



การพัฒนากระดาษติดกระดาษจากยางน้ำยาง
Development of Paper Adhesives from Skim Latex

จตุพันธ์ จุพพันธ์ทอง
Jatupan Julapantong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต 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

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาความคิดกระต่ายจากหางน้ำย่าง
ผู้เขียน นายจตุพันธ์ จุพันธ์ทอง
สาขาวิชา เทคโนโลยีบรรจุกภัณฑ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก คณะกรรมการสอบ
.....ประธานกรรมการ
(ดร.ศุภชัย ภิสิทธิ์เพ็ญ) (ดร.วรัญญา ศรีเดช)

.....กรรมการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ดร.ศุภชัย ภิสิทธิ์เพ็ญ)

.....กรรมการ
(ดร.พรอุษา จิตพุทธิ) (ดร.พรอุษา จิตพุทธิ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพลินพิศ บุชาธรรม)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี
บรรจุกภัณฑ์

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาการติดกระดาษจากหางน้ำยาง
ผู้เขียน นายจตุพันธ์ จุฬพันธ์ทอง
สาขาวิชา เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

หางน้ำยางเป็นวัสดุเศษเหลือที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นที่มีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเป็นกาวสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ หางน้ำยางโดยปกติจะมีคุณภาพและปริมาณเนื้อยางที่ต่ำมาก ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำหนดหางน้ำยางมาปรับปรุงด้วยกระบวนการใช้สารเติมแต่งกลุ่มเทคิไฟเออร์เพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดติดผิวสำหรับใช้ในสายการผลิตกระดาษลูกฟูก ในการศึกษาผลของเทคิไฟเออร์ 4 ชนิด ได้แก่ คิวมาโรนเรซิน กัมเรซิน บีโตรีเลียมเรซินและคิวโมโรนผสมกับกัมเรซิน พบว่าเทคิไฟเออร์ที่เตรียมในรูปอิมัลชันช่วยปรับปรุงสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยางได้ดีกว่าและใช้ปริมาณเทคิไฟเออร์ที่น้อยกว่าเทคิไฟเออร์ที่เตรียมในรูปคิสเฟิร์สชัน โดยคิวมาโรนเรซินให้ผลการปรับปรุงการยึดติดผิวของกาวหางน้ำยางดีมีสุด และเมื่อปริมาณคิวมาโรนเรซิน มากขึ้น การยึดติดจะมีความแข็งแรงมากขึ้นที่ปริมาณคิวมาโรนเรซิน 5 phr ในหางน้ำยาง ปริมาณของแข็ง 20% ให้สมบัติความต้านทานแรงเฉือนและความต้านทานการลอกของกระดาษกราฟที่ดีกว่ากาวแป้งมันสำปะหลังเล็กน้อย นอกจากนี้กาวหางน้ำยางจะมี ลักษณะความเสียหายของการยึดติดแบบ cohesive failure หรือ adhesive-cohesive failure เมื่อเปรียบเทียบกับกาวแป้งมันสำปะหลังที่มีการเสียหายแบบ fiber tear ในขณะที่เมื่อปริมาณของแข็งในหางน้ำยางเพิ่มขึ้นการยึดติดจะมีความแข็งแรงขึ้นเช่นกัน หางน้ำยางปริมาณของแข็ง 20% ให้สมบัติการยึดติดความต้านทานแรงเฉือน ความต้านทานการลอกและ pin adhesion test ของกระดาษลูกฟูก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับหางน้ำยางปริมาณของแข็ง 25 % ($p < 0.05$) ที่ปริมาณคิวมาโรน เรซิน เท่ากัน (5 phr) และในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อหางน้ำยาง มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 25 % และปริมาณคิวมาโรนเรซินเพิ่มขึ้นเป็น 15 phr กระดาษลูกฟูกจะมีสมบัติการยึดติดที่สูงกว่ากาวแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะ ค่า pin adhesion test ของกระดาษลูกฟูก อย่างไรก็ตามในการทดสอบเพื่อเตรียมการในสายการผลิตแบบกึ่งต่อเนื่องกระดาษลูกฟูกที่เตรียมจากหางน้ำยาง กลับมีผลการทดสอบ pin adhesion test ที่ต่ำกว่าการยึดติดโดยใช้แป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ดังนั้นกาวหางน้ำยางจึงถูกปรับปรุงต่อ โดยพบว่ากาวหางน้ำยาง ปริมาณของแข็ง 25% คิวมาโรนเรซิน 5 phr ผสมร่วมกับกาวเป็งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 50:50 ให้สมบัติการยึดติด และสมบัติเชิงกลของกระดาษลูกฟูกที่ใกล้เคียงกับกาวเป็งมันสำปะหลังมากที่สุด ในสายการผลิต ยังพบว่า อุณหภูมิและ ความเร็วของเครื่องจักร double facer มีผลต่อสมบัติของกระดาษลูกฟูกที่ เตรียมจากกาวหางน้ำยาง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 150 °C ความเร็ว 150 เมตร / นาที เป็นสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการใช้กาวหางน้ำยาง และที่สภาวะการเก็บรักษา กระดาษลูกฟูก 30 °C, 70%RH จะส่งผลต่อการลดลงของค่า pin adhesion test อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อทำการทดสอบเพื่อเตรียมการในสายการผลิตแบบต่อเนื่อง พบว่าสมบัติการยึดติด ของกาวหางน้ำยาง โดยเฉพาะ pin adhesion test มีค่าต่ำกว่ากาวเป็งมันสำปะหลัง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่า ECT และ bursting strength มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย ดังนั้นกาวหางน้ำยางจึงยัง มีความจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติการใช้งานกับเครื่องจักรต่อไป

Thesis Title Development of Paper Adhesives from Skim Latex
Author Mr. Jatupan Julapantong
Major Program Packaging Technology
Academic Year 2011

ABSTRACT

Skim latex, a by-product of concentrated latex production process, has a particular potential to enable the development of adhesive for packaging applications. Typically, skim latex has very low quality and quantity of rubber content. In the present study, a skim latex adhesive developed by creaming process and tackifier additives was studied in order to improve surface adhesion properties for using in corrugated board production process. There were 4 types of tackifiers including coumarone resin, gum resin, mixed petroleum resin-coumarone conducted. It was found that tackifier emulsions could improve skim latex adhesion properties more efficiently than tackifier dispersions; a stronger bonding but a lesser amount of tackifier was observed. Coumarone resin offered the best improvement of adhesion properties of skim latex adhesive. As the additional of coumarone resin content increased, the better adhesion properties were obtained. The skim latex contained 20% total solid content (TS) with 5 phr coumarone resin provided slightly better shear strength and peel resistance of Kraft paper than tapioca adhesive. Furthermore, cohesive failure or adhesive-cohesive failure was observed from the adhesion failure of the skim latex adhesive compared to fiber tear failure of tapioca adhesive. In addition, as the total solid content of skim latex increased, the better adhesion properties were obtained. There was no statistically significant difference of adhesion properties: shear strength, peel resistance and pin adhesion test of corrugated board between skim latex contained 20%TS and 25%TS at the same coumarone resin content (5phr). By far the skim latex contained 25%TS and 15 phr coumarone provided significantly stronger adhesion properties than the tapioca adhesive especially the pin adhesion test value of corrugated board in lab scale. However, in semi pilot scale the corrugated board prepared from the preceding skim latex adhesive had significantly much poorer pin adhesion test value than the tapioca adhesive ($p < 0.05$).

The following improvement of skim latex adhesive was then conducted. It was found that the skim latex adhesive prepared from 25%TS and 5 phr coumarone mixed with tapioca adhesive in the ratio of 50:50 offered the adhesion properties and mechanical properties of corrugated board closely to the tapioca adhesive. In production process, the temperature and the machine speed affected significantly on the properties of corrugated board prepared from skim latex adhesive ($p<0.05$) and the optimum conditions were 150°C and 150 m/min. In addition, the storage conditions of corrugated board at 30°C, 70%RH affected predominantly on the decrease of pin adhesion test values ($p<0.05$). In contrast, lower pin adhesion test value ($p<0.05$) and slightly lower ECT and bursting strength of the corrugated board prepared from the skim latex adhesive mix were indicated in pilot scale compared to tapioca starch. Therefore, the machinability of skim latex adhesive mix is needed to be further refined.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัย ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ อย่างดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.ศุภชัย ภิสัชเพ็ญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในระหว่างการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขรายงานจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนในการค้นคว้าวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกในระหว่างการทำ การวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัทสยามบร รจภัณฑ์ สงขลา (1994) จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ สารเคมีและอุปกรณ์ พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความสะดวกและความร่วมมือในการทำวิจัย เป็นอย่างดี

และท้ายสุด นี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ ด้วยความเคารพยั้ง ที่ปลุกฝังให้ ข้าพเจ้าหมั่นศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเรื่อยมา และคอยให้กำลังใจ รวมถึงคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ต่อข้าพเจ้า และขอขอบคุณที่ๆ นื่องๆ ในขณะทุกท่านที่ช่วยเหลือแนะนำ และให้กำลังใจข้าพเจ้าใน ระหว่างที่ศึกษาในระดับปริญญา โทนี่ด้วยดีเสมอมา

จตุพันธ์ จุฬพันธ์ทอง

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
LIST OF TABLES	(9)
LIST OF FIGURES	(12)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(16)
บทที่	
1 บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์.....	53
2 วิธีการวิจัย	54
วิธีดำเนินการ.....	54
วัสดุและอุปกรณ์	65
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	69
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	114
เอกสารอ้างอิง	117
ภาคผนวก	123
ประวัติผู้เขียน	140

LIST OF TABLES

Table	Page
1. Compositions of latex	3
2. Compositions of latex, concentrated latex and skim latex	6
3. Properties of skim latex before creaming process from different sources.....	8
4. Properties of skim latex after creaming process from different sources	8
5. Contact angle and water wettability on surface of material	24
6. Amount of amylose in different starches	33
7. Self-seal envelope adhesive.....	37
8. Quick-grab adhesive.....	37
9. General-purpose latex adhesive	38
10. Pressure - sensitive adhesive tapes	38
11. Natural latex adhesives	41
12. Tapioca starch adhesive for corrugated board.....	43
13. Specification of corrugated flutes.....	48
14. Adhesives for solid board laminating.....	52
15. Skim latex adhesive for type of tackifiers study	55
16. Skim latex adhesive formulations for tackifier contents study	56
17. Skim latex adhesive formulations for total solid study	56
18. Skim latex adhesive mixed with PVOH study.....	57
19. Some properties of tapioca starch adhesive.....	70
20. Adhesion properties of corrugated board and kraft paper using tapioca starch adhesive.....	70
21. Some properties of tackifiers	72
22. Total solid content and pH of skim latex, concentrated skim latex and diluted cream skim latex at 10, 15, 20 and 25% TS.....	73
23. Drying time of adhesives	74
24. Contact angle of adhesive at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes	75

LIST OF TABLES (Cont.)

Table	Page
25. Effect of tackifiers on adhesion properties of skim latex adhesive compared with tapioca starch adhesive.....	80
26. Effect of dispersion petroleum resin concentration on adhesion properties of adhesive	81
27. Effect of emulsions tackifier contents on adhesion properties of skim latex adhesive	84
28. Effect of tackifier content on adhesion properties of adhesive.....	90
29. Effect of solids content with skim latex to properties of adhesion properties of adhesive	94
30. Effect of coumarone resin content on adhesion properties of adhesive.....	95
31. Effect of coumarone resin content on adhesion properties of adhesive at double facer	96
32. Effect of polyvinyl alcohol 20 % on adhesion properties of skim latex adhesive	100
33. Basic properties of the skim latex adhesive mixed tapioca starch	102
34. Effect of temperature of double facer machine at speed of 100 m/s on pin adhesion	105
35. Effect of temperature of double facer machine on mechanical properties of corrugated board.....	107
36. Effect of speed of double facer machine on mechanical properties of corrugated.....	107
37. Effect of relative humidity and 7 days storage time on pin adhesion of corrugated board	109
38. Effect of relative humidity and 30 days storage time on pin adhesion of corrugated board.....	110
39. Adhesion properties of adhesive after pilot scale test.....	112
40. Amount of glue to the area.....	126
41. Cost of Tapioca starch adhesive	126

LIST OF TABLES (Cont.)

Table		Page
42.	Cost of coumarone resin	127
43.	Cost of skim latex adhesive (coumarone resin 5 phr).....	127
44.	Cost of skim latex adhesive (coumarone resin 15 phr).....	128
45.	Cost of skim latex adhesive mixed with tapioca starch adhesive	128
46.	Cost of skim latex adhesive mixed with PVOH (25 phr).....	129
47.	pH of adhesives.....	130
48.	Total solid of adhesives	132
49.	Shear strength of adhesives	134
50.	Peel strength of adhesives	136
51.	Pin adhesion of adhesives.....	138
52.	Bursting strength of adhesives	138
53.	Edge crush test of adhesives	139
54.	Viscosity of adhesives	139

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1.	Molecular structure of natural rubber model <i>cis</i> -1, 4 polyisoprene.....	3
2.	Molecular structure of natural rubber model <i>trans</i> -1, 4 polyisoprene.....	3
3.	Characteristics of particle of natural rubber.....	4
4.	Structure of hydroxyl propyl methyl cellulose	7
5.	Cohesion and adhesion between adhesive with substrate	10
6.	Mechanical bonding	14
7.	Bonding with adhesive force between molecules of material.....	14
8.	Adhesive force with force electricity	15
9.	Adhesion and diffusion of combined molecules	15
10.	Adhesion by chemical bonding	16
11.	Failures of adhesion and fiber tear	19
12.	Forces used in adhesive bonding test	22
13.	The four classes of surface wettability types of surface based on their interaction with aqueous droplets	23
14.	Wetting behavior of a high-viscosity and a low-viscosity adhesive.....	24
15.	Wetting forms of liquids on surface	25
16.	Molecular structure of abietic acid	29
17.	Molecular structure of indene and coumarone	30
18.	A- and B-type polymorphs of amylose	32
19.	Structure of corrugated board	42
20.	Bonding dynamics	44
21.	Single wall corrugated board	47
22.	Forward roll kiss coater	49
23.	Reverse roll coater	50
24.	Laminating	50
25.	Double facer board mounting	51
26.	Preparing corrugated at double facer machine	58

LIST OF FIGURES (Cont.)

Figure	Page
27. Shear strength test	60
28. Peel strength test.....	62
29. Pin adhesion test	63
30. Testing Edge Crush Test	64
31. Stirrer mixing unit.....	66
32. Hot air oven	67
33. Mullen Bursting Strength Tester	67
34. Universal Testing Machine	67
35. Contact angle machine.....	68
36. Pin adhesion sample holder.....	68
37. Tapioca starch adhesive.	70
38. Tackifier emulsions (a) coumarone resin and (b) petroleum resin.....	72
39. Concentrated skim latex and serum water from creaming process.....	73
40. Contact angle of adhesives at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minute (A) Tapioca starch adhesive (B) Skim latex 25% (C) Skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 5 phr) (D) Skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 15 phr) and (E) Skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 5 phr) mixed tapioca starch adhesive.....	76
41. Contact angle of tapioca starch adhesive at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes.....	77
42. Contact angle of skim latex adhesive 25 % at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes.....	77
43. Contact angle of skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 5 phr) at 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes.....	77
44. Contact angle of skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 15 phr) at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5minutes.....	77
45. Contact angle of skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 5 phr) mixed tapioca starch adhesive at ratio of 50:50 at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes....	78

LIST OF FIGURES (Cont.)

Figure	Page
46. Effect of dispersion petroleum resin concentration on adhesion properties of skim latex adhesive (a) shear strength and (b) peel strength.....	82
47. Effect of tackifier emulsions on adhesion properties of skim latex adhesive (a) shear strength and (b) peel strength.....	85
48. Cohesive failure of the skim latex adhesive (a) peel strength and (b) shear strength	88
49. Adhesive - cohesive failure of the skim latex adhesive after peel strength.....	88
50. Fractures of tapioca starch adhesive (c) peel strength and (d) shear strength	89
51. Effect of tackifier content on adhesion properties of adhesive (a) shear strength (b) peel strength and (c) pin adhesion test.....	91
52. Fractures of samples after pin adhesion test (a) Skim latex adhesive and (b) Tapioca starch adhesive.....	92
53. Effect of solid contents of skim latex on adhesion properties of adhesive (a) shear strength (b) peel strength and (c) pin adhesion test	93
54. Fractures of the skim latex adhesive (a) peel strength and (b) shear strength ...	95
55. Effect of coumarone resin content to adhesion properties (a) pin adhesion (b) bursting strength and (c) edge crush test.....	98
56. Effect of polyvinyl alcohol 20 % on adhesion properties of skim latex adhesive (a) shear strength and (b) peel strength.....	100
57. Fractures of skim latex mix polyvinyl alcohol	101
58. Pin adhesion of skim latex adhesive mix (A) Tapioca starch gel (B) Tapioca starch gel +NaOH 14% and (C) Tapioca starch adhesive	103

LIST OF FIGURES (Cont.)

Figure		Page
59.	Fractures of skim latex mixed tapioca starch adhesive 50:50 after pin adhesion..	104
60.	Degeneration of skim latex adhesive mixed tapioca starch (30:70).....	104
61.	Inclined crushed flute defect of corrugated board.....	104
62.	Pin adhesion of skim latex adhesives mixed tapioca starch adhesive at 120, 150 and 165°C	106
63.	Pin adhesion of skim latex adhesive mixed tapioca starch adhesive at machine speed of 120, 150 and 180 m/min	108
64.	Pin adhesion of skim latex adhesive mixed tapioca starch adhesive at relative humidity 55%, 70 % and room temperature 7 days	110
65.	Corrugated board bonded by skim latex adhesive in pilot scale test (a) Skim latex adhesive in tray of double facer (b) Corrugated board peeled off after pilot scale test.....	112

ตัวย่อและสัญลักษณ์

ECT = Edge Crush Test

phr = Parts Perhundred of Rubber

PVOH = Polyvinyl alcohol

TS = Total solid

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยซึ่งผลิตภัณฑ์แปรรูปขึ้น พื้นฐานจากยางพาราที่สำคัญ คือ น้ำยางข้น ซึ่งในประเทศไทยจะใช้กระบวนการปั่นเหวี่ยงหนี ศูนย์กลางหรือการเซนติฟิวจ์เกือบทั้งหมด น้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการปั่นจะถูกแยกเป็น 2 ส่วนคือ น้ำยางข้นและหางน้ำยาง โดยที่ น้ำยางธรรมชาติ มีสมบัติเหนียวติดแน่น ที่ดีจึงสามารถ นำมาแปรรูปกาวน้ำยาง และ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารตัวทำละลาย (Solvent) มีราคาสูง กาวน้ำยางจะมี ข้อได้เปรียบในด้านราคาที่ต่ำกว่าและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกว่ากาวยางแห้ง ที่ต้องใช้ตัวทำละลาย เตรียมไว้เป็นสารละลายยางเสียก่อน การใช้กาวน้ำยางธรรมชาติในงานต่างๆ เช่น กาวติดซอง จดหมาย (Self-seal envelopes) ติดซองทำ ติดพรม ติดกล่อง ติดเส้นใย เป็นต้น การใช้งานต่างๆ กัน ดังกล่าวสูตรของกาวน้ำยางก็จะต่างกันออกไป

ส่วนของหางน้ำยาง ซึ่งปกติแล้วจัดว่าเป็น วัสดุพิเศษเหลือที่ได้จาก กระบวนการ ผลิตน้ำยางข้น ในการจัดการกับหางน้ำยางทางโรงงานผลิตน้ำยางข้นนิยมใช้กรดเข้มข้นในการจับ ตัวเพื่อผลิตเป็นยางคุณภาพต่ำ แต่เนื่องจากหางน้ำยางมีส่วนประกอบหลักเป็น โปรตีนและน้ำตาลจึง ย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วโดยแบคทีเรียในน้ำยาง ทั้งในดิน น้ำ หรืออากาศ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น รุนแรง และเมื่อถูกปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นหากไม่สามารถใช้ประโยชน์ จากหางน้ำยางได้หมด โรงงานจำเป็นต้องใช้สารเคมีต่างๆ ในการบำบัดหางน้ำยางส่วนเกินก่อน ปล่อยสู่แหล่งน้ำต่อไป หางน้ำยางทั่วไปจะมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีคุณสมบัติ ต่างๆ เช่น ความยืดหยุ่น และความแข็งแรงของการยึดติดไม่ดีเท่ากับน้ำยางข้น หรือ น้ำยางธรรมชาติ เนื่องจากอนุภาคของ ยางมีขนาดเล็กกว่า

กระดาษลูกฟูกเป็นวัสดุที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง เช่น กล่องกระดาษลูกฟูก วัสดุกันกระแทก และแท่นรองสินค้า ซึ่งได้รับความนิยมมากเนื่อ งจากมี ความคงทนน้ำหนักเบา สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ราคาถูก และสามารถปรับเปลี่ยนรูปทรงให้ตรงกับความต้องการได้ โดยแผ่นกระดาษลูกฟูกประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนที่ 1 กระดาษแผ่นเรียบ (Liner board) ส่วนที่ 2 คือชั้นของกาวที่ยึดติด ระหว่าง กระดาษแผ่นเรียบ กับ ลอนลูกฟูก และส่วนที่ 3 ลอนลูกฟูก (Corrugated medium) คือ ส่วนของ กระดาษที่มีลักษณะเป็นลอนคลื่น

กาวเป็นวัสดุที่ใช้สำหรับยึดติดวัสดุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ซึ่งมีบทบาทมากในวงการอุตสาหกรรม โดยกาวที่นิยมใช้ในการผลิตกระดาษลูกฟูก การผลิตกระดาษลูกฟูกในประเทศไทย คือ กาวแป้งมันสำปะหลังมีวัตถุ ดิบที่สำคัญคือ แป้งมันสำปะหลัง โซเดียมไฮดรอกไซด์ น้ำ และบอแรกซ์ การผลิตกาวไม่ยุ่งยากแต่มีปัญหारेื่องอายุการเก็บสั้นเสื่อมเสียจาก จุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่จะมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการพัฒนา กาวที่ผลิตจากน้ำยางพาราหรือจากหางน้ำยางเพื่อนำมาใช้ในการผลิตกระดาษลูกฟูกจึงเป็นโอกาสที่น่าสนใจ ผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าหางน้ำยางสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมกาวได้เนื่องจากมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นและ การยึดติด ถึงแม้ว่าสมบัติดังกล่าวไม่ดีเท่ากับน้ำยางข้นหรือน้ำยางธรรมชาติ แต่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติ ความแข็งแรงของการยึดติดโดยใช้ร่วมกับสารเคมี เช่น สารเพิ่มการยึดติด (Tackifier) เป็นต้น ซึ่งในการวิจัยนี้ เป็นการเตรียมหางน้ำยางร่วมกับสารเพิ่มการยึดติดในการเตรียมกาวให้มีคุณสมบัติการยึดติดที่เหมาะสมหรือใกล้เคียงกับกาวแป้งมันสำปะหลัง เพื่อสามารถนำไปใช้ในการผลิตกระดาษลูกฟูกในระดับอุตสาหกรรม และเพื่อเพิ่มมูลค่าและการใช้ประโยชน์ของหางน้ำยาง

การตรวจเอกสาร

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสูตรโมเลกุลคือ C_5H_8 โครงสร้าง 1 โมเลกุลประกอบด้วยไอโซพรีนที่ต่อกันแบบ linear cis-1, 4 polyisoprene ประมาณ 3,000 ถึง 5,000 หน่วยไอโซพรีน มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยประมาณ 200,000 ถึง 400,000 กรัมต่อโมล มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงกว้างมาก (วราภรณ์ ขจรไชยกูล , 2549) ลักษณะเด่นของยางธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติพิเศษด้านการเหนียวติดกัน

โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติที่ได้มาจากต้นยางพาราในตระกูล *Hevea Brasiliensis* มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ cis-1, 4 polyisoprene ส่วนน้ำยาง จากต้น *Gutta percha* และ *Balata* จะมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ trans-1, 4 polyisoprene มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นระเบียบกว่าแบบ cis-1, 4 polyisoprene

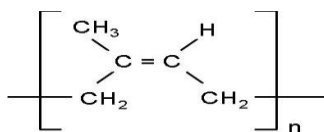


Figure 1. Molecular structure of natural rubber model *cis*-1,4 polyisoprene.

ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2549)

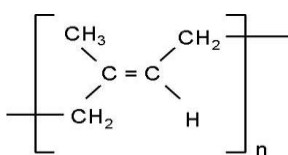


Figure 2. Molecular structure of natural rubber model *trans*-1,4 polyisoprene.

ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2549)

ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ยางธรรมชาติเป็นน้ำยางจากต้น ไม้ยืนต้น ซึ่งน้ำยางที่ได้จากต้นยางมีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำในรูปของอิมัลชัน มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 และ pH 6.5-7 น้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ ส่วนประกอบของน้ำยางแบ่งได้เป็นสองส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางหรือยางแห้ง (DRC) มีประมาณ 25 – 45 % และส่วนที่ไม่เป็นเนื้อยาง เช่น โปรตีน 1-1.5 % และน้ำตาล 1 % เป็นต้น

Table 1. Compositions of latex.

Compositions	Percent (w/w)
Total Solid Content (TSC)	27 - 48
Dry Rubber Content (DRC)	25 - 45
Protein	1 - 1.5
Resin	1 - 1.25
Ash	Up to 1
Sugar	1
Water	add 100

ที่มา: Blackley และคณะ (1997)

ส่วนประกอบของน้ำยาง (เสาวนีย์, 2546)

ส่วนของเนื้อยาง มีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้ คือ

1. อนุภาคยาง ถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีนโดยโปรตีนอยู่ชั้นนอกสุดและอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โปแตสเซียม และทองแดงปนอยู่เล็กน้อย โดยปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำ ประกอบด้วยสารประกอบพอลิไฮโดรคาร์บอน มีชื่อโครงสร้างทางเคมีว่า ไอโซพรีน (*cis*-1,4 polyisoprene) มีความหนาแน่น 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000-400,000 กรัมต่อโมล ลักษณะอนุภาคยางเป็นรูป ค่อนข้างกลมคล้ายลูกแพร์ มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมากอยู่ระหว่าง 0.04-4 ไมครอน แสดงดัง Figure 3 เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูง พบว่า อนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่จะแยกตัวออกจากชั้นน้ำขุ่นมาอยู่ด้านบนซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นน้ำยางข้น ส่วนอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กจะปนอยู่กับหางน้ำยาง (Skim latex)

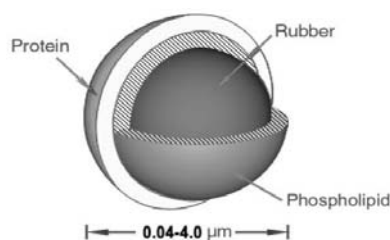


Figure 3. Characteristics of particle of natural rubber.

ที่มา: เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี (2546)

2. โปรตีน (Protein) โปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง โปรตีนที่อยู่ในน้ำยางส่วนใหญ่เป็นชนิด แอลฟาไกลบูลิน และฮีวิน (α -globulin และ hevein) ส่วนนอกสุดของอนุภาคยางมีโปรตีนห่อหุ้มอยู่ประมาณ 1 % ของอนุภาคยาง พวกแอลฟาไกลบูลินไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ในกรดต่าง หรือเกลือ

3. ไขมัน (Lipid) ไขมันอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิด α -lecithin ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยางน้ำยางในสถานะที่เป็นคอลลอยด์ เช่น มีแอมโมเนียอยู่ (ประมาณ 0.6 % ขึ้นไป) ฟอสโฟไลปิดจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาวซึ่งจะรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นสบู่ ทำให้น้ำยางมีความเสถียวยิ่งขึ้น

ส่วนที่ไม่ใช่น้ำ มีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้ คือ

1. ส่วนที่เป็นน้ำหรือเซรุ่ม เซรุ่มของน้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ คือ คาร์โบไฮเดรตเป็นสารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1% น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดคิวบาชิทอล (Quebrachitol)

2. โปรตีนและกรดอะมิโน เป็นส่วนที่อยู่ในเซรุ่มของน้ำยาง

3. ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ ลูทอยด์ (Lutoids) เป็นอนุภาคที่ค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5–3 ไมครอน ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในเยื่อบางๆ มีทั้งที่เป็นสารละลายและสารที่แขวนลอย มีค่า pH 5.5 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน นอกจากนี้ยังมีส่วนของสารพวกฟอสโฟไลปิดแขวนลอยอยู่ประมาณ 0.5 % และมีสารพอลิฟีนอลออกซิเดส

น้ำยางข้น (Concentrated latex)

หมายถึงน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น โดยน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นแล้วจะมีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อยละ 55-65 ซึ่งสูงกว่าน้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อยละ 25-30 ทำให้สามารถทำการขนส่งได้ง่ายขึ้นเป็นอย่างมาก การผลิตน้ำยางข้น (สถาบันวิจัยยาง , 2542) กระบวนการผลิตน้ำยางข้น ได้จากการนำน้ำยางสดที่รักษาสภาพด้วย สารละลายแอมโมเนีย หรือสารละลายโซเดียมซัลไฟท์ แล้วนำมาปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เพื่อแยกน้ำและสารอื่นๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำออกไปบางส่วนจะได้น้ำยางแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. น้ำยางข้น 60% (Concentrated latex) รักษาสภาพด้วย 0.7% สารละลายแอมโมเนียชนิดเข้มข้นหรือ 0.2% สารละลายแอมโมเนียชนิดเจือจาง ร่วมกับสารรักษาสภาพน้ำยาง
2. หางน้ำยาง (Skim latex) นำมาใส่ NH_3 แล้วเติม H_2SO_4 เพื่อให้หางน้ำยางจับตัวแล้วนำไปผ่านกระบวนการรีดเคฟหรือคัลลอย เพื่อผลิตเป็น สกิมเคฟ หรือ สกิมบล็อค

หางน้ำยาง (Skim latex)

หางน้ำยางเป็นของเหลวที่เหลือจากการทำน้ำยางข้นด้วยการนำน้ำยางสดมาทำการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือเซนตริฟิวส์ แยกอนุภาคเม็ดยางออกจากน้ำ ซึ่งอนุภาคเม็ดยางเบากว่าน้ำ ส่วนหางน้ำยาง ส่วนใหญ่แยกตัวออกไปเป็นน้ำยางข้น น้ำยางข้นที่ได้มีปริมาณเนื้อยางอยู่ร้อยละ 60-65 ซึ่งหางน้ำยาง คือส่วนที่เหลือจากการเซนตริฟิวส์แยกเนื้อยางส่วนใหญ่ออกไปแล้ว

ก็ยังมีส่วนของเนื้อมายออกมามีด้วย ซึ่งเป็นเนื้อมายที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ๆ มีปริมาณเนื้อมายอยู่ร้อยละ 3-6 (ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องปั่น) นอกนั้นเป็นสารอื่นๆที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber constituents) ในปริมาณและชนิดที่แปรปรวน ซึ่งส่วนประกอบของยางน้ำยาง โดยทั่วไปเมื่อทำการ เซนตริฟิวจ์น้ำยางสด จะได้น้ำยางข้นที่มีเนื้อมายแห้งประมาณ 60 % ในขณะที่ยางน้ำยาง ประกอบด้วยเนื้อมายแห้งเพียง 4-8% เท่านั้น

ทรงพล ลิ้มพิสูจน์ และคณะ (2548) ศึกษาวิธีการทำกาวจากยางแท่ง โดยมี ส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ยางสกิม โทลูอิน white paraffin wax และ hydrogenated rosin และหา อัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วนประกอบของยางแท่ง คือ สารละลายยางสกิมที่มีความเข้มข้น 10 % โดยน้ำหนัก มีโทลูอินเป็นตัวทำละลายและปริมาณ white paraffin wax ที่เหมาะสม 1,500 phr ในการขึ้นรูปและสารเพิ่มความเหนียวเป็น hydrogenated rosin ปริมาณ 100 200 300 400 500 phr หลังจากนั้นนำไปทดสอบหาความเหนียวและแรงเฉือน โดยใช้กระดาษเป็นวัสดุทดสอบ พบว่ากาว ยางที่มีปริมาณ hydrogenated rosin ปริมาณ 200 phr มีคุณภาพของกาวแท่งสูงกว่ากาวยางแท่งชนิด อื่น

Table 2. Compositions of latex, concentrated latex and skim latex.

Compositions	Latex	Concentrated latex	Skim latex
	100 g	50 g	50 g
DRC	32.5 gm	30 g/ 60%	2.5 g/ 5.0%
TSC	36.0 gm	30.75 g/ 61.50%	5.25 g/ 10.50%
TSC-DRC	3.5 gm	0.75 g/ 1.5%	2.75 g/ 5.50%
Mg ⁺⁺	200 ppm of latex	120 ppm	80 ppm
Serum	64 g	19.25 g/38.50%	44.75 g/ 89.50%
Total	100 g	50 g/100%	50 g/ 100 %

ที่มา : Morris, (1984)

จากตารางที่ 2 นี้จะเห็นว่า น้ำยางสด 100 กรัม ซึ่งมี DRC 32.5 กรัม เมื่อนำไปปั่น จะได้น้ำยางข้น 60%DRC ออกมา 50 กรัม และได้ยางน้ำยางซึ่งมีเนื้อมายปนอยู่ 5.0% ออกมา 50 กรัมเช่นเดียวกัน

น้ำยางธรรมชาติไม่ว่าอยู่ในสถานะสด หรือ สถานะที่มีกา รใส่สารรักษาสภาพน้ำ ยาง (Preserved latex) ประกอบ ด้วยสารละลายคอลลอยด์แบบอิมัลชัน (Colloid emulsion) ของ

อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรุ่ม อนุภาคเล็กๆ ของยางที่แขวนลอยอยู่ในเซรุ่ม แสดงการเคลื่อนไหวของอนุภาคในน้ำยางสดจะรวดเร็วกว่าการเคลื่อนไหวของอนุภาคยางในน้ำยางที่ใส่สารรักษาสภาพ อนึ่งเนื่องจากอนุภาคยางเบากว่าเซรุ่ม ดังนั้น อนุภาคยางเหล่านั้นจึงมีแนวโน้มลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้ อนุภาคยางจะเคลื่อนที่ได้ประมาณเดือนละ 6 เซนติเมตร การแยกตัวของอนุภาคยางเกิดเป็นลักษณะครีมอยู่บนผิวหน้า น้ำยางจะรวดเร็วยิ่งขึ้น ถ้าอนุภาคยางมีขนาดใหญ่ขึ้นและอนุภาคยางจะใหญ่ขึ้นได้เมื่อเติมสารคอลลอยด์ที่จะไปทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยาง จึงเรียกสารนี้ว่าเป็นตัวการทำให้เกิดครีม (Creaming agent)

สารก่อครีม (Creaming agent) ได้แก่ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxyl Propyl Methyl Cellulose, HPMC) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายคือ 190-220 °C สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำเพื่อเปลี่ยนสภาพเป็นคอลลอยด์แต่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำร้อน เป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่บริเวณผิวหน้าและมีความโปร่งใสสูง สามารถใช้เป็น suspending agent, thickening agent, emulsifier stabilizer, gellant และ dispersing agent เป็นต้น มีโครงสร้างดัง Figure 4

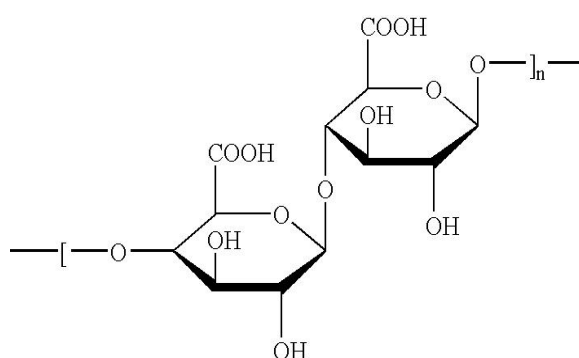


Figure 4. Structure of hydroxyl propyl methyl cellulose.

ที่มา : โชติรส ดอกขันธ์ (2552)

สุรพิชญ และคณะ (2007) การรวบรวมเนื้อเยื่อจากหางน้ำยางได้มีการพัฒนาวิธีการที่ช่วยรักษาสีแวดล้อมโดยการใช้ water-soluble biopolymer และอนุพันธ์ของมัน ที่เป็น flocculants โดยศึกษา ผลของ การครีมของ N, O-carboxymethyl chitosan และ hydroxyl propyl cellulose พบว่าสามารถครีมหางน้ำยางได้ด้วย flocculants ทั้งสองชนิดการแยก กั้นระหว่างชั้นครีมและชั้นเซรุ่ม ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ flocculants และเวลาในการครีม โดยการใช้ flocculants นี้ไม่ทำให้

อนุภาคยางเกิดการจับตัวในชั้นครีม หางน้ำยางที่ได้จากชั้นครีมสามารถรวบรวมโดยใช้กรดจับตัวปริมาณน้อย ผู้วิจัยสามารถรวบรวมเนื้อยางได้มากกว่า 90% จากหางน้ำยาง

โชติรส ดอกขันธ์ (2552) ได้ทำการศึกษาสมบัติของหางน้ำยาง จากโรงงานผลิตน้ำยางชั้น source 1 ถึง 4 ที่ได้จากกระบวนการครีมด้วย cellulose ether หางน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการครีมมิ่งจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 5% เป็น 30% โดยน้ำหนัก ส่วนสมบัติเชิงกลของหางน้ำยางที่ได้จากกระบวนการครีมมิ่ง ได้แก่ tensile strength และ %elongation at break มีสมบัติที่ดีกว่าหางน้ำยางโดยทั่วไป Table 3 และ 4 แสดงสมบัติของหางน้ำยางก่อนและหลังกระบวนการครีม

Table 3. Properties of skim latex before creaming process from different sources.

Properties	Source of skim latex			
	Source 1	Source 2	Source 3	Source 4
Total solid content (%TSC)	7.4 ± 1.1	8.0 ± 1.4	6.2 ± 0.7	6.3 ± 0.9
Dry rubber content (%DRC)	4.2 ± 0.3	5.1 ± 0.4	2.7 ± 0.2	4.4 ± 0.2
pH	10.1 ± 0.4	9.1 ± 0.5	10.0 ± 0.7	9.2 ± 0.6
Alkalinity (as NH ₃) (%)	0.29 ± 0.10	0.10 ± 0.06	0.23 ± 0.04	0.14 ± 0.07
Average particle size (µm)	0.128	0.222	0.130	0.134

ที่มา : โชติรส ดอกขันธ์ (2552)

Table 4. Properties of skim latex after creaming process from different sources.

Properties	Source of skim latex			
	Source 1	Source 2	Source 3	Source 4
Total solid content (%TSC)	33.1 ± 1.1	27.7 ± 0.8	28.1 ± 1.1	32.9 ± 1.3
Dry rubber content (%DRC)	32.2 ± 0.3	25.2 ± 0.2	26.5 ± 0.3	31.5 ± 0.4
pH	9.9 ± 0.5	8.7 ± 0.2	9.2 ± 0.4	9.0 ± 0.1
Alkalinity (as NH ₃) (%)	0.20 ± 0.08	0.09 ± 0.03	0.17 ± 0.10	0.13 ± 0.04
Average particle size (µm)	0.142	0.273	0.130	0.153

ที่มา : โชติรส ดอกขันธ์ (2552)

การบลูมในยาง (เกษรา เลหาพิสิฐพานิชย์, 2551)

การบลูม (Blooming) คือปรากฏการณ์ที่สารเคมีที่เป็นส่วนผสมในยางเกิดการแพร่ขึ้นมาที่พื้นผิวและเกิดการตกผลึกกลายเป็นคราบของสารเคมีอยู่บนพื้นผิวของยาง

ตามหลักและทฤษฎีแล้ว สารเคมีเกือบทุกชนิด ที่สามารถละลายเข้าไปในยางมีแนวโน้มที่จะเกิดการบลูมได้ โดยการบลูมของสารเคมีเหล่านี้ถือว่าเป็นข้อบกพร่องเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้การบลูมยังก่อให้เกิดการเปราะเปื้อนของยางสี อีกทั้งยังให้ยางคอมพาวด์มีสมบัติเหนียวติดกันลดลง ซึ่งการบลูมสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัยด้วยกัน และเป็นการยากที่จะบ่งชี้ว่าปรากฏการณ์ บลูม ที่พบนั้น เป็นบลูมจริง (True bloom) คือ บลูมที่เกิดจากการตกผลึกของสารเคมีหรือเป็นบลูมที่เกิดจากสาเหตุอื่น อย่างไรก็ตามไม่ว่าการบลูมที่พบจะเกิดจากรากสาเหตุใดก็ตามก็ล้วนแต่ส่งผลต่อรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดูเหมือนสิ่งสกปรกเป็นฝ้าที่ พื้นผิวของของยางหรือปรากฏสีที่ไม่ต้องการ รวมถึงทำให้สมบัติยางลดลง

ถึงแม้ว่าการบลูมเป็นปัญหา แต่การบลูมบางกรณีอาจก่อให้เกิดประโยชน์ได้ ตัวอย่าง เช่น การบลูมของไข (Wax) หรือการบลูมของของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradant) เพราะเมื่อสารเคมีเหล่านี้เกิดการแพร่และตกผลึกอยู่บนชั้นของพื้นผิวยาง ก็จะทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางเคลือบอยู่บนผิวหน้าของยาง ซึ่งแผ่นฟิล์มที่เกิดขึ้น สามารถทำหน้าที่ป้องกันยางจากการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจนและ โอโซน ได้ ทำให้ ผลิตภัณฑ์ยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

การเชื่อมแน่นและการยึดติด (Cohesion and adhesion)

กาว (Adhesive)

กาว หรือ adhesive คือ วัสดุที่ใช้สำหรับยึดติดวัสดุตั้งแต่สองชิ้นเข้าด้วยกัน ส่วนใหญ่เป็นวัสดุพอลิเมอร์ ซึ่งปัจจุบันกาวที่ใช้เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ ทั้งที่เป็นชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ที่เป็นพอลิเมอร์แข็งมีการยึดติดที่อุณหภูมิห้อง และอ่อนตัว เมื่อโดนความร้อน และกาวที่เป็นพอลิเมอร์โมเซตติง (Thermosetting) เป็นพอลิเมอร์แข็งที่มีความคงทนต่อความร้อน ไม่ละลายในตัวทำละลาย ซึ่งมีบทบาทในการใช้งานด้านต่างๆ กาวที่ใช้โดยทั่วไปส่วนใหญ่เป็นกาวสังเคราะห์ และมีสมบัติที่เหมาะสมในการติดวัสดุแตกต่างกัน กาวเปรียบเสมือนการเชื่อมประสานผิวของวัสดุ ซึ่งกาวที่ใช้ส่วนมากเป็นของเหลวที่มีแรงดึงผิวต่ำเพื่อใช้งานได้ง่าย เนื่องจากของเหลวไหลลื่น รอบคลุมวัสดุ ได้ดีเมื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งทำให้ยึดติดได้แข็งแรง

ในการทำความเข้าใจการยึดติดของกาว ศัพท์เทคนิคของกาวที่สำคัญ ได้แก่

- Bond line ช่องว่างหรือแนวเส้นระหว่างผิววัสดุซึ่งบรรจุด้วยกาว
- Substrate วัสดุที่นำมายึดติดด้วยกาว
- Surface ผิวหน้าของวัสดุที่ใช้ทา กาว
- Cure ปฏิกิริยาบ่มที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ปฏิกิริยาจะเกิดเนื่องจาก ความเย็น ตัวทำละลาย หรือสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบ
- Green strength ความแข็งแรงของกาวในการยึดติดวัสดุเข้าด้วยกัน ในระยะแรกที่กาวเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง
- Green time (Open time) ระยะเวลาที่กาวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง
- Kick over การเพิ่มความหนืดอย่างรวดเร็วในขณะที่กาวกำลังเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนสถานะ
- Pot life ระยะเวลาที่กาวคงสถานะของเหลวระหว่างการผสม
- Rheology ความสามารถในการไหล/ การเปลี่ยนรูปของสาร
- Viscosity ค่าความหนืดที่ต้านทานการไหลของกาว
- Wetting การเปียกผิวจากหยดของเหลวบนวัสดุที่เป็นของแข็ง
- Adhesive failure การเสียหายจากการที่กาวหลุดจากวัสดุที่เชื่อมติด
- Cohesive failure การเสียหายจากการที่เนื้อกาวแยกหลุดออกจากกัน

แรงเชื่อมแน่น (Cohesion หรือ Cohesive force) คือ แรงดึงดูดของโมเลกุลของสารชนิดเดียวกัน เช่น โมเลกุลเกิดขึ้นภายในกาวหรือตัววัสดุเอง เป็นต้น แรงยึดติด (Adhesion หรือ Adhesive force) คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของ กาวกับพื้นผิวที่ติด เช่น โมเลกุลของกาวกับกระดาษ เป็นต้น

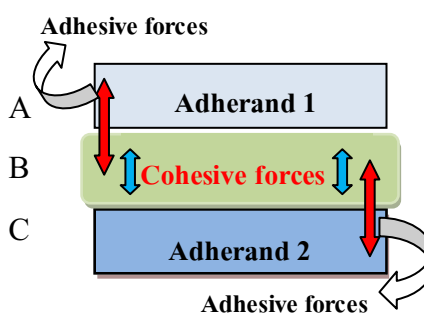


Figure 5. Cohesion and adhesion between adhesive and substrate.

