



การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากยางฟองน้ำ

Development of Cushioning Material from Natural Latex Foam

วราวุธ สุขมาก

Warawut Sukmak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Packaging Technology

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากยางพองน้ำ
ผู้เขียน นายวรารุช สุขมาก
สาขาวิชา เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ดร.ศุภชัย ภิสิทธิ์เพ็ญ)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิริยะ ทองเรือง)

.....กรรมการ

(ดร.ศุภชัย ภิสิทธิ์เพ็ญ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนชญ์ ศรีนางแย้ม)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
บรรจุภัณฑ์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากยางฟองน้ำ

ผู้เขียน นายวราวุธ สุขมาก

สาขาวิชา เทคโนโลยีบรรจุกัมภ์

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ยางฟองน้ำเป็นวัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เตรียมได้จากน้ำยางธรรมชาติ มีโครงสร้างเป็นรูพรุนที่ต่อเนื่องกันภายในโครงสร้าง จึงมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ และเมื่อถูกกระทำด้วยแรงกดแล้วจะสามารถกลับคืนสู่สภาวะเดิมได้ดี ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของสารก่อฟอง (โพแทสเซียมโอเลเอต), สารตัวเติม (แคลเซียมคาร์บอเนต), ผลของกระบวนการให้ความร้อน (นิ่งและอบ) และความหนาของชั้นยางฟองน้ำต่อสมบัติทางกายภาพของยางฟองน้ำ โดยใช้กระบวนการดัดแปลงในการเตรียมยางฟองน้ำ จากผลการทดลองพบว่าสมบัติของยางฟองน้ำขึ้นกับปริมาณของโพแทสเซียมโอเลเอต โดยเมื่อเติมโพแทสเซียมโอเลเอตในปริมาณที่มากขึ้น ทำใหยางฟองน้ำมีความหนาแน่นและความสามารถในการต้านทานแรงกดลดลง นอกจากนี้โพแทสเซียมโอเลเอตส่งผลใหยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบนิ่งสามารถต้านทานต่อแรงกดได้ดี และมีความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบ ในขณะที่การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลใหยางฟองน้ำมีความหนาแน่น ความสามารถในการต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่สูงขึ้นและมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงสุดที่ระดับ 10 phr (part per hundred rubbers) และแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลใหยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบสามารถต้านทานต่อแรงกดได้ดีกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบนิ่ง นอกจากนี้พบว่ายางฟองน้ำที่มีความหนามากสามารถต้านทานต่อแรงกด และสามารถป้องกันแรงกระแทกได้ดี เมื่อนำไปทดสอบที่ความเค้นสถิต 0.04 kg/cm^2 และตกกระแทกที่ความสูง 18 นิ้ว พบว่ายางฟองน้ำที่มีความสามารถในการป้องกันแรงกระแทกดีที่สุด คือ ยางฟองน้ำที่เตรียมจากการใช้โพแทสเซียมโอเลเอต 1.40 phr, การให้ความร้อนแบบอบและมีความหนา 1.5 นิ้ว ซึ่งมีค่า G ต่ำสุด (42.9 G) แม้ว่ายางฟองน้ำจะมีความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกได้ต่ำกว่าโฟมพอลิสไตรีน (ความหนาแน่น 0.016 g/cm^3) แต่เมื่อนำไปทดสอบรับแรงกระแทกหลายๆครั้ง กลับพบว่ายางฟองน้ำมีสมบัติการป้องกันการแรงกระแทกได้ดีเนื่องจากยางฟองน้ำมีความยืดหยุ่นและความสามารถในการคืนตัวกลับได้ดีกว่าโฟมพอลิสไตรีน ยางฟองน้ำจึงมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นวัสดุกันกระแทกแบบใช้ซ้ำหรือแบบป้องกันการกระแทกซ้ำ

Thesis Title Development of Cushioning Material from Natural Latex Foam
Author Mr. Warawut Sukmak
Major Program Packaging Technology
Academic Year 2008

ABSTRACT

Natural latex foam, a cellular rubber, is a biodegradable foam material derived from milky sap blends from the rubber tree. It has many advantages including durable, highly resilient and recovery, non toxic and environmentally safe. The aims of this work were to prepare and investigate the effect of foaming agent (potassium oleate), vulcanization process (oven and steam), filling agent (calcium carbonate), and thickness of specimen on the physical and mechanical properties of foam. The Dunlop process was employed to prepare foam in various amounts of potassium oleate and thicknesses. It was found that the properties of latex foam depended upon the amounts of potassium oleate. As the amount of potassium oleate increased, the foam density and compression resistance significantly decreased. In addition, as a result of potassium oleate, foam vulcanized by steam had higher compression resistance, density and percent shrinkage than foam vulcanized by oven. On the other hand, calcium carbonate had an effect on increasing the foam density, compression resistance and percent shrinkage. The highest of percent shrinkage was found at the concentration of 10 phr (part per hundred rubber). The significantly higher compression resistance was found in ovened foam compared to steamed foam as a result of calcium carbonate. In addition, it was found than the thicker latex foam the better compression resistance and shock were obtained. Cushioning characteristics of natural latex foam were also determined. The best sample prepared from 1.4 phr of potassium oleate, oven vulcanized and 1.5 inches thick had the lowest G of 42.9 when tested at static stress of 0.04 kg/cm² and drop height of 18 inches. Although the natural latex foam had a lower shock absorbing properties compared to PS foam (density of 0.016 g/cm³), the discrepancy tended to decrease in thicker foam. The natural latex foam showed a better shock absorbing properties when tested with repeated drops due to a better elastic and recovery. The natural latex foam has the feasibility in applying as a reusable package cushioning material or repeated drops protection.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(6)
LIST OF TABLES.....	(7)
LIST OF FIGURES.....	(9)
บทที่	
1 บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	15
2 วิธีการวิจัย.....	17
วิธีดำเนินการ.....	17
วัสดุและอุปกรณ์.....	22
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	28
ผลจากการเติมสารก่อฟอง (โพแทสเซียมโอเลียด)	29
ผลจากการเติมสารตัวเติม (แคลเซียมคาร์บอเนต)	40
การเปรียบเทียบสมบัติการป้องกันการกระแทกกับ โฟมสังเคราะห์โพลีสไตรีน....	49
ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างยางพองน้ำกับวัสดุสังเคราะห์โฟมโพลีสไตรีน...	51
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	54
บทสรุป.....	54
ข้อเสนอแนะ.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลข้อมูลการวิเคราะห์สมบัติของยางพองน้ำ.....	60
ภาคผนวก ข ภาพถ่ายโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของยางพองน้ำ.....	77
ประวัติผู้เขียน.....	89

