระทั่งขาด จะแสดงผลเป็นแรงที่ใช้และค่าการยืดตัวของกระดาษขณะขาด ค่าความต้านทานแรงดึงจะได้จากค่าแรงดึงสูงสุดต่อพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวอย่าง (F/A) ส่วนการยืดตัวจะได้จากระยะยืดตัวของกระดาษจากระยะเริ่มต้น (100 มิลลิเมตร) ก่อนขาด แสดงเป็นค่าร้อยละ (%)

ในการทดลองนี้ ใช้ขนาดชิ้นตัวอย่างกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ทดสอบด้วยเครื่อง LLOYD Model LR 30K และทำการถ่วงน้ำหนักที่ 2.5 กิโลนิวตัน (KN) ระยะห่างระหว่างที่หนีบทั้งสองมีค่า 100 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วในการดึง 100 มิลลิเมตร/นาที



Figure 35. LLOYD Model LR 30K

5. ความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength) (ดัดแปลงจาก ASTM 774-67)

ความต้านทานแรงดันทะลุ หมายถึง ความสามารถของกระดาษหรือแผ่นกระดาษลูกฟูกที่จะต้านแรงดันที่กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร (m^2) ของกระดาษในแนวตั้งฉาก ก่อนที่กระดาษจะเกิดการขาดทะลุ มีหน่วยเป็น กิโลปาสกาล (KPa) หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Kg/cm^2) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in^2) นิยมใช้ทดสอบคุณภาพของกระดาษ กระดาษแข็งหรือแผ่นลูกฟูกที่นำมาขึ้นรูปเป็นภาชนะ เช่น ถัง ถัง เป็นต้นโดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานแรงดันทะลุจะขึ้นอยู่กับ ชนิด สัดส่วน การเตรียมเส้นใยและปริมาณเส้นใย รวมทั้งสารแต่งเติมในแผ่นกระดาษ คุณสมบัตินี้มีความสัมพันธ์กับความต้านแรงดึงขาดและความต้านแรงฉีกขาด ซึ่งบอกถึงความเหนียว หรือคุณภาพของกระดาษที่ใช้ทำผิวกล่อง

ในการทดลองนี้ ใช้ขนาดชิ้นตัวอย่างกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร เครื่องมือที่ใช้คือ Mullen tester



Figure 36. Mullen Tester Model GT 7013AD

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

Table 11. Resulting from analyzed variation of the water absorptiveness of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.

ANOVA

Water absorptiveness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	154100.886	31	4970.996	147.765	.000
Within Groups	4306.067	128	33.641		
Total	158406.953	159			

Water absorptiveness

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	5	22.2000									
14	5	25.6820	25.6820								
13	5	25.8760	25.8760								
12	5	26.3460	26.3460	26.3460							
5	5	27.0000	27.0000	27.0000							
27	5	27.6760	27.6760	27.6760	27.6760						
21	5	27.6920	27.6920	27.6920	27.6920						
7	5	28.4700	28.4700	28.4700	28.4700						
6	5	28.6080	28.6080	28.6080	28.6080						
11	5	28.8680	28.8680	28.8680	28.8680						
4	5	29.9000	29.9000	29.9000	29.9000						
3	5	29.9720	29.9720	29.9720	29.9720						
1	5		31.0100	31.0100	31.0100						
10	5		31.2680	31.2680	31.2680						
8	5		32.0920	32.0920	32.0920						
15	5		32.1660	32.1660	32.1660						
9	5		32.3260	32.3260	32.3260						
22	5		32.4380	32.4380	32.4380						

Table 11. Resulting from analyzed variation of the water absorptiveness of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard (Cont.).

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28	5			35.1660	35.1660						
23	5				36.4040						
16	5					43.9820					
24	5					50.1620					
29	5					50.6060					
17	5					51.2840					
18	5						64.4780				
19	5							73.6580			
30	5							76.4340			
25	5								93.7460		
20	5									110.4400	
31	5									116.0720	
26	5									116.6140	
32	5										129.8280
Sig.		.082	.141	.052	.053	.070	1.000	.450	1.000	.114	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 12. Resulting from analyzed variation of the bursting strength of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.