(↑ AB and CB is adhesive forces and ↑↓ is cohesive forces)

ประเภทของกาว (Type of adhesive)

1. แบ่งตามโครงสร้าง

1.1 กลุ่มที่มีสายโซ่โมเลกุลยาว แต่ละสายหรือแขนขอลอยอยู่ในตัวทำละลาย เช่น กาวลาเท็กซ์ หรือกาวยาง กาวพวกนี้ต้องรอให้ตัวทำละลายแห้งก่อนจึงจะแข็งตัวและยึดติดได้ กาวพวกนี้มีข้อดีคือ ราคาถูก ใช้งานง่ายแต่ไม่แข็งแรง ไม่ทนความร้อน และเมื่อถูกสารละลายที่เข้ากันได้จะเยิ้ม

1.2 กลุ่มที่มีโมเลกุลเล็กๆ อาจเป็นพวกมอนอเมอร์ตัวเดียว หรือมีโมเลกุลตัวมาต่อกัน เรียกว่าพรีพอลิเมอร์ (Prepolymer) จะมีการใช้สารเคมีช่วยในการเกิดปฏิกิริยาเพื่อให้ได้สายโซ่ยาว กาวชนิดนี้มีข้อดี คือ แข็งตัวเร็ว ยึดติดได้แน่นมากแต่ไม่ทนความร้อน และละลายได้ในตัวทำละลายบางชนิด

1.3 กลุ่มที่มีลักษณะเป็นแท่งพลาสติก และต้องใช้อุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในการหลอม กาวพวกนี้มีสายโซ่ยาว แต่ไม่มีตัวทำละลายจึงมีสภาพเป็นของแข็ง เวลาใช้งานต้องใช้ความร้อนทำให้กาวหลอมเหลวและปล่อยให้เย็นตัวแข็งใหม่อีกครั้ง เช่น กาวแท่ง โพลี เอไมด์ และ กาวแท่ง โพลีเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต กาวพวกนี้มีจุดเด่น คือ ไม่หดตัวแต่ไม่ทนความร้อน

2. แบ่งตามลักษณะการใช้งาน (พัชชา ลีวัชรินทร์, 2543)

2.1 Solvent adhesive เป็นกาวที่ใช้ตัวทำละลายที่ละลายได้ง่าย ซึ่งใช้กันมากในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ สายพาน ซึ่งข้อได้เปรียบของกาวชนิดนี้ คือ มีการเปียกผิวที่ดี (Wetting) มีการเซตตัวเร็ว ทนทานต่อน้ำ และสามารถปรับปรุงให้เกิดพันธะที่แข็งแรงได้ แต่ในแง่การใช้งาน ต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษในเรื่องของอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากตัวทำละลายที่เป็นสารระเหยง่ายซึ่งมีผลเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานหากมีการสูดดมเข้าไปและมีความไวไฟสูงต้องมีการระมัดระวังเรื่องการจัดเก็บ ตัวอย่าง กาวชนิดนี้ได้แก่ สารละลายกาวจากยางธรรมชาติกาวโพลีเอไมด์ เป็นต้น

2.2 Hot melt adhesive กาวชนิดนี้โดยปกติแล้วอยู่ในรูปของแข็ง การใช้งานต้องมีการให้ความร้อนทำให้เนื้อกาวหลอม มักใช้ในอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตเร็วและต่อเนื่อง เนื่องจากกาวชนิดนี้เมื่อเย็นตัวจะเซตตัวได้เร็ว แต่มีข้อเสีย ใช้งานที่ละเอียดและพื้นที่ผิวมากๆ ไม่ได้ติดเฉพาะพื้นที่ผิวที่อุณหภูมิสูง ตัวอย่างวัสดุที่ใช้ผลิตกาวประเภทนี้ ได้แก่ ไนลอน , โพลีเอสเตอร์ และ โพลีเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต เป็นต้น

2.3 Reactive adhesive กาวชนิดนี้เป็นกาวที่สามารถเกิดการพอลิเมอไรเซชันได้ โดยกาวชนิดนี้มีการเซตตัวเร็วมากที่อุณหภูมิห้องเมื่อเทียบกับกาว hot melt ดังนั้นการเก็บรักษาจึงเป็นปัญหาที่สำคัญ รวมถึงมีราคาแพง ตัวอย่างชนิดนี้ได้แก่ กาวอีพอกซีเรซิน , กาวอะครีลิกและกาวไอโซไซยาเนต เป็นต้น

2.4 Pressure sensitive adhesive เป็นกาวที่เตรียมในรูปของเทปกาว (Tape) ซึ่งจะเคลือบลงบนเซลโลเฟน, โพลีเอทิลีนและพีวีซี เป็นต้น ปัจจุบันนิยมใช้กันมากทางการแพทย์ด้านการผ่าตัด โดยวัสดุที่นิยมนำมาใช้ผลิตกาวชนิดนี้คือ ยางธรรมชาติ

2.5 Emulsion adhesive เป็นกาวที่เตรียมอยู่ในรูปของเหลวข้นมีข้อดีราคาถูกราคาการผลิตไม่ยุ่งยาก สามารถใช้งานกับวัสดุพื้นผิวที่มีรูพรุนได้ เช่น ไม้ กระดาษ พื้นปูนที่หยาบเนื่องจากกาวชนิดนี้มีส่วนประกอบที่เป็นน้ำอยู่ ซึ่งจะซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุที่ทาได้ง่าย แต่เนื่องจากมีน้ำเป็นส่วนประกอบมากทำให้การเซ็ตตัวช้าและที่สำคัญคือ มีอายุการเก็บที่สั้น ตัวอย่างวัสดุที่ใช้ผลิตกาวชนิดนี้ได้แก่ น้ำยางโพลีไวนิลอะซิเตท, น้ำยางธรรมชาติ เป็นต้น

ส่วนประกอบของกาว (Components of adhesives)

1. พอลิเมอร์ (Polymer) เป็นสารทำให้เกิดการยึดติดวัสดุเข้าด้วยกัน ซึ่งสารที่ใช้เป็นเนื้อกาวแบ่งได้ตามลักษณะดังนี้

1.1 พวกที่ได้จากพืช (Vegetable gum) เช่น แป้งเด็กซ์ตริน (Dextrin) และน้ำยางธรรมชาติ

1.2 โพรตีนจากพืชและสัตว์ยางธรรมชาติ เป็นต้น

1.3 สารอื่นๆ เช่นยางมะตอย

1.4 สารพวก Thermoplastic resin เช่น cellulose ester alkyd และ acrylic esters polyamide เป็นต้น

1.5 สารพวกยางสังเคราะห์ เช่น neoprene nitrile และ polysulphide เป็นต้น

2. สารกระตุ้น (Activator) เป็นสารเคมีที่เติมลงบนผิววัสดุโดยตรงหรือสามารถผสมกับกาวเพื่อเร่งการแห้งของกาวให้เร็วขึ้น

3. สารเร่งปฏิกิริยา (Catalysts/ accelerators) เป็นสารเคมีที่ใช้ในปริมาณน้อยเพื่อให้กาวเปลี่ยนเป็นของแข็ง

4. Curing agent เป็นสารเคมีที่ใช้เพื่อให้กาวเปลี่ยนเป็นของแข็ง

5. สารอื่นๆ (Miscellaneous components) ได้แก่

5.1 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antioxidant) เป็นตัวช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของพันธะคู่ในพอลิเมอร์เนื่องจากการใช้งาน

5.2 สารช่วยเสริมประสิทธิภาพของพื้นที่ผิว (Surface active) เสริมความเสถียรของคอลลอยด์และความสามารถในการเปียกที่ผิว

5.3 สารป้องกันการแข็งตัว เป็นกลุ่มของพวก Stabilizer เช่นพวก เอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) และ กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นต้น

5.4 สารป้องกันเชื้อรา เช่น เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) และ สารประกอบอินทรีย์ของปรอท เป็นต้น

5.5 สารป้องกันการกัดกร่อน เช่น โซเดียมเบนโซเอท (Sodium benzoate)

5.6 สารป้องกันการเกิดฟอง เช่น N-hexyl alcohol, N-octyl alcohol เนื่องจากหาก กาวเกิดฟองบริเวณที่ทาเพื่อเชื่อมต่ออาจทำให้เกิดจุดลึมหollowของกาว

5.7 สารป้องกันการติดไฟ เช่น antimony trioxide

5.8 สี เป็นต้น

6. พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารที่เติมเพื่อป้องกันการเปราะของกาว ซึ่ง กาวหลายชนิดมีความแข็งแรงสูงแต่เมื่ออยู่ในสถานะที่ได้รับแรงกดสูงกาวมีโอกาสที่จะเกิดการ แตกร้าวได้ (Crack) โดยพลาสติไซเซอร์จะช่วยทำให้กาวมีความยืดหยุ่นมากขึ้นเพื่อลดความเปราะ ของตัวกาว

7. ตัวทำละลาย (Solvent) เป็นสารที่เติมเพื่อให้กาวกระจายตัวหรือแขวนลอยอยู่ใน รูปของเหลวเพื่อให้กาวเปียกที่ผิวของวัสดุได้ง่าย ซึ่งตัวทำละลายจะระเหยออกจากกาวในขณะที่กาว กำลังจะ cure ซึ่งกาวบางชนิดจะใช้ตัวทำละลายเป็นสารเจือจาง (Diluents)

8. แทกกีไฟเออร์ (Tackifier) มักใช้เติมในกาวบางประเภทเท่านั้น โดยใช้ใน ปริมาณที่เหมาะสมสามารถเพิ่มความเหนียวหรือเพิ่มความสามารถในการเกาะติด (Ability to stick)

กลไกการยึดติด (Adhesion mechanism)

การจะทำให้วัสดุสองชนิดหรือมากกว่าติดเข้าด้วยกันนั้นต้องทำให้อะตอมหรือ โมเลกุลของวัสดุทั้งสองเข้าใกล้กันมากที่สุดและเพียงพอเพื่อให้เกิดแรงกระทำระหว่างโมเลกุล

1. การยึดติดทางกล (Mechanical bonding) แรงยึดเหนี่ยวเกิดจากการเกี่ยว ติดกันระหว่างโมเลกุลของกาวกับวัสดุ (Mechanical interlocking) จากการที่กาวไหลเข้าไปแทนที่ อากาศในช่องว่างบนพื้นผิวของวัสดุหรือการแพร่ผ่านไปในผิวของวัสดุ การติดทางกลแบบนี้จะ เกิดการติดได้เมื่อพื้นผิวของวัสดุมีความขรุขระ ทำให้พื้นผิวสัมผัสกับกาวและวัสดุได้เพิ่มขึ้น เช่น ไม้กระดานหรือเส้นใยเมื่อกาว กาวจะซึมเข้าไปตามช่องว่างผิว และทำให้พื้นที่ผิวภายในมีการยึด ติดมากขึ้น

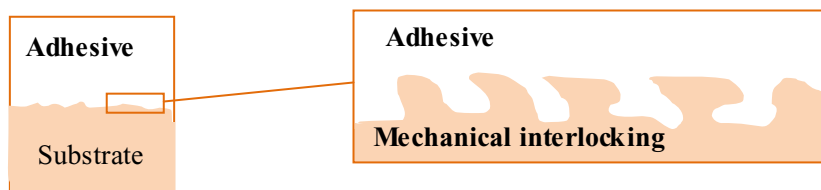


Figure 6. Mechanical bonding.

2. การยึดติดด้วยแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของกาวกับการดูดซับผิววัสดุ (Adsorption or thermodynamic theory) การยึดติดด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) ที่บริเวณผิวสัมผัสของกาวกับวัสดุ ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงในการติดของกาวนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลของกาวครอบคลุมพื้นที่ผิวของวัสดุ ดังนั้นกาวที่ดีต้องมีแรงดึงผิวต่ำ

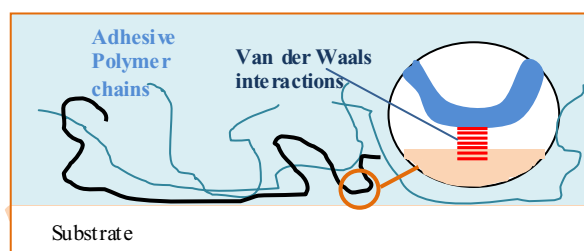


Figure 7. Bonding with adhesive force between molecules of material.

3. การยึดติดด้วยแรงทางประจุไฟฟ้า (Electrostatic theory) แรงดึงดูดเกิดจากอันตรกิริยาของประจุไฟฟ้า (Electrical interaction) เป็นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมากไปยังอิเล็กตรอนน้อย ที่แตกต่างกันบริเวณผิวสัมผัสของกาวกับวัสดุ เช่น การยึดติดของพอลิเมอร์กับโลหะ

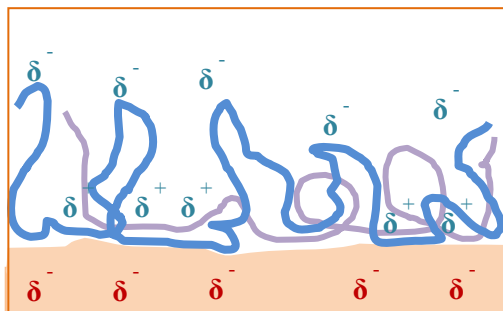


Figure 8. Adhesive force with force electricity.

4. การยึดติดที่เกิดจากการแพร่ (Diffusion theory) เป็นการยึดติดที่เกิดจากการแพร่ของโมเลกุลแทรกผ่านรวมเข้าอยู่ด้วยกันของโมเลกุลระหว่างพื้นผิวของกาวและวัสดุ (Interdiffusion of chain) เป็นการแพร่ของสายโซ่โมเลกุลภายใน มีการเคลื่อนไหวและการบิดตัวของสายโซ่) ซึ่งปัจจัยที่มีผล เช่น เวลาที่ใช้ในการเชื่อมติด อุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุล เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความสามารถในการแพร่ของสายโซ่โมเลกุลกาว ได้ โดยการเพิ่มแรงกด เพิ่มอุณหภูมิ เพิ่มเวลาในการยึดติด หรือลดน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ หรือใช้ Plasticizer, Tackifier ร่วมด้วย

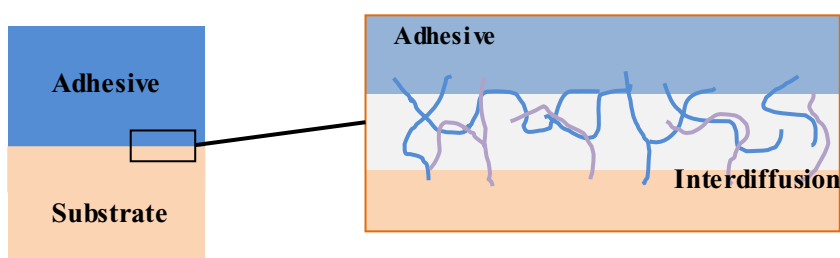


Figure 9. Adhesion and diffusion of combined molecules.

5. การยึดติดที่เกิดจากพันธะเคมีระหว่างผิวสัมผัสระหว่างกาวกับวัสดุ (Chemical bonding theory) ซึ่งพันธะทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกาวและผิวสัมผัสมีด้วยกันหลายแบบ และพลังงานพันธะไม่เท่ากัน ส่งผลต่อความแข็งแรงของการยึดติด โดยหากพลังงานพันธะสูงแสดงว่าพันธะมีความแข็งแรงมาก

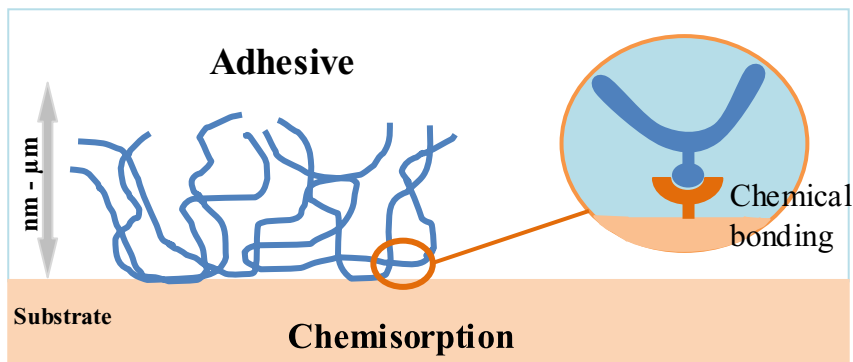


Figure 10. Adhesion by chemical bonding.

พันธะที่เกิดขึ้นในระดับของโมเลกุลของกาว

แรงที่ใช้ในการเชื่อมประสานระหว่างกาวและวัสดุเพื่อให้เกิดความแข็งแรงในการยึดติดกับวัสดุในระดับอะตอม และ โมเลกุล พันธะที่เกิดขึ้น ประกอบไปด้วยพันธะ ทางเคมี (Chemical bond) และพันธะทางกายภาพ (Physical bond)

1. พันธะทางเคมี (Chemical bond) ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของอะตอม ได้แก่
 - พันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) เป็นผลที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอม ซึ่ง

อธิบาย โดยสมการของ Lennard – Jones

$$U = -A/2(2/r^6 - r^6/r^{12})$$

โดยที่ U คือ พลังงานแฝง (Potential energy) ของระบบที่ตอบสนองต่อการแยกออกของอะตอมเป็นระยะ r (รัศมี)

ซึ่งถ้าอะตอมระยะห่างกันมากจะทำให้ potential energy สูง แต่ถ้าอะตอมอยู่ใกล้กันมากจะทำให้ potential energy ต่ำ

- พันธะไอออนิก (Ionic bond) เป็นผลที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างประจุ 2 ประจุ ที่ตรงกันข้ามกัน เช่น Na^+ และ Cl^- ซึ่งอธิบายได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$U_{\text{ionic}} = q^+ q^- / r^6$$

$$F_{\text{ionic}} = q^+ q^- / r^2$$

โดยที่ $q^+ q^-$ คือ ผลคูณของประจุไอออนิก

r คือ ระยะห่างของอะตอม

2. พันธะทางกายภาพ (Physical bond) มีความแข็งแรงของพันธะน้อยกว่า พันธะโควาเลนต์และพันธะไอออนิก ซึ่งเป็นพันธะทางเคมี ได้แก่

- พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonds) เป็นพันธะที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของน้ำ ต่อสมบัติของพอลิเมอร์หลายชนิด โดยที่น้ำอาจทำให้พอลิเมอร์บางชนิดอ่อนตัวลงได้
- แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) มีความเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของเนื้อแก้ว และความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างแก้วกับวัสดุ

การเลือกแก้วสำหรับการใช้งาน โดยเฉพาะทางด้านบรรจุภัณฑ์ ต้องมีการพิจารณา เพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยส่วนแรก คือลักษณะทางเคมีขององค์ประกอบ ของแก้ว ที่มีหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญและบ่งบอกคุณสมบัติของแก้วอย่างกว้างๆ ส่วนที่สอง คือ พิจารณาจากการฟอร์มเกิดเป็นพันธะของแก้ว โดยเกิดจากการสูญเสียน้ำหรือตัวทำละลาย การสูญเสียด้วยความร้อน หรือ การทำปฏิกิริยา ทางเคมี เป็นผลจากกระบวนการใน ขั้นตอน ที่ แก้ว ถูกนำไปใช้งาน (Lazarus, 2000)

Mechanism of bond formation

กลไกการเกิดพันธะของแก้วที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ โดยแก้วส่วนมากที่นำไปใช้เป็นของเหลวเพื่อให้เกิดการการยึดเกาะ (Adhesion) หนึ่งหรือทั้งสอง บนพื้นผิว วัสดุ จาก นั้น จะ เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งหลังจากสองพื้นผิวได้มารวมกันเพื่อให้เกิด cohesive strength กระบวนการ ที่ทำให้แก้วเปลี่ยนสถานะของแข็งถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง (Lazarus, 2000) วิธีการเกิดฟอร์มรูปเป็นพันธะของแก้วมีด้วยกัน สามวิธี คือ

1. Loss of carrier เป็นพันธะที่เกิดขึ้นเฉพาะเมื่อมีการกำจัด carrier

เนื่องจากการดูดซึม (Absorption) หรือจากการระเหยด้วยความร้อน (Evaporation) ที่พื้นผิว วัสดุ น้ำถือว่าเป็นตัวทำละลาย แต่การที่จะกำจัดน้ำออกจำเป็นต้องใช้พลังงานอย่างมาก ส่วนมาก ใช้กับบรรจุภัณฑ์ที่มีพื้นผิวหนึ่งหรือทั้งสองพื้นผิวเป็นกระดาษเพราะกระดาษมีรูพรุนและเปียกน้ำได้ ง่าย แก้วที่ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่จึงเป็นชนิด water-based แต่ในกรณีที่ไม่สามารถผ่านเข้าไป ในพื้นผิวทั้งสองเพื่อเกิดเป็นพันธะ เช่นการลามิเนตของฟิล์ม พลาสติก แก้วที่ใช้ ต้องเป็นพวก solvent-based

2. Loss of heat เป็นการประยุกต์ใช้แก้วเหลว (Molten adhesive) เพื่อให้แก้ว

เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง โดยใช้ความเย็น (Cooling) มีข้อได้เปรียบที่สำคัญ อย่างแรกคือ มีกา รยึดติดที่ดีเมื่อใช้กับบรรจุภัณฑ์ที่มีพื้นผิวเป็นรูพรุนและที่ไม่สามารถผ่านเข้าไปที่พื้นผิวได้ และอย่างที่สอง คือ การเซตตัวของแก้วมีความเร็วมากและใช้น้ำหนักในการเคลือบ ผิวกับวัสดุ ต่ำแต่มีข้อเสียเปรียบคือ แก้วเหลว (Molten adhesive) ไม่สามารถใช้งานในพื้นที่ที่ไวต่อความร้อนได้ แก้วจะ

เกิดการเสียสภาพหลอมกลับมาเป็นของเหลวอีก (Remelt) จึงไม่สามารถที่จะฟอร์มพันธะกาวที่ไวต่อความร้อนได้

3. Chemical reaction ของเหลวที่เป็นวัตถุดิบในการเตรียมกาวถูกนำไปใช้ และทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อเปลี่ยนสถานะของกาวเป็นของแข็ง เทคนิคนี้ นิยมใช้สำหรับกาวที่มีโครงสร้างพันธะแข็งแรงสูงมาก กาวชนิดนี้ไม่เหมาะกับการใช้งานในบรรจุภัณฑ์ ที่มีหลายพื้นผิว ทั้งที่มีความอ่อนตัวและความแข็งแรง แต่ยกเว้นคือพันธะกาวที่เกิดจากการลามิเนต (มีประสิทธิภาพการยึดหยุ่นสูง)

Method of bonding (Lazarus, 2000)

วิธีการ เกิดพันธะของกาว สามารถ แบ่งเป็น ขั้นตอนที่สำคัญได้ 2 แบบ คือ กระบวนการเกิดพันธะกาวหนึ่งขั้นตอน (One-stage) และกระบวนการ เกิดพันธะกาว สองขั้นตอน (Two-stage)

1. One-stage การเกิดพันธะกาวในขณะที่ยังเปียก (Wet bonding) กาว และพื้นผิววัสดุที่นำมาใช้งานในขณะที่ยังอยู่ในสภาพเป็นของเหลว เช่น กาว hot melt

2. Two-stage กาวถูกนำไปใช้งานกับพื้นผิวหนึ่งและทำให้กาว เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง โดยการทำให้อุ่น (Cooling) หรือจากการ กำจัด carrier ออกจากกาว เป็น กระบวนการเกิดพันธะกาวสองขั้นตอน ที่พื้นผิววัสดุและกาวเกิดการยึดเกาะ โดยนำมาประกบติดกัน และให้ความร้อนเพื่อหลอมละลายกาวและเกิดการเปียก ทำให้เกิด แรง การ ยึดเกาะที่พื้นผิววัสดุกับ กาว พันธะ ของ กาวเกิดภายหลังเมื่อเย็นตัวลง หรือที่เรียกว่าการเกิดพันธะกาวแบบ heat-seal นอกจากการเกิดพันธะกาวแบบ heat-seal แล้วยังมีกระบวนการเกิดพันธะกาวสองขั้นตอนอีก 2 แบบ คือ

- Contact bonding (การเกิดพันธะกาวภายหลังจากการกดสัมผัส) โดยกาว ที่ใช้งานแบบนี้ เกิดภายหลังที่พื้นผิวและกาวเกิดการยึดเกาะกันภายใต้สภาวะแรงกดจากนั้นก็ทำการ กำจัด carrier ออกจากกาว พื้นผิวของกาวเกิดการเคลื่อนที่และฟอร์มเป็นพันธะกาวขึ้น
- Pressure-sensitive bonding (การเกิดพันธะกาวที่อ่อนไหวต่อแรงกด) ถือเป็นข้อยกเว้นของกาวที่ฟอร์มพันธะจากการเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง กาวที่อ่อนไหวต่อแรงกด มี สภาพเป็นของเหลวมีความหนืดสูงมาก และมีคุณสมบัติการติด (Tack) อยู่ตลอด มักนำไปใช้กับ พื้นผิวที่เย็นตัวลงแล้วหรือกำจัดออก carrier เพื่อให้กาวมีความหนืดสูง ขึ้น จนไม่ สามารถเคลื่อนที่ได้ พื้นผิววัสดุและกาวเกิดการยึดเกาะเกิดการสัมผัสโดยที่กาวยังคงความสามารถในการเปียก ที่พื้นผิววัสดุ และ ฟอร์มเกิดเป็นพันธะกาวขึ้น พันธะกาวที่เกิดขึ้นนี้จะมี cohesive strength ต่ำกว่ากาวชนิดอื่น

Failure of adhesion

การเสียหายของการยึดติด โดยความแข็งแรงของวัสดุโดยกาวจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความแข็งแรงบริเวณที่มีแรงยึดติดต่ำสุด ซึ่งมักพบในบริเวณต่างๆ เช่น ภายในชั้นกาว เนื้อวัสดุ และบริเวณผิวสัมผัสระหว่างกาวกับวัสดุ

การยึดติดของกาวที่มีแรงยึดเหนี่ยวเกิดจากการเกี่ยวติดกันระหว่าง โมเลกุลของกาวกับวัสดุจากการที่กาวไหลเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างบนพื้นผิวของวัสดุ หรือการแพร่ผ่านไปในผิวของวัสดุโดยปัญหาทั่วไปที่ทำให้กาวเกิดการเสียหายภายหลังการทดสอบ นั้นอาจเกี่ยวข้องกับการรับแรงหรือโหลดที่มากเกินไปและสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น แรงโดยปริมาตรรอบๆของวัสดุ แรงไดนามิกซ์จากเครื่องจักร และรวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศ เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การเก็บรักษา เป็นต้น โดยทั่วไปการเสียหาย ของกาว ภายหลังการทดสอบการยึดติดมี 3 ประเภท คือ adhesive failure (เป็นการเสียหาย ของกาว ไม่ยึดติดกับผิววัสดุ) cohesive failure (เป็นการเสียหายจากตัวกาวกับกาว) และ adhesive-cohesive failure (เป็นการเสียหาย ระหว่างกาวกับผิววัสดุบางส่วน) (Christer, 2007) นอกจากนี้ยังพบ การเสียหาย แบบ fiber tear ที่เป็น ลักษณะ การฉีกขาดที่ลอกผิวเนื้อวัสดุออกมา ซึ่งเป็นลักษณะความเสียหายเฉพาะตัวที่มักพบกับการใช้กาวเป็งกับกระดาษ

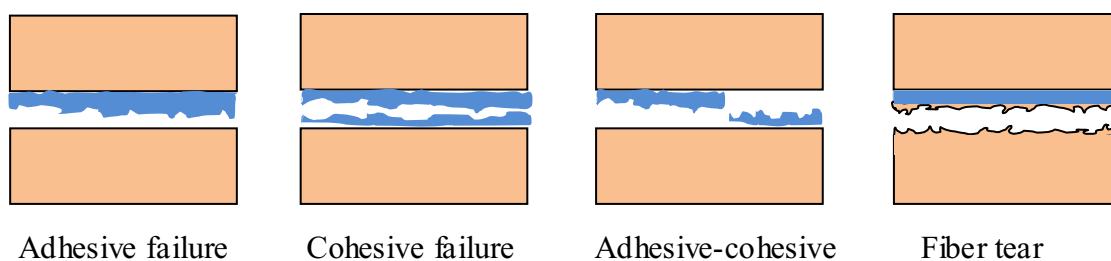


Figure 11. Failure of adhesion and fiber tear.

Christer (2007) ได้ศึกษาพฤติกรรมการแตกแยก (การเสียหาย) ของรอยต่อกาวของ carton board ที่มีการ seal และปิดผนึกด้วยกาว ซึ่งความต้องการบรรจุภัณฑ์มีความแตกต่างกันตามการใช้งานของบรรจุภัณฑ์นั้น และ ต้องมีส่วนช่วย ในการ ปกป้องผลิต ภัณฑ์ขณะที่มีการเคลื่อนย้าย เป็นที่ดึงดูดสนใจของผู้บริโภคและมีความสะดวกในการใช้งาน โดยทำ การศึกษาเพื่อหาวิธีที่บ่งบอกลักษณะของรอยต่อกาว เช่น ความแข็งแรง และ ลักษณะของรอยต่อกาว โดยใช้วิธี

Y-peel เป็นการทดสอบทางกายภาพของกาว เพื่อพิจารณาและปรับปรุงรวมถึงการทดสอบการใช้งานกาวในห้องปฏิบัติการ ในการตรวจสอบลักษณะการเสียหาย ของบริเวณรอยต่อกาว ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ force – elongation curve ที่อธิบายถึงกลไก การเสียหาย ที่รอยต่อ ของ กาว จากการศึกษาพบว่าวิธีการทดสอบ Y-peel เป็นเครื่องมือตรวจสอบ ที่มีความสำคัญ เพื่อให้ ระยะเวลาการปิดผนึกของกาวเป็นไปตามทฤษฎี รวมถึง เพื่อใช้เป็นตัว กำหนดปริมาณรอยต่อ ของ กาว และกำหนดเป็นตัวแปรที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นแนวทาง ในการ กำหนด ระยะเวลาของ กระบวนการปิดผนึกของกาว นอกจากนี้ยังช่วยให้มีการพัฒนาการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วิธีการทดสอบกาว (Testing of adhesives)

ในบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่ต้องการให้กาวทำหน้าที่ในบรรจุภัณฑ์ให้สำเร็จและอยู่ได้เป็นระยะเวลานานจนไปถึงผู้บริโภคที่จุดสุดท้าย สิ่งที่ต้องคำนึงถึง เช่น ความถี่ในการใช้งาน ความเสียหายของกาวและราคาที่ไม่สูงมาก การทดสอบและการ ควบคุมคุณภาพของ กาว ในระหว่างการผลิตและการใช้งานมีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งวิธีการทดสอบกาวมี 3 วิธี คือ quality control method performance testing และ adhesive bond testing (Franking *et al*, 2000)

Quality control method

1. Viscosity (ความหนืด) กาวที่ใช้งานทั่วไปจะมีสถานะเป็นของเหลว โดยที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะจนเป็นของแข็งเกิดเป็นฟิล์มและเกิดการเชื่อมติด เพื่อ ยึดติด ลักษณะที่สำคัญของกาวเหลว คือ ความหนืด ดังนั้นการวัดความหนืดจึงเป็นตัวที่สามารถใช้ในการควบคุมกาว ความหนืดของกาวแสดงลักษณะพฤติกรรมการไหลของกาวมีความสัมพันธ์กับแรงเฉือน

2. Total solid content กาวที่ใช้งานใช้ในรูปของสารละลายหรือ ดิสเพอร์ชัน ในรูปแบบกระจายตัวในของเหลว มีน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อนำมาทำให้แห้ง โดยผ่านความร้อน เพื่อฟอร์มเกิดเป็นพันธะกาว ส่วนที่กำจัดออกนอกจากน้ำแล้วยังมีปริมาณ ของแข็งที่มีผลต่อพันธะกาว อย่างที่ทราบกันของแข็ง เป็น ตัว พากของเหลวและบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการฟอร์มพันธะ ความหนืดของกาว เช่น ปริมาณของแข็งต่ำของเหลวจะสามา รดกระจายตัวได้มาก รวมถึงต้องใช้ระยะเวลาการแห้งตัวที่มากขึ้นด้วย

3. pH คือการวัดความเป็นกรด-ด่างของกาว

นอกจากการวัดความหนืด ปริมาณของแข็ง และ pH ของกาว แล้ววิธี การวัดค่า specific gravity, softening point และ grit analysis ของกาว ก็สามารถใช้ตรวจสอบคุณภาพของกาวได้ด้วย

Performance testing

1. Open time คือ ระยะเวลาที่กาวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง open time สามารถแสดงผลของอุณหภูมิการใช้งาน ปริมาณของกาวที่ใช้ อุณหภูมิของวัสดุและสถานะแวดล้อม เช่น การใช้ลมเย็นเพื่อให้กาวเย็นตัว ตัวอย่างกาวที่มี open time ต่ำมาก คือ กาว hot melt ที่มี open time ประมาณ 1-2 วินาที การเกิดพันธะกาวหลังจากการใช้งานประมาณ 4-5 วินาที

2. Thermal stability กาวที่ผสมสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ มักจะมีการเสียสภาพได้ง่าย เมื่อ อยู่ในที่มีอุณหภูมิสูง เป็นอีกหนึ่ง ชนิด ของ กาว ทั่วไป ที่ต้องใช้งานใน สภาพ ของเหลวใน สถานะ ที่อุณหภูมิสูง คือ กาว hot melt การทดสอบ thermal stability ของกาวเพื่อ ประเมินสถานะอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะนำกาวไปใช้งาน

Adhesive bond testing

โดยลักษณะกาวที่ดีต้องมีการต้านทานการแยกอันเนื่องมาจากแรงกระทำใน ลักษณะต่างๆ ตามสภาพที่ใช้งาน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดโดยใช้แรงดึงต่างๆ เพื่อเป็นการทดสอบคุณภาพของกาว (Franking *et al*, 2000 และ ธนาวดี, 2546)

1. Tensile strength คือการดึงในแนวตั้งฉากกับการยึดติด โดยใช้แรงดึงให้กระจายทั่วพื้นที่ที่เกิดการยึดติดทั้งหมด

2. Shear strength คือการดึงในระนาบที่ขนานกับการยึดติด โดยใช้แรงดึงไปให้ทั่วพื้นผิวที่เกิดการยึดติดทั้งหมด ความต้านทานการเฉือน (Shear strength) ของฟิล์ม กาว หมายถึง ความสามารถในการทนต่อแรงแบบคงที่ใช้ในระนาบเดียวกัน กับพื้นผิวที่ มีการเคลือบ กาว ถือว่า มีความสำคัญต่อคุณสมบัติของกาวที่ว่องไวต่อแรงกด สามารถวัดได้ โดยยึดที่ ปลายด้านหนึ่งของแถบ ของพื้นผิวที่เคลือบ กระดาษหรือฟิล์มพลาสติก ใส่งานแก้วตั้งไว้ที่มุม 2° ในแนวตั้ง ฉาก ฟอรัม เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 25 มม. จะมีน้ำหนัก เข้ามาร่วมด้วยจนสุดท้ายและเป็นอิสระ โดยเป็นค่า เฉลี่ยที่เหมาะสมและระยะเวลาที่กระทำให้เกิดการเสียหายของพันธะกาว

3. Peel strength คือการดึงลอกเมื่อมีวัสดุอย่างน้อยหนึ่งชนิดที่มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งนิยมทดสอบกับกาวประเภท ที่ไวต่อแรงกดหรือเทปกาว การทดสอบ peel strength เป็นวิธีการทดสอบเพื่อประเมินความแข็งแรงของความต้านทานการลอกออกของพันธะที่มีความว่องไวต่อแรงกด ส่วนใหญ่ เกี่ยวข้องกับการลอกออกของสารที่เคลือบ ความยืดหยุ่นของพื้นผิว พวกกระดาษหรือฟิล์มพลาสติก จากแผ่น วัสดุ ที่มีความ แข็งมาก ซึ่งปกติเป็นแก้วหรือแผ่น โลหะ โดยหมายถึงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบแรงดึง ตลอดจนถึง ความแข็งแรง ของลอกออก ที่ต้อง ไม่มีการเคลื่อนที่ของกาวระหว่างสองพื้นผิวและการแยกออกต้องสะอาดและเรียบ

4. Cleavage หรือ split strength คือ แรงดึงแยก โดยให้แรงในการแยกเฉพาะ บริเวณขอบของการยึดติดเท่านั้น

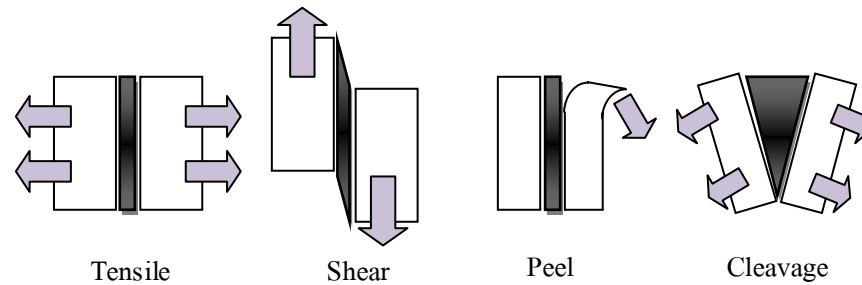


Figure 12. Forces used in adhesive bond test.

5. Tack เป็นการทดสอบแรงดึงการติดหรือการจับที่ใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถของฟิล์มกาวที่ฟอร์มรูปเป็นพันธะ โดยวัดความแข็งแรงของแรงที่กดทับเบาๆ ที่พื้นผิว ถ้ากล่าวอย่างถูกต้อง คือ ไม่ใช่คุณสมบัติของพันธะกาวแต่ เป็นกระบวนการที่สำคัญในการฟอร์มรูปของพันธะสุดท้ายของกาว หรือเรียกว่า final bond

ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ (Factors affecting adhesion between adhesive materials)

1. การเตรียมพื้นผิววัสดุเป็นสิ่งที่จำเป็น ที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดระหว่างกาวและพื้นผิวของวัสดุเนื่องจากถ้าพื้นผิวไม่สะอาด เช่น ฝุ่นละออง คราบน้ำมัน หรือความชื้น ทำให้พันธะในการยึดเกาะระหว่างกาวและพื้นผิววัสดุลดลง ทำให้กาวยึดติดไม่ดี วิธีง่ายๆ ที่สามารถใช้บอกสภาพผิววัสดุว่า ผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำมากน้อยเพียงใดคือ การสังเกตรูปทรงหยดน้ำบนผิววัสดุนั้น เช่น หากหยดน้ำมีลักษณะค่อนข้างแบน ไม่โค้งนูนมาก แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำหรือเปียกน้ำง่าย ในทางตรงข้ามหากหยดน้ำมีลักษณะเป็นเม็ดนูนเด่นชัดแสดงว่าผิววัสดุ มีสมบัติไม่ชอบน้ำมากหรือเปียกน้ำยาก

2. Wetting (การเปียก) คือ ความสามารถของ ของเหลว ในการรักษา ผิวหน้าสัมผัสกับพื้นผิว ของแข็ง ซึ่งเป็นผลจาก ปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุล โดยระดับขั้นของ wetting (Wettability) ขึ้นกับสมมูลย์ ของ แรงระหว่าง adhesion force และ cohesion force โดยที่ adhesion force เป็นแรง ระหว่างของเหลวและของแข็ง จะทำให้ของเหลวกระจายตัวไปทั่วพื้นผิว ส่วน

cohesion force เป็นแรงภายในของเหลวเองจะทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลมและไม่สัมผัสกับพื้นผิวของของแข็ง

การเปียกมีความสำคัญในการยึดติดกันของวัสดุสองชิ้น แรงยกตัว (Capillary effect) ก็เป็นผลมาจาก wetting และแรงพื้นผิวที่กำหนด wetting รูปร่างของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง จะมีรูปร่างเป็นรูปทรงหยดน้ำค้าง

มุมสัมผัส (Contact angle) คือ มุมที่เกิดจากเส้นสัมผัสกับผิวของของไหลบริเวณที่ติดกับขอบของแข็งตัดกับเส้นสัมผัสกับขอบของของแข็ง ซึ่งมุมสัมผัสเป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงเชื่อมแน่นระหว่าง โมเลกุลของของเหลวกับแรงยึดติดระหว่าง โมเลกุลของของเหลวกับ โมเลกุลของแข็ง

การวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angle) ระหว่างหยดน้ำ กับผิวฟิล์ม พลาสติก ซึ่งมุมสัมผัสมากหรือนั้น ขึ้นอยู่กับค่าแรงตึงผิว หยดนั้นจะมีมุมสัมผัสหรือรูปทรงเป็นหยดอย่างชัดเจนเมื่อความตึงผิวของน้ำมีค่า มากกว่าค่าแรงตึงผิวของฟิล์มพลาสติก แต่เมื่อความตึงผิวของน้ำมีค่า เท่ากันหรือต่ำกว่าค่าแรงตึงผิวของฟิล์มพลาสติก จึงทำให้น้ำที่เคลือบแน่นเป็นหยดน้ำก็จะเกิดเป็นฟิล์มแผ่นเรียบ

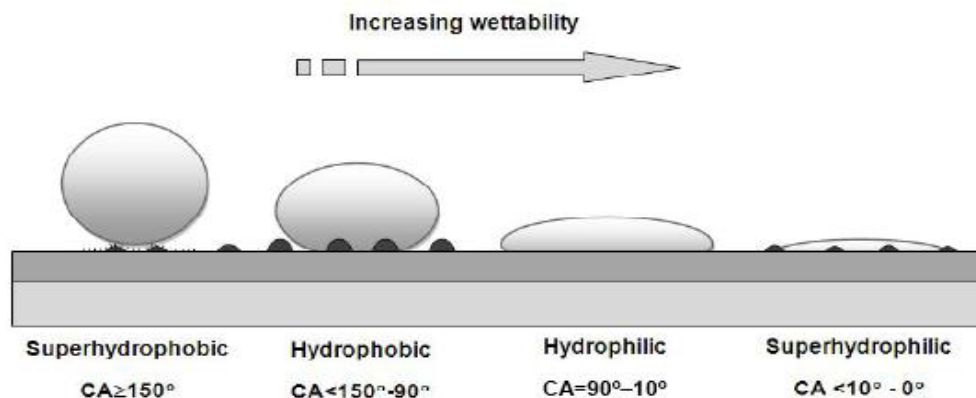


Figure 13. The four classes of surface wettability types of surface based on their interaction with aqueous droplets.

ที่มา: Koch และคณะ (2008).

Table 5. Contact angle and water wettability on surface of material.

Contact angle (θ)	Wetting ability
Close to 0°	Super-hydrophilic
10 - 30°	Highly hydrophilic
Up to 90°	Less strongly hydrophilic
$>90^\circ$	Hydrophobic
As high as 150°	Highly hydrophobic
150- 180°	Super-hydrophobic

ที่มา: Shafrin และ Zisman (1960).

จาก Table 5 และ Figure 13 อธิบายค่าความสามารถในการเปียกจากมุมสัมผัสของบนผิวหน้าของวัสดุ หาก หยดน้ำกับวัสดุมีมุมสัมผัสระหว่างผิวน้อยกว่า $0-10^\circ$ แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำอย่างยิ่งยวดหรือเป็นผิว ซูเปอร์ ไฮโดรฟิลิก (Super-hydrophilic) หยดน้ำกับวัสดุมีมุมสัมผัสระหว่างผิวน้อยกว่า 90° แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำหรือเป็นผิวไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) มุมสัมผัสระหว่างผิวอยู่ระหว่าง $90 - 150^\circ$ แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือผิวไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) และหากหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่ามุมสัมผัสระหว่างผิวดั้งแต่ $150 - 180^\circ$ แสดงว่าผิววัสดุนั้นมีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวดหรือเป็นผิวซูเปอร์ไฮโดรโฟบิก (Super-hydrophobic) (Shafrin และ Zisman, 1960; Koch และคณะ, 2008)

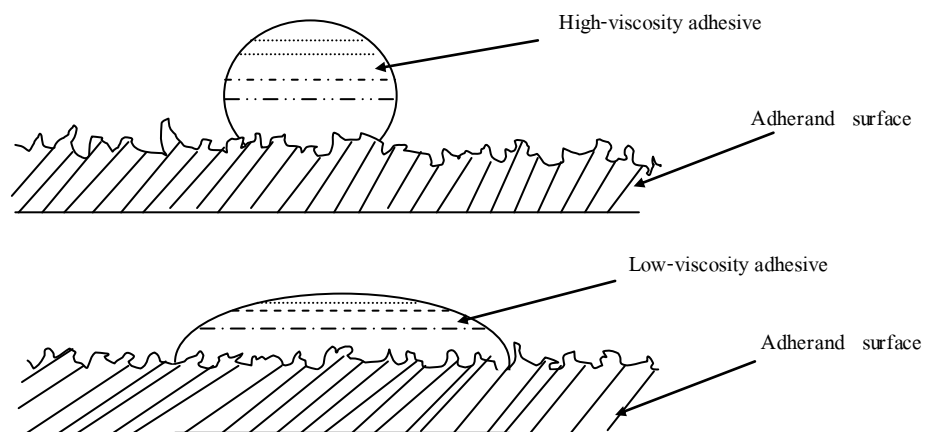


Figure 14. Wetting behavior of high-viscosity and low-viscosity adhesive.

ที่มา : Layfield (2000)

การประยุกต์การใช้งานของกาวนั้น ความสามารถในการเปียกที่พื้นผิวของวัสดุถือเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ ต่อการยึดติดของกาว อย่างไรก็ตาม ในพื้นผิวที่เกี่ยวข้องกับการกระจายแรงของกาวจากพื้นผิวของการยึดติดทำให้โมเลกุลกาวเกิดการใกล้ชิดกันมากขึ้น (ความสามารถกระจายตัวของกาวบนพื้นผิว) ถึงแม้ว่า การเปียก และความขรุขระ ที่พื้นผิว จะมากหรือน้อยก็ตาม นอกจากนี้ ความสามารถในการไหลของกาวก็มีความสำคัญ การเปียก ที่สมบูรณ์หรือใกล้เคียงของพื้นผิวทำให้เกิดพันธะ ถือว่ามีความจำเป็นที่ขาดไม่ได้เพื่อทำให้เกิดพันธะ กาว ที่แข็งแรงบริเวณรอยเชื่อมติดของกาวกับพื้นผิววัสดุ

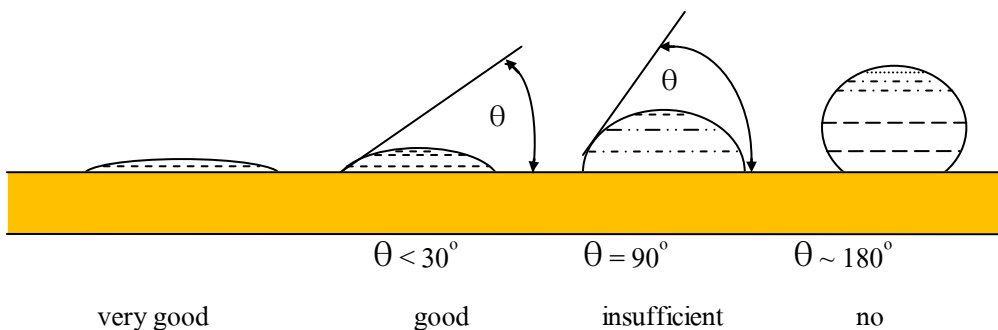


Figure 15. Wetting forms of liquids on surface.