LIST OF TABLES

Table	Page
1. The formulation for Dunlop process of Songkhla Rubber Research.....	19
2. Chemicals and used in latex foam preparation.....	27
3. Formulation of latex foam - Dunlop process.....	28
4. Characteristics of natural latex foam.....	40
5. Characteristics of natural latex foam.....	49
6. Material cost of latex foam prepared from Dunlop process.....	53
7. Density of latex foam as the function of potassium oleate.....	60
8. Density of latex foam as the function of calcium carbonate.....	60
9. Compression resistance of latex foams as a function of potassium oleate.....	61
10. Compression resistance of latex foams as 1.5 inches-thick.....	61
11. Percent shrinkage of the latex foams as a function of potassium oleate.....	62
12. Percent shrinkage of the latex foams as a function of calcium carbonate.....	62
13. Cushioning characteristics of the latex foam as a function of potassium oleate	63
14. Cushioning characteristics of the latex foam at 1.40 phr of potassium oleate.	63
15. Cushioning characteristics as a function of thickness.....	64
16. Percent compression set as the function of potassium oleate.....	65
17. Percent compression set as 1.4 phr of potassium oleate and as the function of calcium carbonate.....	66
18. Percent volume ratio of latex foam and polystyrene foam at 0.5 inch-thick...	67
19. Percent volume ratio of latex foam and polystyrene foam at 1.0 inch-thick...	68
20. Percent volume ratio of latex foam and polystyrene foam at 1.5 inch-thick...	69
21. Definitions of latex foam formulation.....	70
22. Test no. Used for analyze of variation of latex foam.....	71
23. ANOVA of density of latex foam as a function of potassium oleate.....	71
24. ANOVA of percent shrinkage at center direction as a function of potassium oleate.....	71
25. ANOVA variation of percent shrinkage at edges direction on potassium oleate.....	72

LIST OF TABLES (CONTINUED)

Table	Page
26. ANOVA of percent shrinkage at lateral direction as a function of potassium oleate.....	72
27. ANOVA of percent compression set as a function of potassium oleate.....	72
28. Test no. used for analyze of variation of G value as a function of potassium oleate.....	73
29. ANOVA of G value as a function of potassium oleate.....	74
30. Test no. Used for analyze of variation of latex foam as a function of calcium carbonate.....	74
31. ANOVA of density of latex foam as a function of calcium carbonate.....	74
32. ANOVA of percent compression set as a function of calcium carbonate.....	75
33. ANOVA of percent shrinkage at center direction as a function of calcium carbonate.....	75
34. ANOVA of percent shrinkage at edges direction as a function of calcium carbonate.....	75
35. ANOVA of percent shrinkage at lateral direction as a function of calcium carbonate.....	75
36. Test no. Used for analyze variation of G value.....	76
37. ANOVA of G value as a function of calcium carbonate.....	76

LIST OF FIGURES

Figure	Page
1. Step for latex foam preparation.....	6
2. Corrugated fiberboard box.....	10
3. Polystyrene foam.....	11
4. Polyethylene foam.....	12
5. Air bubble pad.....	12
6. Accelerometer.....	14
7. Setup for measuring in – package shock.....	14
8. Shock pulse.....	15
9. Flow chart of experimental plan.....	18
10. Flow chart of latex foam preparation.....	20
11. Measuring the shrinkage of latex foam.....	22
12. Setup of shock absorbing test.....	22
13. Battering machine.....	23
14. Molds.....	24
15. Oven.....	24
16. Digital scale.....	25
17. Loading Machine.....	25
18. Accelerometers.....	25
19. Drop test machine.....	25
20. Density of latex foam as the function of potassium oleate.....	29
21. SEM of latex foam density of 0.175 g/cm^3	30
22. SEM of latex foam density of 0.236 g/cm^3	31
23. Compression resistance of latex foams vulcanized by steam.....	32
24. Compression resistance of latex foams vulcanized by oven.....	32
25. Percent compression set as the function of potassium oleate.....	33
26. SEM of latex foam vulcanized by oven.....	34
27. SEM of latex foam vulcanized by steam.....	34
28. The shrinkage of latex foam at lateral direction.....	36

LIST OF FIGURES (CONTINUED)