ANOVA

Bursting strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.038	31	.130	3.640	.000
Within Groups	4.580	128	.036		
Total	8.618	159			

Bursting strength

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
6	5	5.7200						
7	5	5.8400	5.8400					
8	5	5.8400	5.8400					
5	5	5.9000	5.9000	5.9000				
14	5	5.9200	5.9200	5.9200	5.9200			
32	5	5.9400	5.9400	5.9400	5.9400	5.9400		
13	5	5.9600	5.9600	5.9600	5.9600	5.9600	5.9600	
24	5	5.9800	5.9800	5.9800	5.9800	5.9800	5.9800	
25	5	5.9800	5.9800	5.9800	5.9800	5.9800	5.9800	
22	5	5.9800	5.9800	5.9800	5.9800	5.9800	5.9800	
20	5	6.0000	6.0000	6.0000	6.0000	6.0000	6.0000	
9	5		6.0200	6.0200	6.0200	6.0200	6.0200	
28	5		6.0400	6.0400	6.0400	6.0400	6.0400	
29	5		6.0400	6.0400	6.0400	6.0400	6.0400	
30	5		6.0400	6.0400	6.0400	6.0400	6.0400	
16	5		6.0400	6.0400	6.0400	6.0400	6.0400	
19	5		6.0400	6.0400	6.0400	6.0400	6.0400	
10	5		6.0600	6.0600	6.0600	6.0600	6.0600	
17	5		6.0600	6.0600	6.0600	6.0600	6.0600	
21	5		6.0800	6.0800	6.0800	6.0800	6.0800	

Table 12. Resulting from analyzed variation of the bursting strength of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard (Cont.).

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
11	5		6.1200	6.1200	6.1200	6.1200	6.1200	
23	5		6.1200	6.1200	6.1200	6.1200	6.1200	
1	5			6.1400	6.1400	6.1400	6.1400	
18	5			6.1600	6.1600	6.1600	6.1600	
31	5			6.1800	6.1800	6.1800	6.1800	
3	5				6.2000	6.2000	6.2000	
12	5				6.2000	6.2000	6.2000	
15	5					6.2200	6.2200	
26	5					6.2200	6.2200	
27	5					6.2200	6.2200	
4	5						6.2400	
2	5							6.6200
Sig.		.052	.063	.063	.064	.065	.065	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 13. Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard (Cont.).

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	10			50.6907	50.6907	50.6907	50.6907	50.6907	50.6907	50.6907
15	10			50.7040	50.7040	50.7040	50.7040	50.7040	50.7040	50.7040
21	10			50.8667	50.8667	50.8667	50.8667	50.8667	50.8667	50.8667
5	10			50.8800	50.8800	50.8800	50.8800	50.8800	50.8800	50.8800
26	10				51.2000	51.2000	51.2000	51.2000	51.2000	51.2000
32	10					51.6373	51.6373	51.6373	51.6373	51.6373
29	10					51.6773	51.6773	51.6773	51.6773	51.6773
22	10						51.8827	51.8827	51.8827	51.8827
30	10							52.0640	52.0640	52.0640
28	10							52.1867	52.1867	52.1867
27	10								52.5093	52.5093
31	10									53.6800
25	10									53.7520
Sig.		.083	.050	.066	.070	.057	.060	.072	.051	.059

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 14. Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.

ANOVA

Tensile strength ; TS (CD)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	402.388	31	12.980	7.894	.000
Within Groups	473.566	288	1.644		
Total	875.954	319			

Tensile strength ; TS (CD)

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	25.0425									
18	10		27.0955								
17	10		27.2933	27.2933							
4	10		27.3813	27.3813							
22	10		27.6501	27.6501	27.6501						
19	10		27.6603	27.6603	27.6603						
3	10		27.7821	27.7821	27.7821	27.7821					
7	10		28.1880	28.1880	28.1880	28.1880	28.1880				
6	10		28.2587	28.2587	28.2587	28.2587	28.2587	28.2587			
11	10			28.4320	28.4320	28.4320	28.4320	28.4320	28.4320		
15	10				28.7227	28.7227	28.7227	28.7227	28.7227	28.7227	
10	10				28.7653	28.7653	28.7653	28.7653	28.7653	28.7653	
23	10				28.8453	28.8453	28.8453	28.8453	28.8453	28.8453	
26	10				28.8773	28.8773	28.8773	28.8773	28.8773	28.8773	28.8773
16	10				28.9429	28.9429	28.9429	28.9429	28.9429	28.9429	28.9429
21	10				28.9493	28.9493	28.9493	28.9493	28.9493	28.9493	28.9493
29	10				29.0080	29.0080	29.0080	29.0080	29.0080	29.0080	29.0080
13	10					29.0272	29.0272	29.0272	29.0272	29.0272	29.0272
14	10						29.1840	29.1840	29.1840	29.1840	29.1840

Table 14. Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard (Cont.).