ที่มา : Layfield (2000)

การเกิดพันธะของกาวขึ้นอยู่กับความสามารถในการเปียกที่พื้นผิวและความหนืดของตัวกาว หดของเหลวที่ใช้บอกความแตกต่างที่พื้นผิวที่แสดง Figure 15 ลักษณะที่ใช้ในการอธิบาย คือ มุมสัมผัส (Contact angle, θ) หากการสัมผัสระหว่างของเหลวกาวและพื้นผิวที่ใช้ยึดติด มีมุมสัมผัสที่มีขนาดเล็กหรือ θ ต่ำกว่า 30° กาวที่ใช้งาน มีการเปียกที่ดีมาก ถ้าตัวกาว (กาวทั่วไปที่เป็นของเหลว) มีการกระจายตัวตามธรรมชาติไม่มีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้อง (การกลิ้ง การปาด การแต้ม และการเคลือบ) และความสม่ำเสมอของพื้นผิว ถือว่ากาวมีพฤติกรรมการเปียกที่ดีมาก

3. พลังงานที่พื้นผิว (Surface energy) ถ้าของเหลว เช่น กาวสามารถเปียกบนพื้นผิวที่มีความต้านทานพื้นผิวสูงกว่าเท่านั้น ความต้านทานพื้นผิวของแข็งมีความหมายเท่ากับความตึงผิว หรือ surface tension ของของเหลว

แรงตึงผิว (Surface tension) คือคุณสมบัติของพื้นผิวของของเหลว เป็นสิ่งทำให้เกิดบางส่วน of พื้นผิวของเหลวถูกดึงดูด (ยึดเข้าไว้ด้วยกัน) สู่พื้นผิวอื่น เช่น พื้นผิวของเหลวส่วนอื่น (การรวมตัวของหยดน้ำหรือหยดปรอท ที่เกาะกันเป็นลูกกลม) แรงตึงผิวถูกทำให้เกิดขึ้นด้วยการ

ดึงดูด (การดึงดูดของโมเลกุลกับโมเลกุลที่เหมือนกัน) เมื่อโมเลกุลบนพื้นผิวของของเหลวไม่ได้ล้อมรอบไปด้วยโมเลกุลที่เหมือนกันในทุกๆด้านแล้ว โมเลกุลจะมีแรงดึงดูดกับโมเลกุลใกล้เคียงบนพื้นผิวมากขึ้น แรงดึงดูดนี้มีทิศทางของแรงต่อความยาว หนึ่งหน่วย หรือของ พลังงาน ต่อพื้นที่ หนึ่งหน่วย ซึ่งทั้งสองมีค่าเท่ากัน แต่พลังงานต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยอยู่ในพจน์พลังงานพื้นผิว ซึ่งเป็นพจน์ทั่วไปในนัยที่ใช้กับของแข็ง ไม่ค่อยใช้ในของเหลว ใน วัสดุศาสตร์ แรงดึงดูดใช้อยู่ในความเค้นพื้นผิว (Surface stress) หรือ พลังงานอิสระพื้นผิว (Surface free energy)

4. โครงสร้างของวัสดุเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดกาว ดังนั้นต้องเลือกใช้กาวให้เหมาะสมกับโครงสร้าง วัสดุที่โครงสร้างมีรูพรุน เช่น ไม้และกระดาษจะเหมาะกับกาวที่มีความหนืดต่ำเนื่องจากทำให้กาวแทรกซึมได้ดี ทำให้การยึดติดระหว่างกาวและพื้นผิววัสดุ

การใช้งานของกาวน้ำยาง (Application of latex adhesive)

กาวน้ำยางเป็นกาวที่ผลิตจากน้ำยาง โดยมีน้ำเป็นตัวกลาง (Blacklay, 1997) ซึ่งสมบัติของกาวน้ำยางที่ได้ขึ้นอยู่กับกระบวนการเลือกใช้ชนิดของพอลิเมอร์ของน้ำยาง ที่ใช้ในการผลิตกาว สารเคมีที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติของกาวรวมถึงส่วนประกอบอื่นๆในสูตรกาว ซึ่งกาวน้ำยางที่ใช้กันกว้างขวางมากในอุตสาหกรรมหลายชนิด โดยกาวน้ำยางเป็นตัวติดประสาน เช่น ใน อุตสาหกรรมกล่องนม อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเทปกาว อุตสาหกรรมติดหนัง เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการติดประสานวัสดุที่แข็ง โดยเฉพาะการใช้งานเกี่ยวกับการติดเซรามิกกับพื้น

ข้อดีของกาวน้ำยาง

1. มีราคาและต้นทุนการผลิตที่ไม่สูง
2. ปราศจากสารติดไฟ เนื่องจากไม่มีส่วนที่เป็นตัวทำละลาย
3. ปราศจากสารละลายที่เป็นพิษ
4. มีการยึดติดที่ดี
5. มีขอบข่ายการใช้งานกว้างขวาง
6. ใช้กับวัสดุที่รูพรุนจะมีข้อดี คือ ความแข็งแรงของการติดประสานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน ช่วงต้นๆและปัญหาเรื่องการหดตัวกาวน้อย

ข้อเสียเปรียบของกาวน้ำยาง

1. ในการติดประสานกระดาษทำให้กระดาษเสียรูป บิดงอ และถ้าใช้ติดเส้นใยจะเกิดการหดตัว

2. ความทนทานต่อน้ำจะดีกว่าแบบที่ใช้ตัวทำละลาย
3. อาจเกิดการปนเปื้อนได้ง่าย
4. ความเร็วในการแห้งตัวช้าและระเหยยากกว่าแบบที่ใช้ตัวทำละลาย
5. การปรับปรุงความแข็งแรงทำได้น้อยกว่าแบบที่ใช้ตัวทำละลาย
6. การยึดติดกับวัสดุที่ไม่ชอบน้ำทำได้ยาก เช่นผิวที่มีไขมัน
7. กรณีที่ปรับปรุงสมบัติการด้วยการใช้เรซินที่ไม่ละลายน้ำในการผสมเรซินกับน้ำยางทำได้ยากมาก (เกิดการแยกชั้น)

กลไกการยึดติดของกาวน้ำยาง (Mechanism of adhesion of latex adhesive)

เทคนิคในการใช้กาวน้ำยางสำหรับติดพื้นผิวต่างๆ มี 2 วิธี คือ การใช้กาว กับพื้นผิวเปียก (Wet - bonding) หรือใช้กับพื้นผิวแห้ง (Dry - bonding) ทั้ง 2 เทคนิค ดังกล่าวใช้น้ำยางสูตรต่างกัน เทคนิคการใช้กาวเปียกจะทา กาวน้ำยางลงบนด้านหนึ่งของสิ่งที่ต้องการจะติด แล้ววางสิ่งที่ จะให้ติดทับลงบนกาวทันทีขณะที่กาวยังเปียกอยู่ การ เชื่อมติดจะเกิดขึ้นตอนที่กาวแห้ง ส่วน เทคนิคอีกแบบหนึ่งนั้น ชั้นของกาวยางจะแห้งก่อนที่จะนำของที่ต้องการติดมาทับบนกาว เช่น กาวแห้งติดของจดหมายเป็นต้น สำหรับเทคนิคการใช้กาวติดขณะที่กำลังเปียก สามารถที่จะผสม สารตัวเติมในสูตรกาวแบบนี้ได้ เพราะต้องการ การยึด ติดเล็กน้อย (Little tack) และเพื่อช่วยเสริม โมดูลัส แต่สำหรับกาวแบบติดขณะแห้งต้องการสมบัติความเหนียวติดที่แน่นมาก ความเหนียวของ ยางธรรมชาติตามลำพัง ไม่เพียงพอที่จะใช้งาน โดยเทคนิคการติดแห้ง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเติมสาร ช่วยเพิ่มการยึดติด เช่น tackfier resin

กลไกการยึดติดของกาวน้ำยางเริ่มเมื่อกาวเปียกและแห้งเกิดเป็นฟิล์ม โดยที่ฟิล์ม กาวน้ำยางมีคุณสมบัติในการยึดติดกันเอง หรือเรียกว่า self-adherent ที่พื้นผิววัสดุ และต้องมีแรง กดทับเข้ามาร่วมด้วยเนื่องจากน้ำยางมีคุณสมบัติในการยึดติดกับผิวของวัสดุต่ำโดยก ารกดทับจะทำให้ ให้อนุภาคของยางสัมผัสกัน ไกล่มากขึ้นและเกิดเป็นพันธะ โมเลกุลยาง ทำให้เกิดการเกี่ยวติดกัน ระหว่างโมเลกุลของกาวกับวัสดุ ซึ่งในการเพิ่มความแข็งแรงของกาวน้ำยางทำ ได้โดยวิธีวัลคาไนซ์ โดยส่วนมากนิยมใช้ซัลเฟอร์ไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ (Double bond) บนสายโมเลกุลยาง เกิดเป็น ร้างแห (Net work) ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

หลักการทั่วไปของสูตรกาวน้ำยาง

1. การเลือกชนิดของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบในกาวน้ำยาง จะต้องสามารถทำให้เกิดฟิล์ม ที่

อุณหภูมิของวัสดุที่ต้องการติด ซึ่งจะต้องสูงกว่าค่า Glass transition temperature (T_g) ของพอลิเมอร์นั้น นอกจากนั้นพอลิเมอร์จะต้องสามารถเกิดพันธะที่ผิววัสดุภายใต้สภาวะการใช้งานได้ และขนาดของพอลิเมอร์ต้องสามารถซึมเข้าไปในรูพรุนได้ และช่องว่างวัสดุที่ติด ทำให้แผ่นฟิล์มมีความแข็งแรง อีกทั้งต้องไม่มีการกัดกันที่เกิดแรงผลักระหว่างไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคของน้ำยาง และบนผิววัสดุที่เป็นประจุที่เหมือนกัน ปัญหานี้จะพบบ่อยกับพวกที่เป็น โปรีติน ซึ่งจะมีประจุลบเหมือนกับน้ำยาง นอกจากนี้ยังพบปัญหาที่คล้ายกับน้ำยางที่ใช้กับเส้นใยกระดาษและปรับผิวกระดาษ ถ้าผิววัสดุไม่มีรูพรุน พอลิเมอร์ที่เลือกใช้ต้องมีช่วงระหว่างพอลิเมอร์และผิววัสดุที่สอดคล้องกัน โดยปกติการรักษาประจุลบจะทำในตุ๊กกลางที่เป็นด่าง การแก้ปัญหาอาจทำได้โดยทำให้ผิวของอนุภาคน้ำยางอยู่ในตุ๊กกลางที่เป็นด่างที่มีประจุบวก

ถ้าผิวของวัสดุที่ต้องการยึดติดมีผิวที่แตกต่างกัน อาจมีการแก้ปัญหา คือ การใช้การเบลนค์ของกาว โดยกาวชนิดหนึ่งยึดติดกับวัสดุอีกด้านหนึ่ง และกาวอีกชนิดหนึ่งยึดติดกับวัสดุอีกด้านหนึ่ง ซึ่งวิธีนี้จะใช้งานได้ดี เมื่อกาวชนิดหนึ่งไม่ไปรบกวนหน้าที่ของกาวอีกชนิดหนึ่ง และจะต้องมีความแข็งแรงของพันธะที่ใช้ในการติดเข้าด้วยกันของวัสดุ (Cohesive strength) มากพอ

พันธะของกาวที่เกิดจากกาวประเภท latex-based ควรมีความทนทานภายใต้สภาวะการใช้งาน เช่น การใช้งานที่สัมผัสกับความชื้น น้ำ อุณหภูมิสูง โอโซน แสงอัลตราไวโอเล็ต น้ำมัน และตัวทำละลายชนิดต่างๆ เนื่องจากตัวทำละลายและน้ำมันจะทำให้พันธะของกาวอ่อนแอลง เพราะจะซึมเข้าไปภายใต้ชั้นของพอลิเมอร์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อความแข็งแรงของพันธะของกาว ซึ่งสามารถที่จะปรับปรุงทำให้พันธะของกาวสามารถต้านสิ่งต่างๆ ที่มีผลเหล่านี้ได้ โดยเลือกใช้ส่วนผสมพอลิเมอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน (Blacklay, 1997)

2. สารเพิ่มการยึดติด

นอกจากการเลือกใช้ชนิดของพอลิเมอร์ เพื่อให้ได้กาวน้ำยางที่เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว ในการปรับปรุงกาวน้ำยางให้ได้ลักษณะตามที่ต้องการ ยังสามารถทำได้โดยการเติมสารเคมีกาว ซึ่งสารเคมีที่ใช้สำหรับการปรับปรุงกาวมีหลายชนิด ได้แก่

แทกคิไฟเออร์ (Tackifier) ใช้ผสมในกาวเพื่อปรับปรุงสมบัติในด้านความเหนียว และการยึดเกาะของแผ่นฟิล์มกาวและเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาของแผ่นฟิล์ม นอกจากนี้แทกคิไฟเออร์จะปรับปรุงให้ความสามารถของการเกิดพันธะเริ่มต้นให้เกิดได้เร็ว ขึ้น ในการยึดติดกับวัสดุ ขณะที่พันธะหลักของกาวจะเกิดขึ้นตามมา

สารเพิ่มการยึดติดหรือพวกแทกคิไฟเออร์ เป็นสารที่ช่วยปรับให้กาวเหนียวติดอยู่ได้นาน (Tack life) โดยเฉพาะกรณีการใช้งานประเภทที่เมื่อทาแล้วกับ พื้นผิว หนึ่งแล้วรอจนฟิล์มของกาวที่ทาแห้งก่อน จึงนำไปติดกับพื้นผิวอีกชั้นหนึ่งที่ต้องการให้เชื่อมติดกัน สารที่ใช้เป็น

แทกลิไฟเออร์สำหรับใช้กับกาวน้ำยางปกติแล้วจะเป็นกลุ่มของเรซิน ความยากในการผสมเรซินกับน้ำยาง คือ ถ้าเลือกใช้เรซินที่ไม่ละลายน้ำจะทำให้ผสมในน้ำยางได้ยาก

ตัวอย่างของแทกลิไฟเออร์ที่ใช้กับกาวน้ำยาง ได้แก่

2.1 อนุพันธ์โรซิน (Rosin derivatives) เป็นอนุพันธ์หรือสารเคมีผสมของกรด abietic acid และกรดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง มักจะเกิดจากการทำปฏิกิริยา esterification ของสาร polyhydric alcohol หลังจากนั้นทำปฏิกิริยา hydrogenated dimerrized หรือ disproportionated เพื่อปรับปรุงสมบัติด้าน ageing และความเสถียรต่อความร้อน (Heat stability)

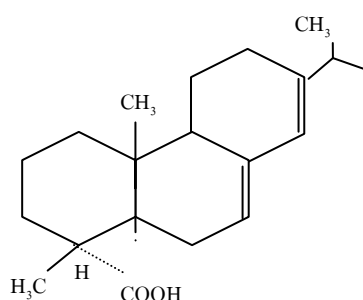


Figure 16. Molecular structure of abietic acid.

ที่มา : อาชีชัน แกสมานและคณะ (2540)

2.2 เรซินชนิดคิวมาโรน-อินดีน (Coumarone-indene resins) ซึ่งประกอบด้วยสารพวก indene styrene, methyl styrene, methyl indene และสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ โดยมีโครงสร้างของ indene และ coumarone ซึ่งสารชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์จากถ่านหินที่ได้จาก coal coke oven light oils มีฤทธิ์เป็นกรดทำให้เกิดวัลคาไนซ์ยางเกิดได้ช้า สารเคมีชนิดนี้ทำให้ยางที่ไม่ใส่สารตัวเติมมีความทนทานต่อแรงดึงต่ำ เช่น ยางเอสบีอาร์ เป็นต้น มีความแข็งแรงมากขึ้นและเมื่อผสมสารตัวเติมชนิดไม่เสริมประสิทธิภาพ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และเคลย์ เป็นต้น เมื่อผสมลงไปยางเอสบีอาร์ และ ผสม คิวมาโรน เรซิน ที่ปริมาณ 15-25 phr (อาชีชันและคณะ , 2540) พบว่าทำให้ความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น และความต้านทานต่อการหักงอดีขึ้น โดยคาดว่าคิวมาโรน เรซิน ช่วยให้สารตัวเติมกระจายตัวในยางดีขึ้น

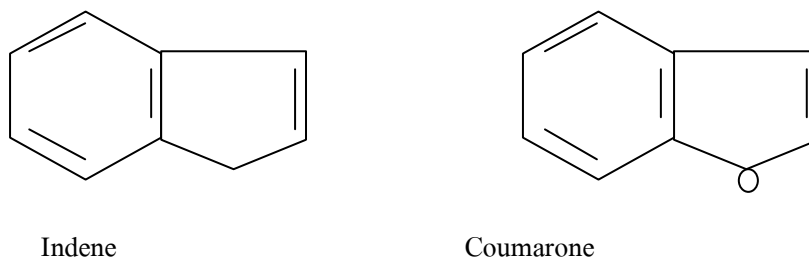


Figure 17. Molecular structure of indene and coumarone.

ที่มา : อาชีชัน แกสมานและคณะ (2540)

2.3 เรซินจากปิโตรเลียมชนิดอะลิฟาติก (Aliphatic petroleum resins) เตรียมจาก สารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่ได้จาก cracking crude oil โดยเรซินที่ได้มีทั้งส่วนที่เป็นอะโรมาติก น้อยจนถึงมากหรือเป็นอะลิฟาติก พวกที่เป็นอะลิฟาติกจะมีไอโซพรีนปนอยู่ด้วย ส่วนเซมิอะโรมาติก จะมีไซโคลเพนเตไดอินอยู่เป็นส่วนใหญ่ อะลิฟาติกส่วนใหญ่ใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติด (พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528) ทั้งนี้เพราะมีส่วนในอะลิฟาติกที่ไม่ละลายเข้ากับยาง ทำให้มีผลการ เหนียวติดกับยาง

2.4 โอลิโกเมอร์ชนิดเทอร์พีน (Terpene oligomers) โดยสารเพิ่มการยึดติดชนิดนี้ มีองค์ประกอบ เป็น rosin, terpene, terpene-phenolic, tall oil derivatives, pine tars, gum rosin และ wood rosin สารเคมีกลุ่มนี้สามารถเพิ่มการยึดติดได้ไม่สม่ำเสมอ สำหรับการใช้งานมักใช้ร่วมกับ เรซินพอร์มัลดีไฮด์ชนิดโวลเคก เพื่อให้การยึดติดทั้งตอนเริ่มต้นและ ใช้ระยะเวลายาวขณะใช้งานดี ขึ้น (Gent, 1992) การผสมสารเพิ่มการยึดติดชนิด wood rosin ในรูปอิมัลชันลงไปในน้ำยาง ธรรมชาติเพื่อทำกาว (อรสา ภัทรไพบูลย์และเรวดี แต่งเก็ลียง , 2544) สามารถผสมได้ถึง 80 phr โดย ที่ไม่ทำให้น้ำยางเสียสภาพ ปริมาณ wood rosin ที่เหมาะสมใช้ไม่ควรเกิน 30 phr เพื่อให้ได้สมบัติที่ ดีของความต้านแรงเฉือนและความต้านแรงลอก

การใช้สารเติมแต่งพวกไดแกโรซิน ซิลิกาและเขม่าดำ ในกาวที่มีน้ำหนัก โมเลกุลต่ำ (พิชชา ลิวชิรากรณ, 2543) มีผลทำให้สมบัติความต้านทานแรงดึงลอกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ยกเว้น ซิลิกาเกรด AEROSIL200 ที่ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลอกเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า ส่วนกาวที่มี น้ำหนักโมเลกุลสูง พบว่าสารเติมแต่งมีผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงลอกเพียงเล็กน้อย และ การทดสอบการใช้งานที่เก็บไว้ที่สภาวะต่างๆพบว่าความต้านทานแรงดึงลอกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง สัปดาห์แรก ลักษณะความเสียหายจากการดึงลอกมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจาก

cohesive failure คือการหลุดติดอยู่ที่ผิวชั้นทดสอบเป็น adhesive failure คือ ไม่มีกาติดที่ผิวชั้นทดสอบไม่ว่าเก็บชิ้นงานที่อุณหภูมิเท่าไรก็ตาม

2.5 เรซินฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Pheno-formaldehyde resin) เป็นเรซินที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง โดยใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติด สารเสริมแรงหรือเสริมคุณสมบัติ สารวัลคาไนซ์ ในกรณีที่ใช้สารเคมีกลุ่มนี้เพื่อการยึดติดจะใช้ในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนการใช้เพื่อเพิ่มหรือเสริมสมบัตินั้นพบว่าสารเคมีชนิดนี้ให้สมบัติด้านความแข็งตึงและความแข็ง

ในกรณีที่ใช้เป็นสารยึดติดชนิดนั้นจะเป็นชนิด novolak resin ที่มีความแตกต่างกัน โดยทั่วไปมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง โดยทั่วไปมีการปรับปรุงด้วย alkyl-modified phenol-formaldehyde resins ซึ่งเป็นหมู่ออกทิล (Octyl group) หรือเทอร์เทียรีบิวทิล (t-butyl group) โดยทั่วไปเรซินชนิดนี้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและอุณหภูมิคู่อ่อนตัวสูงจะให้การเกาะติด (Tack) ที่ดี โดยเฉพาะภายใต้สภาวะที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง

2.6 แป้ง (Starch)

แป้งเป็น โพลีเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งมีหน่วย พื้นฐานเป็น anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของ โมเลกุลแป้งจะมี anomeric carbon (C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลาย ที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลส ซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อยและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่ง ก้าน สาขา มาก มาย นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสแต่เล็กกว่าอะไมโลเพคติน เรียกว่า “Intermediate material” แต่พบในปริมาณไม่มากนัก

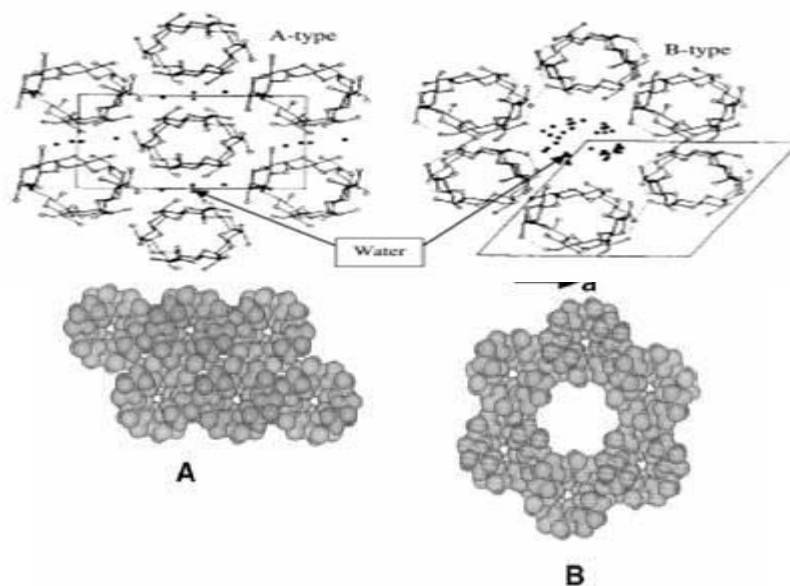


Figure 18. A- and B-type polymorphs of amylose.

ที่มา : Wu และ Sarko (1978) และ Tester และคณะ (2004)

เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำจะจัดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ถ้ามีการเรียงตัวทั้งแบบ A (Wheat, glutinous และ rice) และ B (Potato) รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (Tapioca)

อะไมโลส (Amylose) อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 – glycosidic linkage อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย (Hizukuri, 1985)

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูง ประมาณ 22-30% ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาจะจะมีปริมาณ อะไมโลสต่ำกว่าคืออยู่ในช่วง 18-24% น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน โดย อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของ อะไมโลส อยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรดชัน (Retrogradation) ลดลง (Hizukuri, 1988)

Table 6. Amount of amylose in different starches.

Starch	Crystallinity (%)	Gel point (°C)	Amount of amylose (%)
Wheat	36	63.5	23
Glutinous	37	64.5	-
Rice	38	70.0	17
Corn	40	71.3	27
Potato	38	67.3	22
Tapioca	38	66.0	18

ที่มา : Oates (1996)

อะไมโลเพคติน (Amylopectin) อะไมโลเพคตินเป็น โพลีเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ α -1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็น โพลีเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 6- glycosidic linkage หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1, 6 glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสใน อะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลสคือ ประมาณ 107 ถึง 109 คาลตัน และมีการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคติน มีลักษณะ โครงสร้างเป็นกิ่ง อะไมโลเพคตินทำหน้าที่เป็น โครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมี อะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียว จึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้

นอกจากนี้ความแตกต่างของอะไมโลเพคติน และ อะไมโลส คือความสามารถในการละลายอะไมโลเพคตินจะละลายในตัวทำละลายได้ดีกว่า ส่วนความแข็งแรงภายหลังเกิดเป็นฟิล์มของอะไมโลสเมื่อเกิดเป็นฟิล์มจะมีความแข็งแรงสูง

ลักษณะจำเพาะที่สำคัญของแป้ง ได้แก่ การเกิดเจล (Gelatinization) โดยทั่วไปแป้งไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เกิดเจลของแป้ง (Gelatinization temperature) สาเหตุที่ทำให้แป้งไม่ละลายในน้ำเย็น เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนจำนวนมากที่อยู่ภายในกรานูล การเปลี่ยนแปลงของกรานูลในน้ำเมื่อให้ความร้อนกรานูลจะเริ่มบวมอย่างไม่ผันกลับเกิดขึ้น ในส่วนของอัญฐานและบวมขึ้นเรื่อยๆ จนทำลายพันธะไฮโดรเจน และ โมเลกุลของน้ำแทรกตัวเข้าไปได้ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โครงสร้างที่จะเรียงตัวเป็นระเบียบถูกรบกวน ทำให้กรานูลเกิดการสูญเสียโพลาลิเซชันและความเป็นผลึกลดลง และเกิดการจัดเรียงตัวของอะไมโลเพคตินคลา ยตัวออกจากการละลายจึงเกิดได้ดีและแป้งจะเหนียวขึ้น

Gel point (Gelatinization temperature) หรือ อุณหภูมิ ที่เม็ดแป้งดูดซับน้ำและพอร์มเกิดเป็นเจล โดยทั่วไป gel point ของแป้งอยู่ในช่วง 160-170 °F (71.1 – 76.7 °C) ในกระบวนการเตรียมกาว กระจก ผูก สามารถลด gel point ให้ต่ำลงได้โดยใช้โซดาไฟ (Caustic soda) สามารถช่วยลดเวลาในการเกิดเจลของแป้งได้ ซึ่งช่วงอุณหภูมิ ในการเจลาตีไนเซชัน ของกาวอยู่ในช่วง 140 – 147 °F (60 - 63.9 °C) นอกจากนี้อุณหภูมิ ในการเจลาตีไนเซชัน ของกาวยังขึ้นกับชนิดของแป้งรวมถึงปริมาณอะไมโลส เช่น conventional corn มี gel point อยู่ในช่วง 143-158 °F (61.7 - 70 °C) และ high amylose corn มี gel point อยู่ในช่วง 153-176 °F (67.2 – 80 °C) แม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตีไนเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 °C (Morrison และ Laignelet, 1983) โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่ จะเกิดเจลาตีไนซ์ได้ก่อนขนาดเล็ก

ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกัน ไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และหรือโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมา มีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่ง ค่าความหนืดของน้ำแป้งสูงจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นนี้อีกนี้เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน , อุณหภูมิ , shear rate ฯลฯ แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ชนิดของแป้ง

การเตรียมแป้งเพื่อเป็นสารเพิ่มการยึดติด

- แป้งเป็ยก (Cooked starches) แป้งที่ใช้ในการผสมกาวน้ำยางจะใช้ในการติดพวกกระจก การใช้แป้งเพื่อเป็นตัวปรับความเหนียว หรือ อาจใช้เพื่อเป็นตัวปรับลดต้นทุน หรืออาจใช้ช่วยให้ฟิล์มของกาวมีคุณสมบัติห้คงและมีคุณสมบัติทนต่อน้ำ

- แป้งที่ยังไม่ได้ทำให้สุก (Uncooked starches) แป้งที่ใช้ในการทำกาวน้ำยางประเภทต้องให้ความร้อนกระตุ้นดังกล่าวคือในการที่จะใช้งานกาวชนิดนี้ต้องถูกให้ความร้อน ซึ่งแป้งที่ผสมอยู่ในลักษณะกึ่งดิบกึ่งสุกทำให้กาวหนืดขึ้นเพราะอนุภาคของแป้งจะคูดน้ำจากส่วนที่เป็นเซรุ่มไปจนอนุภาคของแป้งพองบวมขึ้นและในที่สุดทำให้ กาวนี้มีความหนืดเหนียวได้อย่างรวดเร็ว

3. พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)

พลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในการผลิตกาวน้ำยาง เพื่อใช้ในการปรับปรุงของกาวด้านความอ่อนตัวของฟิล์มกาว มีระดับตามที่ต้องการ ปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์ที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการบวมขึ้นที่รอยต่อระหว่างกาวและวัสดุและซึมขึ้นมาที่ส่วนของวัสดุทำให้เกิดความอ่อนแอของพันธะกาวที่ผิววัสดุได้ นอกจากนี้การใช้พลาสติไซเซอร์ขึ้นกับสถานะของ การใช้งานและความสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวระหว่างสารที่ใช้กับพอลิเมอร์

4. สารวัลคาไนซ์ (Crosslink agent)

พอลิเมอร์บางชนิดที่ใช้ในการผลิตกาวน้ำยาง สามารถเกิดการวัลคาไนซ์ได้ ถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดการเชื่อมโยงและมีสารเคมีที่เหมาะสมต่อการเกิดพันธะเชื่อมโยงในสูตรกาว ประโยชน์ของการเชื่อมพันธะของกาวจะทำให้ความแข็งแรงของพันธะสูงขึ้น ลดความว่องไวและการเคลื่อนไหวของพันธะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิปรับปรุงความทนทานต่อการบ่มเร่ง และเสริมความต้านทานต่อน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งสารวัลคาไนซ์ที่ใช้ในการวัลคาไนซ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติ คือ กำมะถัน โยจะถูกเตรียมในรูปของสารละลายในน้ำที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

5. สารตัวเติม (Filler)

สารตัวเติมอินทรีย์ที่ใส่ในกาวน้ำยางอาจจะใช้เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดก็ได้ การเติมสารตัวเติมในกาวน้ำยางเพื่อประโยชน์ต่างๆ ได้แก่

- เพื่อลดต้นทุน
- เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดการขยายตัวของฟิล์มกาว
- เพื่อเพิ่มปริมาณของแข็งรวม (Total solid content) ของกาว
- เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อตัวทำละลาย โดยการลดการบวมพอง
- เพื่อปรับปรุงสมบัติการไหล
- เพื่อป้องกันการติดที่อุณหภูมิต่ำของกาวชนิด heat-sensitive แต่การเติม

สารตัวเติมในกาวน้ำยางมีข้อเสียคือจะทำให้ความเหนียวและความแข็งแรงของพันธะลดลง

6. สารเพิ่มความหนืด (Thickeners)

สารเพิ่มความหนืด เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดของกาวน้ำยาง ส่วนใหญ่ที่ นิยมใช้ ในการเตรียมกาวน้ำยางของกลุ่มของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เช่น เซลลูโลสอีเทอร์ , โพลีอะครีเลต , โพลีไวนิลแอลกอฮอล์และพวกโปรตีน แต่ที่นิยม คือ ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส และกลุ่มของ โปรตีนนม คือ เคซีน เป็นต้น

7. สารเคมีอื่น (Other chemicals)

นอกจากสารที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีสารเคมีอื่นที่ใช้เติมในกาวน้ำยาง ได้แก่

- สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antioxidant) เป็นตัวที่ทำให้การเสื่อมสภาพของพันธะคู่ของพอลิเมอร์ช้าลงขณะที่ถูกการบ่มเร่งเนื่องจากการใช้งาน
- สารช่วยเสริมประสิทธิภาพของผิว
- สารป้องกันการแข็งตัว เช่น กลีเซอรอล เป็นต้น
- สารป้องกันเชื้อรา
- สารป้องกันการกร่อน
- สารป้องกันการเกิดฟอง
- สารป้องกันการติดไฟ
- สี

กาวน้ำยางธรรมชาติ

Natural latex adhesives กาวน้ำยางได้จากการนำน้ำยางธรรมชาติที่มีการเติมสารพวก stabilizer, wetting agent และส่วนประกอบอื่นๆ เมื่อกาวแห้ง เกิดเป็น फिल्मที่อุณหภูมิต่ำ และตัวกาวสามารถปรับปรุงความแข็งแรงให้ดีขึ้นโดยใช้กระบวนการวัลคาไนซ์ ซึ่งการใช้งานของกาวน้ำยางเหมาะกับวัสดุที่มีรูพรุนเช่น กระดาษ ผนังและพวกสิ่งทอ ซึ่งกาวน้ำยางสามารถ เตรียม ได้โดยง่ายเพราะมีส่วนที่เป็นของเหลวและมีปริมาณของแข็งต่ำไม่เป็นอันตรายจากการใช้สารตัวทำละลาย ตัวอย่างกาวน้ำยาง ได้แก่ กาวติดจดหมาย กาวติดหนัง เป็นต้น (Sadhan, 2003)

สูตรส่วนผสมสำหรับการทำกาวน้ำยาง

ปกติน้ำยางธรรมชาติมีสมบัติความเหนียวติดแน่นดีมาก และอาจใช้เป็นกาวบางอย่างได้โดยไม่ต้องเติมสารใดๆก็ได้ แต่กาวใช้งานหลายๆลักษณะต้องผสมสารต่างๆเพื่อให้มีสมบัติที่ดีและเหมาะสมกับการนำไปใช้งานนั้นๆ

การใช้กาวน้ำยางสำหรับติดวัสดุต่างๆ มี 2 วิธี คือการติดขณะที่กาวยังเปียก และการติดขณะที่กาวแห้งตัว ซึ่งสำหรับการใช้กาวติดขณะที่เปียก สามารถที่จะผสมสารตัวเติมในสูตรกาวได้ หรือใช้เทกทิไฟเออร์เพื่อเพิ่มการยึดติดให้กับกาว

ตัวอย่างสูตรกาวน้ำยาง

1. กาวแห้งติดซองจดหมาย (Self-seal envelope)

การใช้กาวน้ำยางเพื่อเป็นกาวติดซองจดหมาย จะใช้วิธีกดปิดซองเท่านั้น การที่กาวจะติดแน่นต้องอาศัยสมบัติความเหนียวของฟิล์มยางธรรมชาติที่ได้ทำไว้และแห้งแล้ว ตัวอย่างสูตรกาวน้ำยางสำหรับติดซองจดหมายแสดงดัง Table 7

Table 7. Self-seal envelope adhesive.

Chemicals	Parts by weight (wet)
60% Natural rubber latex	167
10% Potassium hydroxide solution	2
50% Aqueous dispersion of ZDEC	1

ที่มา: Sadhan (2003)

2. กาวติดเร็ว (Quick-grab adhesive)

ลักษณะของกาว ต้องสามารถทาและติดได้อย่างรวดเร็วเพียงใช้มือกด ดังนั้นต้องใช้น้ำยางที่ไม่เสถียร การสูญเสียน้ำออกจากน้ำยาง และ การใช้แรงกดพอประมาณจะทำให้น้ำยางจับตัวและเหนียวติดได้ ตัวอย่างสูตรกาวติดเร็ว แสดงดัง Table 8

Table 8. Quick-grab adhesive.

Chemicals	Parts by weight (wet)
60% Natural rubber latex	167
Toluene	3-5
50% Aqueous dispersion of ZDEC	2

ที่มา: วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2549)

3. กาวใช้งานทั่วไป (General-purpose latex adhesive)

กาวสำหรับใช้งานทั่วไปมักรู้จักกันในลักษณะของกาวติดเร็ว เพราะกาวจะเสียความเสถียรและเหนียวติดกันได้ดีและรวดเร็ว ตัวอย่างสูตรกาวใช้งานทั่วไปแสดงดัง Table 9

Table 9. General-purpose latex adhesive.

Chemicals	Dry weight (phr)
60% Natural rubber latex	100
Coal-tar naphtha	10
Pale ester gum	2.6
Wood resin	0.46
Oleic acide	0.32
Anionic surfactant	0.5

ที่มา: วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2549)

4. เทปกาว (Pressure - sensitive adhesive tapes)

Pressure sensitive adhesive หรือ เทปกาวจะต้องมีคุณสมบัติต่างๆ เช่น มีความสามารถในการติดที่แข็งแรงมากและใช้แรงต่ำในการดึงออกได้อย่างรวดเร็ว , มีความสามารถมากพอที่จะยึดติดกับพื้นผิววัสดุได้ และมี แรงยึดติดที่มากเพียงพอเมื่อดึงออกแล้วพื้นผิววัสดุสะอาด ตัวอย่างสูตรเทปกาว แสดงดัง Table 10

Table 10. Pressure - sensitive adhesive tapes.

Chemicals	Parts by weight (wet)
Natural rubber latex	100
Ester gum (tackifier)	175
Lanolin	25
Antioxidant	1
Zinc oxide	50
Solvent (toluene, naphtha)	400

ที่มา: Sadhan (2003)

สุรัชย์ สันติวงศ์สถิตย์ (2543) ศึกษาการเตรียมน้ำยางธรรมชาติ พบว่าการเตรียมแทกลิไฟเออร์ จาก coumarone indene resin เพื่อใช้เตรียมน้ำยางธรรมชาติไม่สามารถใช้ในรูปแบบ 50% dispersion ได้เนื่องจากทำให้น้ำยางเสียสภาพ ต้องเตรียมในรูปแบบของอิมัลชันและใช้ poly vinyl alcohol เป็นสารเพิ่มความเสถียร การใช้ KOH ในการปรับ pH ในตอนเริ่มต้นของกาวทำให้อายุการเก็บนานขึ้น เมื่อทดสอบแรงดึงกับตัวอย่างไม้อัดที่เชื่อมต่อกันด้วยกาวพบว่า สมบัติด้าน shear strength และ cleavage peel strength เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกาวลาเท็กซ์ทางการค้า พบว่ากาวน้ำยางธรรมชาติมีสมบัติด้าน cleavage peel strength ใกล้เคียงกับกาวลาเท็กซ์ แต่มีสมบัติทนน้ำที่ดีกว่า

เรวดี แต่งเกลี้ยง (2544) ศึกษาการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโดยใช้แทกลิไฟเออร์ที่เตรียมอยู่ในรูปของ wood rosin พบว่าปริมาณ wood rosin ที่ใส่ลงไปให้น้ำยางแล้วไม่ทำให้เสียสภาพควรใช้ไม่เกิน 80 phr การปรับ pH ของกาวน้ำยางในช่วงเริ่มต้นควรจะปรับให้อยู่ในช่วง 12.5–12.6 เพื่อเพิ่มความเสถียรให้กับกาวน้ำยางมากขึ้น กาวที่เตรียมได้จะสามารถเก็บไว้ได้มากกว่า 4 เดือน ทดสอบแรงดึงโดยทดสอบไม้อัดกับไม้อัด โดยปริมาณ wood rosin ที่ใช้ไม่ควรเกิน 30 phr หากใช้ปริมาณสูงกว่านี้จะทำให้สมบัติด้าน shear strength ตามมาตรฐาน ASTM D2330 และ cleavage peel strength ตามมาตรฐาน ASTM D3807 ลดลง และสมบัติดังกล่าวลดลงมากขึ้นเมื่ออายุการเก็บกาวนานขึ้น และ เมื่อเปรียบเทียบกับกาวที่ใช้ coumarone indene resin และ wood rosin เป็นแทกลิไฟเออร์ที่ใช้กับกาวทางการค้าพบว่า มีสมบัติของ shear strength และ cleavage peel strength ดีกว่า และใช้เวลาที่เซตตัวเร็วกว่า

อรสา และคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาการใส่แทกลิไฟเออร์ ชนิด wood rosin ในรูปอิมัลชันลงไปในน้ำยางธรรมชาติ เมื่อเก็บกาวที่ใช้ wood rosin เป็น แทกลิไฟเออร์ เป็นเวลานานมีผลทำให้ค่า pH ลดลง และค่าความหนืดเพิ่มขึ้นแต่สามารถเก็บไว้ได้ นานมากกว่า 4 เดือน ทุกสูตร กาวสามารถ วัลคาไนซ์ได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยจะใช้เวลาเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณ wood rosin ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอยู่ในช่วง 40-70 นาที นอกจากนั้น กาวที่เตรียมได้มี ความทนทานต่อน้ำเพิ่มตามปริมาณ wood rosin โดยมีความทนต่อน้ำสูงมากกว่า 60 วัน

ฉัตรปกรณ์และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของกาวจากน้ำยางธรรมชาติอิพอกไซค์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยาง พารา โดยใช้ คิวมาโรน เรซิน ที่เตรียมในรูปแบบของอิมัลชันเป็นสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณที่ 6, 7 และ 8 phr ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าความต้านทานแรงเฉือนและความต้านทานการลอกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของคิวมาโรน เรซินเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณ 8 phr ให้สมบัติดังกล่าวดีที่สุด นอกจากนี้กาวน้ำยางที่เตรียมมีสีครีม น้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบกับกาว TOA และกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ มีสีขาวขุ่น มีสมบัติความต้านทาน

แรงเหวี่ยงและความต้านทานการลอกต่ำกว่าเนื่องจาก กาว TOA และกาวยูเรีย -ฟอรั้มลดีไฮด์ มีการดูดซึมและความสามารถในการซึมซับของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง

พิมานจันทร์ (2548) ได้ศึกษาผลของแทกคิไฟเออร์ที่มีต่อการยึดติดและการลอกของกาวที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ พบว่าการยึดติด (Tack) และความต้านทานการลอก (Peel strength) เป็นสมบัติที่สำคัญต่อการใช้งานในกาวประเภทไวต่อแรงกด โดยเตรียมกาวจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับแทกคิไฟเออร์ใน 5 อัตราส่วนต่างๆ กันแล้วเคลือบบนฟิล์มพอลิเอสเตอร์เป็นเทปกาวเพื่อใช้ในการทดสอบ การยึดติด (Tack) และความต้านทานการลอก (Peel strength) พบว่าเมื่อมีการเติมแทกคิไฟเออร์ในน้ำยางธรรมชาติจะลดการยึดเกาะกันเองในตัวอย่างน้ำยางธรรมชาติ สมบัติการยึดติด (Tack) และความต้านทานการลอก (Peel strength) เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงปริมาณ 150 phr ในเนื้อกาวที่เตรียม การลดลงของสมบัติการยึดติดเมื่อใช้แทกคิไฟเออร์มากกว่า 150 phr แสดงว่าเมื่อมีการเติมแทกคิไฟเออร์ที่มากเกินไปทำให้เกิดการแยกเฟสของสารผสมทำให้ความยืดหยุ่นของยางลดลง การเป็ยกติดบนผิววัสดุดีขึ้น

อรสา และคณะ (2548) ได้ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของแทกคิไฟเออร์ต่อความแข็งแรงของกาวน้ำยาง พบว่าน้ำยางธรรมชาติที่ลดน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 350,000-700,000 สามารถเตรียมได้โดย 40% hydroperse ปริมาณ 0.3 phr ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อการเตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติที่ใช้แทกคิไฟเออร์ชนิดต่างๆ (Wood resin, Coumarone resin, Structol และ Koresin) ปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงของกาว ซึ่งโดยสูตรกาวที่มีปริมาณแทกคิไฟเออร์มาก จะเสียสภาพเร็วกว่าสูตรที่มีปริมาณน้อย สำหรับสมบัติด้าน shear strength และ peel strength ของกาวน้ำยางจะเพิ่มตามปริมาณของแทกคิไฟเออร์ เมื่ออายุการเก็บนานขึ้นสมบัติทั้งสองจะค่อยๆลดลงนอกจากนี้กาวน้ำยางสามารถเซ็ดตัวที่อุณหภูมิห้อง โดยระยะเวลาที่ใช้จะลดลงตามปริมาณของแทกคิไฟเออร์ที่เพิ่มขึ้น

Table 11. Natural latex adhesives.

Chemical	Dry weight (phr)	Wet weight (g)
NR Latex(60%HA-type)	100	167
40% Hydroperse	0.3	0.75
50% Sulfur	2.0	4
50% ZDEC	1.0	2
20% Potassium oleate	3.0	15
10% Bentonite	3.0	30
50% ZnO	2.0	4
15% CMC	3.0	20
50% Wingstay L	1.0	2
Tackifiers	0, 10, 20, 30, 40	0, 20, 40, 60, 80

ที่มา: อรสาและคณะ (2548)

กาวสำหรับกระดาษลูกฟูก (Corrugating adhesives)

Corrugating adhesives คือ กาวที่ใช้เชื่อมยึดติดลอนลูกฟูกกับแผ่นกระดาษเรียบของกระดาษลูกฟูก เพื่อเตรียม กระดาษลูกฟูกชนิด single face, single wall และ double wall เป็นต้น (Brittain และคณะ, 2000)

กาวที่ใช้ สำหรับ กระบวนการผลิตกระดาษ และอุตสาหกรรมกระดาษลูกฟูก โดยทั่วไปเป็นกาวที่ได้จากกระบวนการ Stein-Hall หรือ Minocar

Stein-Hall process การเตรียมกาว มีสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกโดยให้ปริมาณแป้งทั้งหมด มีการกระจายตัวในน้ำ (primary liquid) ประมาณ 10 – 25% ซึ่งส่วนของแป้งทั้งหมดนี้เรียกว่า “primary starch” กวนผสมโดยให้ความร้อนและเติมสารจำพวก alkali (ต่าง) ในปริมาณที่กำหนดเพื่อให้ primary starch มีกระบวนการเกิดเจลอย่างสมบูรณ์ ในขั้นตอนนี้ความหนืดจะสูงมากมีลักษณะเป็นแป้งเปียก (Starch paste) ขั้นตอนที่สองเติมน้ำผสมให้เข้ากันเพื่อลดอุณหภูมิและความเข้มข้นของ alkali โดยเรียกแป้งในขั้นตอนนี้ว่า “secondary starch” และสุดท้ายนำ secondary starch ที่มีปริมาณประมาณ 75-90% ของแป้งทั้งหมด เติมน้ำประกอบอื่นๆ เช่น บอแรคซ์

Minocar เป็นกระบวนการเตรียมกาวที่ ตรงข้ามกับ Stein-Hall โดยเตรียมในส่วน primary starch ในระดับที่สูง ประมาณ 40 – 60% ของแป้งทั้งหมด จากนั้นค่อยๆเติม alkali จนถึง

ระดับความหนืดที่ต้องการ แต่เมื่อความหนืดเพิ่มไปถึงระดับหนึ่งทำให้แป้งเกิดการพองตัวให้หยุดเติมส่วนที่เหลือทันที

นอกจากนี้มีการพัฒนาปรับปรุงการเตรียมกาว หรือที่เรียกว่า “one-bag-mix” (OBM) เป็นวิธีเตรียมโดยนำส่วนผสมแห้งมา pre-mix ให้เข้ากัน จากนั้นจึงเติมน้ำผสมลงไป

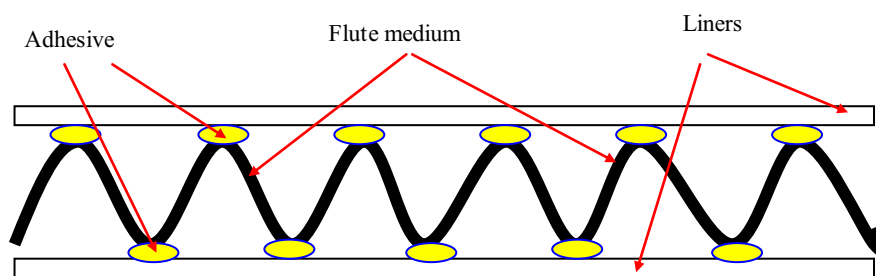


Figure 19. Structure of corrugated board.

ที่มา : Brittain และคณะ (2000)

ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษลูกฟูก นิยมใช้แป้งสุกและแป้งละเอียดดิบ โดยส่วนประกอบของกาวมีน้ำอยู่ประมาณ 70-80% แป้งสุก 4-7% และ 14-22 % เป็นแป้งดิบดังแสดง Table 7 การเตรียมกาวมักใช้ร่วมกับความร้อนในการผลิตกาว ที่เรียกว่า ระบบแขวนลอยแป้งดิบด้วยแป้งสุก หรือ carrier system โดยทำให้แป้งดิบไม่นอนกันและใช้โซดาไฟทำให้แป้งบางส่วนสุกและมีความหนืดสูงขึ้นเป็นผลทำให้แป้งส่วนที่ ดิบแขวนลอยอยู่ได้นาน ในการ เตรียม กาวแป้งถือว่าวิธีการ เตรียมไม่ยุ่งยากมีต้นทุนที่ ประหยัด แต่อายุการเก็บ บสั้น เนื่องจากการเสื่อมเสียจาก พวก จุลินทรีย์

แป้งที่ใช้ในการเตรียมกาว จะแตกต่างกันตามแหล่งที่ผลิต เช่น ยุโรปนิยม ใช้แป้ง จาก ข้าวสาลีและจากมันฝรั่ง เอเชียใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง สหรัฐอเมริกาใช้แป้งข้าวโพดในการผลิตกาวสำหรับกระดาษลูกฟูก เนื่องจากมีจำนวนมากและต้นทุนต่ำ (Brittain, 2000)

Table 12. Tapioca starch adhesive for corrugated board.

Compositions	%
Water	70-80
Caustic soda	<1
Borax	<1
Carrier starch	4-7
Raw starch	14-22

ที่มา : Brittain และคณะ (2000)

ส่วนประกอบของกาวกระดาษลูกฟูก (Compositions of corrugated adhesive)

ส่วนประกอบที่สำคัญของกาวลูกฟูก

1. น้ำ (Water) เป็นตัวพาของเหลวของกาวแป้งเพื่อให้เกิดการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อของวัสดุ (กระดาษแผ่นเรียบและลอนลูกฟูก) ในการเตรียมกาวแป้งมันสำปะหลัง น้ำถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากเนื่องจากหาได้ง่าย เป็นตัวทำละลายที่ดี ราคาไม่แพง และมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดพันธะของวัตถุดิบ (แป้ง) น้ำเป็นตัวพา carrier starch ในกระบวนการทำให้แป้งสุก (Cooking) นอกจากนี้ยังช่วยทำให้เย็นและช่วยการกระจายของตัวพา ซึ่งแป้งดิบจะไม่ดูดซับน้ำที่อุณหภูมิปกติ ในขั้นตอนการผลิตต้องมีการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดกระบวนการสร้างพันธะ เม็ดแป้งดิบสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้นและเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็ว รวมถึงเป็นตัวควบคุมความหนืดของกาวด้วย

2. แป้ง (Starch) เป็นสารให้ความหนืด (ขึ้นกับชนิด ปริมาณ อุณหภูมิและความเป็นกรด ต่าง) อีกทั้งทำหน้าที่เป็นกาวในการยึดติด องค์ประกอบของแป้งประกอบไปด้วย อะไมโลส (โครงสร้างเป็นเส้นตรง) และ อะไมโลเพคติน (โครงสร้างแบบกึ่ง) โดยแป้งที่มีอะไมโลส สูงสามารถเกิดพันธะเริ่มต้น (Initial bond หรือ Green bond) ในอัตราที่เร็วมาก ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วของเครื่องผลิตลูกฟูก (Corrugators)

การเกิดเจลของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับแป้งและ เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำแล้วเกิดการพองตัว ทำให้ส่วนผสมของแป้งมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เม็ดแป้งเกิดการเคลื่อนที่ได้ช้าลง ทำให้เกิดความหนืด ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้แป้งเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนเซชัน การเกิดเจลาติไนเซชันมี 3 ขั้นตอน คือ ระยะที่ 1 เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้น้อยและพองตัวน้อย (ความหนืดน้อย) ระยะที่ 2 เม็ดแป้งพองตัวอย่างรวดเร็ว (อุณหภูมิในการเจลาติไนเซชันความหนืดสูง) ระยะที่ 3 เมื่อ

ให้ความร้อนต่อไปเรื่อยๆเม็ดแป้งมีโครงสร้างไม่แน่นอน และเม็ด แป้งบางส่วนถูกทำลายทำให้ ความหนืดลดลง

3. โซดาไฟ (Caustic soda) เป็นสารที่ทำหน้าที่ในการควบคุมความหนืดหรือ การ เกิดเจลแป้ง ซึ่งการควบคุมการเกิดเจลทำให้แป้งสุกได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามหากเติมโซดาไฟมากเกินไปส่งผลให้เกิดการตัดสายโซ่โมเลกุลของแป้งให้สั้นลง และมีผลต่อความหนืดของแป้งลดลง ซึ่งผลที่ตามมาทำให้ความสามารถในการยึดติดของกาวลดลง นอกจากนี้โซดาไฟยังช่วยในการกัด กร่อน (bite) และกระจายเนื้อกาวจากกลไกการเปียกผิว (Wetting action) บนกระดาษ

4. บอแรคซ์ (Borax) เป็นอีกหนึ่งวัตถุดิบที่สำคัญของกาวแผ่นลูกฟูก โดยที่บอแรคซ์ช่วยในการเกิดปฏิกิริยาให้แป้งสุก หรือละลายแป้งให้กระจายตัวรวดเร็วโดยจะใช้ในปริมาณ 0.4-0.6% ของน้ำหนักกาว ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของบอแรคซ์มีดังนี้

- เพิ่มความหนืดของแป้งและลดการใช้ carrier starch
- การเกิดฟิล์มกาวที่ขดลอนลูกฟูก เพิ่มสมบัติ setback ทำให้ ความหนืด ในกาว กลับมาสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการยึดเกาะแบบ fiber – tearing bond ที่เร็วขึ้น
- ป้องกันเม็ดแป้ง raw starch จากการใช้โซดาไฟโดยเป็น buffering agent ปรับ สภาวะในขั้นตอนการเตรียมกาว
- ช่วยทำให้การจับของผิวกาวกับ glue roll เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ แต่ถ้าใช้ใน ปริมาณที่มากเกินไปจะไปเพิ่มค่า elasticity ทำให้ผิวกาวไม่ราบเรียบและการติดของกาวจะไม่ดี

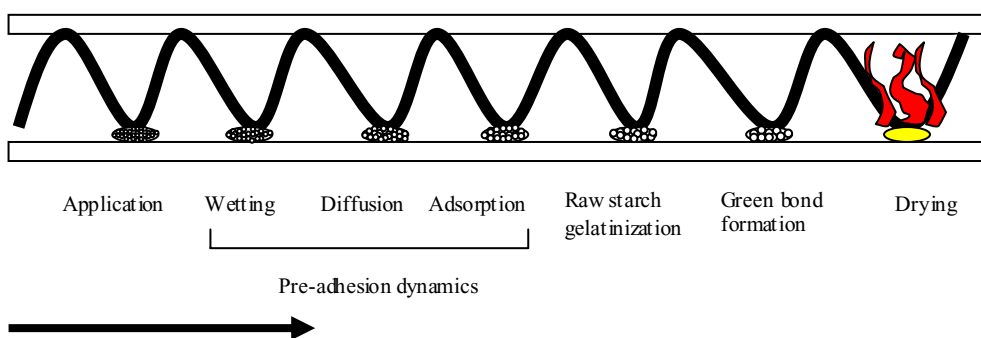


Figure 20. Bonding dynamics.