Figure	Page
29. Percent shrinkage of the latex foams vulcanized by steam as a function of potassium oleate.....	36
30. Percent shrinkage of the latex foams vulcanized by oven as a function of potassium oleate.....	37
31. Cushioning characteristics of the latex foam vulcanized by steam.....	38
32. Cushioning characteristics of the latex foam vulcanized by oven.....	38
33. Density of latex foam as the function of calcium carbonate.....	41
34. SEM of latex foam vulcanized by oven.....	42
35. SEM of latex foam vulcanized by steam.....	43
36. Percent compression set as the function of calcium carbonate.....	44
37. Compression resistance of latex foams at 1.5 inches-thick and as function of calcium carbonate.....	45
38. Percent shrinkage of the latex foams vulcanized by steam as a function of calcium carbonate.....	46
39. Percent shrinkage of the latex foams vulcanized by oven as a function of calcium carbonate.....	46
40. Cushioning characteristics of the latex foam at 1.40 phr of potassium oleate, 1.5 inch-thick and as a function of calcium carbonate.....	48
41. Cushioning characteristics as a function of thickness of Natural latex foam and Polystyrene foam.....	50
42. Cushioning characteristics of volume ratio of the latex foam and polystyrene foam.....	51
43. SEM of latex foam density of 0.223 g/cm ³	77
44. SEM of latex foam density of 0.207 g/cm ³	77
45. SEM of latex foam density of 0.175 g/cm ³	78
46. SEM of latex foam density of 0.236 g/cm ³	78
47. SEM of latex foam density of 0.217 g/cm ³	79

LIST OF FIGURES (CONTINUED)

Figure		Page
48.	SEM of latex foam density of 0.177 g/cm ³	79
49.	SEM of latex foam density of 0.237 g/cm ³	80
50.	SEM of latex foam density of 0.256 g/cm ³	80
51.	SEM of latex foam density of 0.265 g/cm ³	81
52.	SEM of latex foam density of 0.182 g/cm ³	81
53.	SEM of latex foam density of 0.185 g/cm ³	82
54.	SEM of latex foam density of 0.201 g/cm ³	82
55.	SEM of latex foam density of 0.223 g/cm ³	83
56.	SEM of latex foam density of 0.207 g/cm ³	83
57.	SEM of latex foam density of 0.175 g/cm ³	84
58.	SEM of latex foam density of 0.236 g/cm ³	84
59.	SEM of latex foam density of 0.217 g/cm ³	85
60.	SEM of latex foam density of 0.177 g/cm ³	85
61.	SEM of latex foam density of 0.237 g/cm ³	86
62.	SEM of latex foam density of 0.256 g/cm ³	86
63.	SEM of latex foam density of 0.265 g/cm ³	87
64.	SEM of latex foam density of 0.182 g/cm ³	87
65.	SEM of latex foam density of 0.185 g/cm ³	88
66.	SEM of latex foam density of 0.201 g/cm ³	88

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย อุตสาหกรรมยางพาราเป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่มีผลกระทบต่อประชากรของประเทศไทยไม่น้อยกว่า 6 ล้านคน หรือร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2550) ดังนั้นการพัฒนาและเติบโตของอุตสาหกรรมยางพาราจึงมีบทบาทอย่างสูงต่อการพัฒนาประเทศ ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากน้ำยางพาราในปัจจุบันจัดเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีการพัฒนาและมีศักยภาพในการขยายปริมาณการผลิตเพื่อการส่งออกและทดแทนการนำเข้าอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลิตภัณฑ์แปรรูปประเภทดังกล่าวได้แก่ กุ้งมือยาง กุ้งยางอนามัย และอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์อื่นๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์แปรรูปจากน้ำยางพาราที่มีศักยภาพอีกหลายชนิดยังขาดการพัฒนาในการเพิ่มมูลค่าและปริมาณการใช้งานได้แก่ เส้นยางยืดและยางฟองน้ำ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางฟองน้ำจัดเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากน้ำยางพาราที่น่าสนใจ เนื่องจากการนำยางฟองน้ำมาใช้ในปัจจุบันยังอยู่ในขอบเขตที่จำกัด ได้แก่ การนำมาใช้เป็นวัสดุเพื่อทำที่นอน หมอน เบาะรองนั่ง และตุ๊กตา เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำให้มีรูปแบบการใช้งานที่กว้างขวางขึ้นจะเป็นการส่งเสริมให้เกิดการนำน้ำยางพารามาใช้มากขึ้นจะช่วยผลักดันให้อุตสาหกรรมยางพาราในประเทศเติบโตยิ่งขึ้น

อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์จัดเป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตเกือบทุกประเภท โดยในส่วนของวัสดุกันกระแทกที่นิยมใช้กับงานทางด้านบรรจุภัณฑ์นั้น จัดเป็นวัสดุที่น่าสนใจในการนำยางฟองน้ำมาทดแทนเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีการใช้อย่างกว้างขวางในปริมาณการใช้งานที่สูงในอุตสาหกรรม ในปัจจุบันวัสดุกันกระแทกที่นิยมใช้จะผลิตจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น โพลีสไตรีน โพลียูรีเทน เป็นต้น ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและประสิทธิภาพการป้องกันการกระแทกยังไม่ดีเท่าที่ควร ขณะเดียวกันในตลาดปัจจุบันก็ยังไม่มีการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทก ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าในการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำ จึงจัดเป็นงานวิจัยที่สำคัญเพื่อหาแนวทางในการนำยางฟองน้ำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาณการใช้งานสูง นอกจากนี้ยังจะเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าน้ำยางพาราได้อีกด้วย