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
32	10						29.3413	29.3413	29.3413	29.3413	29.3413
9	10						29.4133	29.4133	29.4133	29.4133	29.4133
31	10						29.4960	29.4960	29.4960	29.4960	29.4960
8	10						29.5520	29.5520	29.5520	29.5520	29.5520
12	10							29.6053	29.6053	29.6053	29.6053
30	10							29.6267	29.6267	29.6267	29.6267
2	10								29.7867	29.7867	29.7867
24	10									29.8613	29.8613
20	10									29.9477	29.9477
25	10									30.1120	30.1120
5	10									30.1173	30.1173
28	10										30.2613
27	10										30.2613
Sig.		1.000	.085	.093	.052	.074	.054	.054	.057	.052	.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 15. Resulting from analyzed variation of the elongation at break (machine direction; MD) of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard (Cont.).

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21	10				5.0602	5.0602	5.0602	5.0602	5.0602	5.0602	5.0602	
15	10				5.0626	5.0626	5.0626	5.0626	5.0626	5.0626	5.0626	
27	10					5.1680	5.1680	5.1680	5.1680	5.1680	5.1680	
32	10						5.3080	5.3080	5.3080	5.3080	5.3080	5.3080
29	10						5.3272	5.3272	5.3272	5.3272	5.3272	5.3272
20	10						5.3582	5.3582	5.3582	5.3582	5.3582	5.3582
26	10						5.3788	5.3788	5.3788	5.3788	5.3788	5.3788
31	10						5.3822	5.3822	5.3822	5.3822	5.3822	5.3822
30	10							5.3941	5.3941	5.3941	5.3941	5.3941
28	10								5.6308	5.6308	5.6308	5.6308
11	10									5.6547	5.6547	5.6547
24	10										5.6818	5.6818
25	10											5.9169
Sig.		.829	.054	.067	.073	.073	.053	.056	.057	.056	.065	.067

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 16. Resulting from analyzed variation of the elongation at break (cross machine direction; CD) of types and concentrations of emulsifiers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard (Cont.).

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
26	10				8.3454	8.3454	8.3454	8.3454	8.3454	8.3454	8.3454	
14	10				8.3732	8.3732	8.3732	8.3732	8.3732	8.3732	8.3732	
9	10				8.3793	8.3793	8.3793	8.3793	8.3793	8.3793	8.3793	
12	10				8.3846	8.3846	8.3846	8.3846	8.3846	8.3846	8.3846	
32	10				8.4251	8.4251	8.4251	8.4251	8.4251	8.4251	8.4251	
16	10				8.4453	8.4453	8.4453	8.4453	8.4453	8.4453	8.4453	
15	10					8.5239	8.5239	8.5239	8.5239	8.5239	8.5239	8.5239
11	10						8.5500	8.5500	8.5500	8.5500	8.5500	8.5500
18	10							8.7110	8.7110	8.7110	8.7110	8.7110
24	10								8.7519	8.7519	8.7519	8.7519
17	10								8.7595	8.7595	8.7595	8.7595
23	10									8.7739	8.7739	8.7739
1	10										8.7964	8.7964
22	10											9.0514
Sig.		.052	.074	.058	.059	.054	.074	.051	.052	.050	.085	.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 17. Resulting from analyzed variation of the water absorptiveness of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.

ANOVA

Water absorptiveness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	416.405	16	26.025	14.143	.000
Within Groups	125.133	68	1.840		
Total	541.538	84			

Water absorptiveness

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
2	5	22.2000						
13	5		25.3980					
14	5		25.5760					
15	5		27.0100	27.0100				
10	5			27.4880	27.4880			
16	5			28.1740	28.1740	28.1740		
5	5			28.3520	28.3520	28.3520		
3	5			28.3620	28.3620	28.3620		
12	5			28.3680	28.3680	28.3680		
7	5			28.3780	28.3780	28.3780		
9	5				29.3100	29.3100	29.3100	
4	5				29.3480	29.3480	29.3480	
6	5				29.3560	29.3560	29.3560	
11	5					29.9700	29.9700	29.9700
8	5						30.5720	30.5720
1	5						31.0100	31.0100
17	5							31.3640
Sig.		1.000	.079	.176	.068	.080	.086	.144

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 18. Resulting from analyzed variation of the bursting strength of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.