ที่มา : Brittain และคณะ (2000)

กลไกการเกิดพันธะของกาวยืดจาก Figure 20 สามารถอธิบายได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. Application คือ กาวเริ่มติดที่ลอนลูกฟูกของกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Single face) โดยกาวเคลื่อนที่มาจากลูกกลิ้งของเครื่องผลิตลูกฟูกที่มีฟิล์มกาวเคลือบที่ลูกกลิ้ง ซึ่งจะสัมผัสกันใน พื้นที่น้อยมาก โดยกาวจะสัมผัสที่ยอดของลอนลูกฟูก ในขั้นตอนนี้เป็นกลไกที่ carrier starch เปียกติดที่ลอนและกระดาษแผ่นเรียบเพื่อเกิดเป็นพันธะ

2. Pre-adhesion dynamics เมื่อกาวเปียก (Wetting) ที่พื้นผิวลอนลูกฟูก ของเหลวในกาวโดยเฉพาะน้ำและ carrier starch จะเกิดการกระจายตัว (Diffusion) และการดูดซับ (Absorption) เข้าไปในลอนลูกฟูก ทำให้เกิดการยึดติดระหว่างแป้งและเซลลูโลสในกระดาษ

3. Raw starch gelatinization คือ แป้งดิบในกาวเกิดเป็นเจลเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เพิ่มการเชื่อมติด (Cohesion) โดยที่ผิวสัมผัสยังคงเปียกจากนั้นอัตราการกระจายตัวเข้าไปในผิวกระดาษลดลง

4. Green bond formation เมื่อกำจัดน้ำออกจาก carrier starch มากเพียงพอแล้ว ทำให้เกิดการเชื่อมติด (Cohesion) ที่สูงกว่าการเชื่อมติดของ fiber to fiber bond ซึ่งการเชื่อมติดกันแบบ cohesion จะทำให้กระบวนการเชื่อมติดต่อเนื่องจนสมบูรณ์

5. Drying เมื่อความร้อนเคลื่อนผ่านกระดาษแผ่นเรียบและลอนลูกฟูก จะกำจัดน้ำโดยระเหยน้ำออกจากกาวที่ติดอยู่กับกระดาษ ซึ่งการแห้งของกาวเรียกว่า final bond

Daub และ คณะ (1990) ได้ศึกษาการยึดติดของกาวลอนลูกฟูกที่เครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก โดยเน้นที่ความแข็งแรงของ pin adhesion ในกระดาษลูกฟูก ความสามารถของกาวที่จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างกระดาษและกาวภายใต้ผลของปริมาณกาว ความร้อน รอยเชื่อมที่ใช้แรงกด และความเร็วของสายพาน ซึ่งความสามารถของกาวขึ้น กับความสามารถของกระดาษที่จะสามารถปรับปรุงให้เกิดแรงยึดเกาะ (Adhesion force) และเกิดเป็นลักษณะของความ แข็งแรงที่ต้องการ กระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูก ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ โครงสร้าง ความแข็งแรงของ single face board และสถานะที่เหมาะสมที่สามารถทำให้ค่า pin adhesion มีความแข็งแรง ปัจจัยที่มีผล เช่น ความสามารถในการดูดซับกาว, ความแข็งแรงของกระดาษ และความชื้นในกระดาษ มีผล ทำให้ค่า pin adhesion มีค่าลดลง

Jack และ คณะ (1995) ได้ศึกษาการนำกระดาษที่มีความหนาแน่นสูงมาผลิตเป็นกระดาษลูกฟูก โดยพบว่า มี 2 ปัจจัยที่สำคัญ ปัจจัยแรกความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิที่พื้นผิวของกระดาษแผ่นเรียบ และ ลอนลูกฟูก ส่วนปัจจัยที่สอง ความสามารถของกระดาษแผ่นเรียบ และ ลอนลูกฟูก การรับความชื้นภายหลังจากที่ติดกาว จากการทดลองพบการรักษาสภาพของกระดาษ

สามารถทำได้ปรับสถานะอุณหภูมิให้เหมาะสม เช่น การใช้ wet steam เพื่อปรับสภาพกระดาษ ทำให้ความแข็งแรงของพันธะเพิ่มขึ้น

Joseph (1992) ได้ศึกษาการปรับปรุงความแข็งแรงของ green bond ในกระดาษลูกฟูกที่เครื่อง single face ในการทดลองทำการวัดระยะเวลาที่เกิดพันธะ ที่ระดับของการเตรียมสถานะ และสมบัติทางกายภาพของ liner board และ medium (ลอน) พบภายหลัง induction time ความแข็งแรงของพันธะเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกับเวลา และการฟอร์มรูปเป็น green bond เริ่มแรก ส่งผลให้ความหนืด การติดของกาวเพิ่มขึ้น และการเตรียมสถานะของเครื่องมีผลต่อความแข็งแรงของ green bond

กล่องกระดาษลูกฟูก

กล่องกระดาษลูกฟูก เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการหีบห่อนิยมใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีราคาถูก น้ำหนักเบา สะดวกในการขนย้าย มีความสามารถในการปกป้องสินค้าง่ายต่อการขึ้นรูป เปิดใส่และปิด พร้อมทั้งสามารถพิมพ์ได้อย่างสวยงาม เพื่อส่งเสริมการขายสินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน รวมทั้ง สามารถนำกลับรีไซเคิลได้

โครงสร้างของกระดาษลูกฟูก (Corrugated structure)

กระดาษลูกฟูก คือ กระดาษที่ประกอบด้วยกระดาษแผ่นเรียบที่เรียกว่า แผ่นปะหน้า (Liner) ประกบกับ ลอนกระดาษลูกฟูก (Flute) โดยทั่วไปกระดาษลูกฟูกมี 3 ประเภท

กระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Single face) ประกอบด้วย กระดาษแผ่นเรียบ 1 แผ่น ประกบกับลอนลูกฟูก 1 แผ่น

กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (Single wall) ประกอบด้วย กระดาษแผ่นเรียบ 2 แผ่น ประกบกับลอนลูกฟูก 1 แผ่น

กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น (Double wall) ประกอบด้วย กระดาษแผ่นเรียบ 3 แผ่น ประกบกับลอนลูกฟูก 2 แผ่น

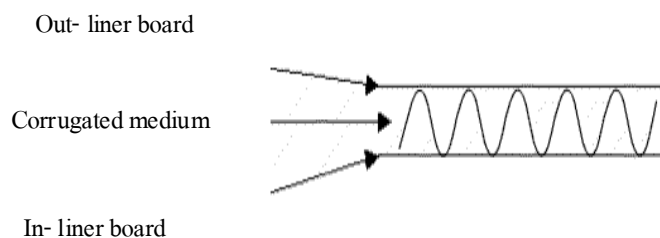


Figure 21. Single wall corrugated board.

กระดาษที่ใช้ผลิตสำหรับทำกล่องกระดาษลูกฟูก หรือที่เรียกว่า กระดาษกราฟท์ หรือ กระดาษเหนียว หมายถึง กระดาษที่ทำขึ้นจากเยื่อซัลเฟตหรือเยื่อกราฟท์ล้วนๆ หรือต้องมีเยื่อกราฟท์อย่างน้อยร้อยละ 80 (ปูนและสมพร คงเจริญเกียรติ , 2542) กระดาษกราฟท์ที่นำมาทำกล่องกระดาษลูกฟูก มีหลายประเภท และการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน โดยหลักๆ กระดาษที่ใช้มีดังต่อไปนี้

1. กระดาษสำหรับทำฝักกล่องกระดาษลูกฟูก

1.1 KI เป็นกระดาษกราฟท์สีน้ำตาลอ่อนสำหรับทำฝักกล่อง เหมาะกับงานพิมพ์น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่ใช้ คือ 125, 150, 185 กรัมต่อตารางเมตร

1.2 KA เป็นกระดาษกราฟท์สีเหลืองทองสำหรับทำฝักกล่อง มีความแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษ สามารถรองรับน้ำหนักได้ดีเยี่ยม น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่ใช้ คือ 125, 150, 185, 230 กรัมต่อตารางเมตร

1.3 KS หรือ KW กระดาษกราฟท์สำหรับทำฝักกล่องเกรดนี้ เป็นกระดาษฝักด้านนอกเป็นสีขาวมีความแข็งแรงและสวยงามเป็นพิเศษช่วยเพิ่มคุณค่าของสินค้าที่บรรจุนิยมใช้ในการทำกล่องบรรจุสินค้าประเภท ผัก ผลไม้และดอกไม้เพื่อการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าอาหารทะเลแช่แข็ง ช่วยเพิ่มคุณค่าของสินค้าที่บรรจุแต่จะมีราคาค่อนข้างสูง

2. กระดาษลอนลูกฟูก (Corrugated flute)

CA คือ กระดาษกราฟท์สำหรับทำลอนลูกฟูก เพื่อมีคุณสมบัติความแข็งแรงในการป้องกันแรงกระแทก ความแข็งแรงของลอนกระดาษลูกฟูกจะ สัมพันธ์กับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ นอกจากนี้กระดาษ CA ยังสามารถนำมาใช้ทำเป็นกระดาษทำฝักกล่องด้านหลังเพื่อลดต้นทุน น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่ใช้คือ 105, 125, 185 กรัมต่อตารางเมตร

ลอนลูกฟูก (Corrugated medium หรือ Corrugated flute)

การตัดรูปทรงให้เกิดความโค้งเป็นหลักการสำคัญที่ทำให้เกิดความแข็งแรงของโครงสร้างในการรับแรงกดได้ดี กระดาษลูกฟูกจึงนำหลักการเดียวกันนี้เข้ามาใช้ในการผลิตความโค้งของลอนกระดาษลูกฟูก โดยเรียกกระดาษที่ถูกทำให้โค้งว่า “ลอนลูกฟูก ” และเมื่อนำลอนนี้มาติดกับแผ่นกระดาษเรียบ จะสามารถทนทานต่อความโค้งงอและแรงกดได้จากทุกทิศทาง ลอนลูกฟูกมีหลายชนิด โดยลอนแต่ละประเภทมีขนาดและความสูงไม่เท่ากัน ซึ่งประเภทของลอนลูกฟูกสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ลอน A มีจำนวนลอนลูกฟูกประมาณ 35 – 41 ลอนต่อความยาว 1 ฟุต ความสูงประมาณ 4.0- 4.8 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติ ความต้านทานต่อการเพิ่มทะลุ ดีมาก การป้องกันการฉีก และการกระแทกดีมาก เหมาะกับสินค้าที่ต้องการรับน้ำหนักการเรียงซ้อนมาก และไม่เน้นการพิมพ์การรับแรงในการเรียงซ้อนดีมาก
2. ลอน C ความหนาของลอน 3.61-4.00 มิลลิเมตร มีจำนวนลอนลูกฟูกประมาณ 41-43 ลอนต่อความยาว 1 ฟุต ความสูงประมาณ 3.2-4.0 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติทั้งความแข็งแรงและความยืดหยุ่นรวมกัน สามารถรับแรงกระแทกและการทิ่มทะลุได้ดี
3. ลอน B ความหนาของลอน 2.46-3.00 มิลลิเมตร มีจำนวนลอนลูกฟูก ประมาณ 49-52 ลอนต่อความยาว 1 ฟุต ความสูงประมาณ 2.2-3.0 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติสามารถ รับแรงกระแทกและการทิ่มทะลุได้พอใช้
4. ลอน E ความหนาของลอน 1.14-1.60 มิลลิเมตร มีจำนวนลอนลูกฟูกประมาณ 93-96 ลอนต่อความยาว 1 ฟุต ความสูงประมาณ 1.0-1.8 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติสามารถรับแรงกระแทกและการทิ่มทะลุต่ำ พับงอได้ง่าย เมื่อพับขึ้นรูปจะให้มุมเรียบคม
5. ลอน BC ความ หนา ของลอน 6.07-6.80 มิลลิเมตร ใช้ลอน B ประกอบกับลอน C มีคุณสมบัติการเป็นตัวกันกระแทก และคงรูปกระดาษที่ดีกว่าลอน C และ ลอน B เหมาะสำหรับผลิตกล่อง RSC

Table 13. Specification of corrugated flutes.

Flute type	Flute pitch	Flute height
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

ที่มา : ปูนและสมพร คงเจริญเกียรติ (2542)

การประยุกต์ใช้กาวในกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูก กาว จะถูกใช้ ใน ระบบ ที่มี ลูกกลิ้งโลหะกว้างของเครื่องจักร ใช้ลูกกลิ้งหมุนไปในทิศทางที่ตรงข้ามกับ ม้วนกระดาษ (Web) ซึ่ง จะมีการสัมผัสที่จุดเคลือบกาวเบาๆ การใช้ลูกกลิ้ง หมุนไปในทิศทางเดียวกันกับ ม้วนกระดาษ ซึ่ง มี การจัดเรียงกันของลูกกลิ้งทั่วไป เป็นการจัดเรียงให้ไปข้างหน้าที่สัมผัสหรือ

Forward roll kiss coater ที่เคลือบกาวเบาๆ ดังแสดง Figure 22

น้ำหนักของกาวที่เคลือบจะถูกควบคุมโดยช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งสองลูก การ ควบคุมน้ำหนักกาวทำได้โดยการเลื่อน ลูกกลิ้ง ไปข้างหน้า ตัวรับลูกกลิ้ง ในบางเครื่อง ลูกกลิ้งใช้ ความเร็วเป็นตัวแปรที่สามารถคumnน้ำหนักของกาวที่เคลือบ พบมีกาว เคลือบ บาง ๆ ที่ได้จากการ เหนือ ของลูกกลิ้ง เรียกพฤติกรรมนี้ว่า Newtonian fluid behavior (กาวที่ได้รับแรงเฉือนส่งผลให้ความหนืดลดต่ำลง)

สำหรับเครื่องจักรที่ใช้ลูกกลิ้งแบบย้อนกลับ หรือ Reverse roll coater ลักษณะ เครื่องเคลือบหมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามกับม้วนกระดาษ วิธีนี้เกิดแรงเฉือนที่กาวสูงมาก ขณะที่ ม้วนกระดาษเคลื่อนที่ต้องมีการทำความสะอาดที่ลูกกลิ้งที่สัมผัสกาว ดังแสดง Figure 23 น้ำหนัก กาวที่เคลือบจะถูกควบคุมโดยช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ความเร็วในการ รับ ลูกกลิ้งและอัตราความเร็ว ระหว่างการ รับและตัวลูกรีด ถ้าตั้งค่าอย่างถูกต้องการควบคุมน้ำหนัก ในการเคลือบ ทำได้ตาม ต้องการ และสามารถจัดการกับความหนืดของกาวในช่วงกว้างได้

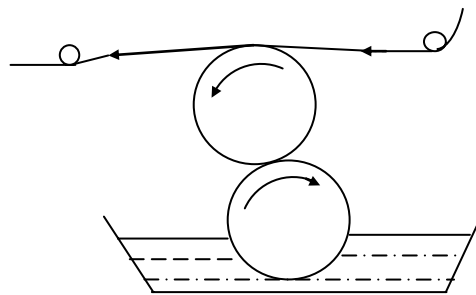


Figure 22. Forward roll kiss coater.

ที่มา: Layfield (2000)

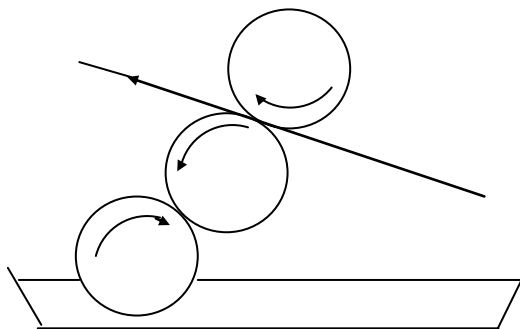


Figure 23. Reverse roll coater.

ที่มา: Layfield (2000)

การผลิตกระดาษลูกฟูก ถือว่าเป็นวิธีการลามิเนตวิธีหนึ่ง โดยใช้กาวเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างแผ่นกระดาษเรียบและกระดาษลอน โดยผ่านเครื่อง single facer หรือ double facer โดยลักษณะที่ได้ดังแสดง Figure 24 นอกจากนี้ปริมาณของแข็งในกาวมีผลต่อความเร็วในการเซ็ดตัวของกาวที่ใช้ในการผลิตกระดาษลูกฟูกดังแสดง Table 9

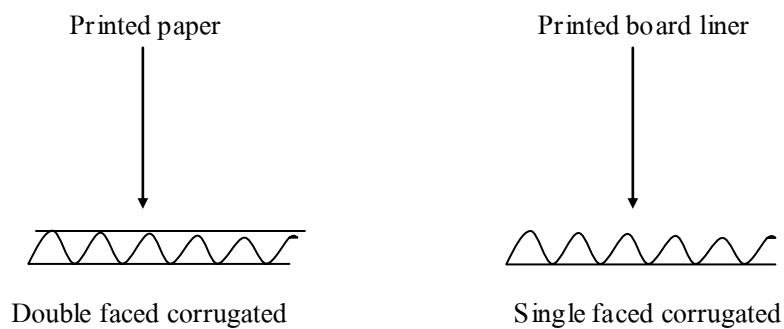


Figure 24. Laminating.

ที่มา: Layfield (2000)

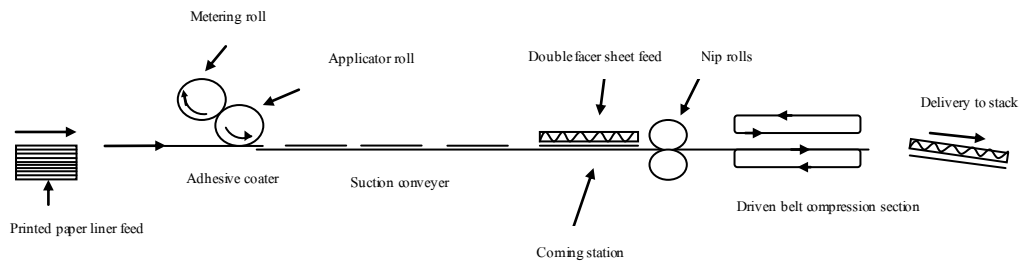


Figure 25. Double facer board mounting.

ที่มา: Layfield (2000)

ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นกระดาษลูกฟูกที่เครื่อง double facer แสดงได้ดัง Figure 25 โดย printed paper liner จะผ่านเข้าไปเคลือบกาวด้วยเครื่อง adhesive coater และทำการประกบกับกระดาษลูกฟูกด้วย nip rolls เพื่อให้กาวที่เคลือบเกิดการยึดติดที่สม่ำเสมอระหว่าง paper liner กับกระดาษลูกฟูก

Table 14. Adhesives for solid board laminating.

Adhesive	Type	Solid	Setting speed	Uses and comment
Starch	Natural solution	<25%	Very slow	Simple paper substrates. Rarely used for laminating. Poor stability and ageing characteristics.
Dextrin	Natural (modified starch) solution	20-60%	Slow	Has the advantage of higher solid, higher tack and long open time, but shrinks and becomes brittle on drying. Moisture sensitive.
Polyvinyl alcohol (PVOH)	Synthetic solution (dispersion if filled)	<28%	Slow-medium	Can achieve lower coat weight than dextrin. Water resistance therefore suitable for fish box board. Fair adhesion versatility. Good hold out
Polyvinyl acetate (PVAc)	Synthetic emulsion filled	40-60%	Fast	Greatest versatility in terms of adhesion and formation. Very low coat weight achievable. Excellent layflat, rigidity and ageing characteristics
Sodium silicate	Solution	30%	Slow	Inexpensive. But hazardous to use (caustic) hence uncommon. Dries like glass, very brittle. Poor layflat.

ที่มา: Layfield (2000)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาสูตรกาวติดกระดาษกราฟและกระดาษลูกฟูกจากหางน้ำยาง
2. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณเทกทิไฟเออร์ที่มีผลต่อสมบัติการยึดติดของกาว
3. ศึกษาผลของปริมาณของแข็งในหางน้ำยางที่มีผลต่อสมบัติการยึดติดของกาว
4. ศึกษาสมบัติ ของกาว ผสมระหว่างกาวหางน้ำยางและกาว PVOH หรือ กาวแป้งมัน
สำปะหลัง
5. เพื่อศึกษาการนำไปประยุกต์ใช้งานในสายการผลิตกระดาษลูกฟูกในระดับอุตสาหกรรม

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วิธีดำเนินการ

1. ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของกาวแป้งมันสำปะหลัง แทกคิไฟเออร์ และหางน้ำยาง

นำตัวอย่างกาวแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมใน ส่วน การ ผลิต มาวิเคราะห์ สมบัติเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณของแข็ง ค่า pH และค่าสมบัติการยึดติดของกาว (shear strength, peel strength และ pin adhesion)

เตรียมแทกคิไฟเออร์ 4 ชนิด คือ ปีโตรเลียมเรซิน คิวมาโรนเรซิน กัมเรซิน และ คิวมาโรนเรซินผสมกับกัมเรซิน จากนั้นมาตรวจสอบลักษณะปรากฏและสมบัติเบื้องต้นของแทกคิไฟเออร์ที่เตรียมได้

ในส่วนหางน้ำยางจะตรวจสอบลักษณะปรากฏและสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณของแข็ง ค่า pH โดยเปรียบเทียบระหว่างหางน้ำยาง และหางน้ำยางที่เพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการครีม

2. การศึกษาผลของชนิดและปริมาณแทกคิไฟเออร์ที่มีผลต่อสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง

2.1 การศึกษาผลของชนิดแทกคิไฟเออร์ต่อสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง

นำหางน้ำยางมาปรับเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการครีมมิ่ง ซึ่งภายหลังจากที่ครีมหางน้ำยางเสร็จแล้วจึงนำมาปรับความเข้มข้นให้ได้ปริมาณของแข็ง โดยประมาณ 20 % จากนั้นนำหางน้ำยางที่ได้มาผสมกับแทกคิไฟเออร์ตามชนิดและสัดส่วนต่างๆ โดยปั่นผสมที่ความเร็ว 200 -260 รอบ/นาที เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง และเติมสารเคมีอื่นๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้กับเนื้อกาวหางน้ำยาง ปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลาประมาณ 30 นาที จากนั้นนำกาวหางน้ำยางที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติการยึดติด shear strength โดยดัดแปลงวิธีการทดสอบจากมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1002-72 และ peel strength หรือ t-peel test ดัดแปลงวิธีการทดสอบจากมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1876 -72 และ ASTM D3330-81 กับกระดาษคราฟท์และเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดและการเสียหาย ของกาวภายหลังการดึง

ทดสอบกับชุดของกาวควบคุมที่ใช้กาวจากแป้งมันสำปะหลัง โดยสูตรกาวที่ศึกษาสามารถแสดงรายละเอียดดัง Table 15

Table 15. Skim latex adhesive for type of tackifiers study.

Chemicals	Dry weight (phr)
Skim latex (20% TS)	100
Tackifier	1, 2, 2.5, 3.5, 5, 7.5
- Coumarone resin or	
- Gum resin or	
- Petroleum resin or	
- Coumarone mixed gum resin	
50% ZnO dispersion	2
50% ZDBC dispersion	1
50% Sulfur dispersion	2

สำหรับการเตรียมสูตรกาวหาน้ำยางจะอ้างอิงและดัดแปลงจากสูตรกาวน้ำยางธรรมชาติของ อรสาและคณะ(2548)

2.2 การศึกษาผลของปริมาณแทกกีไฟเออร์หลักต่อสมบัติการยึดติดของกาว

คัดเลือกสูตรกาวที่มีปริมาณของแข็งที่เหมาะสมและมีสมบัติการยึดติดและการลอกดีที่สุดมาศึกษาโดยทำการ ปรับปริมาณของแทกกีไฟเออร์ 4 ระดับ ได้แก่ 7.5, 10, 15 และ 17.5 phr ตามลำดับ จากนั้นนำกาวหาน้ำยางที่เตรียมได้ไปทดสอบคุณสมบัติการยึดติด shear strength และ peel strength กับกระดาษคราฟท์ (KA150) และเปรียบเทียบ ผลการทดสอบ ความแข็งแรงของการยึดติดและการเสียหายของกาวภายหลังการดึงทดสอบ กับชุด ของกาว ควบคุมที่ใช้กาวจากแป้งมันสำปะหลัง โดยสูตรกาวที่ศึกษาสามารถแสดงรายละเอียดดังแสดง Table 16

Table 16. Skim latex adhesive formulations for tackifier contents study.

Chemicals	Dry weight (phr)
Skim latex (20 % TS)	100
Tackifier (Coumarone resin)	7.5, 10, 15 and 17.5
50% ZnO dispersion	2
50% ZDBC dispersion	1
50% Sulfur dispersion	2

3. การศึกษาผลของปริมาณของแข็งในหางน้ำยางที่มีผลต่อสมบัติการยึดติดของกาว

การศึกษาผลของปริมาณของแข็งในหางน้ำยางต่อสมบัติการยึดติดของกาวโดยคัดเลือกสูตรกาวจากข้อ 2 ที่มีสมบัติการยึดติดและการลอกใกล้เคียงกับชุดควบคุมมาศึกษาต่อ โดยการปรับปริมาณของแข็งในหางน้ำยางด้วยการนำหางน้ำยางที่ผ่านการครีมนึ่งมาเจือจางกับหางน้ำยางให้ได้ปริมาณของแข็ง (% Total solid) ที่ 5, 10, 15, 20 และ 25 % ตามลำดับ จากนั้นนำมาเตรียมสูตรกาวหางน้ำยาง โดยใช้อัตราส่วนของแทกคิไฟเออร์ที่ได้จากสูตรที่เหมาะสมในข้อ 2 นำไปทดสอบคุณสมบัติการยึดติด shear strength และ peel strength กับกระดาษกราฟท์ (KA150) และเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดและการเสียหาย ของกาวภายหลังการดึงทดสอบกับชุดของกาวควบคุมที่ใช้กาวจากแป้งมันสำปะหลัง โดยสูตรกาวที่ศึกษาสามารถแสดงรายละเอียดดัง Table 17

Table 17. Skim latex adhesive formulations for total solid study.

Chemicals	Dry weight (phr)
Skim latex (5, 10, 15, 20 and 25% TS)	100
Tackifier (Coumarone resin)	5
50% ZnO dispersion	2
50% ZDBC dispersion	1
50% Sulfur dispersion	2

4. ศึกษาสมบัติของกาวผสมระหว่างกาวหางน้ำยางและกาว PVOH หรือ กาวแป้งมันสำปะหลัง

4.1 การศึกษาผลของหางน้ำยางผสมกาว PVOH ต่อสมบัติการยึดติดของกาว

โดยนำหางน้ำยางที่มีปริมาณของแข็ง 20% ผสมกับ PVOH (Polyvinyl alcohol) ที่มีความเข้มข้น 20% นำไปทดสอบคุณสมบัติการยึดติด shear strength และ peel strength กับกระดาษคราฟท์ (KA150) และเปรียบเทียบ ผลการทดสอบ ความแข็งแรงของการยึดติดและการเสียหายของกาวภายหลังการดึงทดสอบกับชุดของกาว ควบคุมที่ใช้กาวจากแป้งมันสำปะหลัง โดยสูตรกาวที่ศึกษาสามารถแสดงรายละเอียดดัง Table 18

Table 18. Skim latex adhesive mixed with PVOH study.

Chemicals	Dry weight (phr)
Skim latex (20 % TS)	100
50% ZnO dispersion	2
50% ZDBC dispersion	1
50% Sulfur dispersion	2
20% PVOH	25, 50, 100

4.2 การศึกษาผลของกาวหางน้ำยางผสมกาวแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติการยึดติดของกาว

โดยนำกาวหางน้ำยาง (หางน้ำยางมีปริมาณของแข็ง 25% กับคิวมาโรนเรซินที่ปริมาณ 5 phr) ผสมกับแป้งมันสำปะหลัง โดยเตรียมเป็น 3 สูตร ดังนี้

สูตร 1 เจลแป้งมันสำปะหลัง 20 % ในอัตราส่วนผสมกาวหางน้ำยางหลักต่อแป้งมันสำปะหลัง 70:30 50:50 และ 30:70 ตามลำดับ ซึ่งเจลแป้งมันสำปะหลังเตรียมได้โดยนำแป้งมันสำปะหลัง 20 ส่วน ต่อ น้ำ 100 ส่วน ปั่นผสมให้เข้ากันจากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 - 60 °C ปั่นผสมประมาณ 15-20 นาที (เกิดเป็นเจล)

สูตร 2 เจลแป้งมันสำปะหลัง 20 % (ที่เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 14 %) ในอัตราส่วนผสมกาวหางน้ำยาง หลักต่อเจลแป้งมันสำปะหลัง 70:30, 50:50 และ 30:70 ตามลำดับ ซึ่งเจลแป้งมันสำปะหลังเตรียมได้โดยนำแป้งมันสำปะหลัง (ของโรงงาน) 20 ส่วน ต่อ น้ำ 100 ส่วน ปั่นผสมให้เข้ากัน (ได้เป็นน้ำแป้ง) จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ

50-60 °C ประมาณ 5 นาที และใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 14% (โดยค้อยๆเติม ให้ได้จนครบปริมาณ 0.01 ส่วน ต่อ น้ำแข็ง 100 ส่วน) ปั่นผสมประมาณ 2-3 นาที (เกิดเป็นเจล)

สูตร 3 กาวแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนผสมกาวหางน้ำยาง หลักต่อกาวแป้งมันสำปะหลัง 70:30 50:50 และ 30:70 ตามลำดับจากนั้นนำ กาวหางน้ำยางที่เตรียมได้ไปใช้เตรียมกระดาษลูกฟูกในสายการผลิตลูกฟูกโดยใช้สภาวะการทดสอบดังนี้

- ทดลองในส่วนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก ที่เครื่อง single facer หรือเครื่อง double facer

- ใช้กระดาษกราฟที่ใช้ทำลอนลูกฟูกใช้ชนิด CS 110 และกระดาษปะผิวนอกใช้ KA150

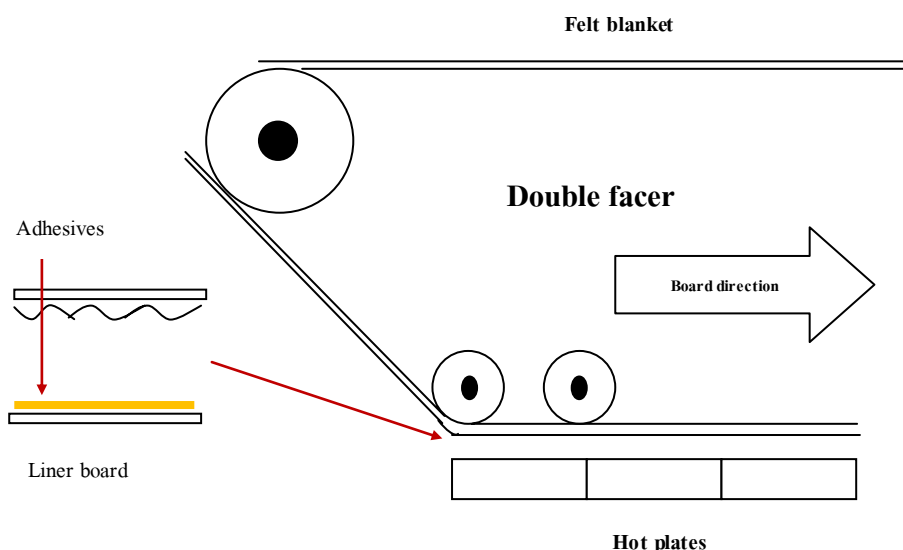


Figure 26. Preparing corrugated at double facer machine.

วิธีการเตรียมแผ่นกระดาษลูกฟูกที่เครื่อง double facer แบบกึ่งต่อเนื่อง

- ตัดแผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Single face) ชนิด KA150/CS110 และกระดาษกราฟที่ชนิด KA150 จากบริษัท สยามบรรจุกัมภ์ (สงขลา) มีขนาด 600x600 มม.²

- ทากาวตัวอย่างลงบนกระดาษกราฟที่ชนิด KA 150 โดยกาวที่ใช้มีปริมาณของแข็งประมาณ 0.2 กรัมต่อ 100 x150 มม.² สำหรับลอน B และประมาณ 0.5 กรัมสำหรับลอน C ทาอย่างรวดเร็วให้กาวกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ ซึ่งน้ำหนักรกาวที่แน่นอนอีกครั้ง

- นำกระดาษ กราฟที่ชนิด KA 150 ที่ทากาวไปปะกบกับแผ่นกระดาษลูกฟูกที่เตรียมได้ นำเข้าเครื่อง double facer ดัง Figure 25

- ความเร็วในการเดินเครื่องประมาณ 150 – 170 เมตรต่อนาที

- อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 150 – 170 °C

4.2.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิของเครื่อง double facer ในส่วนการผลิตกระดาษ

ลูกฟูกต่อสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง โดยสภาวะที่ใช้ทดสอบ 120, 150 และ 165 °C ความเร็วของเครื่อง 100 เมตร / นาที

4.2.2 การศึกษาผลของความเร็วของ double facer ที่ส่วนการผลิตกระดาษลูกฟูกต่อสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง โดยสภาวะการทดสอบ 120, 150 และ 180 เมตร / นาที อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ 160 - 165 °C

4.2.3 การศึกษาผลของสภาวะการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่อสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง ทดลองที่เครื่อง double facer ความเร็วที่ใช้ 120, 150 เมตร / นาที และ อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ 160 - 165 °C จากนั้นนำไปเก็บที่สภาวะ %RH ที่อุณหภูมิห้อง , 55 % RH (25 °C) และ 70 % RH (30 °C)

5. ศึกษาการนำไปประยุกต์ใช้งานในสายการผลิตกระดาษลูกฟูกในระดับอุตสาหกรรม

คัดเลือกสูตรกาวที่ทดลอง ที่มีสมบัติการยึดติดที่ดีที่สุดแบบจากการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่องมาทดลองในสายการผลิตกระดาษลูกฟูก การทดลอง pilot scale แบบต่อเนื่อง โดย ทำการเตรียมกาวหางน้ำยางประมาณ 80 กิโลกรัม โดย ให้สภาวะการทดลองเสมือนการผลิตจริง ซึ่งมีวิธีการทดลอง ดังนี้

- เทกาวที่เตรียมได้ใส่ในกระบะกาวที่เครื่อง single facer หรือ double facer เพื่อให้ glue roll ปาดกาวไปที่ลอนของลูกฟูก (เสมือนการผลิตจริง)

- ความเร็วในการเดินเครื่องประมาณ 100 เมตรต่อนาที

- อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 160 – 170 °C

6. การวิเคราะห์สมบัติของสูตรกาวหางน้ำยาง โดยคัดเลือกกาวหางน้ำยางสูตรที่เหมาะสมที่สุดนำไปทดสอบคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter
2. ตรวจวัดปริมาณของแข็งของกาว
3. ตรวจวัดมุมสัมผัสระหว่างกาวกับผิวกระดาษกราฟที่โดยเครื่องวัด contact angle

4. ระยะเวลาที่กาวแห้ง (Drying time, DT) คือ ระยะเวลาตั้งแต่ประกอบผิววัสดุติดกันและรีดปล่อย ยthing ไว้ให้กาวแห้งตัวเต็มที่อุณหภูมิห้องตัดแปลงวิธีทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 521-2527

7. การทดสอบสมบัติการยึดติด

7.1 การทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษกราฟท์

7.1.1 การทดสอบ Shear strength (อ้างอิงและดัดแปลงตามมาตรฐาน มอก 1521-2541 และ ASTM D1002-72) การทดสอบ shear strength เป็นการทดสอบกาวที่ เช็ด ตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับกระดาษ

- ตัดแผ่นกระดาษกราฟท์เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยขนาด 75x160 มม. โดยให้ด้านยาวอยู่ในแนวขนานของเครื่องชีดเส้นและตัดแบ่งกระดาษเป็น 2 ส่วน ให้ได้ขนาด 75x80 มม.² ทากาวตัวอย่างลงบนกระดาษที่แบ่งไว้ 1 ส่วน โดยกาวที่ใช้มีปริมาณของแข็งประมาณ 0.005 กรัมต่อ 15x15 มม.² อย่างรวดเร็วให้กาวกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ ชั่งน้ำหนักกาวที่แน่นอนอีกครั้งนำกระดาษอีกแผ่นหนึ่งมาปิดทับบนพื้นที่ส่วนที่ทากาว นำน้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัมมากดทับ ตัวอย่างกาวที่เตรียมได้มีขนาด 130x15 มม.² โดยมีพื้นที่ปะกบ shear area เท่ากับ 15x15 มม.²

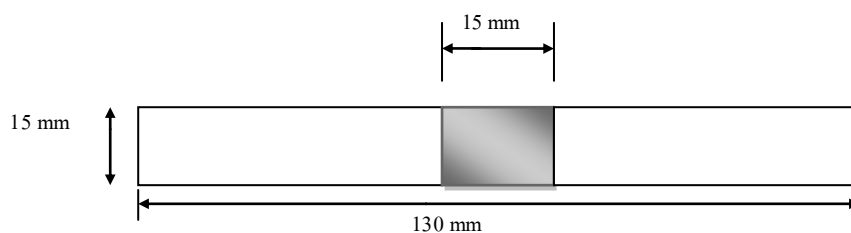


Figure 27. Shear strength test.

- เก็บตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นตัดแบ่งกระดาษให้มีขนาด 15x130 มม.
- นำไปตรึงเข้ากับปากจับของเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ทำการทดสอบด้วยอัตราเร็วของหัวจับ 20 ± 5 มิลลิเมตรต่อ นาทีจนแผ่นกระดาษทดสอบขาดออกจากกันตรวจสอบและบันทึกลักษณะความเสียหาย cohesive หรือ adhesive failure ของกาวที่ยึดติดรวมถึงตรวจสอบส่วนของกระดาษที่ปิดทับมีการเลื่อนตัวหรือไม่
- บันทึกแรงดึงที่ใช้ ณ จุดที่ตำแหน่งขาดจากกันคำนวณ Shear strength ในหน่วยแรงต่อพื้นที่แรงเฉือน ในการทดสอบใช้ชิ้นตัวอย่างทดสอบ (กระดาษกราฟท์) 5 ชิ้นต่อตัวอย่าง

7.1.2 การทดสอบ Peel strength (T-peel test) อ้างอิงและดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM D1876 -72 และ ASTM D3330-81 การทดสอบ peel strength เป็นการทดสอบกาวที่ เช็ดตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับกระดาษ ในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นผิว เช่นเดียวกับ shear strength

- ตัดแผ่นกระดาษกราฟท์เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยขนาด 75x80 มม. จำนวน 2 แผ่นทากาวโดยใช้กาวที่มีของแข็งประมาณ 0.03 กรัมต่อพื้นที่ 15 x 65 มม.² อย่างรวดเร็ว ให้กาวกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ ชั่งน้ำหนักกาวที่แน่นอนอีกครั้งโดยเหลือพื้นที่บริเวณที่ไม่ทากาวประมาณ 15 มม. นำกระดาษอีกแผ่นมาประกบ นำน้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัมมากดทับ โดยตัวอย่างที่เตรียมได้จะมีพื้นที่บริเวณประกบ 65x15 มม. และมีปลายหางทั้งสองด้านยาวด้านละ 15 มม. ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้หนีบจับกับหัวจับ
- เก็บตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งและตัดกระดาษให้มีขนาด 15x80 มม. โดยมีบริเวณประกบทากาวมีความยาว 65 มม.

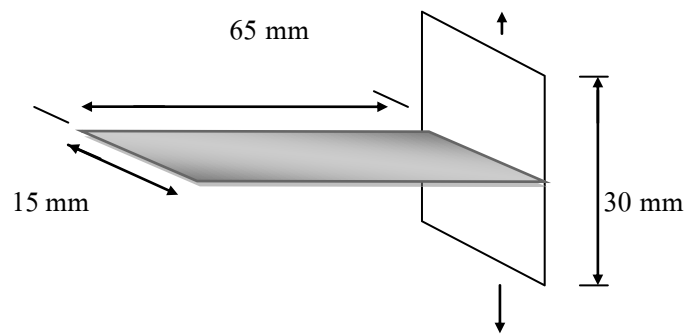


Figure 28. Peel strength test.

- นำไปทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติดโดยทำการดึงขึ้นกระดาษทดสอบด้วยความเร็ว 254 มม. / นาที ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine บันทึกค่าแรงและระยะการลอกจากนั้นตรวจสอบ และ บันทึกลักษณะความเสียหาย cohesive หรือ adhesive failure ของกาวที่ยึดติดรวมถึงตรวจสอบ ส่วนของกระดาษความเสียหายกระดาษภายหลังการลอก ในการทดสอบใช้ชิ้นตัวอย่างทดสอบ (กระดาษกราฟท์) 5 ชิ้นต่อตัวอย่าง
- คำนวณค่า peel strength ในหน่วยแรงดึงเฉลี่ย (หลัง initial peak) ต่อความกว้างของตัวอย่าง

7.2 การทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษลูกฟูก

7.2.1 การทดสอบด้วยวิธี Pin adhesion test อ้างอิงและตัดแปลงตามเอกสาร (TAPPI T 821) การทดสอบสมบัติการยึดติดด้วยวิธี pin adhesion เป็นการทดสอบความแข็งแรงของกาวที่ยึดติดระหว่างลอนกับแผ่นกระดาษเรียบถือว่าเป็นวิธีการทดสอบที่มีความสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษลูกฟูก

- โดยตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยตัดให้เรียบและตรง โดยให้แนวลอนกระดาษลูกฟูกตั้งฉากกับความยาวชิ้นทดสอบ (ลอน B ขนาด 30x100 มม., ลอน C ขนาด 50x100 มม.)
- เก็บชิ้นตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
- ใช้ Pin adhesive holder ยึดชิ้นทดสอบ ตามประเภทของลอนทดสอบโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ตั้งความเร็วเครื่องที่ 12.5 มม/นาที ในการทดสอบใช้ชิ้นตัวอย่างทดสอบ 5 ชิ้นต่อตัวอย่าง

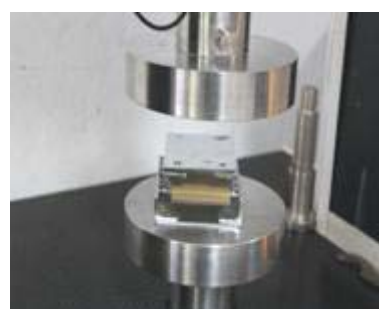


Figure 29. Pin adhesion test.

7.2.2 การทดสอบด้วยวิธี Bursting Strength (อ้างอิงและดัดแปลงตามมาตรฐาน Tappi T810 om 98) Bursting Strength หรือ ความต้านทานแรงดันทะลุ หมายถึง ความสามารถของกระดาษหรือแผ่นกระดาษลูกฟูกที่จะต้านแรงดันที่กระทำบนแผ่น ทดสอบด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนทำให้แผ่นทดสอบนั้นขาดภายใต้ สภาวะที่กำหนด โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านแรงดันทะลุจะขึ้นอยู่กับ ชนิด สัดส่วน การเตรียม เส้นใยและปริมาณเส้น ใยรวมทั้งสารแต่งเติมในแผ่นกระดาษ

- ตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกให้มีขนาด 100 x 100 มม.
- วัดความหนาของแผ่นตัวอย่างไม่น้อยกว่า 3 จุดแล้วหาค่าเฉลี่ย
- นำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดันทะลุ Mullen Bursting Strength Tester
- อ่านค่าแรงดันทะลุสูงสุดจากเครื่องในหน่วยแรงต่อพื้นที่ตัวอย่าง (N/cm^2)

7.2.3 การทดสอบด้วยวิธี Edge Crush Test หรือ ECT (อ้างอิงและดัดแปลงตามมาตรฐาน Tappi T811 om 95) Edge crush test (ECT) หรือ ความต้านทานแรงกดในแนวตั้ง หมายถึง ความสามารถของแผ่นกระดาษลูกฟูก ในแนวตั้ง ที่จะต้านแรงกดเมื่อกระทำ ในทิศทางเดียวกับแนวตั้งของลูกฟูกจนแผ่นลูกฟูกหักหรือยุบตัวลง

- ตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกให้มีขนาด 25 x 100 มม. โดยลอนลูกฟูกจะอยู่ในตำแหน่งวางเป็นคอลัมน์ตามแนวนอน ทดสอบ ECT แล้วนำไปวางใต้เครื่องทดสอบที่จุดกึ่งกลาง
- กดตัวอย่างด้วยอัตราเร็ว 12.7 มม./ นาที จนตัวอย่างเสียรูป สังเกต ลักษณะการเสียรูป
- คำนวณค่าความต้านทานแรงกดแนวตั้งในหน่วยแรงต่อความกว้างตัวอย่าง



Figure 30. Testing Edge Crush Test

8. การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomize design เพื่อทำการศึกษาผลของชนิด ความเข้มข้นของปริมาณของแข็งในหางน้ำยาง และ ผลของปริมาณแทกทิไฟเออร์ของการเตรียมกาวหางน้ำยาง

วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุ

1. หางน้ำยาง (Skim latex) มีปริมาณของแข็งประมาณ 5 % จากบริษัท ถาวรอุตสาหกรรมยางพารา (1982) จำกัด
2. สารครีมมิ่ง A702 ใช้เพิ่มความเข้มข้นของหางน้ำยาง ผลิตโดยบริษัท Hercules Tianpu Chemicals
3. แทกคิไฟเออร์
 - ปีโตรเลียมเรซิน ใช้เพิ่มความสามารถในการยึดติด เตรียมในรูป 22 % อิมัลชัน และ 50 % คิสเพริสชัน จากบริษัท เคมีมิน จำกัด
 - คิวมาโรนเรซิน ใช้เพิ่มความสามารถในการยึดติด เตรียมในรูป 22 % อิมัลชัน จากบริษัท กิจไพบูลย์
 - กัมเรซิน ใช้เพิ่มความสามารถในการยึดติดเตรียมในรูป 22 % อิมัลชัน จากบริษัท กิจไพบูลย์
 - Polyvinyl alcohol (PVOH) ชนิด BP -20 (น้ำหนักโมเลกุล 99,000-104,000) เพิ่มการยึดติดและรักษาความเสถียรในการเตรียมแทกคิไฟเออร์ เตรียมในรูปสารละลาย 20 %
4. สารเคมีและแป้งที่ใช้เตรียมกาวแป้ง
 - แป้งมันสำปะหลัง ที่ใช้ผลิตกาวแป้งจากบริษัทสยามบรรจุกัมภ์ (สงขลา)
 - บอแรกซ์
 - โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
5. สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมกาวหางน้ำยาง
 - ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เตรียมในลักษณะ 50 % dispersion จากบริษัทล็กกี้ไฟว์
 - กำมะถัน (S) เตรียมในลักษณะ 50 % dispersion จากบริษัทล็กกี้ไฟว์
 - ZDBC เตรียมในลักษณะ 50 % dispersion จากบริษัทล็กกี้ไฟว์
6. สารเคมีที่ใช้เตรียม อิมัลชัน แทกคิไฟเออร์
 - โอลิอิก แอซิก ($C_{18}H_{34}O_2$) ผลิตโดยบริษัท Fluka
 - โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) สำหรับปรับความเป็นกรดต่างในการเตรียม

- แทกคลีไฟเออร์สูตรทางเคมี จาก บริษัท Merck
- โทลูอิน ($C_6H_5CH_3$)

7. กระดาษกราฟท์ชนิด KA150 จากบริษัท สยามบรจภัณฑ์ (สงขลา)
8. แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Single face) ชนิด KA150/CS110 จากบริษัท สยามบรจภัณฑ์ (สงขลา)

อุปกรณ์

1. เครื่องกวนผสม Stirrer ยี่ห้อ IKARW 20
2. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น 15025
3. เครื่อง pH meter รุ่น pH 510 ยี่ห้อ EUTECH
4. เครื่องบดผสมสารเคมี Ball Mill
5. ตู้อบ (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert
6. Mullen Bursting Strength Tester GOTECH รุ่น GT-7013-AD
7. Hot plate รุ่น HTS-1003 และ Magnetic stirrer
8. ถังพลาสติก HDPE ขนาดบรรจุ 15 ลิตร สำหรับกระบวนการครีมหางน้ำยาง
9. เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Universal Testing Machine) ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR 30K
10. เครื่องวัด Contact angle รุ่น OCA 15 EC บริษัท Data physics
11. Pin adhesion และ ECT sample holder



Figure 31. Stirrer mixing unit.



Figure 32. Hot air oven.



Figure 33. Mullen Bursting Strength Tester.



Figure 34. Universal Testing Machine.



Figure 35. Contact angle machine.



Figure 36. Pin adhesion sample holder

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ลักษณะและสมบัติเบื้องต้นของกาวแป้งมันสำปะหลัง แทกทีไฟเออร์ และ หางน้ำยาง

1.1 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของกาวแป้งมันสำปะหลัง

เมื่อนำกาวแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้จากสายการผลิตมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นพบว่ากาวแป้งมันสำปะหลังในสายการผลิตมีค่า pH อยู่ในช่วง 11.02-11.24 และค่า gel point อยู่ในช่วง 58-65 °C (เป็นค่าควบคุมมาตรฐานของโรงงานกระดาษลูกฟูกที่ไปทำวิจัย โดยวิธีการทางโรงงานจะนำกาวแป้งมันสำปะหลังเทใส่หลอดแก้วแช่ในน้ำควบคุมอุณหภูมิ 80 °C พร้อมกับใช้แท่งปรอทกวน จากนั้นสังเกตอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอ่านค่าอุณหภูมิเมื่อกาวแป้งเปลี่ยนเป็นเจล) ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษลูกฟูกในประเทศไทยนิยมใช้แป้งมันสำปะหลังในการผลิตกาวสำหรับกระดาษลูกฟูก เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นหนึ่งในพืชไร่ที่สำคัญของไทย และหัวมันสำปะหลังมีแป้งสูงและมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีนและไขมันในปริมาณน้อย ลักษณะสำคัญของแป้งมันสำปะหลังคือ ให้ เจลที่ใส มีความหนืดสูง และปริมาณอะไมโลเพคตินที่สูงจึงเกิด retrogradation ได้ยาก ซึ่ง retrogradation หรือการคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น crystallite

ส่วนสมบัติเบื้องต้นและสมบัติการยึดติดของกาวแป้งมันสำปะหลังแสดงได้ดัง Table 19 และ Table 20 โดยที่สมบัติการยึดติดจะทดสอบด้วยวิธี shear strength และ peel strength กับกระดาษคราฟท์ และ pin adhesion กับกระดาษลูกฟูก



Figure 37. Tapioca starch adhesive.