การตรวจเอกสาร

1. ภาพรวมของอุตสาหกรรมยางพาราในประเทศ

อุตสาหกรรมยางในปัจจุบันสามารถแบ่งได้ตามประเภท ดังต่อไปนี้

อุตสาหกรรมยางดิบ

อุตสาหกรรมยางแผ่นและยางแท่ง : มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีคุณภาพมาตรฐานที่สม่ำเสมอ (consistency) ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ และแข่งขันกับผู้อื่นได้

อุตสาหกรรมน้ำยางข้น: มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีที่ปฏิบัติโดยทั่วไปคือ การใช้เครื่องเหวี่ยง (centrifuge machine) ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ได้คุณภาพน้ำยางข้นตามความต้องการของผู้ใช้ รวมทั้งการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีใหม่นอกเหนือจากการใช้เครื่องปั่น เพื่อสนับสนุนกลุ่มเกษตรกรให้สามารถเตรียมน้ำยางข้นเพื่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์ระดับท้องถิ่นได้โดยตรง

ยางดิบชนิดใหม่ : มีการเพิ่มความหลากหลายชนิดยางธรรมชาติ โดยการดัดแปลงโมเลกุลด้วยวิธีทางเคมีหรือด้วยวิธีทางกล ทำให้ได้ยางธรรมชาติที่มีคุณภาพพิเศษสามารถใช้แทนยางสังเคราะห์หรือพอลิเมอร์บางชนิดได้

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

ผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง: มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถต่อยอดเพื่อดำเนินการเชิงพาณิชย์ได้ ทั้งในรูปการพัฒนาผลิตภัณฑ์เดิมที่มีการผลิตอยู่แล้ว ให้มีประสิทธิภาพในการผลิตดีขึ้น มีคุณภาพได้มาตรฐานสามารถแข่งขันได้ ขยายการผลิตเพื่อเพิ่มการส่งออก การวิจัยที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ยางชนิดใหม่ๆและมีตลาดรองรับ

ผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง: มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพในการขยายปริมาณการผลิต เพื่อขยายตลาดส่งออก ทดแทนการนำเข้า ได้แก่ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย และอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์อื่นๆ การวิจัยที่นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง เช่น เส้นด้ายยึด ยางฟองน้ำ Adhesive และ Binder เป็นต้น ตลอดจนการวิจัยการใช้น้ำยางธรรมชาติผลิตผลิตภัณฑ์ทดแทนการใช้น้ำยางสังเคราะห์และการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำยางชนิดใหม่ๆที่มีตลาดรองรับ

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางระดับท้องถิ่น: มีการประยุกต์องค์ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการทำผลิตภัณฑ์ยางให้เหมาะสมกับการประกอบอุตสาหกรรมการผลิตของกลุ่มชุมชนระดับท้องถิ่น เช่นกลุ่มสหกรณ์อุตสาหกรรมการเกษตร ชุมชนสหกรณ์ หรือสมาคมเกษตรกรต่างๆ เป็นต้น ให้กลุ่มเหล่านี้สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางพาราออกสู่ตลาดและจำหน่ายได้

การใช้ประโยชน์จากส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber): มีการพัฒนานำส่วนที่ไม่ใช่ยาง ที่มีอยู่ในน้ำยางพารา เช่น สารโปรตีน เถ้า น้ำตาล ฯลฯ มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์บางอย่างได้แก่ ยา สารเคมี อาหารเสริม เป็นต้น จะทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มกับยางพาราได้อีกแนวทางหนึ่ง

ยางพองน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากน้ำยางธรรมชาติ ประกอบด้วยเซลล์ของอากาศที่ต่อเนื่องติดกันไปในโครงสร้างของยางพองน้ำ ยางพองน้ำสามารถเตรียมให้มีคุณสมบัติค่อนข้างหลากหลาย เช่น มีความยืดหยุ่นดี นุ่ม มีความหนาแน่นต่ำ เมื่อถูกกระทำด้วยแรงกด สามารถกลับคืนสู่สถานะเดิมได้ ไปจนกระทั่งเป็นยางพองน้ำที่มีคุณภาพแข็งแรง ที่มีความหนาแน่นสูง ส่งผลให้ยางพองน้ำเป็นที่นิยมใช้ในงานประเภทต่าง ๆ มากมาย ซึ่งทำผลิตภัณฑ์จำพวก เบาะนั่ง ที่นอน หมอน อุปกรณ์ตกแต่งต่าง ๆ วัสดุกันกระแทก ฉนวนความร้อน เป็นต้น (วารสารณ์, 2548)

2. กระบวนการผลิตยางพองน้ำ

กระบวนการผลิตยางพองน้ำโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ (Calvert, 1982) คือ กระบวนการดันลอป (Dunlop process) ซึ่งมีการพัฒนามาตั้งแต่ปี 1929 โดยใช้โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium Silicofluoride, SSF) เป็นสารทำให้น้ำยางเกิดการจับตัวและเกิดการคงรูป ส่วนกระบวนการแบบที่สอง คือ กระบวนการแบบทาลาลีย์ (Talalay process) ซึ่งมีการพัฒนาประมาณปี 1946 โดยมีการให้ความเย็นกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีหน้าที่ทำให้น้ำยางเกิดการจับตัวและเกิดการคงรูป