ANOVA

Bursting strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.220	16	.139	2.248	.011
Within Groups	4.196	68	.062		
Total	6.416	84			

Bursting strength

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
13	5	5.8200	
15	5	5.9000	
8	5	5.9800	
6	5	6.0000	
9	5	6.0000	
16	5	6.0200	
11	5	6.0600	
14	5	6.0600	
3	5	6.0800	
4	5	6.1000	
12	5	6.1000	
5	5	6.1200	
1	5	6.1400	
10	5	6.1400	
7	5	6.1600	
17	5	6.1800	
2	5		6.6200
Sig.		.064	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 19. Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (machine direction; MD) of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.

ANOVA

Tensile strength ; TS (MD)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	790.240	16	49.390	8.982	.000
Within Groups	841.318	153	5.499		
Total	1631.559	169			

Tensile strength ; TS (MD)

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
3	10	45.4059							
4	10	46.1600	46.1600						
2	10	46.8640	46.8640						
5	10		47.7013	47.7013					
9	10			49.0560	49.0560				
1	10			49.6239	49.6239	49.6239			
6	10			49.8427	49.8427	49.8427	49.8427		
14	10			50.0053	50.0053	50.0053	50.0053	50.0053	
12	10				50.2613	50.2613	50.2613	50.2613	50.2613
7	10				50.9547	50.9547	50.9547	50.9547	50.9547
15	10				51.1227	51.1227	51.1227	51.1227	51.1227
11	10				51.2640	51.2640	51.2640	51.2640	51.2640
8	10					51.5093	51.5093	51.5093	51.5093
17	10					51.8587	51.8587	51.8587	51.8587
10	10						52.1920	52.1920	52.1920
13	10							52.4139	52.4139
16	10								52.6213
Sig.		.193	.168	.050	.074	.073	.059	.053	.058

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 20. Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.

ANOVA

Tensile strength ; TS (CD)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	260.036	16	16.252	11.561	.000
Within Groups	215.088	153	1.406		
Total	475.124	169			

Tensile strength ; TS (CD)

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
1	10	25.0425					
4	10		28.4069				
3	10		28.4747				
9	10		28.7333	28.7333			
10	10		28.8960	28.8960	28.8960		
8	10		29.0741	29.0741	29.0741	29.0741	
15	10		29.1224	29.1224	29.1224	29.1224	
12	10		29.1499	29.1499	29.1499	29.1499	
5	10		29.4320	29.4320	29.4320	29.4320	29.4320
14	10		29.5280	29.5280	29.5280	29.5280	29.5280
17	10			29.7067	29.7067	29.7067	29.7067
2	10			29.7867	29.7867	29.7867	29.7867
11	10				30.0640	30.0640	30.0640
13	10					30.1707	30.1707
6	10					30.2613	30.2613
16	10						30.4560
7	10						30.6464
Sig.		1.000	.076	.096	.064	.061	.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 21. Resulting from analyzed variation of the elongation at break (machine direction; MD) of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.

ANOVA

Elongation (MD)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	125.934	16	7.871	16.707	.000
Within Groups	72.082	153	.471		
Total	198.016	169			

Elongation (MD)

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1	10	3.1190		
2	10	3.1791		
3	10		4.0504	
4	10		4.1579	
5	10		4.3171	
6	10		4.3956	
7	10		4.6751	
14	10			5.3080
13	10			5.3318
8	10			5.4365
16	10			5.4496
15	10			5.4785
17	10			5.5511
9	10			5.6903
10	10			5.6990
11	10			5.7115
12	10			5.8594
Sig.		.845	.071	.138

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 22. Resulting from analyzed variation of the elongation at break (cross machine direction; CD) of types and concentrations of stabilizers formulated in alkyd resin coating of coated paperboard.

ANOVA
Elongation (CD)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23.929	16	1.496	7.634	.000
Within Groups	29.972	153	.196		
Total	53.901	169			

Elongation (CD)

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
10	10	7.1119		
3	10	7.1189		
13	10	7.2108		
4	10	7.2344		
9	10	7.2747		
14	10	7.2885		
8	10	7.3057		
15	10	7.3095		
5	10	7.3244	7.3244	
6	10	7.3681	7.3681	
11	10	7.3903	7.3903	
12	10	7.4154	7.4154	
16	10	7.4970	7.4970	
7	10	7.5291	7.5291	
17	10	7.5823	7.5823	
2	10		7.7705	
1	10			8.7964
Sig.		.053	.055	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 23. Resulting from analyzed variation of the water absorptiveness of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.