Table 19. Some properties of tapioca starch adhesive.

Property	Value*
Viscosity (cps)	190.2 ± 3.12
Gel point ($^{\circ}\text{C}$)	58-65
%TS	18.54 ± 0.34
pH	11.13 ± 0.11

* All values are reported as mean ($N \geq 5$).

Table 20. Adhesion properties of corrugated board and kraft paper using tapioca starch adhesive.

Adhesion properties	Value *
Pin adhesion (N/cm) Flute B	178.25 ± 0.50
(N/cm) Flute C	322.50 ± 9.26
Shear strength (N/mm^2)	0.45 ± 0.03
Peel strength (N/mm)	0.29 ± 0.01

* All values are reported as mean ($N \geq 5$).

การทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดของกาวแป้งมันสำปะหลัง โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ทดสอบสมบัติการยึดติด กับแผ่นกระดาษกราฟท์ (KA150) ความแข็งแรงของการยึดติดโดยพิจารณา shear strength และ peel strength และ แบบที่ 2 ทดสอบสมบัติการยึดติดกับแผ่นกระดาษลูกฟูก (KA150/CS110/CS110, ลอน B หรือ ลอน C) ความแข็งแรงของการยึดติดโดยพิจารณาค่า pin adhesion เป็นหลัก

จาก Table 20 แสดงสมบัติการยึดติดของกาวเป็งมันสำปะหลัง โดยค่า shear strength มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.45 นิวตัน / มม². peel strength มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.29 นิวตัน / มม. ในส่วนค่า pin adhesion ลอน B มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 178.25 นิวตัน / ซม. และลอน C มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 322.50 นิวตัน / ซม. จากการศึกษาของ Jack และคณะ (1995) ที่ใช้แป้งข้าวโพด ในการเตรียม กาวสำหรับผลิตกระดาษลูกฟูก ที่เครื่อง single facer โดยควบคุมอุณหภูมิที่ single face liner อยู่ที่ 71.1 °C ถึง 127 °C ความเร็วของเครื่องควบคุมที่ 137 เมตร/นาทีจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 93.3 °C ถึง 121.1 °C ซึ่งทดสอบการยึดติดกับ พบลอน B มีค่า pin adhesion อยู่ที่ 102.0 นิวตัน / ซม และ ECT อยู่ที่ 42 ปอนด์ / นิ้ว พบการเสียหายของกาวภายหลัง ดึง ทดสอบพบ การเสียหาย แบบ fiber tear จำนวน 90% และ adhesive failure จำนวน 10% (โดยการตรวจสอบการเสียหายของกาววัดจากพื้นที่ที่ทาากาว) เมื่อเปรียบเทียบพบว่าค่า pin adhesion ของกาวเป็งมันสำปะหลัง พบมีค่าแตกต่างกับกาวแป้งข้าวโพด อาจเนื่องจากสถานะในการผลิตและสมบัติของแป้งที่ แตกต่างกัน โดยกาวเป็งมันสำปะหลังจะใช้อุณหภูมิที่เครื่อง single facer อยู่ที่ 160 °C ถึง 170 °C ความเร็วของเครื่องควบคุมที่ประมาณ 180 เมตร/นาที ซึ่งสูงกว่ากาวแป้งข้าวโพด

1.2 ลักษณะและสมบัติเบื้องต้นของแทกคิไฟเออร์ที่เตรียมในรูปของอิมัลชัน และ ดิสเพิร์สชัน

ในการวิจัยได้ทำการเตรียมแทกคิไฟเออร์ 4 ชนิด คือ คิวมา โรนเรซิน, กัมเรซิน, ปีโตรเลียมเรซิน และ คิวมา โรนผสมกับกัมเรซิน โดยเตรียมในรูปของอิมัลชัน และ ดิสเพิร์สชัน เพื่อผสมกับหางน้ำยางที่ผ่านกระบวนการครีมีให้เป็นกาวหางน้ำยาง การเตรียมแทกคิไฟเออร์ด้วยวิธีอิมัลชันต้องนำมาทำให้ละลายโดยใช้โทลูอิน จากการทดลอง พบว่ากัม เรซิน มีขนาดเป็นก้อนใหญ่ต้องนำมาทุบให้มีขนาดเล็กก่อน เพราะถ้าใช้กัม เรซิน ที่เป็นก้อนขนาดใหญ่ทำให้ใช้เวลาในการละลายมาก และการเตรียมคิวมา โรนเรซิน ผสมกับกัมเรซิน โดยต้อง เตรียมแทกคิไฟเออร์ทั้งสองให้เสร็จก่อนจากนั้นจึงค่อยนำมาผสมกันในอัตราส่วน 50:50 กวนให้เข้ากัน ในส่วนปีโตรเลียม เรซิน จะเตรียมทั้งสองวิธี คือแบบที่เป็นอิมัลชันที่ละลายแทกคิไฟเออร์ด้วยโทลูอิน และ แบบ ดิสเพิร์สชัน ที่นำแทกคิไฟเออร์ไปผสมน้ำในอัตราส่วน 50:50 และบดโดยใช้ ball mill ซึ่ง แทกคิไฟเออร์ที่เตรียมด้วยวิธีอิมัลชันจะมีความเหนียวและหนืดมากกว่าที่เตรียมด้วยรูปดิสเพิร์สชัน และปีโตรเลียม เรซิน ที่เตรียมด้วยวิธีอิมัลชันจะละลายไม่หมดจำนวนมาก (เป็นตะกอน)

Table 21. Some properties of tackifiers.

Tackifier	Appearance	% TS
Coumarone resin emulsion	Yellow, very viscous and fetid	50.08
Gum resin emulsion	Creamy, yellow with large viscosity and fetid	48.12
Coumarone+ gum resin emulsion	Yellow, very viscous and fetid	49.23
Petroleum resin emulsion	Dark yellow, very viscous and fetid	51.20
Petroleum resin (50 % dispersion)	Yellow, viscous and fetid	52.44

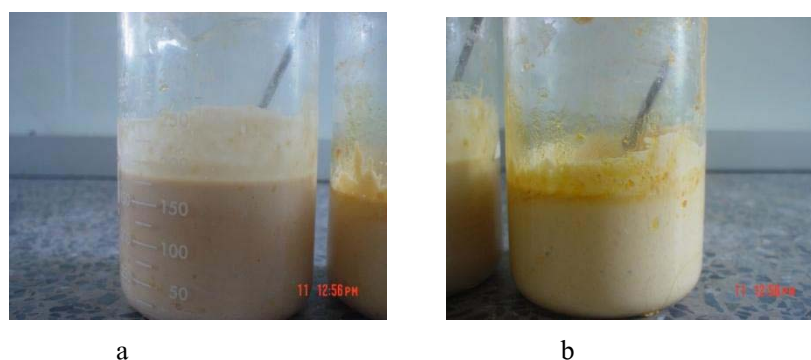


Figure 38. Tackifier emulsions (a) coumarone resin and (b) petroleum resin.

1.3 สมบัติเบื้องต้นของหางน้ำยางและหางน้ำยางเข้มข้นที่ผ่านกระบวนการคริม

โดยปกติหางน้ำยางที่เก็บจากกระบวนการปั่นเหวี่ยงน้ำยางสดในแต่ละครั้งพบว่า ปริมาณของแข็งมีค่าแปรปรวนสูง สาเหตุอาจเนื่องจากน้ำยางสดที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำยางข้น แต่ละครั้งมีปริมาณของแข็ง และปริมาณยางแห้ง (DRC) ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงได้ทำการเตรียมหางน้ำยาง ทำให้เข้มข้นด้วยวิธีการคริมพบปริมาณของแข็งหลังการคริมอยู่ที่ประมาณ 36.52 % ซึ่งใกล้เคียงกับ งานวิจัยของ โชติรส ดอกขันธ์ (2552) ที่ปริมาณของแข็งภายหลังการคริมอยู่ที่ประมาณ 30% หลังจากนั้นทำการปรับปริมาณของแข็งของหางน้ำยางเข้มข้น ให้มีปริมาณของแข็งประมาณ 10, 15 20 และ 25% ตามลำดับ โดยใช้หางน้ำยางในการเจือจาง เพื่อปรับปริมาณของแข็ง ซึ่ง ปริมาณของแข็งและค่าความเป็นกรด-ด่างของหางน้ำยางที่ได้จากวิธีการคริมแสดงดัง Table 22

Table 22. Total solid content and pH of skim latex, concentrated skim latex and diluted cream skim latex at 10, 15, 20 and 25% TS.

Type	%TS*	pH*
Skim latex	6.05 ± 0.62	11.03 ± 0.21
Concentrated skim latex 36.52%TS	36.52 ± 2.67	11.13 ± 0.31
Diluted cream skim latex 10%TS	12.79 ± 0.60	10.97 ± 0.20
Diluted cream skim latex 15%TS	16.04 ± 0.44	10.79 ± 0.14
Diluted cream skim latex 20%TS	19.63 ± 0.34	11.02 ± 0.21
Diluted cream skim latex 25%TS	24.25 ± 0.35	10.98 ± 0.24

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

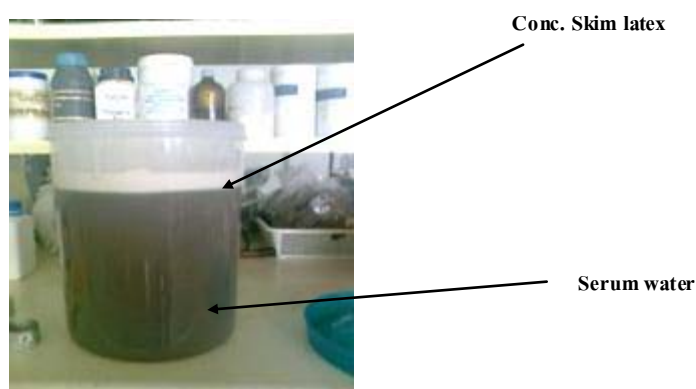


Figure 39. Concentrated skim latex and serum water from creaming process.

ซึ่งในการเตรียมน้ำยางเข้มข้นด้วยวิธีการครีมไม่ควรเก็บน้ำยางไว้นานเกินไป เพราะน้ำยางมีน้ำเซรุ่ม (มีน้ำ โปรตีน และน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ) เมื่อทิ้งไว้นานจะมีกลิ่นเหม็นและน้ำยางอาจเสียสภาพได้ (pH ลดลง) โดยจากการทดลองจะเก็บน้ำยาง ไม่เกินสองเดือน นอกจากนี้จาก Figure 39 แสดงส่วนของน้ำยางที่ครีมและส่วนของน้ำเซรุ่ม น้ำยางที่ผ่านการครีมแล้วจะมีส่วนของน้ำเซรุ่มต้องรีบถ่าย ออกทันทีเพราะถ้าเก็บไว้ในสภาพนี้ทำให้ น้ำยางเข้มข้นเกิดมีกลิ่นเหม็นจากน้ำเซรุ่มได้

1.4 สมบัติของกาวหางน้ำยาง

1.4.1 เวลาในการแห้งตัวของกาวหางน้ำยาง

ในการวิเคราะห์เวลาการเซตตัวของกาวหางน้ำยางทำโดยตัดกระดาษ ให้มีขนาดเท่ากับที่ทดสอบ shear strength และทำให้สม่ำเสมอให้มีน้ำหนักแห้งของกาวประมาณ 0.005 กรัม จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งและจับเวลากว่ากาวจะแห้งหมด (ที่สถานะอุณหภูมิต่ำ) โดยเวลาการแห้งตัวของกาวหางน้ำยางแสดงได้ดัง Table 23

Table 23. Drying time of adhesives.

Formula	DT (minute)
20% skim	15-20
20% skim + 5phr Cor	10-15
20% skim + 17.5phr Cor	9-12
25% skim + 5phr Cor	10-15
Tapioca starch adhesive	20-30

Remark: Cor = coumarone resin and Skim = skim latex

จาก Table 23 พบระยะเวลาการแห้งตัวของกาวหางน้ำยางที่เติม คิวมาโรน เรซิน จะมีระยะเวลาการแห้งตัวลดลงและลดลงตามปริมาณของคิวมาโรนเรซิน ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจาก คิวมาโรนเรซิน เป็นสารเพิ่มการยึดติดใช้ผสมในกาวเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความเหนียว และช่วยในเรื่องการไหลของกาวรวมถึงช่วยการเกิดเป็นแผ่นฟิล์มกาวได้เร็วขึ้น ด้วยเหตุนี้ระยะเวลาการแห้งตัวของกาวจะมีค่าน้อยกว่ากาวน้ำยางที่มีเวลาการแห้งตัวที่ 15-20 นาที

แต่เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองในส่วนการผลิตกระดาษลูกฟูก (ที่เครื่อง double facer) กลับให้ผลที่แตกต่าง เนื่องจากภายหลังที่ผ่านเครื่อง double facer พบการแห้งตัวเพื่อฟอร์มเป็นฟิล์มกาวที่พื้นผิวลอน กาวเป็งมันสำปะหลังจะเกิดได้เร็วกว่ากาวหางน้ำยาง เนื่องจากภายหลัง ที่ให้ความร้อนจน เป็งเกิดเป็นเจลแล้ว เมื่อ อุณหภูมิต่ำลงมาจะเกิดการผันกลับเรียกว่า retrogradation กล่าวคือโมเลกุลอะไมโลสจะเรียงตัวชิดกันแน่นมากขึ้นจนทำให้โมเลกุลของน้ำถูกแยกออก และอะไมโลสรวมตัวเพื่อเกิดเป็นฟิล์มของเป็ง เมื่อให้ความร้อนในระดับที่เหมาะสม ในขั้นตอนที่กาวเป็งมันสำปะหลังผ่าน heat roll หรือ hot plate ที่มีอุณหภูมิสูงมากกาวเป็งมันสำปะหลังจึงแห้งตัวได้ในระยะเวลาอันสั้น

1.4.2 สมบัติการเปียกของกาวหางน้ำยาง

การเปียก (Wetting) ของเหลวบนผิววัสดุซึ่งใช้บ่งบอกสภาพผิววัสดุว่า ผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำมากน้อยเพียงใด ซึ่ง มุมสัมผัส (Contact angle) คือ มุมที่เกิดจากเส้นสัมผัสกับผิวของของไหลบริเวณที่ติดกับขอบของของแข็งตัดกับเส้นสัมผัสกับขอบของของแข็ง ซึ่ง มุมสัมผัสเป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงเชื่อมแน่นระหว่าง โมเลกุลของของเหลวกับแรงยึด ดึงระหว่าง โมเลกุลของของเหลวกับโมเลกุลของแข็ง

ในการทดสอบมุมสัมผัสจะทดสอบโดยใช้ผิวของกระดาษกราฟที่กับตัวกาวทั้ง 5 สูตร คือ กาวแป้งมันสำปะหลัง, หางน้ำยางเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็ง 25%, กาวหางน้ำยาง (หางน้ำยางที่มีปริมาณของแข็ง 25 % ผสม คิวมาโรนเรซิน 5 phr), กาวหางน้ำยาง (หางน้ำยางที่มีปริมาณของแข็ง 25 % ผสม คิวมาโรนเรซิน 15 phr) และ กาวหางน้ำยาง (หางน้ำยางที่มีปริมาณของแข็ง 25 % ผสม คิวมาโรนเรซิน 5 phr) ผสมกาวแป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 50:50

โดยวัดค่ามุมสัมผัสที่เวลา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที ควบคุมน้ำหนักตัวอย่างอยู่ที่ 3-4 μl ซึ่งค่ามุมสัมผัสแสดง ได้ดัง Table 24

Table 24. Contact angle of adhesive at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes.

Formula	Contact time (minute)						Rate of contact angle reduction % min
	0	1	2	3	4	5	
Tapioca starch adhesive	100.5 ⁰	86.3 ⁰	82.7 ⁰	80.4 ⁰	78.2 ⁰	76.2 ⁰	19.74
Skim latex 25%	95.9 ⁰	94.2 ⁰	92.7 ⁰	91.3 ⁰	89.6 ⁰	87.8 ⁰	4.78
Skim 25 % + Cor 5 phr	96.2 ⁰	94.1 ⁰	93.2 ⁰	91.7 ⁰	90.1 ⁰	87.9 ⁰	4.80
Skim 25 % + Cor 15 phr	92.1 ⁰	89.4 ⁰	87.5 ⁰	85.5 ⁰	83.6 ⁰	81.6 ⁰	6.58
Skim 25 % + Cor 5 phr mixed with tapioca starch adhesive	103.3 ⁰	101.8 ⁰	100.6 ⁰	99.2 ⁰	97.5 ⁰	96.2 ⁰	4.24

Table 24 และ Figure 40 - 45 ที่เวลาเริ่มต้นพบว่ามุมสัมผัสในทุกตัวอย่างมีค่ามากกว่า 90⁰ ($\theta > 90$) ในกรณีนี้ค่า มุมสัมผัสระหว่างผิวอยู่ระหว่าง 90 - 150⁰ แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือผิวไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) หรือกระดาษกราฟที่มี คุณสมบัติในการต้านทานการเปียกน้ำ กาวหางน้ำยาง (คิวมาโรน เรซิน 5 phr) และ หางน้ำยางเข้มข้น 25% ค่ามุมสัมผัสมีค่าใกล้เคียงในทุกช่วงเวลาโดยลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ในส่วนกาวหางน้ำยาง

(คิวมาโรนเรซิน 15 phr) ค่ามุมสัมผัสพบว่ามีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณ คิวมาโรน เรซิน ทำให้ไปลดแรงเชื่อมแน่นระหว่างโมเลกุลของกาวหางน้ำยางเกิดการไหลและการเปียกของกาวเพิ่มขึ้น และในตัวอย่างกาวแป้งมันสำปะหลังกับกาวหางน้ำยางที่ผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลังมีค่าเริ่มต้นสูงมาก โดยเฉพาะกาวแป้งมันสำปะหลังพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป พบค่ามุมสัมผัส มีอัตราลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงมากกว่ากาวหางน้ำยาง จาก Table 24 กาวแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการลดลงของ contact angle ประมาณ 19 % ต่อนาที แสดงให้เห็นว่ากาวแป้งมันสำปะหลังมีการ ซึมผ่านและ แพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อของผิวกระดาษกราฟที่ได้ดีกว่ากาวหางน้ำยาง ซึ่ง กาวหางน้ำยางค่ามุมสัมผัส ของกาวจะค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของกาวหางน้ำยางมีขนาดใหญ่จึง ดูดซับ เข้าไปได้น้อย

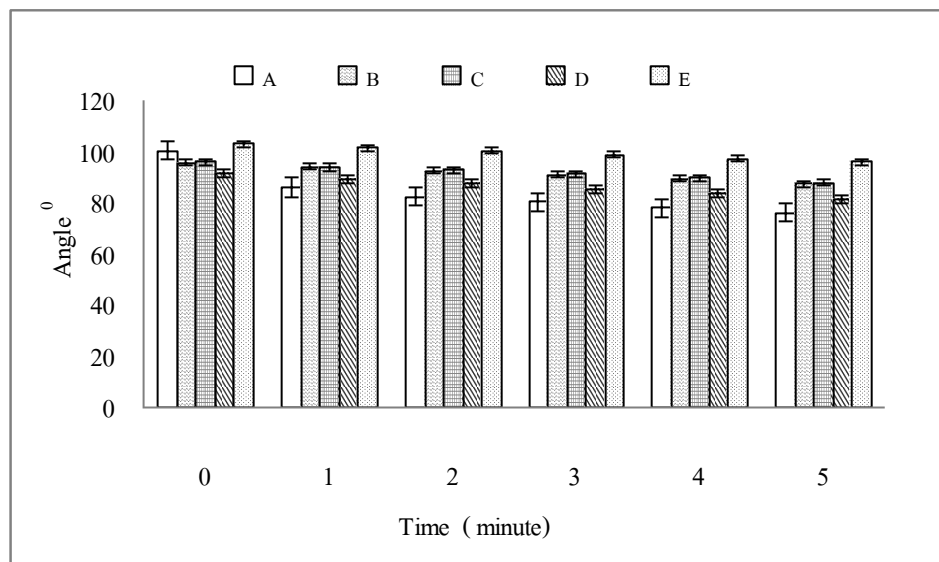


Figure 40. Contact angle of adhesives at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minute

- (A) Tapioca starch adhesive (B) Skim latex 25% (C) Skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 5 phr) (D) Skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 15 phr) and (E) Skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 5 phr) mixed tapioca starch adhesive.

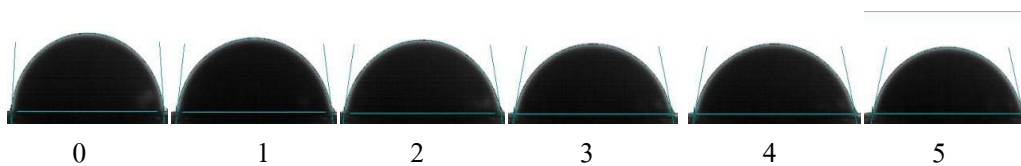


Figure 41. Contact angle of tapioca starch adhesive at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes.

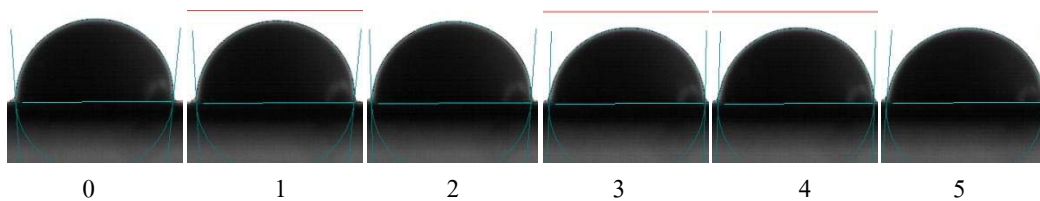


Figure 42. Contact angle of skim latex adhesive 25 % at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes.

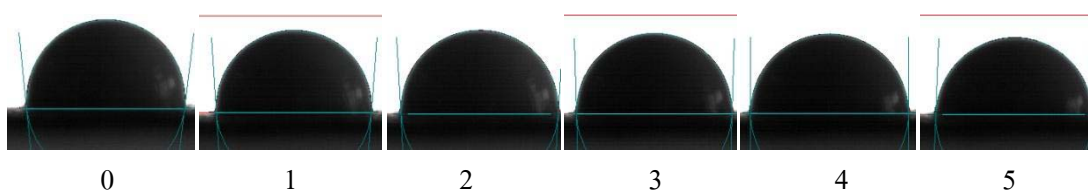


Figure 43. Contact angle of skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 5 phr) at 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes.

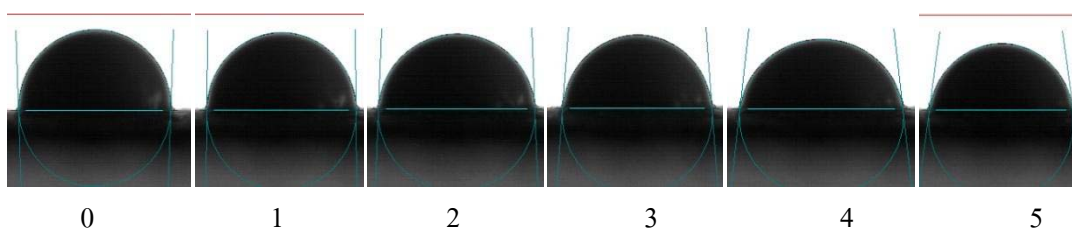


Figure 44. Contact angle of skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 15 phr) at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes.

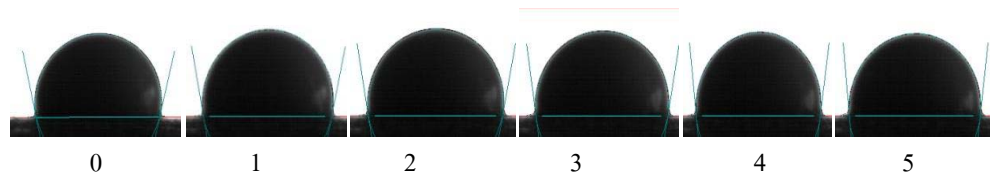


Figure 45. Contact angle of skim latex adhesive 25 % (coumarone resin 5 phr) mixed tapioca starch adhesive at ratio of 50:50 at time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes.

การเกิดพันธะของกาวขึ้นอยู่กับความสามารถในการเปียกที่พื้นผิวและความหนืดของตัวกาว จากการทดลองพบหยดของกาวที่ใช้บอกความแตกต่างที่พื้นผิวที่แสดง Figure 41-45 มุมสัมผัส (Contact angle, θ) ที่อธิบายระหว่างของเหลวกาวและพื้นผิวที่ใช้ยึดติด พบว่ากาวทุกสูตรมีมุมสัมผัสที่ใหญ่หรือ θ มากกว่า 90° กาวที่ใช้งานถือว่ามี การเปียกที่ไม่ดี จำเป็นต้องมีการกระจายตัวของตัวกาว เช่น การกลิ้ง, การปาด, การแต้ม และการเคลือบ เพื่อช่วยให้กาวมีพฤติกรรม การเปียกที่ดีขึ้น

2. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณเทกทิไฟเบอร์ที่มีผลต่อสมบัติการยึดติดของกาว

จากการตรวจเอกสารของอรสา และ เรวดี, 2544 การเตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติ พบว่าการเตรียมเทกทิไฟเบอร์ จาก คิวมาโรนเรซิน เพื่อใช้เตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติไม่สามารถใช้ ในรูป 50% ดิสเพิร์สชัน ได้เนื่องจากมีอายุการเก็บสั้นเมื่อทิ้งน้ำยางไว้ น้ำยางเริ่มมี ลักษณะจับตัวเป็น ก้อน ต้องเตรียมในรูปของอิมัลชันและใช้ polyvinyl alcohol เป็นสารเพิ่มความเสถียร ใช้ KOH ในการปรับ pH ในตอนเริ่มต้นของกาว ทำให้อายุการเก็บนานขึ้น นอกจากนี้เมื่อเก็บกาวที่ใช้ เทกทิไฟเบอร์ เป็นเวลานานมีผลทำให้ค่า pH ลดลง และค่าความหนืดเพิ่มขึ้นแต่สามารถเก็บไว้ได้ นานมากที่สุด 4 เดือน อาจเป็นผลมาจากส่วนของ วงแหวน benzene (ของ โทลูอิน) ที่อยู่ในอิมัลชัน ของ คิวมาโรนเรซิน ซึ่ง benzene เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายพอลิเมอร์ได้ ดังนั้นจึงทำให้น้ำยางค่อยๆ หนืด และเกิดการเสียดสภาพในที่สุด (เนื่องจากพอลิเมอร์มีการดูดซับตัว ทำละลายทำให้อนุภาคพองขึ้นจนกระทั่งอนุภาคแต่ละอนุภาคชนกันหรือสัมผัสกันทำให้เกิดการเสียด สภาพ) กาวน้ำยางสามารถวัลคาไนซ์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อ กาวได้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งใน การศึกษา ผลชนิดและปริมาณเทกทิไฟเบอร์ที่มีผลต่อสมบัติการยึดติดของกาว หางน้ำยางโดย ทดสอบด้วยวิธี shear strength และ peel strength กับกระดาษคราฟท์ (KA 150) และนำไป เปรียบเทียบกับสูตรกาวควบคุม (กาวแป้งมันสำปะหลัง) ผลการทดลองแสดงดัง Table 25 จาก การ

ตรวจเอกสารพบว่าแทกซิไฟเออร์ช่วยเพิ่มการยึดติดกับผิววัสดุให้กับ น้ำยาง และช่วยในการ ดูดซับ และกระจายของน้ำยางเข้าไปในผิววัสดุได้ดีขึ้น โดยกลไกการทำงานของแทกซิไฟเออร์ จะแทรกเข้าไปในอนุภาคน้ำยางที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูง เมื่อแทกซิไฟเออร์แทรกทำให้ ความแข็งแรงพันธะลดลง กาวถูกดูดซับได้ง่ายและเพิ่มความสามารถในการยึดติดกับวัสดุมากขึ้น (ฉัตรปภรณ์, 2548) นอกจากนั้นหางน้ำยางที่เก็บไว้เป็นเวลานานภายหลังที่นำมาครีมีสี หางน้ำยางจะมีสีขาวออกคล้ำ รวมถึง pH และปริมาณของแข็งที่ได้และสมบัติการยึดติดจะลดลงเมื่อเทียบกับหางน้ำยางนำมาครีมีทันทีหรือเก็บไว้ไม่นาน

จากผลการทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษคราฟท์ ดังแสดง Table 24 พบว่าปีโตรเลียมเรซินที่เตรียมในรูปดิสเพิร์สชันและปีโตรเลียมเรซินที่เตรียมในรูปอิมัลชัน (ที่ปริมาณ 1 และ 2 phr) กัมเรซิน และคิวมาโรนเรซินผสมกัม เรซิน (ที่ปริมาณ 1, 2.5 และ 3.5phr) พบสมบัติด้าน peel strength ต่ำกว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง ยกเว้นในส่วนของคิวมาโรน เรซิน พบสมบัติด้าน peel strength ใกล้เคียงหรือสูงกว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง

ในส่วนสมบัติ shear strength ปีโตรเลียมเรซิน ที่เตรียมในรูปดิสเพิร์สชัน (ที่ปริมาณ 100 phr) และ ปีโตรเลียมเรซิน ที่เตรียมในรูปอิมัลชัน (ที่ปริมาณ 1, 2 และ 2.5phr) คิวมาโรนเรซิน (ที่ปริมาณ 1, 2 และ 2.5 phr) กัมเรซิน และ คิวมาโรน เรซิน ผสมกับกัม เรซิน พบสมบัติด้าน shear strength ต่ำกว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง

Table 25. Effect of tackifiers on adhesion properties of skim latex adhesive compared with tapioca starch adhesive.

Component	Skim latex 20 % solid content	Petroleum resins		Coumarone resin emulsion	Gum resin emulsion	Gum resin + Coumarone resin (50:50) emulsion	Shear strength	Peel strength
		dispersion	emulsion					
Formula	dry (phr)	dry (phr)	dry (phr)	dry (phr)	dry (phr)	dry (phr)	(N/mm ²)	(N/mm)
1	100	25	-	-	-	-	✓	x
2	100	50	-	-	-	-	✓	x
3	100	100	-	-	-	-	x	x
4	100	-	1	-	-	-	x	x
5	100	-	2	-	-	-	x	x
6	100	-	2.5	-	-	-	x	✓
7	100	-	3.5	-	-	-	✓	✓
8	100	-	5	-	-	-	✓	✓
9	100	-	7.5	-	-	-	✓	✓
10	100	-	-	1	-	-	x	✓
11	100	-	-	2	-	-	x	✓
12	100	-	-	2.5	-	-	x	✓
13	100	-	-	3.5	-	-	✓	✓
14	100	-	-	5	-	-	✓	✓
15	100	-	-	7.5	-	-	✓	✓
16	100	-	-	-	1	-	x	x
17	100	-	-	-	2	-	x	x
18	100	-	-	-	2.5	-	x	x
19	100	-	-	-	3.5	-	✓	x
20	100	-	-	-	5	-	x	x
21	100	-	-	-	7.5	-	x	x
22	100	-	-	-	-	1	x	x
23	100	-	-	-	-	2	x	✓
24	100	-	-	-	-	2.5	x	x
25	100	-	-	-	-	3.5	✓	x
26	100	-	-	-	-	5	x	✓
27	100	-	-	-	-	7.5	x	✓

Remark: ✓ means properties of shear and peel strength equal or higher than

tapioca starch adhesive, x means properties of shear and peel strength lower than

tapioca starch adhesive and – means not add ingredient of adhesive.

จากการทดลองพบว่าปิโตรเลียมเรซิน ที่เตรียมในรูปอิมัลชันเมื่อมีปริมาณตั้งแต่ 3.5 phr ขึ้นไป และ คิวมาโรนเรซิน เมื่อมีปริมาณตั้งแต่ 3.5 phr ขึ้นไป ให้สมบัติด้าน shear strength และ peel strength ใกล้เคียงหรือสูงกว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง

2.1 ผลของปิโตรเลียมเรซิน ที่เตรียมในรูปคิสเพิร์สชันต่อสมบัติการยึดติด

จากการศึกษาเบื้องต้นผลของปิโตรเลียมเรซินในรูปของ 50% คิสเพิร์สชัน ต่อสมบัติการยึดติดโดยทดสอบกับกระดาษกราฟท์ ในเบื้องต้นได้ใช้ปริมาณที่ 1, 2, 2.5, 3.5, 5 และ 7.5 phr พบว่าลักษณะการยึดติดไม่มีความแข็งแรง และมีค่าต่ำกว่ากาวควบคุมมาก จึงได้เพิ่มปริมาณปิโตรเลียมเรซิน เป็น 25, 50 และ 100 phr ตามลำดับ ผลการทดลองสมบัติการยึดติด แสดงดัง Table 26 และ Figure 46 พบว่ากาวหางน้ำยางที่ได้มี คุณสมบัติด้าน shear strength และ peel strength ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อ ปริมาณของ ปิโตรเลียมเรซินที่เพิ่มขึ้น จนถึงระดับ 100 phr เนื่องจากเมื่อเติมปิโตรเลียม เรซินมากเกินไปทำให้เกิดการแพร่ออกมา เกิด การ บลุม มิ่ง (Blooming) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แตกคิไฟเออร์ที่เป็นส่วนผสมในกาวเกิดการแพร่ขึ้นมาที่พื้นผิวและเกิดการตกผลึก กลายเป็นคราบอยู่บนผิวหน้าของกระดาษกราฟท์ทำให้การยึดเกาะที่ผิวหน้ากระดาษกราฟท์ไม่ดี และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรกาวควบคุม (กาวแป้งมันสำปะหลัง) พบว่า มีเพียง ปริมาณ 25 และ 50 phr ที่มีคุณสมบัติ ด้าน shear strength ที่ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ขณะที่สมบัติ peel strength มีค่าต่ำกว่า สูตร ควบคุม เมื่อมีการเติมปิโตรเลียมเรซินที่ปริมาณ 25, 50 และ 100 phr

Table 26. Effect of dispersion petroleum resin concentration on adhesion properties of skim latex adhesive.

Petroleum resin phr	%TS*	pH*	Shear strength* (N/mm ²)	Peel strength* (N/mm)
25	23.19±0.57	10.80±0.11	0.45±0.03 ^b	0.27±0.01 ^a
50	25.70±0.42	10.58±0.19	0.46±0.05 ^b	0.25±0.02 ^a
100	26.23±0.53	10.20±0.09	0.40±0.02 ^a	0.18±0.01 ^b

* All values are reported as mean ($N \geq 5$).

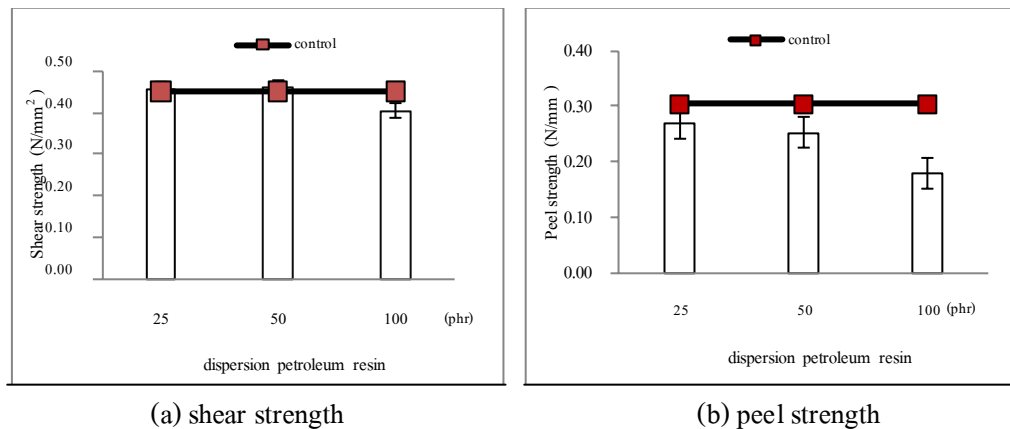


Figure 46. Effect of dispersion petroleum resin concentration on adhesion properties of skim latex adhesive (a) shear strength and (b) peel strength.

อย่างไรก็ตามพบว่าแทกคิไฟเออร์ที่เตรียมด้วยวิธีดิสเพิร์สชันไม่เหมาะกับการเตรียมกาวจากยางน้ำยางเนื่องจากให้สมบัติการยึดติดที่ยังไม่ดีพอ โดยเฉพาะสมบัติ peel strength และเกิดการแยกชั้นของชั้นกาวและชั้นของแทกคิไฟเออร์เมื่อตั้งทิ้งไว้ เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมแทกคิไฟเออร์ด้วยวิธีดิสเพิร์สชัน อาจเกิดการไม่เข้ากันของน้ำกับแทกคิไฟเออร์ ทำให้เกิดการแยกเฟสเนื่องจากขั้นตอนการบดยังไม่เข้ากัน (ใช้เวลาน้อยเกินไป) ทำให้กาวที่ได้ไม่มีความเหนียวติดหรือความเหนียวติดที่เป็นสมบัติของแทกคิไฟเออร์ไม่ดี ส่งผลให้การกระจายตัวและการเปียกของผิวกาวไม่ดี นอกจากนี้ยังต้องใช้ในปริมาณที่มากซึ่งมีผลต่อต้นทุนในการเตรียมกาว

2.2 ผลของชนิดแทกคิไฟเออร์ที่เตรียมในรูปอิมัลชันต่อสมบัติการยึดติด

จากการศึกษาผลของชนิดแทกคิไฟเออร์ที่เตรียมในรูปของอิมัลชันต่อสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยาง ในการทดลองจะเตรียมกาวน้ำยางทั้งหมด 24 สูตร จากแทกคิไฟเออร์ที่เตรียมด้วยวิธีอิมัลชัน 4 ชนิด คือ ปีโตรเลียม เรซิน คิวมาโรนเรซิน , กัมเรซิน และคิวมาโรน เรซิน ผสมกัมเรซิน โดยใช้ที่ระดับปริมาณ 1, 2, 2.5, 3.5, 5 และ 7.5 phr โดยการทดลองจะ ทดสอบ ความแข็งแรงในการยึดติดและลักษณะการเสียหายของกาวที่ทาบนกระดาษคราฟท์ (KA150) ด้วยวิธีการทดสอบ shear strength และ peel strength

การทดสอบ shear strength เป็นการทดสอบกาวที่เซ็ดตัวอย่างสมบูรณ์เพื่อประเมินแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับกระดาษ นอกจากนี้ในฟิล์มกาว shear strength สามารถกำหนดเป็นความสามารถในการทนต่อแรงแบบคงที่ในระนาบเดียวกับวัสดุที่มีการเคลือบ ผิวด้วยกาว (Franking, 2000) ซึ่งค่าที่ได้จากภายหลังการทดสอบดังแสดง Table 27 และ Figure 47a พบว่า กาว

หางน้ำยางที่ผสมเทกซิไฟเออร์อิมัลชันมีค่า shear strength ที่สูงกว่าหางน้ำยาง (ปริมาณของแข็ง 20%) ที่ไม่มีการเติมเทกซิไฟเออร์ ในทุกสูตรที่มีการผสมเทกซิไฟเออร์ และ ในทุกระดับของการเพิ่มขึ้นของปริมาณเทกซิไฟเออร์อิมัลชันพบว่าค่า shear strength เพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยหางน้ำยางที่ผสมกับคิวมาโรน เรซินที่ 7.5 phr ให้ค่า shear strength มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรกาวแป้งมันสำปะหลัง พบว่าหางน้ำยางที่ผสมคิวมาโรน เรซินที่ปริมาณ 3.5, 5 และ 7.5 phr มีค่า shear strength ที่มากกว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณา shear strength แสดงให้เห็นคิวมาโรนเรซิน ช่วยทำให้ค่า shear strength ในหางน้ำยางเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อคิวมาโรน เรซินเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวคิวมาโรนเรซิน ช่วยให้กาวมีการดูดซึมและแพร่กระจายไปตามรูพรุนในเนื้อกระดาษได้ดีขึ้นทำให้การยึดเกาะระหว่างกาวกับกระดาษสูง

การทดสอบ peel strength เป็นการทดสอบกาวที่เซ็ดตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับกระดาษในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นผิว เช่นเดียวกับ shear strength ซึ่งค่าที่ได้จากภายหลังการทดสอบ (กระดาษกราฟท์) ดังแสดง Table 27 และ Figure 47b พบว่าหางน้ำยางที่ผสมเทกซิไฟเออร์อิมัลชัน ค่า peel strength มีค่าไปในทิศทางเดียวกับค่า shear strength คือมีค่ามากกว่าหางน้ำยาง (ปริมาณของแข็ง 20%) ในทุกสูตรที่มีการเติมเทกซิไฟเออร์แต่ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาค่า peel strength โดยเปรียบเทียบค่า ระหว่างหางน้ำยางที่ผสมปิโตรเลียม เรซิน กับ คิวมาโรนเรซิน ถึงแม้ว่าปิโตรเลียม เรซิน ที่ 7.5 phr ให้ค่า peel strength ที่มากกว่าสูตรกาวควบคุมแต่จากผลการทดลอง พบว่าค่า peel strength ที่ได้มีค่าไม่สม่ำเสมออาจเนื่องจากปิโตรเลียมเรซิน ที่เตรียมในรูปของอิมัลชันมีบางส่วนที่ไม่ละลาย โดยยังพบลักษณะเป็นผลึกเล็กที่ยังไม่ละลาย เมื่อผสมกับหางน้ำยางทำให้ผสมไม่เข้ากันและบางส่วนของผิวของวัสดุทดสอบ (กระดาษกราฟท์) เพราะจาก Table 27 ในส่วนของหางน้ำยางที่ผสมกันระหว่าง กัมเรซินและคิวมาโรนเรซิน (ในอัตราส่วน 50 :50) พบว่าค่า shear strength และ peel strength มีค่าไม่สม่ำเสมอ อาจเนื่องมาจาก การผสมที่ไม่เข้ากันระหว่างกัมเรซินและคิวมาโรน เรซิน ดังนั้นเมื่อพิจารณาในส่วนของหางน้ำยางที่ผสมกับคิวมาโรน เรซิน อิมัลชัน เปรียบเทียบกับสูตรกาวควบคุม (กาวแป้งมันสำปะหลัง) พบว่าที่คิวมาโรน เรซิน ปริมาณ 2, 2.5, 3.5, 5 และ 7.5 phr มีค่า peel strength ที่มากกว่ากาวควบคุม ในส่วนของค่า shear strength พบที่ปริมาณ 3.5, 5 และ 7.5 phr มากกว่าสูตรกาวควบคุม แสดงให้เห็นคิวมาโรน เรซิน ช่วยทำให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดในหางน้ำยางเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคิวมาโรนเรซินเพิ่มขึ้น

Table 27. Effect of emulsions tackifier contents on adhesion properties of skim latex adhesive.

Bonding properties	Tapioca starch adhesive	Skim latex (20% TS)	phr	Tackifier concentration			
				Skim+ Pr	Skim+ Cor	Skim+ G	Skim+G+Cor (50:50)
Shear strength (N/mm ²)*			1	0.35± 0.02 ^a	0.42± 0.02 ^a	0.35± 0.03 ^a	0.35± 0.02 ^a
			2	0.39± 0.03 ^a	0.37± 0.02 ^a	0.33± 0.03 ^a	0.38± 0.03 ^a
			2.5	0.44± 0.03 ^{ab}	0.43± 0.02 ^{ab}	0.41± 0.03 ^{ab}	0.41± 0.02 ^{ab}
			3.5	0.45± 0.02 ^b	0.48± 0.03 ^b	0.47± 0.03 ^b	0.46± 0.03 ^b
			5	0.45± 0.02 ^b	0.51± 0.04 ^b	0.41± 0.02 ^b	0.39± 0.02 ^b
			7.5	0.46± 0.04 ^b	0.50± 0.03 ^b	0.40± 0.01 ^b	0.36± 0.03 ^a
						phr	
Peel strength (N/mm)*	0.29± 0.01	0.24± 0.01 ^{**}	1	0.24± 0.02 ^a	0.30± 0.02 ^a	0.25± 0.02 ^a	0.26± 0.02 ^a
			2	0.26± 0.01 ^a	0.31± 0.02 ^a	0.25± 0.03 ^a	0.30± 0.03 ^a
			2.5	0.31± 0.02 ^{ab}	0.32± 0.02 ^{ab}	0.30± 0.02 ^{ab}	0.29± 0.02 ^{ab}
			3.5	0.33± 0.02 ^b	0.33± 0.01 ^b	0.30± 0.02 ^{ab}	0.31± 0.02 ^{ab}
			5	0.30± 0.02 ^{ab}	0.34± 0.01 ^b	0.27± 0.02 ^{ab}	0.33± 0.02 ^b
			7.5	0.33± 0.02 ^b	0.33± 0.02 ^b	0.27± 0.02 ^{ab}	0.33± 0.01 ^b

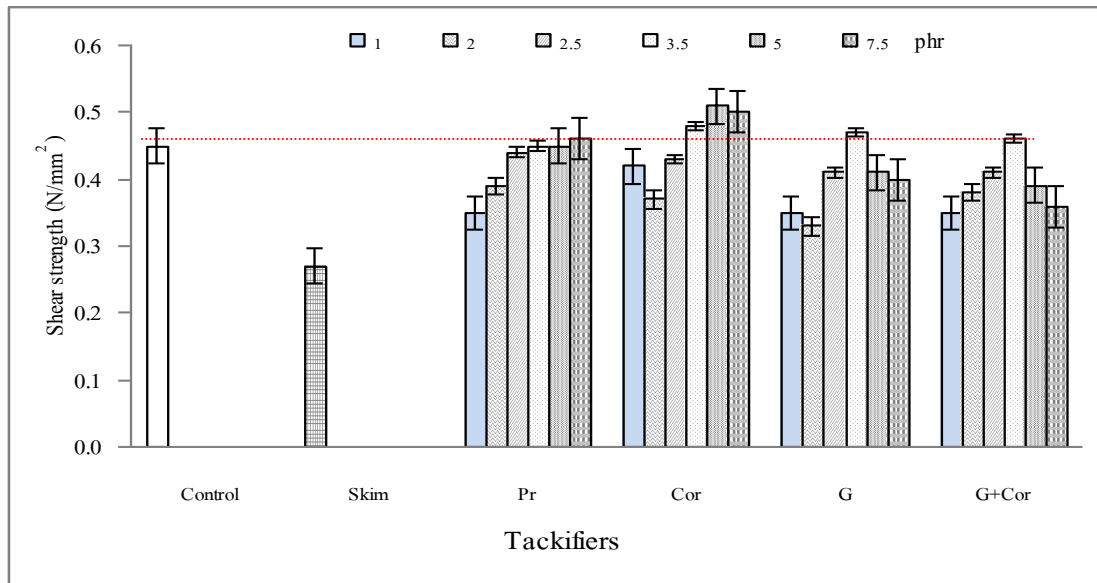
Remark: Cor = coumarone resin G = gum resin Pr = petroleum resin and

G+Cor = gum - coumarone mixed resin

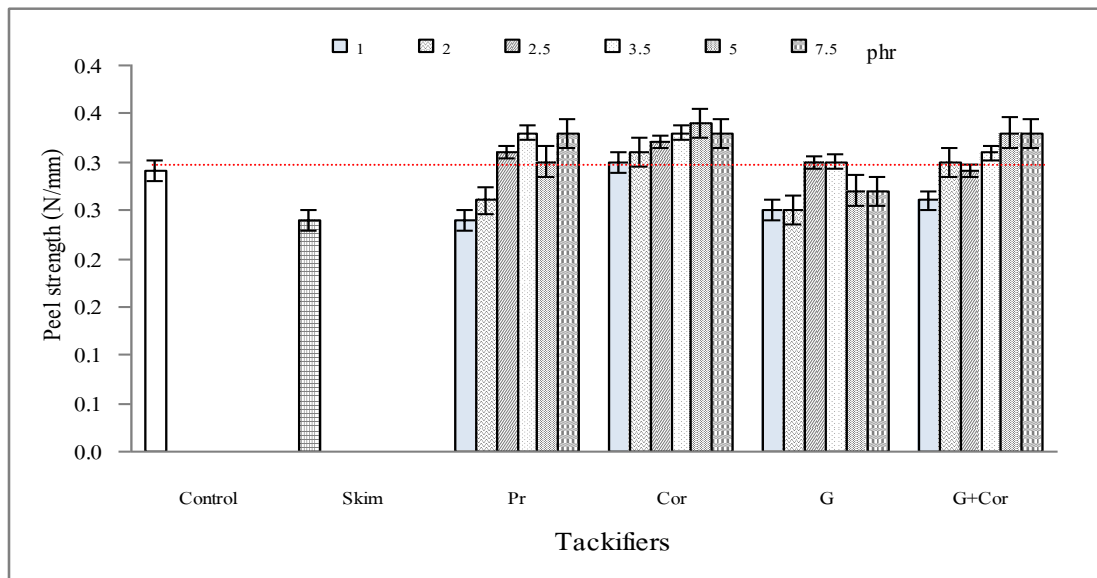
* All values are reported as mean (N ≥ 5).