โดยปกติในกระบวนการผลิตยางพองน้ำจากน้ำยางพารา พบว่าพองน้ำจะเกิดการหดตัวภายหลังจากการวัลคาไนซ์ ซึ่งทำให้ขนาดของพองน้ำยางธรรมชาติได้ขนาดเล็กกว่าที่กำหนดไว้จากขนาดเข้า ซึ่งเป็นปัญหาต่อการใช้งานที่ต้องการรูปทรงที่แน่นอนของยางพองน้ำ ปัญหาการหดตัวนี้เกิดจากยางพารามีการทนทานต่อการบวมตัวในตัวทำละลายค่อนข้างต่ำ และอัตราในการปั่นไม่คงที่ ส่งผลให้ความหนาแน่นของยางแตกต่างกัน รวมทั้งปริมาณของแข็ง ชนิดและปริมาณของสารเกิดพอง (Blowing agent) ส่งผลให้คุณสมบัติทางกลของยางไม่แน่นอน

ยางพองน้ำมีลักษณะที่อาจเป็นเซลล์เปิด (พองหรือช่องว่างเชื่อมติดกันโดยไม่มีผนังเซลล์) แบบเซลล์ปิด (พองมีขนาดเล็ก บางส่วนมีผนังเซลล์และบางส่วนไม่มีผนังเซลล์) และแบบเซลล์เล็ก (พองมีขนาดเล็ก) ซึ่งการเกิดลักษณะเซลล์ที่แตกต่างกันนั้นจะขึ้นกับปัจจัยการควบคุมกระบวนการในการเกิดพอง สารเคมีที่ใช้ ซึ่งผลความแตกต่างของลักษณะเซลล์จะส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลและการรับแรงกระแทกได้ ยางพองน้ำจัดเป็นวัสดุชีวภาพที่ได้จากธรรมชาติที่นำสนใจและมีศักยภาพสูงในการพัฒนา ปรับปรุงเพื่อนำมาใช้ในงานในระดับอุตสาหกรรม ในปัจจุบันการใช้น้ำยางพารามาแปรรูปเป็นยางพองน้ำยังอยู่ในระดับที่ต่ำมาก มีการใช้งานที่จำกัด เนื่องจากรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่แปรรูป

ได้มีเพียงไม่กี่ชนิด ตลอดจนข้อมูลพื้นฐานทางคุณสมบัติยังไม่ครบถ้วน จึงทำให้การนำน้ำยางพารามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มประเภทยางพองน้ำจึงต่ำมาก ในขณะที่ความต้องการใช้วัสดุกันกระแทกในอุตสาหกรรมมีสูงมาก ตลอดจนการที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการรักษาลักษณะลิ่ม ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยใดทั้งในและต่างประเทศที่พิจารณาการนำยางพารามาแปรรูปเพื่อใช้งานทางด้านบรรจุภัณฑ์ จึงเป็นโอกาสที่ดีที่การวิจัยนี้ได้นำน้ำยางพาราที่เป็นวัสดุจากธรรมชาติที่ผลิตได้ในประเทศมาพัฒนาเพื่อแปรรูปเป็นวัสดุกันกระแทก ซึ่งวัสดุกันกระแทกที่ปรับปรุงขึ้น ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบสมบัติกับวัสดุกันกระแทกสังเคราะห์ เช่น Expanded polystyrene foam และสำหรับงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากยางพองน้ำในรูปแบบของการหล่อขึ้นรูปเป็นแผ่น (Slab) ซึ่งวัสดุกันกระแทกในลักษณะนี้มีการใช้ในปริมาณมากที่สุดและง่ายต่อการปรับเปลี่ยนรูปทรงของวัสดุกันกระแทกตามลักษณะผลิตภัณฑ์และกล่องชั้นนอกที่ใช้บรรจุ

งานวิจัยนี้จึงใช้กระบวนการเตรียมยางพองน้ำด้วยกระบวนการดันล้อนเพื่อศึกษาสมบัติของยางพองน้ำที่ได้สัดส่วนต่างๆ รวมทั้งผลของสารเคมีต่อสมบัติของยางพองน้ำ ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำให้มีสมบัติที่ดีขึ้นและเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ผลิตเป็นวัสดุกันกระแทกจากยางพองน้ำของประเทศไทยต่อไป

3. กระบวนการผลิตยางพองน้ำโดยกระบวนการดันล้อน

หลักการสำคัญของการผลิตยางพองน้ำประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๆ 3 ขั้นตอน คือ

- (1) การทำให้น้ำยางเกิดฟองเป็นฟองอากาศ หรือ ฟองของก๊าซต่าง ๆ
- (2) การทำให้น้ำยางที่เป็นฟองแล้วเกิดเจลในเบ้าหรือในบริเวณที่กำหนด
- (3) การวัดคาบในซ์ฟองยางที่ได้

แนวคิดและการค้นคว้าทดลอง เพื่อผลิตยางรูพรุนหรือยางพองน้ำสำหรับใช้งานในด้านต่างๆ ได้มีการพัฒนามาเป็นระยะเวลาอันยาวนานแล้ว และหลักการพื้นฐานของการทำยางให้เกิดรูพรุนหรือยางพองน้ำได้ประสบความสำเร็จอย่างชัดเจน เกิดขึ้นเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1929 ซึ่งเป็นเทคนิคที่เรียกว่า กระบวนการดันล้อน หรือกระบวนการ ซิลิโคฟลูออไรด์ เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการผลิตยางพองน้ำ ประกอบด้วยการทำให้น้ำยางเป็นฟองด้วยการใช้เครื่องกลตีหรือปั่นอากาศเข้าไปในน้ำยางที่มีส่วนผสมของสารเคมีต่าง ๆ อย่างเหมาะสมแล้ว เมื่อได้ฟองดีแล้วจะเติมสารเคมีที่จะช่วยให้เกิดเจลช้าๆ (Delayed – action gelling agent) เพื่อให้ฟองเหลวได้มีเวลาขึ้นรูปตามแบบของเบ้าก่อนที่จะเกิดลักษณะเป็นเจล จากนั้นจึงวัดคาบในซ์ฟองเจลที่เป็ยก แล้วนำยางพองน้ำที่ได้มาล้าง อบแห้ง และตกแต่งในขั้นสุดท้ายต่อไป (Morton,1995)