ANOVA

Water absorptiveness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3828.620	10	382.862	112.161	.000
Within Groups	15.194	44	3.4147		
Total	3978.814	54			

Water absorptiveness

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
2	5	22.2000					
5	5		25.3980				
4	5		27.4880				
1	5			31.0100			
7	5			32.1360			
11	5				36.7280		
8	5				38.3880		
6	5					43.8000	
10	5					43.8080	
3	5					45.6700	45.6700
9	5						47.3760
Sig.		1.000	.094	.362	1.000	.170	.097

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 24. Resulting from analyzed variation of the bursting strength of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.

ANOVA

Bursting strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.381	10	.238	2.763	.010
Within Groups	3.792	44	.086		
Total	6.173	54			

Bursting strength

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
5	5	5.8200		
1	5	6.1400	6.1400	
4	5	6.1400	6.1400	
9	5		6.3200	6.3200
10	5		6.3200	6.3200
3	5		6.3400	6.3400
6	5		6.3400	6.3400
7	5		6.3800	6.3800
8	5		6.4600	6.4600
11	5		6.5400	6.5400
2	5			6.6200
Sig.		.110	.072	.174

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 25. Resulting from analyzed variation of t the ensile strength (TS) (machine direction; MD)
of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.

ANOVA

Tensile strength ; TS (MD)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	437.464	10	43.746	7.695	.000
Within Groups	562.822	99	5.685		
Total	1000.285	109			

Tensile strength ; TS (MD)

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
9	10	46.8320			
2	10	46.8640			
11	10	47.0133			
6	10	47.2853	47.2853		
8	10	47.2853	47.2853		
10	10	48.4720	48.4720	48.4720	
7	10	48.9307	48.9307	48.9307	
1	10		49.6239	49.6239	
3	10			50.5360	50.5360
4	10				52.1920
5	10				52.4139
Sig.		.092	.052	.079	.099

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 26. Resulting from analyzed variation of the tensile strength (TS) (cross machine direction; CD) of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.

ANOVA

Tensile strength ; TS (CD)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	246.717	10	24.672	26.927	.000
Within Groups	90.708	99	.916		
Total	337.425	109			

Tensile strength ; TS (CD)

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
1	10	25.0425					
3	10		28.3760				
7	10		28.4507	28.4507			
4	10		28.8960	28.8960	28.8960		
9	10		28.9787	28.9787	28.9787		
11	10			29.3733	29.3733	29.3733	
8	10				29.7280	29.7280	
2	10				29.7867	29.7867	29.7867
5	10					30.1707	30.1707
6	10						30.6907
10	10						30.7093
Sig.		1.000	.205	.050	.065	.092	.050

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 27. Resulting from analyzed variation of the elongation at break (machine direction; MD)
of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.

ANOVA

Elongation (MD)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	81.337	10	8.134	58.238	.000
Within Groups	13.827	99	.140		
Total	95.164	109			

Elongation (MD)

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
1	10	3.1190			
2	10	3.1791			
7	10	3.2794			
9	10	3.3296			
11	10	3.3559			
10	10	3.3701			
3	10	3.3790			
6	10	3.4671			
8	10		4.2133		
5	10			5.3318	
4	10				5.6990
Sig.		.078	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Table 28. Resulting from analyzed variation of the elongation at break (cross machine direction; CD) of combination between emulsifiers and stabilizers of coated paperboard.

ANOVA

Elongation (CD)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	25.801	10	2.580	16.268	.000
Within Groups	15.702	99	.155		
Total	41.502	109			

Elongation (CD)

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
4	10	7.1119				
8	10	7.1883				
5	10	7.2108				
6	10		7.7226			
2	10		7.7705	7.7705		
10	10		7.7712	7.7712		
9	10		7.8253	7.8253		
7	10			8.1206	8.1206	
3	10			8.1373	8.1373	
11	10				8.2098	
1	10					8.7964
Sig.		.605	.606	.068	.641	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ภาคผนวก ค การแปลงหน่วยที่ใช้ในการทดลอง

Table 29. Gardner color scale.

Gardner Color	Y	x	y
1	80	0.3177	0.3303
2	79	0.3233	0.3352
3	76	0.3329	0.3452
4	75	0.3437	0.3644
5	74	0.3558	0.3840
6	71	0.3767	0.4061
7	67	0.4044	0.4352
8	64	0.4207	0.4498
9	61	0.4343	0.4640
10	57	0.4503	0.4760
11	45	0.4842	0.4818
12	36	0.5077	0.4638
13	30	0.5392	0.4458
14	22	0.5646	0.4270
15	16	0.5857	0.4089
16	11	0.6047	0.3921
17	6	0.6290	0.3701
18	4	0.6477	0.3521

ที่มา : ASTM D1544 (1982)