** The different superscripts in the same column indicate the significant differences (p<0.05).

จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมแทกคิไฟเออร์ด้วยวิธีอิมัลชันสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของสมบัติการยึดติดของหางน้ำยางได้ เนื่องจากแทกคิไฟเออร์มีคุณสมบัติที่สามารถไปลดความแข็งแรงภายในโมเลกุลยางในหางน้ำยาง (พิมานจันทร์, 2548) และทำให้เพิ่มความแข็งแรงในการยึดเกาะกับผิวกระดาษกราฟได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับหางน้ำยางที่ไม่มีการผสมกับแทกคิไฟเออร์ ซึ่งเมื่อเปรียบผลสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษกราฟที่แทกคิไฟเออร์ที่เตรียมด้วยวิธีอิมัลชันให้สมบัติการยึดติดที่ดีกว่ารวมถึงใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าแทกคิไฟเออร์ที่เตรียมด้วยวิธีดีสเพิร์สชัน อาจเนื่องมาจากแทกคิไฟเออร์ที่เตรียมด้วยวิธีอิมัลชันมี PVOH (Polyvinyl alcohol) เป็นส่วนผสมอยู่ ซึ่ง PVOH จัดว่าเป็นสารที่นิยมใช้ในรูปของกาวสามารถช่วยเพิ่มการยึดติดให้หางน้ำยางได้ และชนิดของแทกคิไฟเออร์ก็มีผลต่อสมบัติการยึดติด รวมถึงการผสมแทกคิไฟเออร์ต่างชนิดกัน เช่น คิวมาโรนเรซิน และ กัมเรซิน ที่พบความไม่สม่ำเสมอของค่า peel strength ซึ่งจากการศึกษาพบว่าคิวมาโรนเรซิน ที่ปริมาณ 5 phr มีสมบัติการยึดติดกับกระดาษกราฟที่ดีที่สุด



(a) shear strength



(b) peel strength

Figure 47. Effect of tackifier emulsions on adhesion properties of skim latex adhesive

(a) shear strength and (b) peel strength.

Remark: Control = tapioca starch adhesive Skim = skim latex (20%TS) Cor = coumarone resin

G = gum resin Pr = petroleum resin and G+Cor = gum resin mixed with

coumarone resin.

ลักษณะการเสียหายของการยึดติดภายหลังจากการทดสอบความแข็งแรงของกาวโดยวิธี

shear strength และ peel strength

ความแข็งแรงของวัสดุที่ยึดติดโดยกาวจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแข็งแรง บริเวณที่มีแรงยึดติดต่ำสุด ความเสียหายของการยึดติด มักพบ ในบริเวณต่างๆ เช่น ภายในชั้นกาว เนื้อวัสดุ และบริเวณผิวสัมผัสระหว่างกาวกับวัสดุ ซึ่ง การยึดติดของกาว ที่มีแรงยึดเหนี่ยวเกิดจากการเกี่ยวติดกันระหว่าง โมเลกุลของกาวกับวัสดุจากการที่กาวไหลเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างบน พื้นผิวของวัสดุ หรือการแพร่ผ่าน ไปในผิวของวัสดุ โดยปัญหาทั่วไปที่ทำให้กาวเกิดการเสียหาย ภายหลังจากการทดสอบนั้นอาจเกี่ยวข้องกับการรับแรงหรือโหลดที่มาก เกินไป และสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น แสง โดยบริเวณรอบๆของวัสดุ แรงไดนามิกซ์จากเครื่องจักร และรวมถึงการเปลี่ยนแปลงของ สภาวะอากาศ เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การเก็บรักษา เป็นต้น โดยทั่วไปการเสียหาย ของ กาวภายหลังจากการทดสอบการยึดติดมี 3 ประเภท คือ cohesive failure (เป็นการเสียหาย จากตัวกาว กับ กาว) adhesive - cohesive failure (เป็นการเสียหายผสม ระหว่างกาวกับผิววัสดุ) และ adhesive failure (เป็นการเสียหายของกาวที่ไม่ยึดติดกับผิววัสดุ) นอกจากนี้ยังพบการเสียหาย แบบ fiber tear ที่เป็นลักษณะการฉีกขาดของผิววัสดุ เช่น ผิวของกระดาษ (Christer, 2007) ในการตรวจสอบการเสียหายของกาวภายหลังจากทดสอบความแข็งแรงของกาวจะทำได้โดยตรวจสอบบริเวณที่เสียหายของการยึดติดที่ใช้กาวกับกระดาษกราฟท์ เพื่อจำแนกประเภทลักษณะความเสียหายมีความสำคัญ เช่นเดียวกับความแข็งแรงของการยึดติด เนื่องจากประเภทลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สามารถเข้าใจถึงพฤติกรรมและการเชื่อมประสานและสาเหตุของความเสียหายของการยึดติดได้ดียิ่งขึ้น โดยภายหลังจากดิ่งทดสอบด้วยวิธี shear strength และ peel strength พบขึ้นตัวอย่างทดสอบ (กระดาษกราฟท์) ที่ทาการมีการเสียหาย แสดงดัง Figure 48 -50

การเสียหายของกาวภายหลังจากการดิ่งทดสอบด้วยวิธี shear strength และ peel strength พบเป็นการเสียหายแบบ cohesive failure ในทุกสูตรของกาวหาน้ำยางที่ผสม แทกลิไฟเออร์ภายหลังจากที่ทดสอบ shear strength ในส่วนการเสียหายของกาวหาน้ำยางภายหลังจากที่ดิ่งทดสอบด้วยวิธี peel strength พบการเสียหาย 2 แบบ คือแบบ cohesive failure และ adhesive - cohesive failure การเสียหายแบบ cohesive failure พบได้ในกาวหาน้ำยางที่มีการผสม บีโตรีเลียมเรซิน (ดิสเพิ์รส์ชัน และอิมัลชัน) และ คิวมาโรนเรซิน ซึ่ง การเสียหายของกาวแบบ cohesive failure แสดงดัง Figure 48 โดย พบตัวเนื้อกาวเกิดการฉีกแยกออกจากกันเป็นลักษณะ คราบฟิล์มกาวบางแห่งที่ผิวของกระดาษโดยไม่พบเศษกระดาษด้านหนึ่งติดไปกับกระดาษอีกด้าน หนึ่ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของอนุภาคกาวหาน้ำยางมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเนื้อกระดาษ จึงทำให้การซึมผ่านของกาวหาน้ำยางแทรกผ่านเข้าไปในรูพรุนของเนื้อกระดาษได้ไม่ทำให้แรง

ยึดเกาะระหว่างกาวกับกระดาษต่ำและเมื่อมีแรงกระทำสูงกว่าความแข็งแรงของตัวเนื้อกาวทำให้ เกิดการฉีกขาดภายในเนื้อชั้นกาว

จาก Figure 48 กราฟ load - elongation (a) ที่ทดสอบ peel strength ของกาวหางน้ำยาง พบว่าลักษณะมีการยึดตัว เนื่องจากคุณสมบัติของหางน้ำยางที่มีความยืดหยุ่น (น้ำยางแสดงพฤติกรรมเป็นอีลาสโตเมอร์เมื่อรับแรงมากกระทำสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างและเกิดการเคลื่อนที่ได้ตั้งแต่เมื่อเอาแรงออกก็ทำให้วัสดุเคลื่อนที่กลับมา) เมื่อถึงแรงดึงที่มากกว่าความแข็งแรงของเนื้อกาวทำให้เกิดการฉีกขาด (แรงดึงสูงสุด) เช่นเดียวกับในการทดสอบ shear strength พบว่าเมื่อใช้แรงดึงทำให้ค่าของกราฟ elongation ค่าที่สูงขึ้นจนถึงค่าแรงดึงมากกว่าความแข็งแรงของกาว (แรงดึงสูงสุด) ทำให้เนื้อกาวเกิดการฉีกขาด

จาก Figure 49 ในการทดสอบ peel strength การเสียหายของกาวที่พบในสูตรกาวหางน้ำยางที่มีการผสมกัมเรซิน และ คิวมาโรนเรซินผสมกัมเรซิน พบการเสียหาย 2 แบบคือ cohesive failure และ adhesive - cohesive failure การเสียหายของกาวแบบผสมคือ adhesive - cohesive ลักษณะการเสียหายคล้ายกับแบบ cohesive ต่างกัน ตรงที่ ตัวเนื้อกาวเกิดการฉีกแยกออกจากกันเป็นลักษณะคราบฟิล์มกาวบางแห่งที่ผิวของกระดาษจะติดที่ผิวกระดาษไม่สมบูรณ์

ในส่วนกาวแป้งมันสำปะหลังพบการเสียหายของกาวภายหลังการดึงทดสอบด้วยวิธี shear strength และ peel strength เป็นการเสียหายแบบ fiber tear แสดงดัง Figure 50 ภายหลังการดึงทดสอบพบมีส่วนของเศษกระดาษของชิ้นตัวอย่างทดสอบด้านหนึ่งติดกับชิ้นตัวอย่างทดสอบอีกด้านหนึ่ง แสดงให้เห็นว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง มีการดูดซึมและการแทรกผ่านของตัวกาวไปตามรูพรุนในเนื้อกระดาษได้ดีกว่ากาวหางน้ำยาง ทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับ เส้นใยในเนื้อกระดาษสูงส่งผลให้ shear strength มีค่าสูง โดยลักษณะที่พบตัวกาวจะติดที่ผิวหน้าและ แทรกเข้าไปในเนื้อชั้นของกระดาษคราฟท์และเมื่อมีแรงกระทำสูงกว่าความแข็งแรงของการยึดติดทำให้เกิดการฉีกขาดของตัวเนื้อชั้นกาวและชั้นของวัสดุ จากกราฟ load - elongation (c) พบค่า extension ในการทดสอบ peel strength ของกาวแป้งมันสำปะหลัง น้อยกว่ากาวหาง น้ำยางเพราะกาวแป้ง ไม่แสดงพฤติกรรมอีลาสโตเมอร์ เมื่อมีแรงดึงที่มากกว่าความแข็งแรงของกาว (แรงดึงสูงสุด) กราฟที่ได้ก็จะ มีค่า extension ที่ได้จึงน้อยกว่ากาวหางน้ำยาง ในส่วนของการทดสอบ shear strength test ลักษณะกราฟ elongation พบค่า extension ที่ได้จึงน้อยกว่ากาวหางน้ำยาง

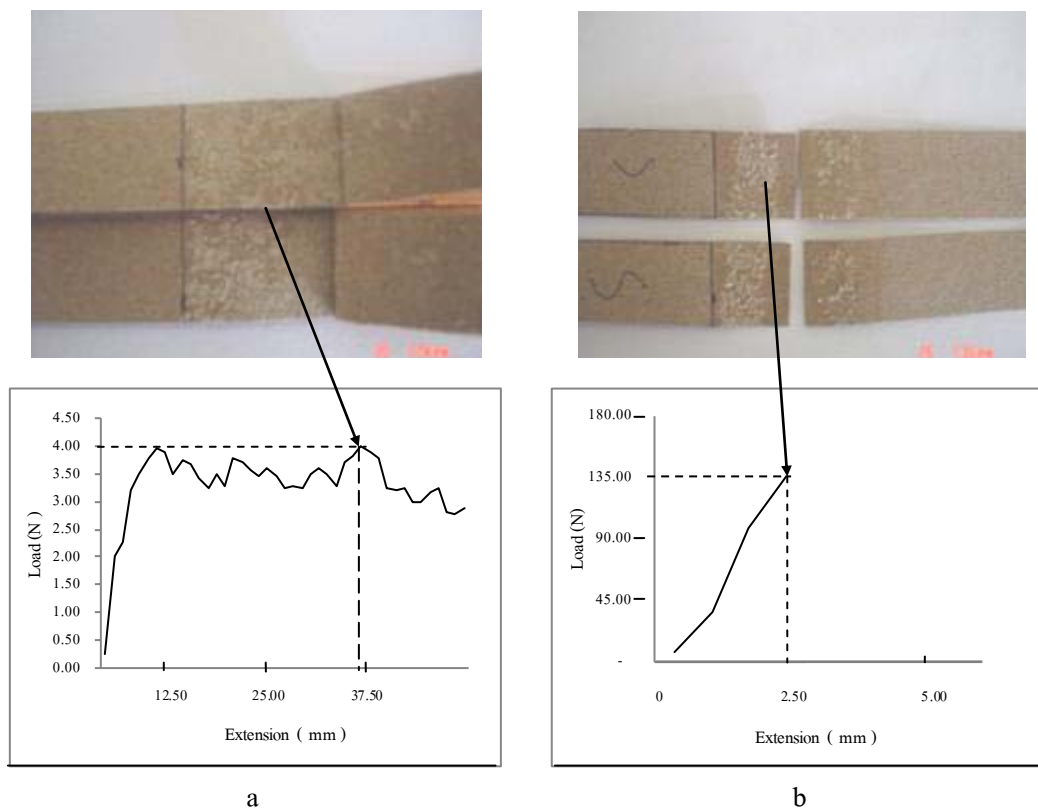


Figure 48. Cohesive failure of the skim latex adhesive (a) peel strength and (b) shear strength.

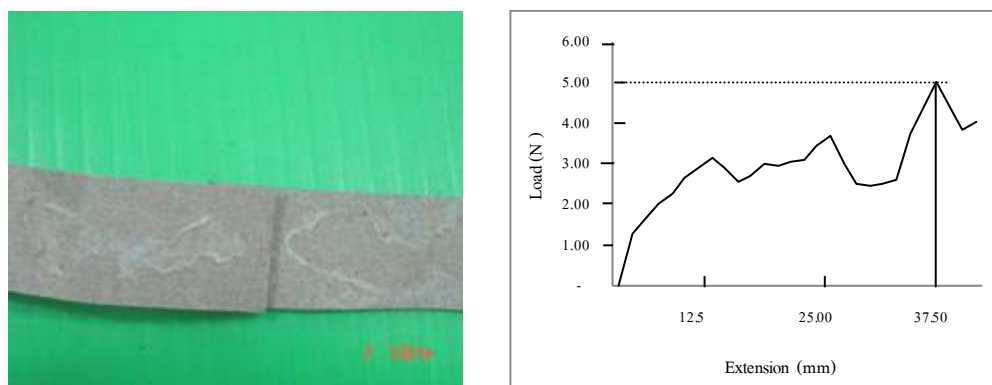


Figure 49. Adhesive-cohesive failure of the skim latex adhesive after peel strength.

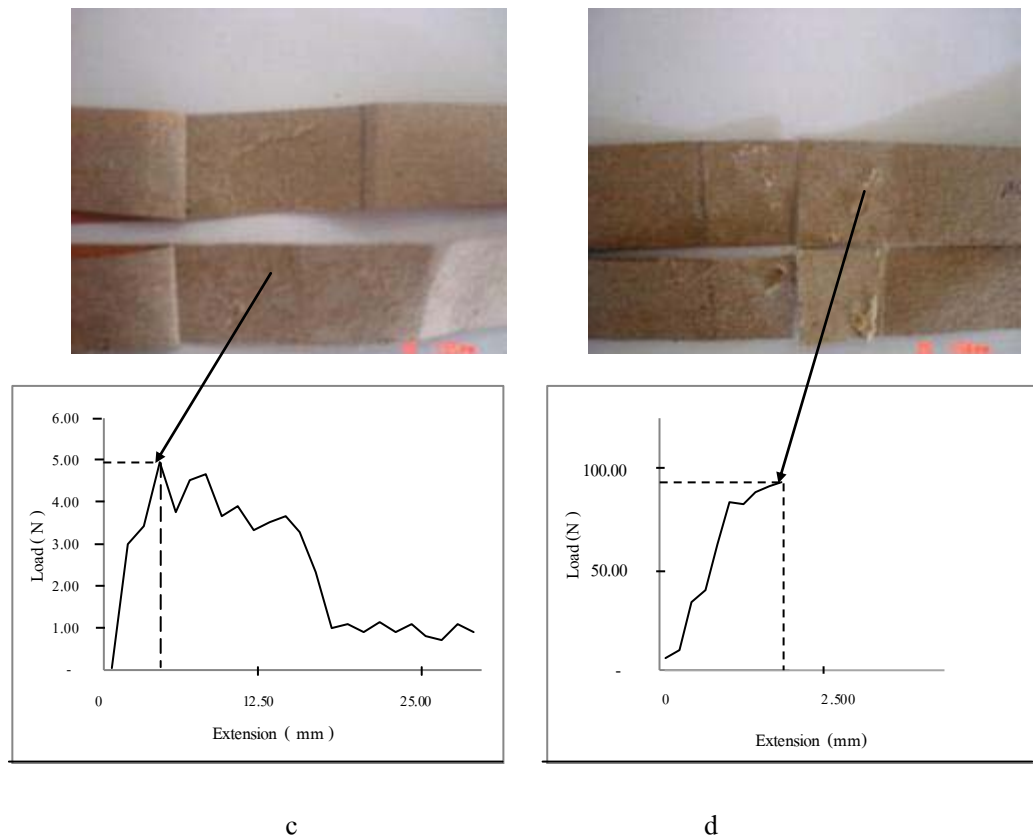


Figure 50. Fractures of tapioca starch adhesive (c) peel strength and (d) shear strength.

2.3 ผลของปริมาณเทกลิไฟเออร์ต่อสมบัติการยึดติดของกาว

จากการทดสอบสมบัติการยึดติดในข้อ 2.1 และ 2.2 โดยพิจารณาจากชนิดของเทกลิไฟเออร์ เพื่อศึกษาผลของปริมาณเทกลิไฟเออร์ต่อสมบัติการยึดติด ซึ่งเทกลิไฟเออร์ ที่ใช้ในการทดลอง คือ คิวมาโรนเรซิน โดยนำหาน้ำยางที่มีปริมาณของแข็ง 20 % ผสมกับคิวมาโรน เรซิน ที่ปริมาณ 5, 7.5, 10, 15 และ 17.5 phr จากนั้นนำไปทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดโดยวิธี shear strength, peel strength และ pin adhesion เปรียบ เทียบกับ กาวแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งผลการทดสอบความแข็งแรงของการยึดติด แสดง ได้ดัง Table 28 และ Figure 51

Table 28. Effect of tackifier content on adhesion properties of adhesive.

Formula	%TS*	pH*	Shear strength* (N/mm ²)	Peel strength* (N/mm)	Pin adhesion* (N/cm)
20%skim +5phr Cor	20.44±0.39	11.26± 0.09	0.45±0.02 ^a	0.32±0.03 ^a	130.80±6.38 ^a
20%skim +7.5phr Cor	22.47±0.41	10.73± 0.07	0.57±0.02 ^{bc}	0.29±0.02 ^a	149.20±5.21 ^b
20%skim +10phr Cor	24.10±0.18	10.66± 0.14	0.52±0.03 ^b	0.43±0.02 ^b	168.80±3.63 ^c
20%skim +15phr Cor	27.28±0.63	10.27± 0.24	0.62±0.03 ^c	0.39±0.02 ^{ab}	167.60±3.58 ^c
20%skim +17.5phr Cor	28.49±0.38	9.28± 0.08	0.62±0.02 ^c	0.42±0.03 ^b	167.00±3.67 ^c

Remark: Cor = coumarone resin

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

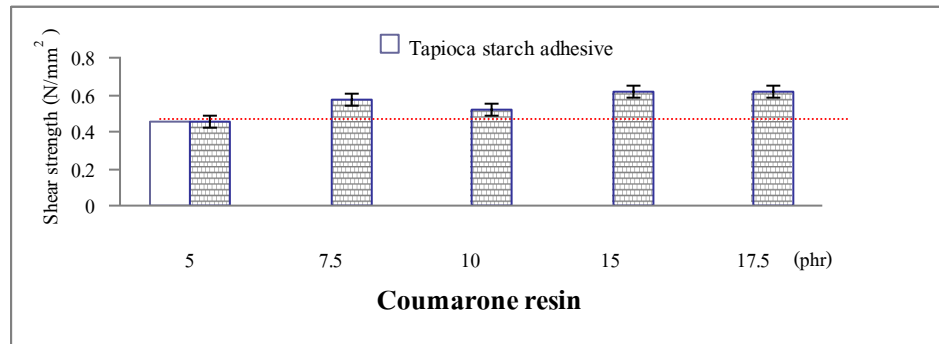
** The different superscripts in the same column indicate the significant differences (p<0.05).

ในการทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวแบ่งเป็นการทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษกราฟและสมบัติการยึดติดกับกระดาษลูกฟูก

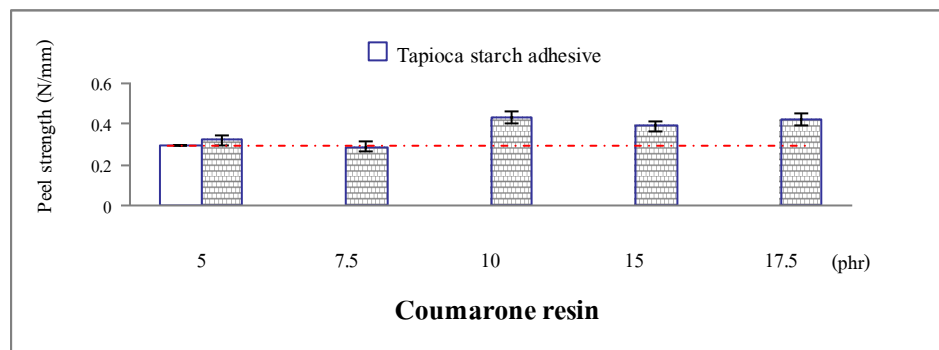
จากการทดลองสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษกราฟพบว่าคุณสมบัติด้าน shear strength และ peel strength มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณ ของ คิวมาโรน เรซินที่เพิ่มขึ้น และเริ่มไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อมีปริมาณตั้งแต่ 10 phr ขึ้นไป โดยพบมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าในทุกสูตรของกาวหาน้ำยางมี ค่าความแข็งแรงของการยึดติด คุณสมบัติด้าน shear strength และ peel strength มากกว่าเมื่อเทียบกับกาวเป็งมันสำปะหลัง แสดงได้ดัง Figure 51a และ Figure 51b

ลักษณะการเสียหายของการยึดติดภายหลังจากทำการทดสอบความแข็งแรงของกาวหาน้ำยางกับกระดาษกราฟโดยวิธี shear strength และ peel strength พบเป็นแบบ cohesive failure ดังที่แสดงใน Figure 52

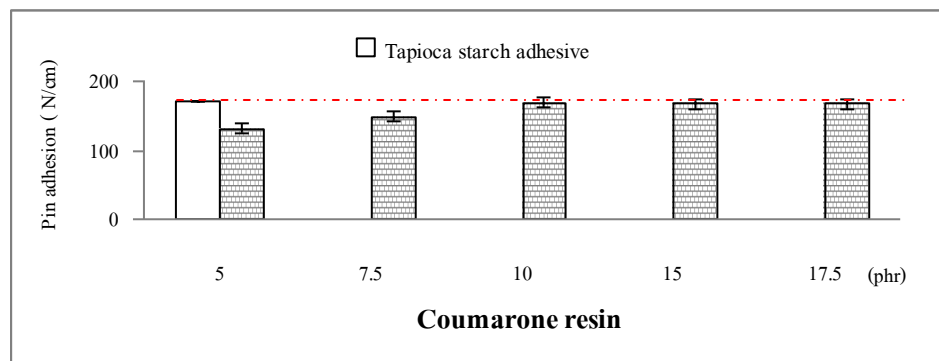
ในส่วนผลการทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษลูกฟูก (ลอน B) ดังที่แสดงใน Figure 51c พบว่าคุณสมบัติด้าน pin adhesion เพิ่มขึ้นตามปริมาณ คิวมาโรน เรซินที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณที่มากกว่า 10 phr ขึ้นไป พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกาวเป็งมันสำปะหลังพบว่ามีความ pin adhesion ที่ได้มีค่าน้อยกว่า



(a) shear strength



(b) peel strength



(c) pin adhesion test

Figure 51. Effect of tackifier content on adhesion properties of adhesive (a) shear strength (b) peel strength and (c) pin adhesion test.

ลักษณะการเสียหายของการยึดติดภายหลังทดสอบด้วยวิธี pin adhesion ทดสอบ กระดาษลูกฟูกลอน B แสดงดัง Figure 52 โดยกาวเป็มันสำปะหลังพบการเสียหายของกาว

แบบ fiber tear แสดงดัง Figure 52b ภายหลังจากการดึงทดสอบพบมีส่วนของเศษกระดาษของ กระดาษ กราฟที่ติดกับลอน ซึ่งแตกต่างกับกาวหางน้ำยางที่พบการเสียหายแบบ cohesive failure แสดง ดัง Figure 52a พบตัวเนื้อกาวเกิดการฉีกขาดแยกออกจากกันเป็นลักษณะคราบ ฟิล์มกาวบางแห่งที่ ผิว ของกระดาษกราฟที่และที่ลอนกระดาษ



a Cohesive failure



b Fiber tear

Figure 52. Fractures of samples after pin adhesion test (a) Skim latex adhesive and (b) Tapioca starch adhesive.

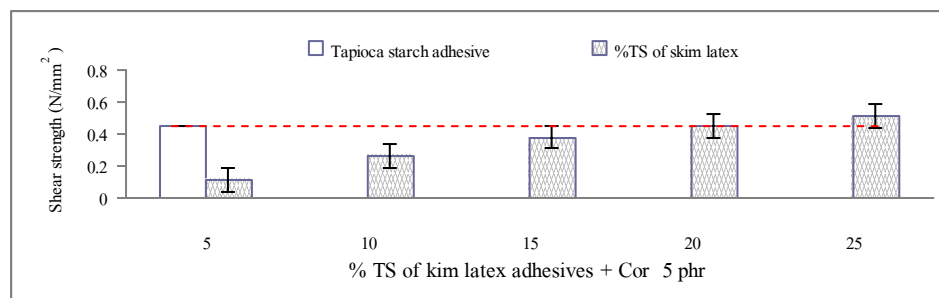
นอกจากนี้พบว่าปริมาณของแข็งในกาวมีผลต่อสมบัติการยึดติด ซึ่งจาก Table 28 พบว่าเมื่อเพิ่มคิวมาโรนเรซิน ทำให้ปริมาณของแข็งในกาวเพิ่มขึ้นด้วยและสอดคล้องกับสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยางที่เพิ่มขึ้น

3. ผลของปริมาณของแข็งในหางน้ำยางต่อสมบัติการยึดติดของกาว

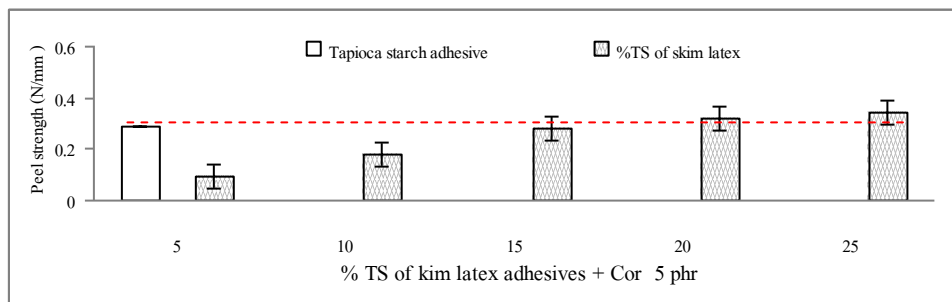
จากผลการทดลองสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษกราฟที่ในข้อ 2. พบว่าสูตร กาวหางน้ำยางที่ ผสมกับคิวมาโรน เรซิน 5 phr ให้สมบัติด้าน shear strength และ peel strength มากกว่ากาวแป้งมันสำปะหลังนอกจากนี้พบว่าปริมาณของแข็งในกาวหางน้ำยางมีผลต่อสมบัติการ ยึด จึงได้กำหนดโดยควบคุมปริมาณของคิวมาโรน เรซิน ที่ 5 phr เพื่อนำ ไปศึกษา ผลของปริมาณ ของแข็งในหางน้ำยางต่อสมบัติการยึดติดของกาวโดยนำหางน้ำยางที่มีการปรับปริมาณของแข็ง ที่ระดับ 5, 10, 15, 20 และ 25% มาผสมกับคิวมาโรนเรซินที่ 5 phr

จากผลการทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษกราฟที่ที่แสดง Table 29

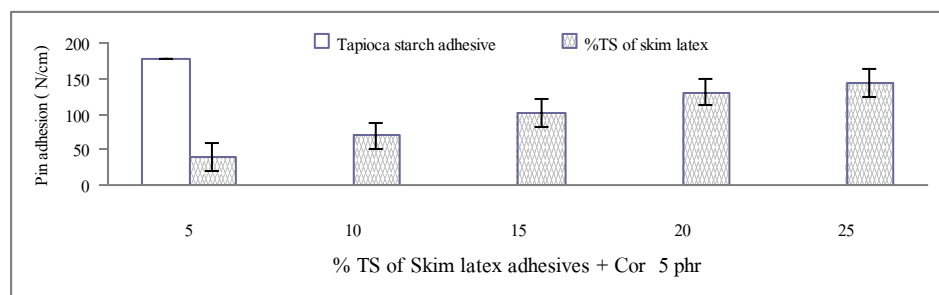
พบว่าสมบัติ shear strength และ peel strength เพิ่มขึ้นตามปริมาณของแข็งในหาน้ำยาง โดยพบที่หาน้ำยางที่มีปริมาณของแข็ง 25% พบมีสมบัติ shear strength และ peel strength มากที่สุด และที่ปริมาณของแข็ง 5% พบกาวหาน้ำยางมีคุณสมบัติการยึดติดน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าปริมาณของแข็งในหาน้ำยางมีผลต่อสมบัติการยึดติดและความแข็งแรงของกาว ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกาวแป้งมันสำปะหลัง พบกาวหาน้ำยางที่มีปริมาณของแข็งในหาน้ำยาง ที่ 25 % มีสมบัติการยึดติด ที่มากกว่ากาวควบคุม shear strength ประมาณ 13% และ peel strength ประมาณ 17 %



(a) shear strength



(b) peel strength



(c) pin adhesion test

Figure 53. Effect of solid contents of skim latex on adhesion properties of adhesive

(a) shear strength (b) peel strength and (c) pin adhesion test.

Table 29. Effect of solids content with skim latex to properties of adhesive.

Skim latex	pH*	%TS*	Shear strength* (N/mm ²)	Peel strength* (N/mm)	Pin adhesion* (N/cm)
5%skim +5phr Cor	10.56±0.18	7.58±0.96	0.11±0.01 ^{a**}	0.09±0.02 ^{a**}	38.60±6.02 ^{a**}
10%skim +5phr Cor	9.93±0.13	11.95±0.67	0.26±0.01 ^{b**}	0.18±0.02 ^{b**}	69.40±10.16 ^{b**}
15%skim +5phr Cor	10.51±0.13	16.67±0.41	0.38±0.02 ^c	0.28±0.02 ^c	101.60±11.13 ^c
20%skim +5phr Cor	11.26±0.09	20.44±0.39	0.45±0.02 ^d	0.32±0.03 ^{cd}	130.80±6.38 ^{cd}
25%skim +5phr Cor	10.67±0.10	24.59±0.52	0.51±0.02 ^d	0.34±0.01 ^d	143.20±8.41 ^d

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

** The different superscripts in the same column indicate the significant differences (p<0.05).

ในส่วนการทดสอบสมบัติการยึดติดกับกระดาษลูกฟูก (ลอน B) ซึ่งผลการทดสอบสมบัติ pin adhesion แสดงดัง Table 29 และ Figure 53c จากการทดลองพบว่าคุณสมบัติด้าน pin adhesion เพิ่มขึ้นตามปริมาณของแข็งในหางน้ำยาง โดยพบว่ากาวหางน้ำยางที่มีปริมาณของแข็ง 20 % และ 25% ไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าหางน้ำยาง ที่มีปริมาณของแข็ง 25 % ให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดคุณสมบัติด้าน pin adhesion ในกาวหางน้ำยาง มากที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรกาวแป้งมันสำปะหลัง โดยกาวหางน้ำยางมี สมบัติการยึดติด pin adhesion ที่ต่ำกว่ากาวควบคุมประมาณ 20 % แต่จากการทดลองพบว่าค่า pin adhesion เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณของแข็งในหางน้ำยางมีผลต่อความแข็งแรงในการยึดติดของกาว กับลอนลูกฟูก เมื่อเปรียบเทียบกับหางน้ำยางที่มีปริมาณของแข็งที่ประมาณ 5 และ 10 % พบมีค่าความแข็งแรงในการยึดติดที่ต่ำมาก เนื่องจากในหางน้ำยางยังมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำ (น้ำเซอรุ่ม) อยู่มากรวมถึงปริมาณยางที่อยู่ในหางน้ำยางที่จะผสมกับแทกคิไฟเออร์มีอยู่ในปริมาณน้อยทำให้ผสมกับแทกคิไฟเออร์ได้น้อยทำให้ความแข็งแรงการยึดติดที่ได้จึงไม่ดี

ลักษณะการเสียหายของตำแหน่งกาวภายหลังที่ทำการทดสอบความแข็งแรงของกาวโดยวิธี shear strength และ peel strength โดยสูตรกาวหางน้ำยางพบความเสียหายภายหลังทดสอบเป็นแบบ cohesive failure ซึ่งลักษณะการเสียหายของกาวหางน้ำยาง แสดงได้ดัง Figure 54

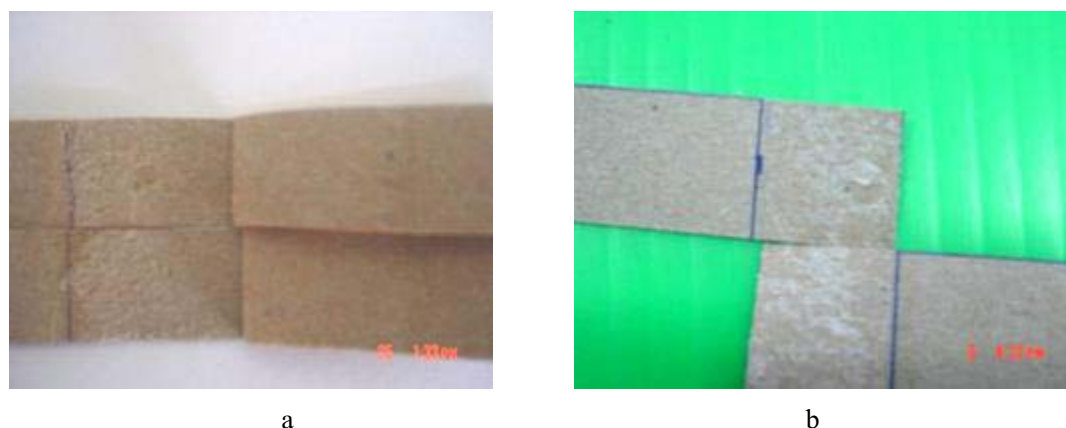


Figure 54. Fractures of the skim latex adhesive (a) peel strength and (b) shear strength.

ในการทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษลูกฟูกพบว่า pin adhesion ที่ได้ยังมีค่าต่ำกว่ากาวควบคุม จึงได้ทดลอง ปรับสูตร กาว หางน้ำยาง โดยเลือกหางน้ำยาง ที่มีปริมาณของแข็ง 25% ที่มีสมบัติการยึดติดดีที่สุด และปรับเพิ่มปริมาณ ของ คิวมาโรนเรซิน เป็น 7.5, 10 และ 15 phr โดยผลการทดลองแสดง ได้ดัง Table 30

Table 30. Effect of coumarone resin content on adhesion properties of adhesive.

Formula	Shear strength* (N/mm ²)	Peel strength* (N/mm)	Pin adhesion* (N/cm)
25%skim7.5 phrCor	0.60±0.02 ^a	0.37±0.02 ^a	160.60±3.27 ^a
25%skim10 phr Cor	0.62±0.02 ^a	0.40±0.02 ^{ab}	178.40±2.97 ^b
25%skim15 phr Cor	0.63±0.01 ^a	0.48±0.02 ^b	248.80±14.70 ^{c**}

Remark: Cor =coumarone resin

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

** The different superscripts in the same column indicate the significant differences (p<0.05).

ผลการทดสอบสมบัติการยึดติดกับกระดาษลูกฟูก (ลอน B) พบว่า pin adhesion มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของคิวมาโรนเรซินและปริมาณของแข็งในกาวที่เพิ่มขึ้น โดย คิวมาโรนเรซิน 10 phr มีค่า pin adhesion ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม แต่เมื่อเพิ่มคิวมาโรนเรซินถึงระดับ 15 phr พบค่า pin adhesion สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าปริมาณของคิวมาโรนเรซิน และปริมาณของแข็งในกาวมีผลต่อความแข็งแรงของการยึดติดของลอนและกระดาษคราฟท์

ผลการทดลองกาวหางน้ำยางในส่วนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกที่เครื่อง double facer (แบบกึ่งต่อเนื่อง)

ในการทดลองเตรียมกาวหางน้ำยางในห้องปฏิบัติการ พบว่ากาวหางน้ำยางที่ประกอบด้วย หางน้ำยางที่มีปริมาณของแข็งประมาณ 25% และ คิวมาโรน เรซิน 15 phr มีสมบัติการยึดติด pin adhesion ที่ทดสอบกับกระดาษ ลูกฟูก (ลอน B) ดีที่สุดและมีค่ามากกว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง จึงได้เลือกสูตรดังกล่าวมา มาทดลองที่เครื่อง double facer ในการทดลองจะทา กาวหางน้ำยางบนกระดาษแผ่นเรียบ (KA150) ทาให้ทั่วและบางที่สุดจากนั้นนำกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (CS110/KA150) โดยกระดาษลูกฟูกที่ทดสอบเป็นลอน B มาประกบและนำไปผ่าน plate ความร้อน โดยทดลองที่สภาวะความเร็วของเครื่อง 100 เมตร /นาที่ และอุณหภูมิ 150 °C ภายหลังจากทดสอบ pin adhesion พบมีค่าต่ำกว่าสูตรกาวควบคุมค่อนข้างมาก (ต่ำกว่ากาวควบคุมประมาณ 64 %) และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่า มีค่าต่ำกว่าประมาณ 74% เนื่องจาก ชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการจะใช้น้ำหนักกดทับตลอดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้โมเลกุลของยางในกาวหางน้ำยางมีการใกล้ชิดและฟอร์มเกิดเป็นพันธะกาวได้ดี รวมถึงกาวสามารถแทรกซึมและแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อกระดาษได้ดีกว่าที่ทดลองในสายการผลิต

ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเตรียมกาวหางน้ำยางโดยเพิ่มปริมาณของคิวมาโรนเรซินเป็น 30 และ 55 phr ไปทดสอบการยึดติดที่เครื่อง double facer ในสายการผลิต ภายหลังจากทดสอบแนวโน้มค่า pin adhesion เพิ่มขึ้นแต่ยังมีค่าน้อยกว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง โดยมีความ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงดัง Table 31 และ Figure 55a

Table 31. Effect of coumarone resin content on adhesion properties of adhesive at double facer.

Formula	Pin adhesion		Bursting strength*	Edge crush test*
	(N/cm)	Fracture mode		
Tapioca starch adhesive	178.25±0.50 ^{1**}	fiber tear	9.4±0.14 ^b	40.30±0.60 ^b
25%Skim+15 phr Cor.	62.60±3.78 ^a	cohesive	9.0±0.14 ^a	35.68±1.08 ^a
25%Skim+30 phr Cor.	75.60±2.51 ^b	cohesive	8.8±0.17 ^a	36.18±0.49 ^a
25%Skim+55 phr Cor.	141.80±4.97 ^c	cohesive	9.3±0.17 ^b	38.92±1.05 ^b

Remark: Cor =coumarone resin, * All values are reported as mean ($N \geq 5$).

** The different superscripts in the same column indicate the significant differences ($p < 0.05$).

ซึ่งจากผลการทดลองภายหลังทดสอบ pin adhesion test การเสียหายของตัวอย่าง กาวบนชิ้นตัวอย่างทดสอบ (แผ่นกระดาษลูกฟูก) ของสูตรกาวหางน้ำยางพบแบบ cohesive failure และกาวเป็งมันสำปะหลัง พบแบบ fiber tear ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลไกการเกิดพันธะของกาว แตกต่างกัน โดยกลไกการยึดติดของกาวหางน้ำยางเมื่อกาว ไปสัมผัสที่พื้นผิววัสดุ (ลอนลูกฟูก) จะ เกิดการเปียกที่พื้นผิวโดยช่วงนี้โมเลกุลของยางเกิดการไหลเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างบนพื้นผิว ของวัสดุ หรือการแพร่ผ่านไปในผิวของวัสดุทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวจากการเกี่ยวติดกันระหว่าง โมเลกุลของกาวกับผิววัสดุ (Mechanical interlocking) เมื่อกาวแห้ง เกิดเป็นฟิล์มกาวที่พื้นผิววัสดุ นอกจากนี้ น้ำยางมีคุณสมบัติยึดติดกันเอง หรือ self-adherent จึงจำเป็นต้องมีแรงกดทับ ในระยะเวลา ระดับหนึ่งเข้ามาช่วยด้วยเนื่องจากน้ำยางมีคุณสมบัติในการยึดติดกับวัสดุต่ำ ซึ่ง ในการกดทับจะทำให้ อนุภาคของยางสัมผัสกันมากขึ้นและเกิดเป็นพันธะ โมเลกุลยาง และคิวมาโรน เรซิน ที่ใช้ผสมใน กาวหางน้ำยางเพิ่มสมบัติ ด้านความเหนียวและการยึดเกาะของแผ่นฟิล์มกาวกับผิววัสดุ รวมถึง ปรับปรุงให้ความสามารถของการเกิดพันธะเริ่มต้นเกิดได้เร็วในการยึดติดกับวัสดุ ขณะที่พันธะหลัก ของกาวจะเกิดขึ้นตามมา (อรสา, 2548) ในส่วนกลไกการเกิดพันธะของกาวเป็งมันสำปะหลัง เริ่ม เมื่อกาวสัมผัสที่ยอดคลอน carrier starch จะ เปียกติดที่ลอนและกระดาษแผ่นเรียบจะกระจายตัว (Diffusion) และดูดซับ (Absorption) เข้าไปในลอนลูกฟูกเพื่อ สร้าง เป็นพันธะและเกิดการยึดติด ระหว่างเป็งและเส้นใยเซลลูโลสในเนื้อกระดาษ จากนั้นเป็งคืบ ในกาว ป็นเจลมากขึ้น ส่งผลให้ ความเหนียวของกาวเพิ่มขึ้นมีผลให้การเชื่อมติดมีมากขึ้นด้วย จากนั้นเส้นใยของกระดาษเกิดเป็น fiber bond ซึ่งการเชื่อมติดกัน เป็น แบบ cohesion และการเชื่อมติดต่อเนื่องจนสมบูรณ์ และเมื่อ มี ความร้อนผ่านกระดาษแผ่นเรียบและลอนลูกฟูก เมื่อความร้อนเคลื่อนผ่านกระดาษแผ่นเรียบและ ลอนลูกฟูกกำจัดน้ำโดยระเหยน้ำออกจากกาวที่ติดอยู่กับกระดาษซึ่งการแห้งของกาวเรียกว่า final bond (Brittain, 2000) เมื่อเปรียบเทียบ การ กับกาวหางน้ำยาง ซึ่งความแข็งแรงของตัวกาว ขึ้นอยู่กับโมเลกุลของยางที่สามารถสัมผัสกันในช่องว่างของผิววัสดุ ซึ่งเนื้อกาว แทรกซึม เข้าไปใน เนื้อวัสดุได้ไม่ดีเพราะพบคราบฟิล์มกาวที่ผิวของกระดาษ ซึ่งต่างกับกาวเป็งมันสำปะหลัง ที่ดูดซับ และการกระจายตัวเข้าไปในเนื้อของกระดาษ ภายหลังการทดสอบสมบัติการยึดติด พบการเสียหาย แบบ fiber tear ที่กระดาษเกิดการฉีกขาดไปกับกาวด้วย จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งค่า การยึดติด pin adhesion มีค่ามากกว่าที่ทดลองในสายการผลิตเนื่องจากในห้องปฏิบัติการชิ้นตัวอย่าง มีน้ำหนักกดทับเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบ บค่า pin adhesion ซึ่งต่างกับที่ทดลองใน สายการผลิตภายหลังผ่านเครื่อง double facer ก่อนที่นำมาทดสอบค่า pin adhesion ไม่มีน้ำหนักกดทับ ขณะที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง รวมถึงโมเลกุลของหางน้ำยางที่มีขนาดเล็กกว่าน้ำยางทั่วไปส่งผลต่อความ แข็งแรงภายหลังที่เกิดพันธะของกาวด้วย โดย ภายหลังการทดสอบสมบัติการยึดติด ทำให้พบการ

เสียหายแบบ cohesive failure และที่พื้นผิวของวัสดุ (ลอนลูกฟูก) มีพื้นที่น้อยมากส่งผลต่อความแข็งแรงของกาวหาน้ำยางได้

จาก Figure 55a พบว่า pin adhesion กาวแป้งมันสำปะหลังมีค่ามากกว่ากาวหาน้ำยางที่มีปริมาณของแข็งในหาน้ำยาง 25 % ผสมคิวมาโรน เรซิน 55 phr ประมาณ 20% และจากการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณคิวมาโรนเรซินมากขึ้นทำให้สมบัติการยึดติดเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มไม่มาก อาจเนื่องจากปริมาณคิวมาโรนเรซิน มากเกินไปทำให้มีบางส่วนเกิดการแพร่ออกมา (Blooming)

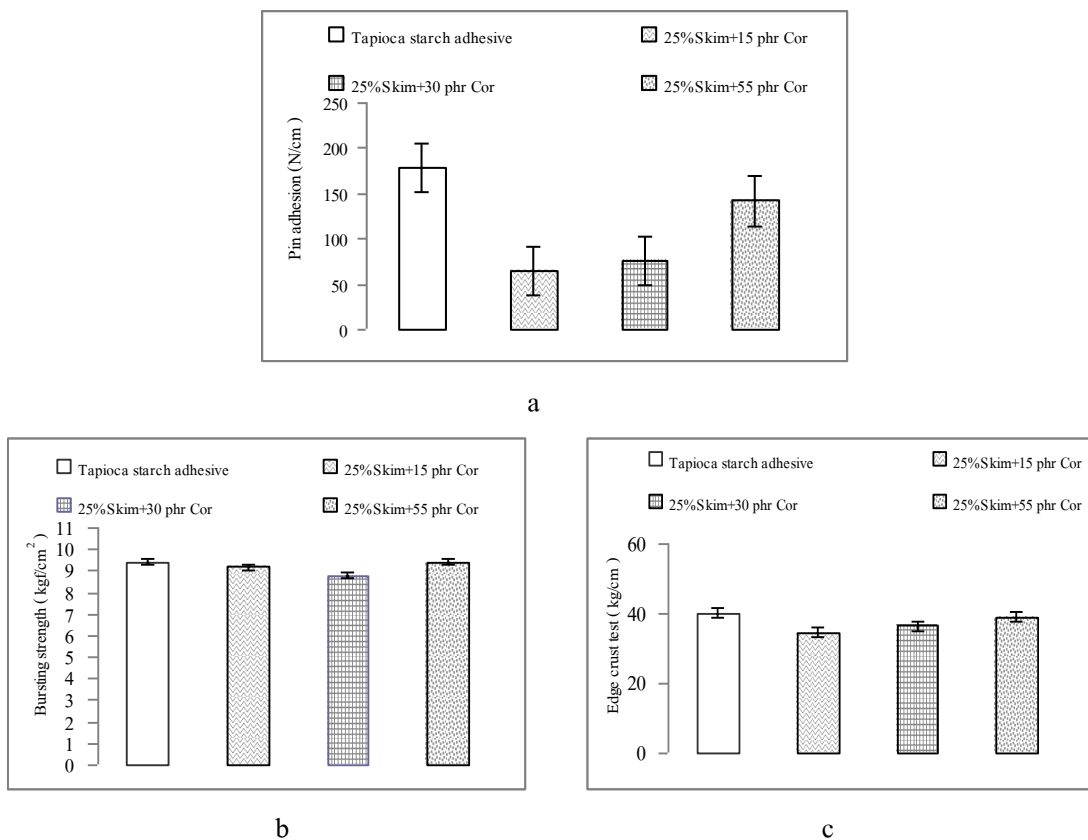


Figure 55. Effect of coumarone resin content to adhesion properties (a) pin adhesion (b) bursting strength and (c) edge crush test.