สำหรับวิธีการอื่น ๆ ที่มีการค้นคว้าและยังคงมีการผลิตกันในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีการของ Joseph Talalay ซึ่งคิดค้นในปี ค.ศ. 1936 เรียกว่า กระบวนการทาลาเลย์ (Talalay process) (Blackley, 1997) ซึ่งกระบวนการนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง กระบวนการทาลาเลย์ในปัจจุบัน

เริ่มต้นโดยการให้น้ำยางที่ปั่นเป็นฟองโดยทางกลแล้วทำให้เกิดการฟูหรือพองตัวโดยใช้ระบบสุญญากาศ จากนั้นใช้ความเย็นทำให้ฟองยางเกิดลักษณะเป็นเจล ซึ่งเทคนิคการใช้ความเย็นนี้จะใช้ส่วนผสมของเอทิลีนไกลคอล - น้ำ ให้ได้อุณหภูมิประมาณ -30 องศาเซลเซียส หลังระบบเบ้าที่บรรจุฟองน้ำยางที่เกิดการฟูหรือพองตัวแล้วเพื่อให้ฟองยางที่ได้มีอุณหภูมิต่ำ แล้วจึงผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปที่เบ้า ระบบสุญญากาศ ซึ่งได้เปลี่ยนเป็นส่วนผสมของคาร์บอนไดออกไซด์-อากาศ จากนั้นจึงอุ่นเบ้าให้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 2 ระดับ เป็น 4 องศาเซลเซียส และต่อมาเป็น 38 องศาเซลเซียสจากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 110 องศาเซลเซียสตามลำดับ เพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์

กระบวนการทำยางฟองน้ำอีกเทคนิคหนึ่งคือ กระบวนการรีเวเท็กซ์ (Revertex process) (Blackley, 1997) โดยกระบวนการนี้จะใช้น้ำยางขึ้น 75% จากวิธีการระเหยน้ำและรักษาไว้ด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้น้ำยางเกิดการฟูหรือพองตัวโดยก๊าซออกซิเจน ซึ่งได้มาจากการแตกตัวของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ถูกเร่งการแตกตัวด้วยสารตัวเร่ง (ที่อาจมาจากพวก ฮีโมโกลบิน หรือ ยีสต์ ฯลฯ) แล้วทำให้เกิดเจลโดยใช้โซเดียมซลิโคฟลูออไรด์ร่วมกับแอมโมเนียมซัลเฟต แล้ววัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นานอย่างน้อย 20 นาที

หลักการและขั้นตอน โดยสังเขปของกระบวนการดันล้อย ซึ่งอธิบายโดย Klemperer and Frisch, 1991 มีดังนี้ ขั้นแรกจะทำการปรับปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางธรรมชาติขึ้น แล้วนำน้ำยางที่ปรับแอมโมเนียแล้วเติมสารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ สบู่ สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่ง สารช่วยเกิดฟอง สารป้องกันการเสื่อมสลายของยาง สารตัวเติม ซึ่งสารเหล่านี้อาจเติมในรูปสารแขวนลอย (Dispersion) หรือสารละลาย (Solution) หรือ อิมัลชัน (Emulsion) ทั้งนี้แล้วแต่ธรรมชาติของสารนั้น ๆ การผสมสารเคมีต่าง ๆ อาจแบ่งเป็นสองช่วง โดยที่เมื่อเติมส่วนหนึ่งในช่วงแรกแล้วจะทิ้งน้ำยาไว้ระยะหนึ่ง (Maturation) แล้วจึงเติมส่วนที่เหลือในช่วงที่สอง หลังการปั่นน้ำยางเกิดฟองแล้ว ขณะที่การปั่นฟองเกือบสมบูรณ์ จะเติม ซิงค์ออกไซด์ที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย และสารก่อเจลเสริม แล้วจึงเติมสารก่อเจลหลัก เป็นตัวสุดท้าย จากนั้นจึงเทฟองยางลงในเบ้าลุ่มนิ่ม หลังจากนั้นฟองยางเริ่มมีการเจลอย่างช้า ๆ ในเบ้า ซึ่งเรียกกระบวนการทำให้เกิดการเจลอย่างช้า ๆ จากนั้นนำยางฟองน้ำไปวัลคาไนซ์โดยใช้ความร้อน ซึ่งปกติจะใช้ไอน้ำ ขั้นต่อไปเปิดเบ้าลอกฟองยางที่วัลคาไนซ์แล้ว และยังเปียกอยู่ออกจากเบ้า นำไปล้างน้ำเพื่อกำจัดสิ่งที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น สบู่

หรือสารเคมีอื่น แล้วนำไปอบในตู้อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ลำดับการเตรียมยางฟองน้ำสามารถแสดงดังภาพข้างล่าง