Remark: Cor = coumarone resin

สำหรับการทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษลูกฟูก (Bursting strength) ผลการทดลองแสดงดัง Figure 55b พบว่ากระดาษลูกฟูกที่ติดกาวหาน้ำยางที่มีปริมาณของแข็งในหาน้ำยาง 25 % ผสมคิวมาโรนเรซิน 55 phr มีประสิทธิภาพในการต้านแรงดัน

ทะลุที่สุดแต่เมื่อเทียบกระดาษลูกฟูกที่ใช้กาวเป็งมันสำปะหลังกาวหาน้ำยางมีประสิทธิภาพการต้านแรงดันทะลุที่น้อยกว่า โดยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับการทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงกดตามแนวตั้งของกระดาษลูกฟูก (Edge crush test) ผลการทดลองแสดงดัง Figure 55c พบว่ากาวหาน้ำยางที่มีปริมาณของแข็งในหาน้ำยาง 25 % ผสมคิมาโรนเรซิน 15 และ 30 phr มีค่าน้อยกว่ากาวเป็งมันสำปะหลัง พบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ปัญหาที่พบในการทดลอง คือ ภายหลังที่ทา กาวแห้งก่อนที่เข้าเครื่องการควบคุมความสม่ำเสมอของปริมาณกาวที่ทาทำได้ยาก และวิธีการวัลคาไนซ์ และการใช้สารเร่งของกาวน้ำยางอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากได้ทำการ cure (เพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์เร็วขึ้น) กาวหาน้ำยางทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง อาจเป็นสาเหตุกาวหาน้ำยางเกิดการวัลคาไนซ์ก่อนการใช้งาน ในสูตรกาวหาน้ำยาง ได้ใช้สารเร่งคือ ZDBC เป็น ชนิด ultra accelerator (ตัวเร่งที่มีความเร็วสูงพิเศษ) ซึ่งสามารถวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 115-125 °C ในระยะเวลาอันสั้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิที่สูง (อุณหภูมิเครื่อง double facer 160-170 °C) อาจเกิดการ reversion (ทำให้ ระยะเวลาการ cure ของกาว เพิ่มขึ้น) จึงไม่ควร cure เกิน 125 °C (พรพรรณ, 2528)

4. สมบัติของกาวผสมระหว่างกาวหาน้ำยางและกาว PVOH หรือ กาวเป็งมันสำปะหลัง

4.1 ผลของหาน้ำยางผสมกาว PVOH (Polyvinyl alcohol) ต่อสมบัติการยึดติดของกาว

จากการศึกษาเบื้องต้น โดยทำการทดลองเตรียมกาวหาน้ำยางโดยผสมกับ PVOH ในรูปสารละลายที่ความเข้มข้นที่ระดับ 5, 10, 15, 20 และ 25% จากการทดลองพบว่า PVOH ที่ 20% มีความเหมาะสม ซึ่ง PVOH จัดว่าเป็นสารที่นิยมใช้ในรูปของกาวและสาร เพิ่มการยึดติด ชนิดหนึ่ง จากข้อมูลของบริษัท Chang Chun การเตรียม PVOH สำหรับ เตรียมเป็นกาวที่นำไป ใช้กับกระดาษลูกฟูกและกระดาษคราฟท์ควรมีปริมาณของแข็งประมาณ 18%

โดยเมื่อเตรียมหาน้ำยางที่ผสมกับ 20% PVOH ที่ปริมาณต่างๆ ซึ่งผลการทดสอบสมบัติการยึดติดกับกระดาษคราฟท์ แสดง ดัง Table 32 และ Figure 56 พบว่าคุณสมบัติด้าน shear strength และ peel strength เพิ่มขึ้นตามปริมาณ PVOH ที่เพิ่มขึ้น โดยสูตรที่มี ปริมาณ 20% PVOH 100 phr มีคุณสมบัติด้าน shear strength และ peel strength ของกาว มาก ที่สุด และมากกว่ากาวสูตรควบคุม

Table 32. Effect of polyvinyl alcohol 20 % on adhesion properties of skim latex adhesive.

phr	%TS*	pH*	Shear strength* (N/mm ²)	Peel strength* (N/mm)
25	19.97±0.16	10.56±0.13	0.57±0.04 ^a	0.32±0.01 ^a
50	20.05±0.27	10.14±0.22	0.61±0.03 ^{ab}	0.34±0.02 ^b
100	20.50±0.36	9.36±0.16	0.64±0.02 ^b	0.34±0.01 ^b

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

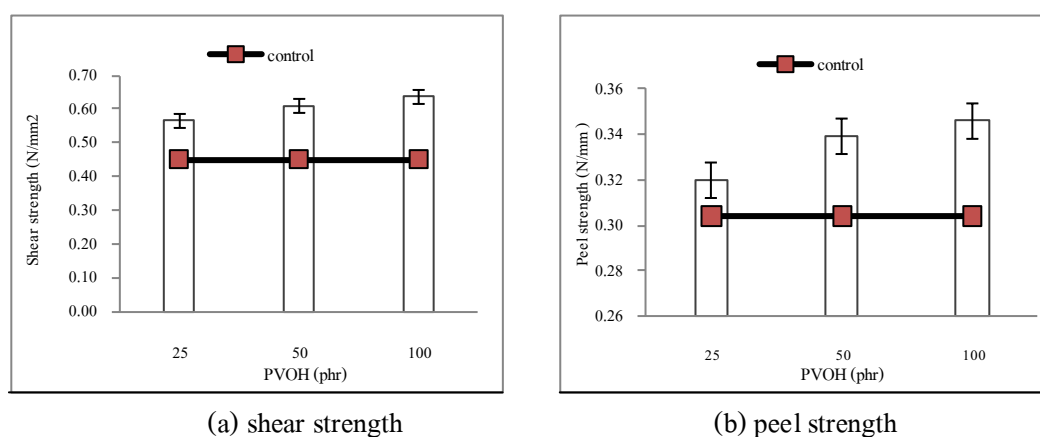


Figure 56. Effect of polyvinyl alcohol 20 % on adhesion properties of skim latex adhesive

(a) shear strength and (b) peel strength.

Remark: Control = tapioca starch adhesive

ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับกาวแป้งมันสำปะหลังพบกาวหางน้ำยางที่มีปริมาณ PVOH ที่ 25, 50 และ 100 phr มีสมบัติการยึดติดที่สูงกว่าสูตรควบคุม ทั้ง คุณสมบัติด้าน shear strength และ peel strength อย่างไรก็ตามโดยในส่วนของหางน้ำยางที่ผสม PVOH แม้ว่าจะช่วยให้กาวหางน้ำยางมีสมบัติยึดติดที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับที่ผสมกับ แทกกีไฟเออร์ชนิดอื่น แต่ก็ ถูกเลือกมาศึกษา เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตสูง โดย หางน้ำยางที่ผสม 20% PVOH ในปริมาณ 25 phr เมื่อคำนวณเป็นต้นทุนประมาณ 10.64 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่ากาวแป้งมันสำปะหลังประมาณ 3 เท่า

การเสียหายของกาวภายหลังการทดสอบในบริเวณที่กาวมีการประสานหรือยึดติด มีความแข็งแรงในการยึดติดที่มากกว่าความแข็งแรงของผิววัสดุ (กระดาษกราฟท์) ทำให้เกิดลักษณะ fiber tear พบได้ในสูตรกาวหางน้ำยางที่มีการผสม PVOH ซึ่งเป็นกาวเพียงชนิดเดียวที่แสดงความ

เสียหายในลักษณะเช่นนี้ และที่การทดสอบกับกาวหางน้ำยางทุกสูตรรวมถึงกาวควบคุมภายหลัง ที่ทดสอบด้วยวิธี shear strength ด้าน CD เกิดลักษณะการฉีกขาดของ กระจาดกราฟที่ ดัง Figure 57

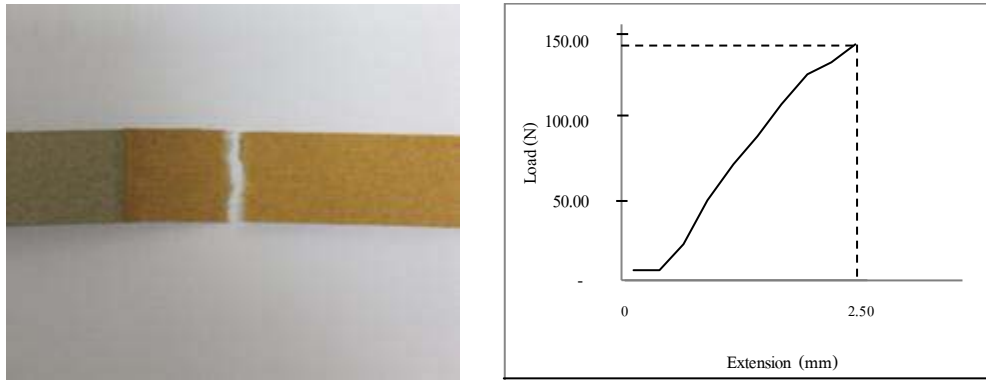


Figure 57. Fractures of skim latex mix polyvinyl alcohol.

4.2 ผลของกาวหางน้ำยางผสมกาวแป้งมันสำปะหลัง ต่อสมบัติการยึดติดของกาว

จากผลการทดลองกาวหางน้ำยาง ในส่วนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกที่เครื่อง double facer (แบบกึ่งต่อเนื่อง) ในหัวข้อ 3 เมื่อเพิ่มปริมาณคิวมาโรนเรซินมากเกินไปทำให้มีบางส่วนเกิดการแพร่ออกมา (Blooming) รวมถึงเมื่อเปรียบเทียบกับกาวแป้งมันสำปะหลังหาก ใช้ในปริมาณมากจะยิ่งทำให้ต้นทุนการผลิตกาวสูงขึ้นด้วย

จากการตรวจเอกสารความสามารถในการยึดติดของกาวยางพบว่ากาวยางที่ผสมกับคิวมาโรน เรซิน และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ สามารถนำมาผสมและช่วยเพิ่มการยึดติดได้ (ฉัตรปรกรณ์, 2548) ในการทดลองจึงเลือกใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นแทนคิวมาโรนผสม เนื่องจาก บนผิวของเม็ดแป้งข้าวเหนียวมักพบว่ามีรูกระจายอยู่จำนวนมาก แป้งข้าวเหนียว มีอะไมโลสต่ำมาก ทำให้พบว่ามีไขมัน ในปริมาณมากด้วย (Morrison, 1995) แป้งมันสำปะหลังมีไขมันในปริมาณที่ต่ำ (0.1% หรือน้อยกว่า) การมีไขมันในแป้งจะมีผลต่อคุณสมบัติของแป้งเนื่องจากไขมัน จะเกิดการรวมตัวกับอะไมโลสในแป้งเกิดเป็นสารเชิงซ้อนของอะไมโลส-ไขมัน (Amylose-lipid complex) ซึ่ง Amylose-lipid complex นี้ไม่ละลายน้ำ แต่การจับกันจะถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 120°C) พันธะที่ยึดเหนี่ยวกันจะถูกทำลายทำให้ส่วนของอะไมโลสสามารถละลายออกมาได้ (Davies และคณะ, 1980) สารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไขมันจะมีผลทำให้กำลังการพองตัว (Swelling power) และค่าการละลาย (Solubility) ของแป้งลดลง นอกจากนี้ไขมัน

ยังทำให้แป้งเกิดการเหม็นหืน (Rancidity) ขณะเก็บรักษาด้วย นอกจากนี้แป้งมันสำปะหลังยังเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในผลิตกาวลูกฟูกของโรงงานการผลิตกระดาษลูกฟูก

จึงได้ทำการทดลองโดยนำกาวหางน้ำยางที่มีหางน้ำยางปริมาณของแข็ง 25 % ผสมควมาโรนเรซิน 5 phr ผสมกาวแป้ง โดยเลือกใช้ 3 ชนิดคือ กาวแป้งมันสำปะหลัง , เจลแป้งมันสำปะหลัง 20% และเจลแป้งมันสำปะหลัง 20% ผสมกับโซดาไฟ 14% ในอัตราส่วน กาวหางน้ำยางต่อแทกซิไฟเออร์ 70:30, 50:50 และ 30:70 ตามลำดับ เหตุผลที่ไม่ที่เลือกสูตรกาวหางน้ำยาง ที่มีหางน้ำยางปริมาณของแข็ง 25 % ผสมควมาโรนเรซิน 15 phr มาศึกษาต่อ เนื่องจากพบว่าปริมาณควมาโรนเรซินที่ 15 phr ภายหลังที่นำสูตรกาวหางน้ำยางดังกล่าวมาผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลังพบกาวมีการเสียนสภาพจับตัวเป็นก้อนทันทีเมื่อใช้แรงกวนผสม จึงได้พิจารณาเลือกสูตรกาวหางน้ำยาง ที่มีหางน้ำยางปริมาณของแข็ง 25 % ผสมควมาโรนเรซิน 5 phr โดยอ้างอิงผลการทดลองสมบัติการยึดติดกาวกับกระดาษกราฟที่ในข้อ 3 ที่มีค่า shear strength และ peel strength มากที่สุดมาศึกษาต่อ

จากผลการทดลองสมบัติการยึดติดกับกระดาษกราฟที่พบว่าค่า shear strength และ peel strength ของกาวหางน้ำยางที่มีหางน้ำยางปริมาณของแข็ง 25 % ผสมควมาโรน เรซิน 5 phr ผสมกาวแป้งแป้งมันสำปะหลังมีค่าใกล้เคียงกับกาวแป้งมันสำปะหลัง และเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างกาวหางน้ำยางที่ผสมกาวแป้งมันสำปะหลังพบว่าที่อัตราส่วน 70:30 พบค่า peel strength มีค่ามากกว่าที่อัตราส่วน 50:50

Table 33. Basic properties of the skim latex adhesive mixed tapioca starch.

Ratio skim latex : tapioca starch	%TS*	pH*	Shear strength (N/mm ²)	Peel strength (N/mm)	Pin adhesion* (N/cm)
70:30					
A	18.52±0.36	11.09±0.06	-	-	99.00±3.08 ^a
B	20.34±0.42	11.02±0.05	-	-	95.20±3.56 ^a
C	19.01±0.23	10.68±0.12	0.46±0.02	0.31±0.02	190.80±3.11 ^{b**}
50:50					
A	19.83±0.51	10.64±0.19	-	-	102.00±5.79 ^a
B	18.71±0.43	10.55±0.15	-	-	163.40±4.56 ^b
C	20.75±0.54	10.64±0.16	0.46±0.02	0.27±0.02	197.80±3.42 ^{c**}

Remark: A = mixed tapioca starch gel B = mixed tapioca starch gel+NaOH 14 % and

C = mixed tapioca starch adhesive

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

** The different superscripts in the same column indicate the significant differences (p<0.05).

ผลการทดลองสมบัติการยึดติดกับกระดาษลูกฟูกโดยทำการทดลองที่สภาวะเครื่อง double facer ความเร็ว 100 เมตร /นาที่ และอุณหภูมิ 150 °C (ทดลอง แบบกึ่งต่อเนื่อง) โดยกระดาษลูกฟูกที่ทดสอบเป็นลอน B ภายหลังจากทดสอบ pin adhesion พบสูตรกาวหน้ำยางที่ผสมกาวแป้งมันสำปะหลังให้ค่า pin adhesion มากกว่ากาวควบคุม โดยที่อัตราส่วน 50:50 ให้ค่าที่ดีที่สุดแสดงดัง Table 33 และ Figure 58 จากผลการทดลองพบว่ากาวแป้งมันสำปะหลังช่วยเพิ่มการยึดติดให้กับกาวหน้ำยางได้ นอกจากนี้ในการทดลองพบสูตรกาวที่กาวหน้ำยางผสม กาวแป้ง (เจลแป้งมันสำปะหลัง, เจลแป้งมันสำปะหลัง+NaOH และ กาวแป้งมันสำปะหลัง) ในปริมาณ 30:70 พบว่ากาวเกิดการเสียหาย แสดงดัง Figure 60 ซึ่งการเสียหายของกาวหน้ำยาง พบว่าขณะที่กวนผสมตัวกาวมีความข้นหนืดของกาวสูงมาก เนื่องจาก แป้ง มีการดูดซึมน้ำชุ่มในหน้ำยางจนอนุภาคของแป้งเกิดการพองบวมตัวและในที่สุดทำให้กาวมีความหนืดเหนียวอย่างรวดเร็วและ จับตัวเป็นก้อนเมื่อตั้งทิ้งไว้ไม่สามารถนำมาทดสอบได้

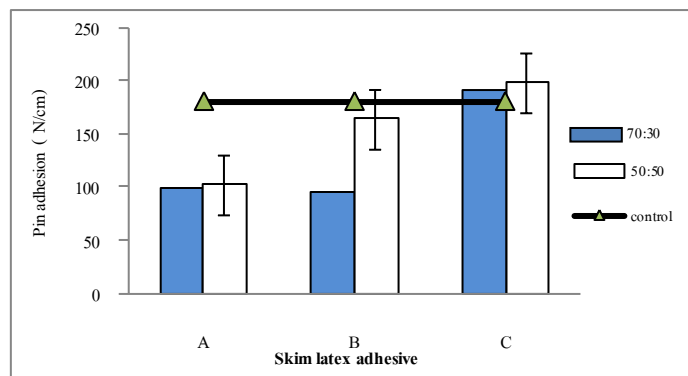


Figure 58. Pin adhesion of skim latex adhesive mix (A) Tapioca starch gel (B) Tapioca starch gel +NaOH 14% and (C) Tapioca starch adhesive.

ลักษณะการเสียหายของการยึดติดภายหลังทดสอบด้วยวิธี pin adhesion ทดสอบกระดาษลูกฟูกลอน B แสดงดัง Figure 59 โดยกาวหน้ำยางที่ผสมกาวแป้งมันสำปะหลัง พบการเสียหายของกาวแบบ fiber tear ภายหลังจากการดึงทดสอบพบมีส่วนของเศษกระดาษของกระดาษคราฟท์ติดกับลอน และยังพบการเสียหายแบบ cohesive failure (พื้นที่ที่พบมากกว่า fiber tear) พบตัวเนื้อกาวเกิดการฉีกขาด แยกออกจากกันเป็นลักษณะคราบ ฟิล์ม กาวบางแห่งที่ ผิวของ กระดาษคราฟท์และที่ลอนกระดาษ อาจเนื่องจากการผสมที่ไม่เข้ากันของกาวหน้ำยางและกาวแป้งมันสำปะหลัง

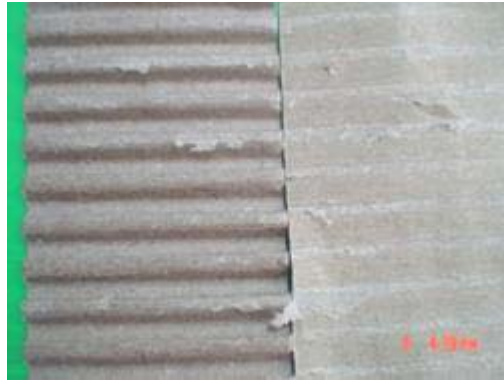


Figure 59. Fractures of skim latex mixed tapioca starch adhesive 50:50 after pin adhesion.



Figure 60. Degeneration of skim latex adhesive mixed tapioca starch (30:70).

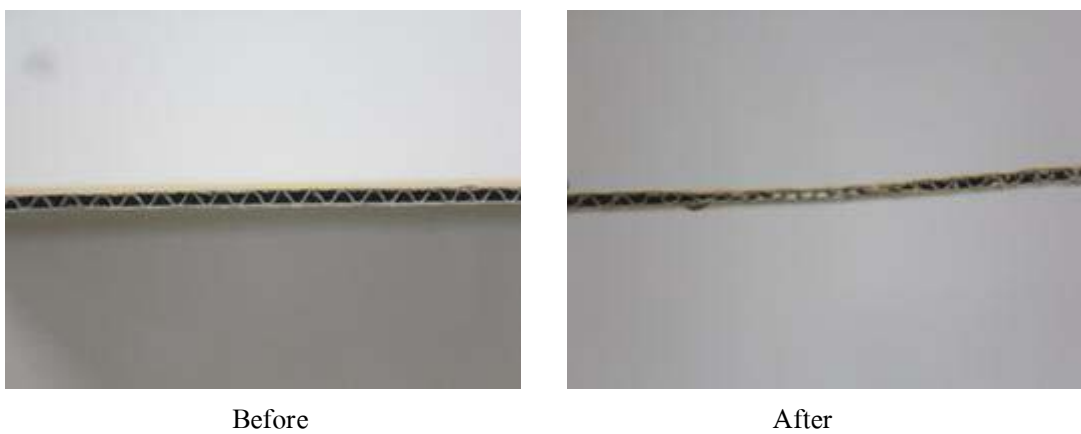


Figure 61. Inclined crushed flute defect of corrugated board.

จากผลการทดลองกาวเป้งมันสำปะหลังสามารถช่วยเพิ่มการยึดติดของกาวหางน้ำยาง ได้ จึง ได้ทำการศึกษาผลของเครื่อง double facer โดยเลือกที่จะศึกษาผลของสภาวะอุณหภูมิและความเร็วของเครื่อง ที่มีต่อสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง โดยเลือกสูตรกาวหางน้ำยาง (ปริมาณของแข็งในหางน้ำยาง 25% ผสม คิวมาโรนเรซิน 5 phr) ที่ผสมกับกาวเป้ง มันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 70:30 และ 50:50 โดย ทดสอบ กับกระดาษลูกฟูกลอน C ที่มีความแข็งแรงของลอนมากกว่าลอน B เพื่อลดปัญหาลอนลูกฟูกล้มภายหลังการประกบด้วย double facer ดัง Figure 61

4.2.1 ผลของอุณหภูมิของเครื่อง double facer ที่ส่วนการผลิตกระดาษลูกฟูกต่อสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง (ทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง)

จากการทดสอบความสามารถในการยึดติดของกาวหางน้ำยางในกระดาษลูกฟูก (ลอน C) ที่สภาวะอุณหภูมิ 120, 150 และ 165 °C ความเร็วของเครื่อง 100 เมตร /นาที่ แสดงดัง Table 34 และ Figure 66 พบว่ากาวหางน้ำยางที่ผสมกาวเป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 50:50 ที่สภาวะอุณหภูมิ 150 °C ให้ค่า pin adhesion สูงที่สุด โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับที่สภาวะอุณหภูมิ 165 °C รวมถึงเมื่อเปรียบเทียบกับกาวควบคุมพบมี ค่า pin adhesion ที่สูงกว่า แสดงว่ากาวเป้งมันสำปะหลังที่ผสมในกาวหางน้ำยางถูกดูดซึมและกระจาย เข้าไปในเนื้อกระดาษ (ลอนลูกฟูก) และที่สภาวะอุณหภูมิ 120 °C พบค่า pin adhesion มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับกาวควบคุมโดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากกาวหางน้ำยางแห้งไม่หมดส่งผลให้พบปัญหาลอนล้มไม่สามารถทดสอบสมบัติการยึดติดได้

Table 34. Effect of temperature of double facer machine at speed of 100 m/s on pin adhesion.

Temperature	Pin adhesion (N/cm)*	
	Ratio 70:30	Ratio 50:50
120 °C	44±6.68 ^{a**}	36±6.16 ^{a**}
150 °C	182±9.49 ^{b**}	364±14.28 ^c
165 °C	192±8.04 ^{c**}	355±15.45 ^c
Control	325±3.92 ^d	325±3.92 ^b

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

** The different superscripts in the same column indicate the significant differences (p<0.05).

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของเครื่อง double facer มีผลต่อการแห้งตัวของกาวหางน้ำยาง ถ้าอุณหภูมิที่ให้ความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำจะก่า จัคน้ำออกทำให้ผิวของกระดาษกราฟที่ยังเปียกหรือชื้นอยู่ ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของลอนลูกฟูกทำให้เกิดลอนล้มได้

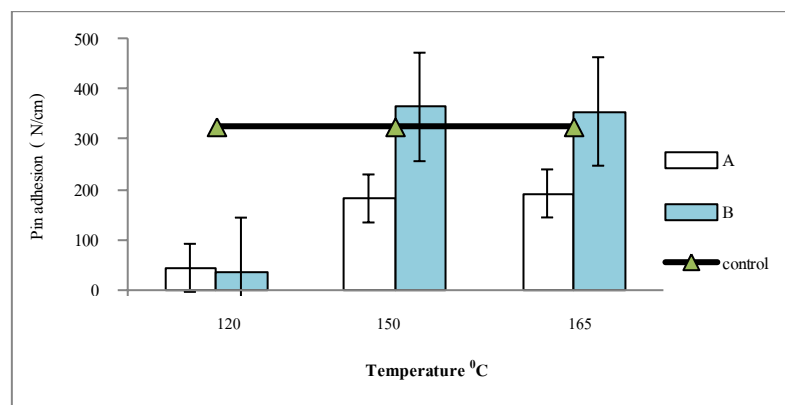


Figure 62. Pin adhesion of skim latex adhesives mixed tapioca starch adhesive at 120, 150 and 165°C.

Remark: A = ratio 70:30 B = ratio 50:50 and Control = tapioca starch adhesive

จากผลการทดลองจึงได้ คัดเลือกสูตรกาวหางน้ำยางผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลัง อัตราส่วน 50:50 สภาวะอุณหภูมิทดสอบ 150 และ 165 °C โดยปรับความเร็วของเครื่อง เป็น 155 เมตร /นาที่ ไปทดสอบค่า pin adhesion, bursting strength และ ECT รวมถึงนำไปศึกษาผลของความเร็วของเครื่องและความชื้นสัมพัทธ์ ผลการทดสอบ แสดงดัง Table 35 พบว่าค่า bursting strength ของกระดาษลูกฟูกที่ติดกาวหางน้ำยาง ที่ผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 50:50 มีค่าใกล้เคียงกับกาวแป้งมันสำปะหลัง โดยไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ และที่สภาวะ 165 °C มีประสิทธิภาพในการต้านแรงดันทะลุดีที่สุด โดย ไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากตารางพบว่าค่า ECT กระดาษลูกฟูกที่ใช้กาวหางน้ำยางที่ผสมกาวแป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิ 165 °C มีค่าใกล้เคียงกับกาวควบคุม

จากผลการทดสอบสมบัติการยึดติดกาวกับกระดาษลูกฟูกพบว่า ค่า pin adhesion ที่สภาวะอุณหภูมิของเครื่องที่ 165 °C มีค่าสูงที่สุดเช่นกัน

Table 35. Effect of temperature of double facer machine on mechanical properties of corrugated board.

Temperature	Pin adhesion* (N/cm)	Bursting strength* kgf/cm ²	Edge crush test* kg/cm
150 °C	328±16.06 ^a	10.0±0.16 ^a	37.4±0.68 ^a
165 °C	334±9.97 ^b	10.8±0.16 ^b	43.3±0.67 ^b
Control	325±3.92 ^a	9.8±0.18 ^a	40.2±0.61 ^{ab}

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

** The different superscripts in the same column indicate the significant differences (p<0.05).

4.2.2 ผลของความเร็วของเครื่อง double facer ที่ส่วนการผลิตกระดาษลูกฟูกต่อสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง (ทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง)

จากการทดลองในข้อ 4.2 เลือกสูตรกาวหางน้ำยางผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลัง อัตราส่วน 50:50 และปรับเพิ่มความเร็วเครื่อง double facer ที่ใช้ในการทดสอบ จาก 100 เมตร /นาที่ เพิ่มเป็น 120, 150 และ 180 เมตร /นาที่ ซึ่งสถานะ อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ 160 - 165 °C เนื่องจาก ผลการทดลองที่ให้ค่า pin adhesion, ECT และ bursting strength ที่ใกล้เคียงกับกาวแป้งมันสำปะหลังมากที่สุด ภายหลังจากการทดสอบที่เครื่อง double facer แสดงดัง Table 36 และ Figure 63

Table 36. Effect of speed of double facer machine on mechanical properties of corrugated board.

Speed (m/min)	Pin adhesion* (N/cm)	Bursting strength* kgf/10 cm ²	Edge crush test* kg/cm
120	296±5.72 ^b	10.8±0.21 ^c	40.1±0.69 ^c
150	339±9.70 ^d	10.8±0.16 ^c	38.2±0.62 ^b
180	149±10.23 ^{a**}	8.6±0.16 ^a	32.7±1.08 ^a
Control	325±3.92 ^c	9.8±0.18 ^b	40.2±0.61 ^c

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

** The different superscripts in the same column indicate the significant differences (p<0.05).

จากการทดสอบความสามารถในการยึดติดของกาวหางน้ำยางในกระดาษลูกฟูก (ลอน C) พบที่ความเร็วเครื่อง 150 เมตร /นาทึ่ มีค่า pin adhesion สูงที่สุดและเมื่อเปรียบกับ กาวแป้งมันสำปะหลังพบมีความใกล้เคียงกัน แต่จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการเพิ่มความเร็วเป็น 180 เมตร /นาทึ่ พบค่า pin adhesion ที่ได้มีค่าต่ำมากเนื่องจากช่วงเวลาที่กำจัดน้ำในกาวหางน้ำยางสั้นไป ทำให้ไม่เพียงพอที่กาวหางน้ำยางจะฟอร์มรูปเป็นฟิล์มกาว และช่วงเวลาที่โมเลกุลใกล้เคียงกันจากการกดทับเพื่อฟอร์มรูปเป็นพันธะยางยังเกิดไม่สมบูรณ์ จากการทดลองพบกาวหางน้ำยางบางส่วนไม่แห้ง ทำให้ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของกาว ค่า pin adhesion ที่ได้จึงมีค่าที่ ต่ำมาก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับกาวแป้งมันสำปะหลังที่ความเร็ว 180 เมตร /นาทึ่ พบว่าสมบัติการยึดติด pin adhesion และความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูก ECT และ bursting strength มีค่ามากกว่ากาวหางน้ำยางผสมกาวแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 50:50 โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

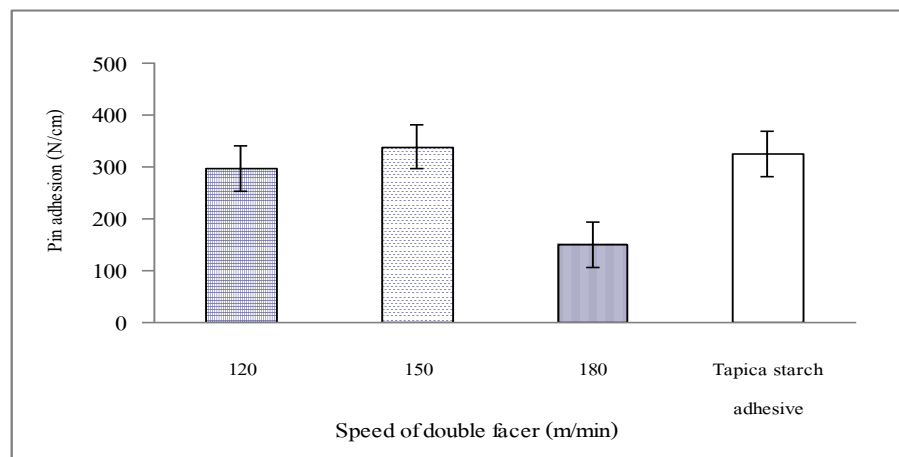


Figure 63. Pin adhesion of skim latex adhesive mixed tapioca starch adhesive at machine speed of 120, 150 and 180 m/min.

4.2.3 ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง

เมื่อเลือกสูตรกาวหางน้ำยางผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 50:50 ทดลองที่เครื่อง double facer สภาวะความเร็วที่ใช้ 120, 150 เมตร /นาทึ่ และ สภาวะ อุณหภูมิที่ใช้ ทดสอบ 160 - 165 °C จากนั้นนำไปเก็บที่สภาวะ %RH ที่ อุณหภูมิห้อง 55 % RH (25 °C) และ 70 % RH (30 °C) เป็นเวลา 7 วัน โดยกำหนดให้ ชุดควบคุม คือกระดาษลูกฟูกที่ผลิตใน สายผลิต ปกติโดยใช้กาวแป้งมันสำปะหลัง ไปเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ (ภายหลังที่ออกจากเครื่อง

double facer วางทิ้งไว้ 1 คืน) และ RT คือสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาทดสอบ pin adhesion ของกระดาษลูกฟูก (ลอน C) ซึ่งภายหลังการทดสอบ ดังแสดง Table 37 และ Figure 64 พบว่า pin adhesion มีค่าลดลงภายหลังจากการเก็บที่สภาวะต่างๆ แต่เมื่อเทียบกับกาวควบคุมพบมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ที่สภาวะ 70% RH พบค่า pin adhesion ลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเกิดจากความแปรปรวนของระดับความชื้นสัมพัทธ์ในตู้เก็บความชื้น จึงได้ทดสอบซ้ำอีกครั้งและเพิ่มเวลาการเก็บจาก 7 วัน เป็น 30 วัน

Table 37. Effect of relative humidity and 7 days storage time on pin adhesion of corrugated board.

Storage condition	Pin adhesion (N/cm)*	
	Tapioca starch adhesive	Skim latex adhesive mixed with tapioca starch adhesive (50:50)
		120 m / min
RT, 1 day	297±7.44 ^c	296±6.02 ^b
RT, 7 days	276±5.56 ^b	282±5.89 ^a
55 % (25 ° C) , 7 days	270±6.48 ^a	282±7.72 ^a
70 % (30 ° C) , 7 days	279±5.42 ^b	301±4.32 ^c
		150 m / min
RT, 1 day	297±7.44 ^c	339±8.81 ^c
RT, 7 days	276±5.56 ^b	294±6.48 ^b
55 % (25 ° C) , 7 days	270±6.48 ^a	277±5.32 ^a
70 % (30 ° C) , 7 days	279±5.42 ^b	294±10.8 ^b

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

จาก Table 37 พบตัวอย่างกระดาษลูกฟูกที่ใช้กาวแป้งมันสำปะหลัง กาวหางน้ำ ยางเมื่อเก็บไว้ที่สภาวะอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 7 วัน พบค่า pin adhesion ลดลง โดยที่กาวแป้งมันสำปะหลังลดลงประมาณ 7% กาวหางน้ำยาง (120 เมตร / นาที) ลดลงประมาณ 5% แสดงว่า pin adhesion เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นความแข็งแรงของการยึดติดจะมีค่า ลดลง แต่กาวหางน้ำยาง (150 เมตร / นาที) พบว่าค่า pin adhesion ลดลงถึง 15% สาเหตุอาจเนื่องมาจากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทากาวในปริมาณมาก (พบค่า pin adhesion เริ่มต้นสูงกว่าตัวอย่างกาวอื่นมาก)

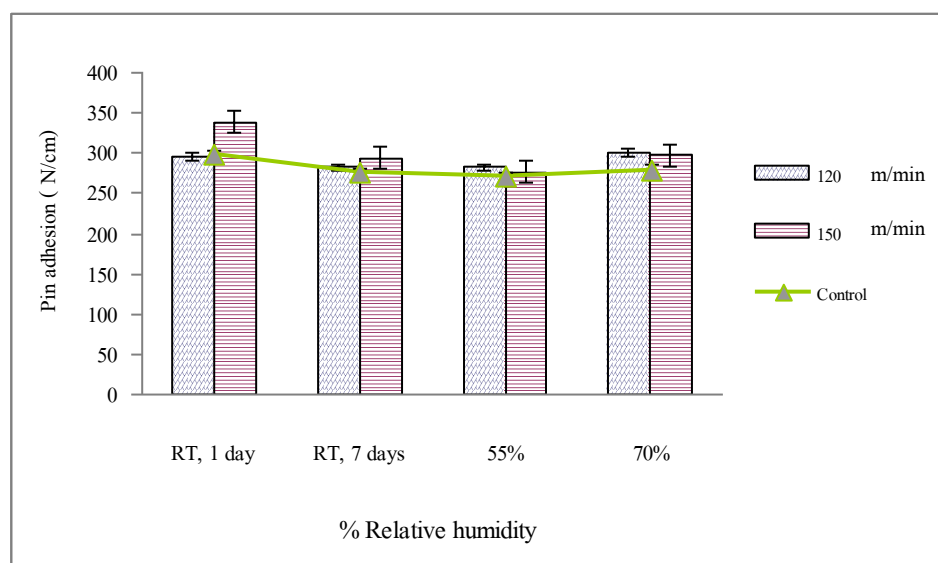


Figure 64. Pin adhesion of skim latex adhesive mixed tapioca starch adhesive at relative humidity 55%, 70 % and room temperature 7 days.

Table 38. Effect of relative humidity and 30 days storage time on pin adhesion of corrugated board.

Storage	Pin adhesion (N/cm)*		
	Tapioca starch adhesive	Skim latex adhesive mixed with tapioca starch adhesive (50:50)	
		150 °C	165 °C
RT, 1 day	315±3.74	258±9.20 ^b	317±4.08 ^b
RT, 30 days	301±3.56	272±9.31 ^c	326±4.79 ^c
55% (25 °C), 30 days	-	275±4.55 ^c	327±5.35 ^c
70% (30 °C), 30 days	-	248±5.32 ^a	290±7.16 ^a

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

Remark: machine speed = 150 m/min

ภายหลังจากที่เก็บตัวอย่างในสภาวะความชื้นต่างๆเป็นเวลา 30 วัน พบว่าตัวอย่างที่ทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิของเครื่อง 150 °C เก็บ สภาวะที่ 70 % RH (30 °C) ค่า pin adhesion ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับที่ 165 °C มีแนวโน้มลดลงมากเช่นเดียวกัน จาก Table 31 ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง และ 55%RH พบกาวหางน้ำยาง (150 °C) ค่า pin adhesion เพิ่มขึ้นประมาณ 5 % และ 6 % ตามลำดับ ในส่วนกาวหางน้ำยาง (165 °C) ค่า pin adhesion เพิ่มขึ้นประมาณ 3 % แต่เมื่อเก็บไว้ในสภาวะที่มีความชื้นสูง 70 %RH พบกาวหางน้ำยาง (150 °C) และกาวหางน้ำยาง (165 °C) ค่า pin adhesion ลดลงประมาณ 4 % และ 8 % ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่อง การเก็บไว้ที่มีความชื้นสูงทำให้น้ำในอากาศดูดซับเข้าไปในกระดาษๆมีความชื้นส่งผลให้บริเวณพื้นผิวที่ทาการยึดติดที่ลดลง

5. ผลการนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมกระดาษลูกฟูก (pilot scale แบบต่อเนื่อง)

จากผลการทดลองกาวหางน้ำยางที่เตรียมจากกาวหางน้ำยาง (หางน้ำยาง ที่มีปริมาณของแข็ง 25% ผสม กับคิวมาโรนเรซิน 5 phr) ผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 50:50 ให้สมบัติการยึดติดกับกระดาษลูกฟูกดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาวหางน้ำยางสูตรอื่น และมีต้นทุนในการผลิตที่ถูกกว่า โดยกาวหางน้ำยางที่ผสม กาวแป้งมันสำปะหลังมีต้นทุน 5.88 บาท /กก. กาวหางน้ำยาง (หางน้ำยางมีปริมาณของแข็ง 25% ผสม คิวมาโรนเรซิน 15 phr) มีต้นทุนประมาณ 13.28 บาท/กก. เมื่อเปรียบเทียบกับกาวแป้งมันสำปะหลังยังคงมีต้นทุนที่สูงกว่าประมาณ 2 เท่า และ 4 เท่าตามลำดับ สาเหตุที่ต้นทุนของกาวหางน้ำยางมีมากกว่ากาวแป้งมันสำปะหลังเนื่องจากหางน้ำยาง ไม่มีราคาที่ใช้ซื้อขายตามท้องตลาดจึงได้ใช้ราคาของน้ำยางสดมาคำนวณเป็นต้นทุนกาว ได้ทำการทดลองกาวหางน้ำยางที่เตรียมได้ที่เครื่อง double facer คือเทกาวที่เตรียมได้ใส่ลงในถาดกาว โดยที่สภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิเครื่องประมาณ 160-165 °C ความเร็วเครื่องที่ 100 เมตร /นาที่ ตัวอย่างทดสอบที่ได้เป็นแผ่นกระดาษลูกฟูกลอน B ภายหลังจากที่ทดลองพบกาวมีการยึดติดกันระหว่างกระดาษแผ่นเรียบและลอนลูกฟูก และลักษณะแผ่นลูกฟูกที่ได้ไม่ร้อนออกข้าง จากนั้นทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง ไปทดสอบความแข็งแรงการยึดติดของของกาวที่ลอนลูกฟูก ด้วยการทดสอบ pin adhesion และความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูก ด้วย การทดสอบ ECT และ bursting strength ซึ่งภายหลังจากการทดสอบพบค่า pin adhesion มีค่าประมาณ 81.33 นิวตัน /ซม. ดังแสดง Table 39 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกาวควบคุมและผลการทดลองในข้อ 4.2 พบว่ามีค่าต่ำกว่า มาก โดยพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่า ECT และ bursting strength มีค่าต่ำกว่า กาวควบคุมเล็กน้อย โดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 39. Adhesion properties of adhesive after pilot scale test.

Formula	Pin adhesion*		Bursting strength* kgf/cm ²	Edge crush test* kg / cm
	(N/cm)	Fracture mode		
Tapioca starch adhesive	178.25±0.50 ^b	fiber tear	9.4±0.16 ^a	40.30±0.60 ^a
25%Skim (5 phr Cor.)+ tapioca starch adhesive (50:50)	81.33±7.59 ^{a**}	cohesive	9.3±0.16 ^a	39.07±0.93 ^a

* All values are reported as mean (N ≥ 5).

** The different superscripts in the same column indicate the significant differences (p<0.05).

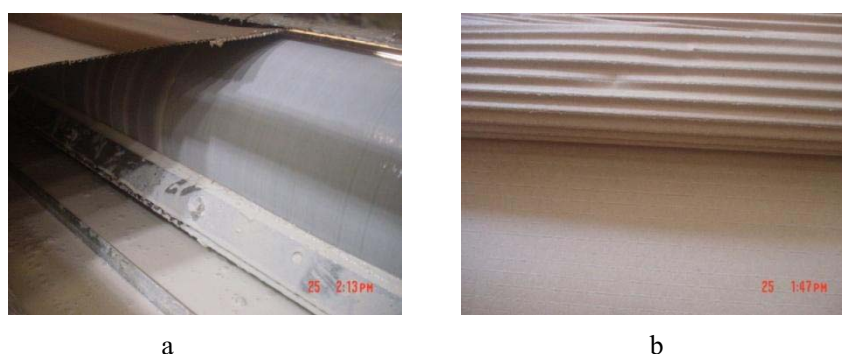


Figure 65. Corrugated board bonded by skim latex adhesive in pilot scale test (a) Skim latex adhesive in tray of double facer (b) Corrugated board peeled off after pilot scale test.

ในส่วนสาเหตุที่การยึดติดที่ลอนลูกฟูกมีค่าต่ำ อาจเนื่องจากธรรมชาติของน้ำยางในการยึดติดต้องมีการใช้แรงกดทับชั่วระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้เกิดพันธะกาวขึ้น การเกิดพันธะกาวเกิดภายหลังที่พื้นผิวกระดาษและกาวเกิดการยึดเกาะกัน และฟอร์มเป็นพันธะกาวขึ้น และความแข็งแรงของยึดติดขึ้นกับความสามารถที่จะแพร่เข้าไปในช่องว่างที่พื้นผิวของกระดาษ (Mechanical interlocking) และอีกสาเหตุหนึ่งคือพื้นที่ทากาวน้อยเกินไป (ยอด ลอนลูกฟูก) ถึงแม้จะมีการผสมกาวเป็งมันสำปะหลังแต่ความแข็งแรงของพันธะกาวก็ไม่แข็งแรงมากพอ นอกจากนี้พบ ลักษณะการเสียหายของการยึดติดภายหลังทดสอบด้วยวิธี pin adhesion พบการเสียหาย ของแบบ fiber tear ยังแบบ cohesive failure ที่ผิวของกระดาษกราฟท์และที่ลอนกระดาษ อาจเนื่องการผสมที่ไม่เข้ากันของกาวหางน้ำยางและกาวเป็งมันสำปะหลัง และสาเหตุที่ความแข็งแรงของการยึดติดต่ำกว่าเมื่อ

เทียบกับผลการทดลองในข้อ 4.2 อาจเนื่องจากวิธีควบคุมความหนาของกาวที่ ผิดกระดาษต่างกัน ซึ่งในข้อ 4.2 จะใช้วิธีการทากาวที่กระดาษแผ่นเรียบส่วนในข้อ 5 กาวจะไหลไปตามลูกกลิ้ง (Glue roll) และติดที่ผิวลอนความหนาของกาวที่เคลือบผิวจะบางกว่าวิธีที่ทดลองในข้อ 4.2 การปรับระยะของลูกกลิ้งให้กว้างเพื่อเพิ่มความหนากาวน่าจะช่วยให้ นอกจากนี้วิธีการทดลองกาวแตกต่างกัน โดยในข้อ 4.2 เป็นการทดลองแบบ manual (ใช้แปรงทากาวที่กระดาษแผ่นเรียบให้ทั่วและบางที่สุดแล้วจึงนำลอนลูกฟูกมาปะกบก่อนนำเข้า double facer)

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองการศึกษาสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยางในห้องปฏิบัติการ พบว่าหางน้ำยางที่เพิ่มความเข้มข้น โดยวิธีการคริม เมื่อนำมาผสมเข้ากับแทกซิไฟเออร์ สามารถปรับปรุงสมบัติการยึดติดของกาวได้ ซึ่งจากผลการทดลองแทกซิไฟเออร์ที่เหมาะสมที่ใช้ผสมกับหางน้ำยางคือ คิวมาโรนเรซิน ที่เตรียมในรูปของอิมัลชัน โดยพบว่าที่หางน้ำยางที่มีปริมาณของแข็ง 20 % และ คิวมาโรนเรซิน 5 phr สมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษ ษคราฟท์พบว่า ความต้านทานแรงเฉือน และ ความต้านทานการลอกดีกว่ากาวแป้งมันสำปะหลังเล็กน้อย

จากการศึกษาผลของปริมาณแทกซิไฟเออร์ ต่อสมบัติการยึดติดของ กาว พบว่า การเพิ่มปริมาณของคิวมาโรนเรซิน และปริมาณของแข็งในกาวเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการยึดติดที่ผิวกระดาษเพิ่มขึ้น

การเสียหายของกาวบนกระดาษคราฟท์ของสูตรกาวหางน้ำยางภายหลังการทดสอบพบการเสียหายแบบ cohesive failure และ cohesive-adhesive ในขณะที่ การเสียหาย ของ กาวบนชั้นทดสอบของกาวแป้งมันสำปะหลังเป็นการเสียหายแบบ fiber tear

2. จากการศึกษาค้นคว้าของปริมาณของแข็งในหางน้ำยางต่อสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง พบว่าเมื่อปริมาณของแข็งในหางน้ำยางเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อสมบัติการยึดติด เพิ่มขึ้นด้วย โดยส่งผลต่อสมบัติดังกล่าว อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรกาวควบคุม โดยพบ หางน้ำยาง ปริมาณของแข็ง 20% ให้สมบัติการยึดติดความต้านทานแรงเฉือน และ ความต้านทานการลอก ของกระดาษคราฟท์ และ pin adhesion ของกระดาษลูกฟูก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับหางน้ำยาง ปริมาณของแข็ง 25% ($p < 0.05$) และพบว่าค่า pin adhesion ของกระดาษลูกฟูก มีค่าต่ำกว่า กาวแป้งมันสำปะหลัง

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ เมื่อหางน้ำยาง มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 25% และปริมาณคิวมาโรนเรซินเพิ่มขึ้นเป็น 15 phr กระดาษลูกฟูกจะมีสมบัติการยึดติดที่สูงกว่ากาวแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะ pin adhesion ของกระดาษลูกฟูก อย่างไรก็ตามในการทดสอบเพื่อเตรียมในสายการผลิตแบบกึ่งต่อเนื่อง กระดาษลูกฟูกที่เตรียมจ ากกาวหางน้ำยางกลับมีผลการทดสอบ pin adhesion ที่ต่ำกว่ากาวแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การเสียหายของกาว ของชั้นทดสอบ ของสูตรกาวหางน้ำยางพบแบบ cohesive failure ในขณะที่สูตรกาวแป้งมันสำปะหลังพบแบบ fiber tear

สำหรับการทดสอบความสามารถในการต้านทานของกระดาษลูกฟูกผลการทดลองพบว่า bursting strength และ ECT ของกระดาษลูกฟูกของกาวหางน้ำยางมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกาวแป้งมันสำปะหลัง

3. จากการศึกษาผลของกาวผสม

ในการทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวกับกระดาษคราฟท์พบว่า กาวหางน้ำยางที่ผสม PVOH ที่ปริมาณ 25, 50 และ 100 phr มีความต้านทานแรงเฉือน และ ความต้านทานการลอกดีกว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง

จากการศึกษาผลของกาวหางน้ำยางผสมกาวแป้งมันสำปะหลังพบว่าสูตรกาวหางน้ำยางที่ผสมกาวแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 ให้สมบัติการยึดติดและสมบัติเชิงกลของกระดาษลูกฟูกที่ใกล้เคียงกับกาวแป้งมันสำปะหลังมากที่สุด ในสายการผลิตยังพบว่า อุณหภูมิและความเร็วของเครื่องจักร double facer มีผลต่อสมบัติของกระดาษลูกฟูกที่เตรียมจากกาวหางน้ำยางอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 150°C ความเร็ว 150 เมตร / นาที เป็นสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการใช้กาวหางน้ำยาง และที่สภาวะการเก็บรักษากระดาษลูกฟูก 30°C , 70%RH จะส่งผลต่อการลดลงของค่า pin adhesion อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อทำการทดสอบเพื่อเตรียมการในสายการผลิตแบบต่อเนื่อง พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยาง โดยเฉพาะ pin adhesion test มีค่าต่ำกว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่า ECT และ bursting strength มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย

การเสียหายของกาวบนแผ่นกระดาษลูกฟูก ของสูตรกาวหางน้ำยางพบแบบ cohesive failure และแบบ fiber tear

4. เมื่อทำการทดสอบเพื่อเตรียมการในสายการผลิตแบบต่อเนื่อง พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวหางน้ำยางผสมกาวแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 โดยเฉพาะ pin adhesion มีค่าต่ำกว่ากาวแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่า ECT และ bursting strength มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย

ข้อเสนอแนะ

จากการทำงานวิจัยนี้ พบว่ามีประเด็นที่น่าสนใจที่น่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาปรับปรุงเพิ่มคุณสมบัติของกาวหางน้ำยาง ให้สามารถประยุกต์ใช้งานกับเครื่องจักรที่มีความเร็วสูงได้ เช่น เครื่องประกอบกระดาษลูกฟูก

1. ศึกษาสารเพิ่มการยึดติดในกลุ่มของ PVOH ที่มีราคาใกล้เคียงหรือต่ำกว่ากาวแป้งมันสำปะหลัง
2. ศึกษาถึงอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลและขนาดอนุภาคของกาวที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติด
3. ศึกษาการใช้สารกระตุ้น (Activator) ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยา (Catalysts) เพื่อช่วยเพิ่มความเร็วในการแห้งตัวของกาวหางน้ำยาง
4. ศึกษาการใช้สารที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพของพื้นที่ผิวเพื่อเพิ่มความสามารถในการเปียกที่พื้นผิวของกาว
5. ปรับปรุงอุปกรณ์สำหรับทา กาวกับวัสดุที่ทดสอบก่อนการทดสอบการยึดติด เช่น เครื่องปาดกาว เพื่อให้กาวมีความเรียบและควบคุมปริมาณของ กาว รวมถึงช่วยเรื่องการเปียกของกาวให้มีความสม่ำเสมอ

เอกสารอ้างอิง

เกษรา เลหาพิสิฐพานิชย์. 2551. การบลูมในยาง. วารสารเพื่อการพัฒนาของอุตสาหกรรมยางไทย. 2 (3). : หน้า 21.

ฉัตรปกรณ์ นันทวงศ์. 2549. การเตรียมและศึกษาสมบัติของกาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

โชติรส ดอกขันธ์. 2552. การศึกษาสมบัติของยางสกินที่ได้จากกระบวนการคริมด้วย Cellulose Ethers. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทรงพล ลิ้มพิสูจน์, ธนพัฒน์ อรรถกิจมงคล, ชัยรัตน์ เขวมหาปิติ และ อรวรรณ ปิยะบุญ. 2548. การแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางพาราเป็นกาวยางแท่ง. Congress on Science and Technology of Thailand. : 1-3.

ชนาวดี ลีจากภัย. 2546. เกร็ดน่ารู้ของกาว. อพเดท. 18 (192). : 89-92.

นาถญา แซ่ลิ้ม. 2545. กาวยางธรรมชาติชนิดทนน้ำมัน. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. : 10-38.

ปุ่น และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2542. บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรมและสมาคมการบรรจุภัณฑ์ไทย. บริษัทแพคเมทส์ จำกัด. กรุงเทพฯ

พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. สารเคมีสำหรับยาง. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. : 270-286.

พิชชา ลีวัชรภรณ์. 2543. การปรับปรุงและการพัฒนาน้ำยางธรรมชาติเพื่อใช้เป็นวัสดุ กาว. สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- พิมานจันทร์ รุ่งโรจน์. 2548. การพัฒนา Pressure Sensitive Adhesive จากน้ำยางธรรมชาติ.
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เรวดี แต่งเกลี้ยง. 2544. อายุการเก็บและการปรับปรุงการเชื่อมตัวของกาวน้ำยาง. สาขา
เทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. : 270-286.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2525. น้ำยาง. งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยการยางขนาดใหญ่.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล และวิภา เสวตกนิษฐ. 2537. ศึกษาการเสริมแรงกาวน้ำยาง. ศูนย์วิจัยและ
พัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล และวิภา เสวตกนิษฐ. 2541. การผลิตกาวยางจากน้ำยางเพื่อใช้งานทั่วไป.
ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. ยางธรรมชาติ . การผลิตและการใช้งาน. สำนักงานกองทุนสนับสนุน
การวิจัย. : 14-15.
- สุนิสา สุชาติ. 2550. การปรับปรุงกาวจากน้ำยางธรรมชาติเพื่อใช้สำหรับไม้ยาพารา
33rd Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of
Technology. หน้า 1-6.
- สุรัชย์ สันติวงศ์สถิต. 2543. การเตรียมและอายุการเก็บกาวน้ำยาง. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2546. การผลิตยางธรรมชาติ. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. : 67-96.

อรสา ภัทรไพบุญย์ และเรวดี แต่งเกลี้ยง. 2544. อายุการเก็บและการปรับปรุงการเซ็ทตัวของกาวน้ำยาง. รายงานการเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย . ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี . กรกฎาคม . : 181-191.

อรสา ภัทรไพบุญย์ และ สายใหม่ พัฒน์ไกร. 2548. ผลของชนิดและปริมาณของเทกซ์ไทไฟเบอร์ต่อความแข็งแรงของกาวน้ำยางธรรมชาติ. โครงการวิจัยขนาดเล็กและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ-มอ. (7). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

อาชีชัน แกสมาน อติศัย รุ่งวิชานวิวัฒน์ และ จรัส โพธิ์สีเสด . 2540. การผลิตกาวดักแมลงจากยางธรรมชาติ . ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

Adams *et al.*, 1998. Water based contact adhesive for porous surfaces.U.S.Pat 5733958.31. March. 1998.

Allen, K.W. 2000. Theories of adhesion. *In* Industrial Packing Adhesives 1st ED (Booth, K.S. ed.). p. 43-50. Blackie. London.

Alphonsus, V.Pocius.1997.Adhesion and Adhesives Technology An Introduction. p. 216-230. New York.

Blackley, D. C. 1997. *In* Polymer Latices Science and Technology. Second edition Volume 2. p. 44-55. Type of Latices. London.

Bloomfield, G.F.1961. Chemical and Structure of Natural Rubber. *In* The Applied Science of Rubber (Naunton, M.le.S.ed.). p 61. Edward Arnold Ltd. London.

Brittain, J. A., Perkins, S. R., Schnell, P. G. 2000. Corrugating Adhesive. *In* Corrugated Containers Manufacturing Process. p. 37-53.

Chang Chun Petrochemical. 1995. p. 20-21. Taiwan.

Christer, K., 2007. Fracture Behaviour of adhesive Joints in carton board. Karlstad University Studies. p. 1-33.

Corn Products International, Inc. Casco Inc. and CPI Ingredientes. 2006. p. 1-30.

Daub, E., Hoke, U. and Gottsching, L. 1990. Gluing corrugating medium and linerboard together on the corrugators. Tappi Journal. June: 171-178.

Davies, T., Miller, D.C. and Procter, A.A., 1980. Starke, Vol. 32. p. 149.

Dick, J.S. 2001. Rubber. How to Design Rubber Components. p 29. Hanser Publishers . New York.

Evens *et al.*, 1983. Stabilization of tackifying resin dispersions .U.S.Pat 4477613.

Franking *et al.*, 2000. Testing of adhesives. *In* Industrial Packing Adhesives 1st Ed. p. 60-77. Blackie. London.

Ganesh *et al.*, 2010. Effect of tackifier compatibility and blend viscoelasticity on peel strength behavior of vulcanized EPDM rubber co-cured with unvulcanized rubber. *International Journal of Adhesion&Adhesives* 30. : 489-499.

Gent, A.N. 1992. Engineering with Rubber: How to Design Rubber Component. Hanser Publishers. Munich. p. 438-447.

Hizukuri, S., 1985. Relationship Between the Distribution of the Chain Length of Amylopectin and the Crystallite Structure of Starch Granules. *Carbohydrate. Res.* Vol. 141. pp. 295-306.

- Hizukuri, S., 1988. Recent Advances in Molecular Structure of Starch. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* Vol. 31. p. 185.
- Jack, R.W., Alvin, E. and Susan, N.Y. 1995. High-density papers and corrugators runnability. *Tappi Journal*. April: 83-188.
- Joseph, J.B. 1992. Development of green-bond strength in the singlefacers. *Tappi Journal*. October: 94-101.
- Ketteborough, A.J. 2000. The bonding process. *In Industrial Packing Adhesives* 1st Ed. p. 1-5. Blackie. London.
- Koch, K., Bhushan, B. and Barthlott, W. 2008. Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces, *Soft Matter*. 4: 1943–1963.
- Lazarus, D.M. 2000. Classification of packaging adhesives. *In Industrial Packing Adhesives* 1st Ed. p. 29-39. Blackie. London.
- Masumbu, F.F.F., Masamba, W.R.L. and Fabiano. 2003. Development and evaluation of maize and cassava starch based Cold-Setting adhesives for case-sealing. *Malawi Journal of Agricultural Science*. 2(1). : 65-76.
- Morrison, W.R. and Laignelet, B., 1983. An Improved Colorimetric Procedure for Determining Apparent and Total Amylose in Cereal and Other Starches. *J. Cereal Sci.* No. 1. pp. 9-20.
- Morris, J.E., 1984. Improved Rubber by Enzymatic Deproteinisation of Skim latex. *Tech. Conf.* London. p. 23-27.

- Oates, C.G., 1996. Physical Modification of Starch. *In* Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. 22–26 Jan & 19–23 Feb. 1996. AIT Center. Bangkok.
- Oates, C.G., 1997. Toward an Understanding of Starch Granule Structure and Hydrolysis. *Trends in Food Science and Technology*. Vol. 8. pp. 375-382.
- Pomeranz, Y., 1985, Functional properties of food components. Academic Press. Inc. New York.
- Rungrod *et al.*, 2005. Effect of tackifier on tack and peel strength of natural rubber latex - based adhesives. 31st Congress on science and Technology of Thailand at Suranaree University of technology. Oct 2005.
- Sadhan, K.DE. 2003. Natural Rubber – Based Adhesives. *In* Handbook of Adhesive Technology 2nd ED (Pizzi, A. and Mittal, K.l., eds.). p. 511-514. Marcel Dekker. New York.
- Schultz, J. and Nardin, M. 2003. Theories and Mechanisms of Adhesion. *In* Handbook of Adhesive Technology 2nd ED (Pizzi, A. and Mittal, K.l., eds.). p. 52-57. Marcel Dekker. New York.
- Shafirin, E.G. and Zisman W.A. 1960. Constitutive relations in the wetting of low energy surfaces and the theory of the retraction method of preparing monolayers. *J. Phys Chem.* 64 (5): 519–524.
- Tester, R.F., Karkalas, J., Qi, X., 2004. Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science.* 39.: 151–165.
- Watson, S.A., 1964. Determination of Starch Gelatinization Temperature. *In* Whistler, R.L. (ed.). *Method in Carbohydrate Chemistry*. Academic Press, New York. pp. 240-241.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การเตรียมกาวและการทดสอบสมบัติการยึดติด

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 การเตรียมแทกลิไฟเออร์

ใช้สำหรับการเตรียมน้ำยางเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการยึดติดที่ดียิ่งขึ้น โดยการเตรียมให้อยู่ในรูปอิมัลชัน ได้แก่ คือ กิวมาโรน เรซิน, กัมเรซิน และ ปีโตรเลียเรซิน

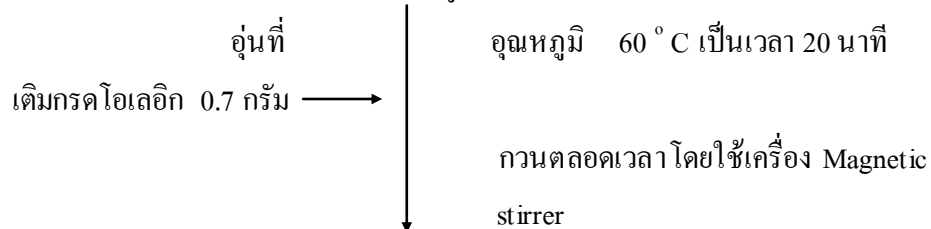
การเตรียมแทกลิไฟเออร์ในรูปอิมัลชัน (สุรชัย สันติวงศ์สถิต, 2543)

การเตรียมแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1

ละลายแทกลิไฟเออร์ 40 กรัมในโทลูอิน 43 กรัมที่อุณหภูมิห้องจนตลอดเวลา

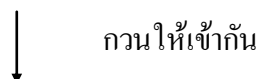
เพื่อทำการระเหยโทลูอินบางส่วน



ส่วนที่ 1

ส่วนที่ 2

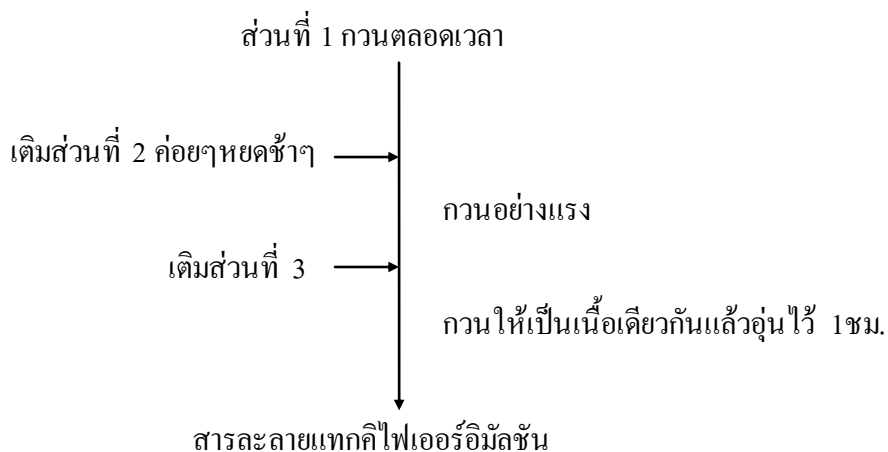
ละลาย KOH 0.51 กรัม ในน้ำ 18 กรัม



ส่วนที่ 2

ส่วนที่ 3 โดยละลาย polyvinyl alcohol 12 กรัม ในน้ำ 86 กรัม กวนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 70-80 °C

ขั้นตอนการเตรียมแทกซิฟเออร์ในรูปแบบัลชัน



หมายเหตุ การเตรียมอิมัลชันของแทกซิฟเออร์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมมีผลอย่างมากต่อลักษณะ สารที่ได้ ซึ่งไม่ควรจะใช้อุณหภูมิสูงเกิน 60°C และเวลาในการกวนหลังการเติมส่วนที่ 3 นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณสาร ถ้ามีปริมาณมากก็จำเป็นต้องใช้เวลาในการกวนนาน มากขึ้นไปด้วย (นอกจากนี้ภายหลังเติมส่วนที่ 3 ความเหนียวจะค่อยๆเพิ่มมากขึ้นต้องใช้แท่งแก้วกวนไม่สามารถใช้เครื่อง Magnetic stirrer กวนได้) เพื่อทำการไล่เบนซินหรือโทลูอินออก

การเตรียมแทกซิฟเออร์ (ปิโตรเลียมเรซิน) ในรูปคิสเพิร์สชัน

โดยเตรียม ปิโตรเลียมเรซิน จำนวน 100 กรัม , Bentonite จำนวน 3 กรัม , Anchoid จำนวน 3 กรัม และ น้ำกลั่น จำนวน 94 กรัม ผสมให้เข้ากันและนำสารที่ได้ไปบดสารเคมีด้วยเครื่องผสมสารเคมี (ball mill) เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

1.2 การเตรียมหางน้ำยางให้มีปริมาณของแข็งโดยประมาณ 30% โดยวิธีการคริม (สารคริม 0.3% w/w) นำสารละลายคริมที่เตรียมได้นำไปผสมกับหางน้ำยางในถัง 15 ลิตร กวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้จนเห็นการแยกชั้นระหว่างส่วนที่ใส (น้ำเซรุ่ม) อยู่ด้านล่างและ ส่วนที่เป็นชั้นคริม (หางน้ำยาง) อยู่ด้านบน จากนั้นปล่อยน้ำเซรุ่มถ่ายใส่ถังให้เหลือหางน้ำยางนำ หางน้ำยางที่ได้ตรวจหาค่า % Total solid content (ปริมาณของแข็ง)

1.2.1 การวิเคราะห์ % Total solid content ของหางน้ำยาง นำถ้วยแก้วหรือถ้วยโลหะที่มีฝาปิด มาชั่งพร้อมฝาใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง เทน้ำยางตัวอย่างไปประมาณ 2.5 ± 0.5 กรัม เอียงถ้วยไปมาให้ น้ำยางตัวอย่างกระจายทั่วถ้วยนั้น นำไปอบที่

อุณหภูมิ 70 ± 2 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง (หรือจนเห็นยางใสไม่มีขาวขุ่นอยู่) ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในเดสซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักจากนั้นนำไปอบซ้ำเป็นเวลา 15 นาที ทำให้เย็นและชั่งน้ำหนัก

$$\% \text{ TS} = (C-A) / (B-A) \times 100$$

A = น้ำหนักของจานพร้อมฝา

B = น้ำหนักของจานพร้อมฝากับยาง

C = น้ำหนักของจานพร้อมฝากับยางที่แห้งแล้ว

เตรียมตัวอย่างทดสอบ 3 ซ้ำ ต่อ 1 ตัวอย่าง

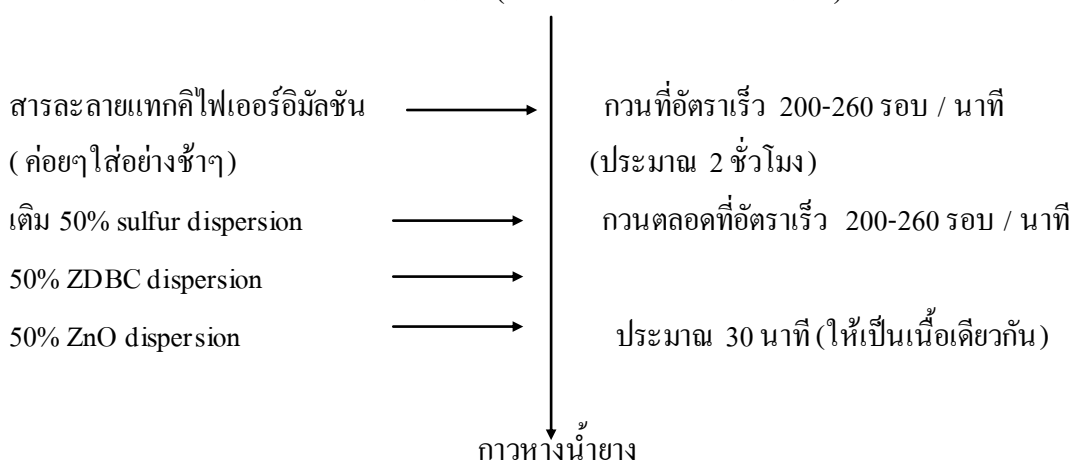
1.3 การเตรียมเจลแข็งมันสำปะหลัง นำแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 20 ส่วน ต่อ น้ำ 100 ส่วนปั่นผสมให้เข้ากันจากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $50-60$ °C ปั่นผสมประมาณ 15-20 นาที (เกิดเป็นเจล)

1.4 เตรียมสารละลาย PVOH (20%)

นำผง PVOH ผสมกับน้ำและปรับให้เป็นสารละลายความเข้มข้น 20% นำไปกวนผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง 20 นาทีแล้วจึงนำไปกวนผสมใน water bath ที่ $80-90$ °C เป็นเวลา 30 นาที

2. วิธีการเตรียมกาวหางน้ำยาง

หางน้ำยางเข้มข้น (ที่มีการปรับปริมาณของแข็ง)



3. ปริมาณกาวต่อพื้นที่ของแผ่นวัสดุที่ใช้ทดสอบ shear strength, peel strength และ pin adhesion

การหาปริมาณกาว โดยกำหนดพื้นที่ขนาดของแผ่นกระดาษลูกฟูกตัดให้มีขนาด 10 x 15 cm และนำไปชั่งน้ำหนัก และนำไปหักลบกับน้ำหนักกระดาษกราฟที่ประกอบเป็นแผ่นกระดาษลูกฟูก โดยปริมาณกาวต่อพื้นที่ใช้ทดสอบแสดงได้ดัง Table 40

Table 40. Amount of glue to the area.

Sample test	Shear Strength	Peel Strength	Pin adhesion	
			Flute B	Flute C
Tapioca starch adhesive	0.0063 g	0.0187 g	0.1931 g	0.3477 g
Skim latex adhesives	0.0044 g	0.0190 g	0.1955g	0.3667 g

4. การคำนวณต้นทุนของกาว

Table 41. Cost of Tapioca starch adhesive.

Item	Price /kg	Amount (kg)	Cost (baht)
Tapioca starch	13.30	0.20	2.66
Borax	30.40	0.01	0.30
NaOH	16.50	0.01	0.16
	total	0.21	3.12

Remark: Tapioca starch adhesive \approx 3.12 baht/kg.

โดยโซดาไฟอ้างอิงจากราคาของบริษัท เอบีซานย์ , บอแรคซ์อ้างอิงจากราคาของบริษัท
จันทิมาและราคาแป้งมันสำปะหลังอ้างอิงจาก Thai Tapioca Starch Association (TTSA)

ต้นทุนในการเตรียมเทกลิไฟเออร์

Table 42. Cost of coumarone resin.

Item	Price /kg	Amount (kg)	Cost (baht)
Coumarone resin	95.00	0.20	19.00
Toluene	65.00	0.21	13.97
25% KOH	420.00	0.003	1.07
12 % PVOH	125.00	0.05	6.00
Oleic	2500.00	0.004	8.75
	total	0.48	48.79

Remark: coumarone resin \simeq 48.79 baht/kg.

ในการคิดต้นทุนราคาหางน้ำยางจะอ้างอิงตามราคาหน้ายางธรรมชาติ วันที่ 25/11/53
กิโลกรัมละ 120 บาท

กาวหางน้ำยาง 25 % (คิวมาโรน เรซิน 5 phr)

Table 43. Cost of skim latex adhesive (coumarone resin 5 phr).

Item	Price /kg	Amount (kg)	Cost (baht)
Skim latex (25%TS)	6.01	1.00	6.01
Coumarone resin	48.79	0.04	2.21
Sulfur	40.00	0.004	0.16
ZnO	55.00	0.004	0.22
ZDBC	120.00	0.002	0.24
	total	1.06	8.85

Remark: skim latex adhesive (coumarone resin 5 phr) \simeq 8.85 baht/kg.

กาวหน้ำยาง 25 % (คิวนาโรน เรซิน 15 phr)

Table 44. Cost of skim latex adhesive (coumarone resin 15 phr)

Item	Price /kg	Amount (kg)	Cost (baht)
Skim latex (25%TS)	6.01	1.00	6.01
Coumarone resin	48.79	0.14	6.65
Sulfur	40.00	0.004	0.16
ZnO	55.00	0.004	0.22
ZDBC	120.00	0.002	0.24
	total	1.15	13.28

Remark: skim latex adhesive (coumarone resin 15 phr) \simeq 13.28 baht/kg.

กาวหน้ำยาง (คิวนาโรน เรซิน 5 phr) ผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 50:50
เตรียมในไลน์การผลิต

Table 45. Cost of skim latex adhesive mixed with tapioca starch adhesive.

Item	Price /kg	Amount (kg)	Cost (baht)
Skim latex (25%TS)	6.01	0.50	3.01
Coumarone resin	48.79	0.02	1.11
Sulfur	40.00	0.002	0.08
Tapioca starch adhesive	3.12	0.50	1.56
ZDBC	120.00	0.001	0.12
	total	1.03	5.88

Remark: Skim latex adhesive mixed with tapioca starch adhesive \simeq 5.88 baht/kg.

การหาน้ำยางผสมกับกาว PVOH (25 phr)

Table 46. Cost of skim latex adhesive mixed with PVOH (25 phr).

Item	Price	Amount	Cost
	/kg	(kg)	(baht)
Skim latex (25%TS)	6.22	0.03	0.21
ZnO	55.00	0.0001	0.007
Sulfur	40.00	0.0001	0.005
ZDBC	120.00	0.00007	0.008
20%PVOH	125.00	0.08	10.40
	total	0.12	10.64

Remark: skim latex adhesive mixed with PVOH \simeq 10.64 baht/kg

ภาคผนวก

ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง

Table 47. pH of adhesives.

Formula/ No.	1	2	3	4	5	SD	\bar{X}
Tapioca starch adhesive	11.11	11.20	10.98	11.24	11.18	0.11	11.13
Skim 5%	10.77	11.28	11.01	11.21	10.92	0.21	11.03
Skim 10%	10.97	11.02	10.77	11.27	10.8	0.20	10.97
Skim 15%	11.01	10.69	10.86	10.74	10.67	0.14	10.79
Skim 20%	11.13	10.84	10.89	11.35	10.91	0.21	11.02
Skim 25%	10.98	10.95	10.64	11.33	11.01	0.24	10.98
Skim 20%+ 25phr Pr (dispersion)	10.79	10.80	10.93	10.88	10.63	0.11	10.80
Skim 20%+ 50phr Pr (dispersion)	10.55	10.89	10.42	10.44	10.58	0.19	10.58
Skim 20%+ 100phr Pr (dispersion)	10.33	10.18	10.22	10.09	10.21	0.09	10.20
Skim 20%+ 1 phr Pr	12.19	12.36	12.03	11.94	11.55	0.30	12.01
Skim 20%+ 2 phr Pr	12.13	11.88	11.59	12.01	11.71	0.22	11.86
Skim 20%+ 2.5 phr Pr	11.80	12.02	11.66	11.74	11.58	0.17	11.76
Skim 20%+ 3.5 phr Pr	10.86	11.27	11.06	10.99	11.04	0.15	11.04
Skim 20%+ 5 phr Pr	10.84	10.90	11.31	11.09	11.25	0.21	11.08
Skim 20%+ 7.5 phr Pr	11.04	11.11	11.08	10.85	11.13	0.11	11.04
Skim 20%+ 1 phr Cor	11.79	11.88	11.90	11.77	12.06	0.11	11.88
Skim 20%+ 2 phr Cor	12.01	11.85	11.92	11.47	11.98	0.22	11.85
Skim 20%+ 2.5 phr Cor	11.72	11.61	11.39	12.10	11.80	0.26	11.72
Skim 20%+ 3.5 phr Cor	11.30	10.96	11.31	11.28	11.26	0.15	11.22
Skim 20%+ 5 phr Cor	11.29	11.29	11.08	11.44	11.22	0.13	11.26
Skim 20%+ 7.5 phr Cor	10.88	10.76	11.24	11.06	11.21	0.21	11.03
Skim 20%+ 1 phr G	11.90	11.92	12.08	11.63	11.89	0.16	11.88

Remark: Cor =coumarone resin G = gum resin Pr = petroleum resin and

G+Cor = gum – coumarone mixed resin

Table 47. pH of adhesives cont.

Formula/ No.	1	2	3	4	5	SD	\bar{X}
Skim 20%+ 2 phr G	11.87	11.85	11.62	12.01	11.93	0.15	11.86
Skim 20%+ 2.5 phr G	12.13	11.67	11.47	11.78	11.54	0.26	11.72
Skim 20%+ 3.5 phr G	11.50	11.22	11.17	11.10	11.12	0.16	11.22
Skim 20%+ 5 phr G	11.26	11.27	11.09	11.37	11.29	0.10	11.26
Skim 20%+ 7.5 phr G	10.98	10.76	11.22	11.03	11.15	0.18	11.03
Skim 20%+ 1 phr G+Cor	11.81	11.73	11.47	11.60	11.45	0.16	11.61
Skim 20%+ 2 phr G+Cor	11.46	11.37	11.17	11.26	11.32	0.11	11.32
Skim 20%+ 2.5phr G+Cor	11.19	11.33	11.33	11.04	11.41	0.15	11.26
Skim 20%+ 3.5phr G+Cor	11.15	11.00	10.74	10.78	10.74	0.18	10.88
Skim 20%+ 5 phr G+Cor	10.95	11.02	10.77	10.77	11.09	0.14	10.92
Skim 20%+ 7.5phr G+Cor	11.15	11.03	10.60	10.88	10.86	0.21	10.90
Skim 20%+ 25 phr PVOH	10.42	10.48	10.77	10.56	10.56	0.13	10.56
Skim 20%+ 50 phr PVOH	10.14	9.98	9.87	10.39	10.30	0.21	10.14
Skim 20%+ 100 phr PVOH	9.23	9.60	9.44	9.21	9.30	0.16	9.36
Skim 5%+ 5 phr Cor	10.53	10.87	10.44	10.44	10.53	0.18	10.56
Skim 10%+ 5 phr Cor	9.87	9.89	10.01	10.10	9.78	0.12	9.93
Skim 15%+ 5 phr Cor	10.60	10.70	10.38	10.42	10.45	0.13	10.51
Skim 20%+ 5 phr Cor	11.32	11.21	11.21	11.19	11.40	0.09	11.26
Skim 25%+ 5 phr Cor	10.59	10.80	10.77	10.60	10.61	0.10	10.67
Skim 20%+ 7.5 phr Cor	10.64	10.83	10.74	10.74	10.71	0.07	10.73
Skim 20%+ 10 phr Cor	10.66	10.78	10.78	10.44	10.65	0.14	10.66
Skim 20%+ 15 phr Cor	10.06	10.05	10.51	10.55	10.18	0.24	10.27
Skim 20%+ 17.5 phr Cor	9.33	9.38	9.21	9.19	9.28	0.08	9.28

Remark: Cor =coumarone resin G = gum resin Pr = petroleum resin and

G+Cor = gum – coumarone mixed resin

Table 48. Total solid of adhesives.

Formula/ No.	g					SD	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
Tapioca starch adhesive	19.0222	18.7278	18.3362	18.4501	18.1667	0.34	18.54
Skim 5%	5.8870	6.3232	7.0040	5.4450	5.6161	0.62	6.05
Skim 10%	13.3172	12.7971	12.3112	12.0799	13.4481	0.60	12.79
Skim 15%	16.7886	15.9774	15.7889	15.6609	16.0019	0.44	16.04
Skim 20%	19.6344	20.2203	19.3377	19.5099	19.4776	0.34	19.63
Skim 25%	24.2540	24.8110	24.2908	23.8883	24.0085	0.35	24.25
Skim 20%+ 25phr Pr (dispersion)	23.1181	24.0889	22.8819	23.3311	22.5766	0.57	23.19
Skim 20%+ 50phr Pr (dispersion)	25.8033	24.9993	25.7134	25.9090	26.0911	0.42	25.70
Skim 20%+100phr Pr (dispersion)	26.2421	27.0008	25.7768	25.6998	26.4451	0.53	26.23
Skim 20%+ 1 phr Pr	19.4900	19.7722	19.7431	20.1689	19.1116	0.39	19.66
Skim 20%+ 2 phr Pr	19.2727	19.3367	19.3007	19.5542	19.6622	0.17	19.42
Skim 20%+ 2.5 phr Pr	20.3644	20.1565	20.2771	19.9964	20.4555	0.18	20.25
Skim 20%+ 3.5 phr Pr	23.8508	23.1291	24.0088	23.5561	23.9115	0.35	23.69
Skim 20%+ 5 phr Pr	21.4343	20.9887	21.2759	22.0155	21.4300	0.37	21.43
Skim 20%+ 7.5 phr Pr	21.3111	22.2211	20.7766	21.3313	21.0045	0.55	21.33
Skim 20%+ 1 phr Cor	16.5143	19.0070	16.6688	19.3744	19.5560	1.50	18.22
Skim 20%+ 2 phr Cor	17.3832	18.4422	17.8900	16.8782	17.3339	0.59	17.58
Skim 20%+ 2.5 phr Cor	24.4332	20.0990	21.3374	20.0775	20.6654	1.81	21.32
Skim 20%+ 3.5 phr Cor	20.9544	21.0986	20.5566	21.1123	20.9008	0.22	20.92
Skim 20%+ 5 phr Cor	21.5421	20.7765	21.0076	21.4456	21.7765	0.41	21.31
Skim 20%+ 7.5 phr Cor	21.8129	20.9933	21.8865	20.6678	22.0012	0.60	21.47
Skim 20%+ 1 phr G	16.5221	19.0778	19.7753	18.8556	19.3430	1.27	18.71

Remark: Cor = coumarone resin G = gum resin Pr = petroleum resin and

G+Cor = gum – coumarone mixed resin

Table 48. Total solid of adhesives (cont.)

Formula/ No.	g					SD	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
Skim 20%+ 2 phr G	17.3844	19.3800	18.8893	18.4998	19.6642	0.89	18.76
Skim 20%+ 2.5 phr G	24.4309	20.4456	20.6117	22.6311	20.9947	1.69	21.82
Skim 20%+ 3.5 phr G	20.9542	19.9987	20.1123	20.8876	20.0077	0.48	20.39
Skim 20%+ 5 phr G	21.5400	20.7730	20.5566	21.0933	21.3377	0.40	21.06
Skim 20%+ 7.5 phr G	21.8111	20.9944	21.0321	20.7720	21.0045	0.39	21.12
Skim 20%+ 1 phr G+Cor	19.2226	20.0133	19.9876	19.0223	19.2566	0.46	19.50
Skim 20%+ 2 phr G+Cor	19.8941	20.1420	19.7755	20.0573	20.2004	0.17	20.01
Skim 20%+ 2.5 phr G+Cor	20.1114	19.9980	20.1180	19.7664	20.3321	0.21	20.06
Skim 20%+ 3.5 phr G+Cor	21.3703	20.4133	19.9947	20.6990	21.3339	0.59	20.76
Skim 20%+ 5 phr G+Cor	20.5244	19.9799	20.0888	20.6898	20.5112	0.31	20.36
Skim 20%+ 7.5 phr G+Cor	21.2632	20.8711	20.7765	21.3345	21.2670	0.26	21.10
Skim 20%+ 25 phr PVOH	19.8515	20.0992	19.7755	19.9983	20.1366	0.15	19.97
Skim 20%+ 50 phr PVOH	20.1817	19.8773	20.3210	19.6755	20.2088	0.27	20.05
Skim 20%+ 100 phr PVOH	20.5011	20.9870	20.3122	20.4923	19.9981	0.36	20.46
Skim 5%+ 5 phr Cor	8.8384	7.6678	8.1198	6.8790	6.4412	0.96	7.58
Skim 10%+ 5 phr Cor	12.4681	11.8875	12.4711	10.8440	12.0975	0.67	11.95
Skim 15%+ 5 phr Cor	16.8853	15.9933	16.9031	17.0022	16.5466	0.41	16.67
Skim 20%+ 5 phr Cor	20.4465	20.9903	20.4113	19.8809	20.5051	0.39	20.44
Skim 25%+ 5 phr Cor	25.0960	24.7116	24.9054	23.7654	24.4489	0.52	24.59
Skim 20%+ 7.5 phr Cor	22.9202	21.9987	22.7765	22.5656	22.1008	0.41	22.47
Skim 20%+ 10 phr Cor	24.3331	24.0811	24.0013	23.8876	24.2213	0.18	24.10
Skim 20%+ 15 phr Cor	27.3747	28.2234	26.8866	27.3732	26.5590	0.63	27.28
Skim 20%+ 17.5 phr Cor	28.4730	29.0060	28.3397	27.9904	28.6622	0.38	28.49

Remark: Cor = coumarone resin G = gum resin Pr = petroleum resin and

G+Cor = gum – coumarone mixed resin

Table 49. Shear strength of adhesives.

Formula/ No.	N/mm ²					SD	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
Tapioca starch adhesive	0.44	0.51	0.42	0.44	0.43	0.03	0.45
Skim 20%	0.28	0.27	0.26	0.26	0.26	0.01	0.27
Skim 20%+ 25 phr Pr (dispersion)	0.45	0.50	0.43	0.49	0.42	0.03	0.45
Skim 20%+ 50 phr Pr (dispersion)	0.46	0.40	0.45	0.50	0.53	0.05	0.46
Skim 20%+100 phr Pr (dispersion)	0.39	0.42	0.39	0.35	0.41	0.02	0.40
Skim 20%+ 1 phr Pr	0.35	0.36	0.32	0.38	0.34	0.02	0.35
Skim 20%+ 2 phr Pr	0.39	0.35	0.43	0.35	0.41	0.04	0.39
Skim 20%+ 2.5 phr Pr	0.44	0.47	0.44	0.40	0.49	0.03	0.44
Skim 20%+ 3.5 phr Pr	0.46	0.46	0.41	0.45	0.46	0.02	0.45
Skim 20%+ 5 phr Pr	0.49	0.44	0.42	0.45	0.46	0.02	0.45
Skim 20%+ 7.5 phr Pr	0.49	0.40	0.46	0.51	0.45	0.04	0.46
Skim 20%+ 1 phr Cor	0.41	0.45	0.43	0.39	0.42	0.02	0.42
Skim 20%+ 2 phr Cor	0.36	0.41	0.38	0.35	0.34	0.02	0.37
Skim 20%+ 2.5 phr Cor	0.43	0.40	0.46	0.44	0.43	0.02	0.43
Skim 20%+ 3.5 phr Cor	0.49	0.47	0.44	0.52	0.49	0.03	0.48
Skim 20%+ 5 phr Cor	0.51	0.52	0.44	0.53	0.53	0.04	0.51
Skim 20%+ 7.5 phr Cor	0.52	0.48	0.53	0.45	0.52	0.03	0.50
Skim 20%+ 1 phr G	0.34	0.39	0.35	0.31	0.34	0.03	0.35
Skim 20%+ 2 phr G	0.31	0.35	0.34	0.35	0.29	0.03	0.33
Skim 20%+ 2.5 phr G	0.42	0.45	0.42	0.38	0.40	0.03	0.41
Skim 20%+ 3.5 phr G	0.49	0.45	0.44	0.50	0.49	0.03	0.47
Skim 20%+ 5 phr G	0.42	0.38	0.44	0.39	0.42	0.02	0.41
Skim 20%+ 7.5 phr G	0.39	0.40	0.38	0.42	0.40	0.01	0.40
Skim 20%+ 1 phr G+Cor	0.34	0.32	0.39	0.36	0.36	0.02	0.35

Remark: Cor =coumarone resin G = gum resin Pr = petroleum resin and

G+Cor = gum – coumarone mixed resin

Table 49. Shear strength of adhesives (cont.)

Formula/ No.	N/mm ²					SD	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
Skim 20%+ 2phr G+Cor	0.38	0.42	0.36	0.39	0.35	0.03	0.38
Skim 20%+2.5phr G+Cor	0.42	0.40	0.39	0.44	0.41	0.02	0.41
Skim 20%+ 3.5 phr G+Cor	0.48	0.42	0.49	0.44	0.45	0.03	0.46
Skim 20%+ 5 phr G+Cor	0.40	0.36	0.41	0.37	0.40	0.02	0.39
Skim 20%+ 7.5 phr G+Cor	0.37	0.32	0.36	0.33	0.39	0.03	0.36
Skim 20%+ 25 phr PVOH	0.58	0.53	0.53	0.63	0.57	0.04	0.57
Skim 20%+ 50 phr PVOH	0.61	0.57	0.65	0.62	0.61	0.02	0.62
Skim 20%+ 100 phr PVOH	0.64	0.62	0.62	0.67	0.64	0.02	0.64
Skim 5%+ 5 phr Cor	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.01	0.11
Skim 10%+ 5 phr Cor	0.26	0.27	0.25	0.26	0.27	0.02	0.26
Skim 15%+ 5 phr Cor	0.38	0.40	0.40	0.37	0.37	0.03	0.38
Skim 20%+ 5 phr Cor	0.45	0.44	0.49	0.43	0.42	0.02	0.45
Skim 25%+ 5 phr Cor	0.52	0.49	0.53	0.49	0.52	0.02	0.51
Skim 20%+ 7.5 phr Cor	0.58	0.57	0.54	0.59	0.55	0.02	0.57
Skim 20%+ 10 phr Cor	0.54	0.51	0.49	0.57	0.52	0.03	0.52
Skim 20%+ 15 phr Cor	0.61	0.6	0.57	0.64	0.62	0.03	0.62
Skim 20%+ 17.5 phr Cor	0.63	0.64	0.62	0.58	0.62	0.02	0.62
Skim 25%+ 7.5 phr Cor	0.60	0.62	0.60	0.62	0.57	0.02	0.60
Skim 25%+ 10 phr Cor	0.62	0.64	0.62	0.58	0.62	0.02	0.62
Skim 25%+ 15 phr Cor	0.65	0.62	0.63	0.63	0.64	0.01	0.63

Remark: Cor = coumarone resin G = gum resin Pr = petroleum resin and

G+Cor = gum – coumarone mixed resin

Table 50. Peel strength of adhesives.

Formula/ No.	N/mm					SD	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
Tapioca starch adhesive	0.29	0.28	0.30	0.28	0.30	0.01	0.29
Skim 20%	0.24	0.25	0.22	0.25	0.23	0.01	0.24
Skim 20%+ 25 phr Pr (dispersion)	0.27	0.28	0.26	0.29	0.26	0.01	0.27
Skim 20%+ 50 phr Pr (dispersion)	0.25	0.23	0.28	0.23	0.26	0.02	0.25
Skim 20%+100 phr Pr (dispersion)	0.18	0.20	0.20	0.17	0.18	0.01	0.18
Skim 20%+ 1 phr Pr	0.24	0.26	0.22	0.23	0.26	0.02	0.24
Skim 20%+ 2 phr Pr	0.26	0.27	0.27	0.24	0.27	0.01	0.26
Skim 20%+ 2.5 phr Pr	0.31	0.29	0.34	0.32	0.31	0.02	0.31
Skim 20%+ 3.5 phr Pr	0.33	0.34	0.36	0.33	0.30	0.02	0.33
Skim 20%+ 5 phr Pr	0.30	0.32	0.27	0.33	0.30	0.02	0.30
Skim 20%+ 7.5 phr Pr	0.34	0.34	0.30	0.35	0.33	0.02	0.33
Skim 20%+ 1 phr Cor	0.30	0.26	0.31	0.31	0.32	0.02	0.30
Skim 20%+ 2 phr Cor	0.32	0.30	0.30	0.33	0.33	0.03	0.31
Skim 20%+ 2.5 phr Cor	0.33	0.35	0.32	0.32	0.30	0.03	0.32
Skim 20%+ 3.5 phr Cor	0.33	0.34	0.34	0.32	0.32	0.01	0.33
Skim 20%+ 5 phr Cor	0.34	0.33	0.32	0.35	0.33	0.01	0.34
Skim 20%+ 7.5 phr Cor	0.32	0.37	0.31	0.32	0.31	0.02	0.33
Skim 20%+ 1 phr G	0.25	0.22	0.27	0.27	0.24	0.02	0.25
Skim 20%+ 2 phr G	0.25	0.23	0.25	0.30	0.23	0.03	0.25
Skim 20%+ 2.5 phr G	0.29	0.32	0.31	0.28	0.29	0.02	0.30
Skim 20%+ 3.5 phr G	0.29	0.32	0.32	0.28	0.30	0.02	0.30
Skim 20%+ 5 phr G	0.27	0.27	0.24	0.26	0.29	0.02	0.27
Skim 20%+ 7.5 phr G	0.27	0.30	0.24	0.25	0.28	0.02	0.27
Skim20%+1 phr G+Cor	0.26	0.29	0.24	0.25	0.26	0.02	0.26

Remark: Cor = coumarone resin G = gum resin Pr = petroleum resin and

G+Cor = gum – coumarone mixed resin

Table 50. Peel strength of adhesives (cont.)

Formula/ No.	N/mm					SD	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
Skim 20%+ 2 phr G+Cor	0.30	0.28	0.30	0.27	0.36	0.03	0.30
Skim 20%+ 2.5 phr G+Cor	0.29	0.26	0.30	0.31	0.30	0.02	0.29
Skim 20%+ 3.5 phr G+Cor	0.31	0.29	0.31	0.34	0.30	0.02	0.31
Skim 20%+ 5 phr G+Cor	0.33	0.35	0.31	0.33	0.33	0.02	0.33
Skim 20%+ 7.5 phr G+Cor	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.00	0.33
Skim 20%+ 25 phr PVOH	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.00	0.32
Skim 20%+ 25 phr PVOH	0.34	0.32	0.35	0.34	0.36	0.02	0.34
Skim 20%+ 50 phr PVOH	0.35	0.34	0.32	0.33	0.36	0.01	0.34
Skim 5%+ 5 phr Cor	0.09	0.08	0.13	0.09	0.10	0.02	0.09
Skim 10%+ 5 phr Cor	0.17	0.20	0.17	0.18	0.16	0.02	0.18
Skim 15%+ 5 phr Cor	0.28	0.25	0.25	0.30	0.30	0.02	0.28
Skim 20%+ 5 phr Cor	0.32	0.34	0.28	0.35	0.31	0.03	0.32
Skim 25%+ 5 phr Cor	0.34	0.36	0.33	0.35	0.35	0.01	0.34
Skim 20%+ 7.5 phr Cor	0.28	0.26	0.33	0.29	0.29	0.02	0.29
Skim 20%+ 10 phr Cor	0.43	0.41	0.45	0.40	0.45	0.02	0.43
Skim 20%+ 15 phr Cor	0.39	0.39	0.42	0.39	0.36	0.02	0.39
Skim 20%+ 17.5 phr Cor	0.41	0.46	0.43	0.40	0.38	0.03	0.42
Skim 25%+ 7.5 phr Cor	0.37	0.35	0.41	0.38	0.36	0.02	0.37
Skim 25%+ 10 phr Cor	0.41	0.42	0.41	0.39	0.38	0.02	0.40
Skim 25%+ 15 phr Cor	0.48	0.46	0.50	0.47	0.49	0.02	0.48

Remark: Cor = coumarone resin G = gum resin Pr = petroleum resin and

G+Cor = gum – coumarone mixed resin

Table 51. Pin adhesion of adhesives.

Formula/ No.	N/cm					SD	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
Tapioca starch adhesive (Flute B)	179	178	178	178	-	0.50	178.25
Tapioca starch adhesive (Flute C)	324	335	316	315	-	9.26	322.50
Skim 5%+ 5 phr Cor	33	45	39	44	32	6.02	38.60
Skim 10%+ 5 phr Cor	69	64	86	59	69	10.16	69.40
Skim 15%+ 5 phr Cor	101	99	88	119	101	11.13	101.60
Skim 20%+ 5 phr Cor	128	139	122	134	131	6.38	130.80
Skim 25%+ 5 phr Cor	140	145	156	133	142	8.41	143.20
Skim 20%+ 7.5 phr Cor	149	141	155	152	149	5.21	149.20
Skim 20%+ 10 phr Cor	173	163	169	169	170	3.63	168.80
Skim 20%+ 15 phr Cor	165	173	164	167	169	3.58	167.60
Skim 20%+ 17.5 phr Cor	166	169	169	161	170	3.67	167.00
Skim 25%+ 7.5 phr Cor	160	166	160	157	160	3.27	160.60
Skim 25%+ 10 phr Cor	178	174	180	178	182	2.97	178.40
Skim 25%+ 15 phr Cor	263	251	224	255	251	14.70	248.80
Skim 25%+ 15 phr Cor*	63	61	69	60	60	3.78	62.60
Skim 20%+ 30 phr Cor*	77	78	72	74	77	2.51	75.60
Skim 20%+ 55 phr Cor*	144	139	135	148	143	4.97	141.80

Remark: Cor =coumarone resin, * experimental production lines

Table 52. Bursting strength of adhesives.

Formula/ No.	Kgf/10cm ²					SD	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
Tapioca starch adhesive (Flute B)	9.4	9.6	9.2	9.4	9.4	0.14	9.4
Skim 25%+ 15 phr Cor*	9.0	9.2	8.8	9.0	9.0	0.14	9.0
Skim 20%+ 30 phr Cor*	8.8	8.6	9.0	9.0	8.8	0.17	8.8
Skim 20%+ 55 phr Cor*	9.4	9.2	9.6	9.2	9.4	0.17	9.3

Remark: Cor =coumarone resin, * from production line test.

Table 53. Edge crush test of adhesives.

Formula/ No.	Kg/cm					SD	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
Tapioca starch adhesive (Flute B)	40.2	41.3	39.7	40.1	40.2	0.59	40.30
Skim 25%+ 15 phr Cor*	34.6	37.4	35.1	36	35.3	1.08	35.68
Skim 20%+ 30 phr Cor*	36.4	36.9	36.1	35.8	35.7	0.49	36.18
Skim 20%+ 55 phr Cor*	39.1	40.2	38.5	39.4	37.4	1.05	38.92

Remark: Cor =Coumarone resin * from production line test.

Table 54. Viscosity of adhesives.

Formula/ No.	cps					SD	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
Tapioca starch adhesive	188.44	195.60	190.00	187.70	189.50	3.12	190.25
Skim latex 20%	58.30	55.90	51.80	55.10	55.60	2.33	55.34
Skim 5 + 5phr CoR	45.40	46.10	41.40	46.30	44.10	2.01	44.66
Skim 20 +5phr CoR	76.10	78.30	74.60	81.10	77.90	2.45	77.60
Skim 25 + 5phr CoR	81.60	80.80	77.50	79.50	79.00	1.59	79.68
Skim 20 + 10 phr CoR	81.00	85.90	83.20	84.70	85.80	2.05	84.12
Skim 20 + 17.5 phr CoR	89.90	88.50	89.40	87.70	90.20	1.03	89.14

Remark: Cor =coumarone resin

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายจตุพันธ์ จุฬพันธ์ทอง
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5111020051
 วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	2543

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนทักษะนักอุตสาหกรรมเกษตร จากศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ
 สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Julapantong, J. and Pisuchpen, S. 2011. Effect of coumarone resin on adhesion properties of skim latex-based adhesive. *In* Proceeding of The third Conference in Environment Science, Engineering and Management. Chulalongkorn University Bangkok, Thailand. 14-15 March 2011.