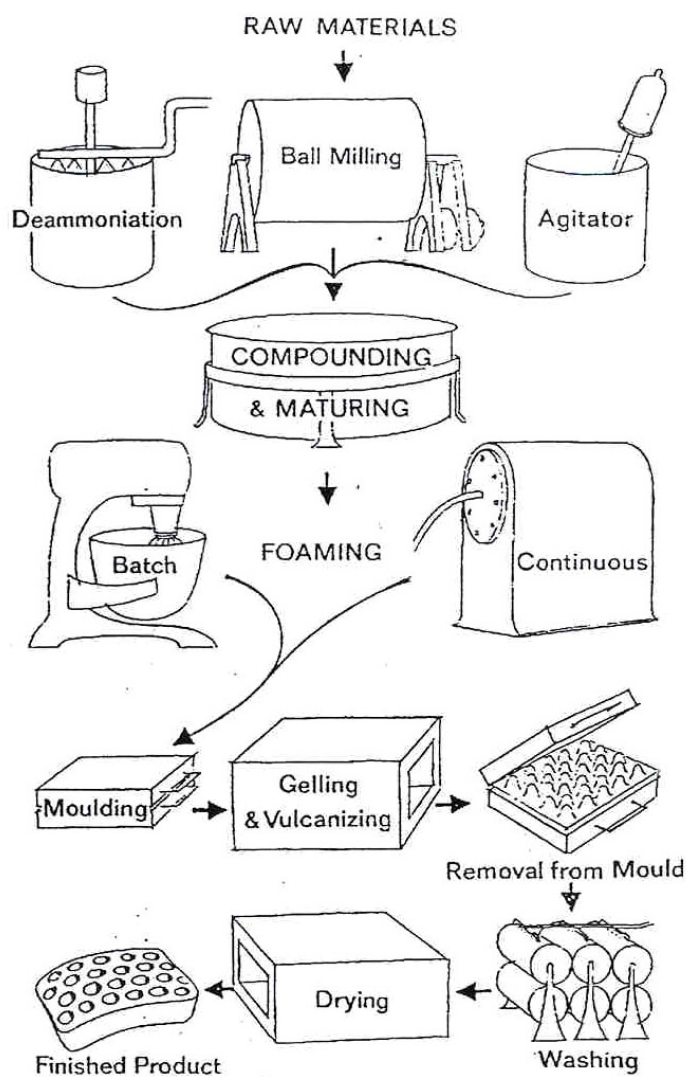


Figure 1. Step for latex foam preparation.

ที่มา : NR Technical Bulletin (1966a)

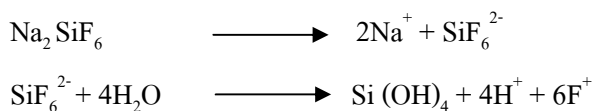
4. องค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อกระบวนการผลิตยางพองน้ำ

4.1 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำยาง

น้ำยางธรรมชาติที่ใช้ในการทำยางพองน้ำโดยมากจะใช้น้ำยางชั้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตยางพองน้ำที่เลือกใช้ ซึ่งอาจทำได้โดยการเติมสารในกลุ่มฟอรัมาลดีไฮด์หรือใช้กระบวนการทางกลโดยการพ่นอากาศขึ้นไปที่ผิวหน้ายางและกวนน้ำยางในอัตราเร็วประมาณ 50 รอบต่อนาที จนกระทั่งระดับของแอมโมเนียลดลงจนอยู่ที่ระดับ 0.12-0.22% ในทางปฏิบัติ ถ้าในกรณีที่เลือกใช้กระบวนการตีพองแบบไม่ต่อเนื่อง จะควบคุมให้มีปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางประมาณ 0.22% ส่วนถ้าเลือกใช้กระบวนการตีพองแบบต่อเนื่อง จะควบคุมให้มีปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางประมาณ 0.12% (NR Technical Bulletin, 1966b)

4.2 โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์

สารก่อเจลที่นิยมในการผลิตยางพองน้ำคือ โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ โดยมักจะเตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยในตัวกลางที่เป็นน้ำ ซึ่งมีค่า pH ประมาณ 3.3 ณ อุณหภูมิห้อง โดยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะช่วยควบคุมเวลาในการเกิดเจลและช่วยในการจัดตัวของฟองยางให้จับตัวแน่นขึ้นและยึดติดกันได้ดี อย่างไรก็ตามการเกิดซิลิโคนไฮดรอกไซด์ (Silicon hydroxide, $\text{Si}(\text{OH})_4$) ดังแสดงในสมการเคมีข้างล่าง ซึ่งจะดูดซับสารพวกสบู่จากอนุภาคของน้ำยาง อาจทำให้เกิดความไม่เสถียรของการเกิดเจลได้



4.3 ซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารก่อเจลที่เมื่อใช้ร่วมกับโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ แล้วจะทำให้เกิดเจลในน้ำยางชั้นดีมากขึ้น ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากสารตั้งต้นดังกล่าวคือ ซิงค์เอมีน (Zinc amine complexes, $\text{Zn}(\text{NH}_3)_n^{2+}$) จะไปรวมตัวกับสบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเกิดเป็น Insoluble zinc soap ซึ่งช่วยลดความเสถียรของน้ำยางลงทำให้เกิดเจลได้ง่ายขึ้น (นนทศักดิ์, 2523)

4.4 สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent)

ระบบการวัลคาไนซ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางพองน้ำ โดยปกติจะขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ทำยางพองน้ำ สำหรับน้ำยางธรรมชาติ ระบบวัลคาไนซ์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ กำมะถันที่ปริมาณประมาณ 2 phr โดยใช้ร่วมกับ Zinc-daily dithiocarbamate เช่น Zinc-diethyl dithiocarbamate (1 phr) เป็นสารตัวเร่งการวัลคาไนซ์ และอาจมีการใช้สารตัวเร่งเสริมในปริมาณ

เล็กน้อย ซึ่งเป็นการเพิ่มโมดูลัสความยืดหยุ่น (elastic modulus) ให้กับฟองยางและความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มขึ้น เช่น สารตัวเร่งเสริมในกลุ่ม Thiazoles เช่น 2-mercaptobenzothiazole แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของความเป็นกรดเล็กน้อย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความหนืดและความไม่เสถียรของน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้ (นนทศักดิ์, 2523)

ส่วนการใช้ 2-benzothiazyl disulphide อาจจะไม่เหมาะสมเพราะมีความว่องไวต่ำที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ปกติที่ใช้สำหรับยางพองน้ำ แม้ว่าสามารถนำสารละลายต่างของ 2-mercaptbenzothiazole เช่น สารละลายโลหะ alkali-metal 2-mercaptbenzothiazole มาใช้ได้ แต่เนื่องจากความเป็นต่างของสารละลายจะทำให้สมบัติการเป็นเจลของยางพองน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วยเหตุนี้จึงแนะนำให้ใช้อนุพันธ์ของซิงค์ที่ไม่ละลายน้ำ คือ Zinc 2-mercaptbenzothiazolate และพบว่าการใช้ Zinc 2-mercaptbenzothiazolate แทนที่ Zinc-diethyl dithiocarbamate เป็นการเพิ่มสมบัติทางด้าน compressive modulus และลดค่า compression set แต่มีผลให้ความสามารถในการยึดลดลง โดยทั่วไปปริมาณของ Zinc 2-mercaptbenzothiazolate ที่ใช้ในกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันสำหรับยางพองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ และใช้ประมาณ 0.5 phr ส่วนสารประกอบอะมิโน เช่น Diphenylguanidine และ Triethyltrimethylenethiamine ที่ใช้เป็นสารรักษาความเสถียรของฟองยาง เจลเสริมให้กับยางพองน้ำ ยังทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งเสริมในกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มอัตราและระดับการวัลคาไนซ์ ระบบการวัลคาไนซ์เดียวกันนี้ยังสามารถใช้กับการทำยางพองน้ำจากยางชนิดอื่น เช่น น้ำยางเอสปีอาร์ (Styrene Butadiene Rubber Lattices) จะมีความแตกต่างกันที่ในน้ำยางเอสปีอาร์จะใช้ Zinc-diethyl dithiocarbamate น้อยกว่า (0.5-0.75 phr) และใช้ Zinc 2-mercaptbenzothiazolate มากกว่า (ใช้มากกว่า 1 phr) เมื่อเทียบกับการใช้ในน้ำยางธรรมชาติ (เบญจ, 2546)

หมายเหตุ : phr = per hundred rubber

$$\text{phr} = (\% \text{ ความเข้มข้น (w/w)} \times \text{น้ำหนักเปียก (g)}) / 100$$

5. วัสดุกันกระแทก

วัสดุกันกระแทก คือ วัสดุที่นำมาใช้เพื่อปกป้องสินค้าจากความเสียหายเนื่องมาจากการกระแทกอย่างรุนแรง หรือสั่นสะเทือนระหว่างกระบวนการขนส่ง เคลื่อนย้ายและขนถ่าย

5.1 หลักการพื้นฐานที่สำคัญของวัสดุกันกระแทก

หลักการพื้นฐานที่สำคัญ 2 ประการของวัสดุกันกระแทกในการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสินค้า คือ

1. วัสดุกันกระแทกถูกใช้เพื่อดูดซับแรงกระแทกและปกป้องการส่งผ่านแรงกระแทกมายังตัวสินค้า

2. วัสดุกันกระแทกมีประสิทธิภาพในการลดการเคลื่อนที่ของสินค้าที่บรรจุภายในหีบห่อ ซึ่งเป็นการลดการเคลื่อนที่ที่มากกระแทกกันจากการสั่นสะเทือน

5.2 ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกวัสดุกันกระแทก

ในปัจจุบันมีวัสดุหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทก การเลือกใช้วัสดุที่ให้ผลในการปกป้องเพียงพอรระดับราคาที่เหมาะสมจะช่วยควบคุมต้นทุนของสินค้าและลดการสูญเสียของสินค้าลงได้ ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกวัสดุกันกระแทก คือ

1. รูปร่าง ขนาด และน้ำหนักของสินค้า
2. ความเปราะบางของสินค้า
3. ลักษณะของการขนส่ง
4. สมบัติ ราคา และการใช้ประโยชน์อื่นๆของวัสดุกันกระแทก

5.3 ชนิดของวัสดุกันกระแทก

วัสดุกันกระแทกที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ แผ่นกระดาษลูกฟูก โฟมพอลีสไตรีน โฟมพอลิยูรีเทน โฟมพอลิเอทิลีน แผ่นพลาสติกอัดอากาศ ฝอยไม้ และฝอยกระดาษ วัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติ และความเหมาะสมต่อการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนี้

5.3.1 แผ่นกระดาษลูกฟูก

แผ่นกระดาษลูกฟูก ใช้ทำเป็นแผ่นรองตัวกัน เพื่อเก็บสินค้าภายในบรรจุภัณฑ์ หรือทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มสินค้า แผ่นกระดาษลูกฟูกมีข้อจำกัดในการดูดซับแรงกระแทกอย่างรุนแรง และไม่คืนรูปกลับสู่สภาพเดิมหลังถูกแรงกระทำ มีการดูดซึมความชื้น และอ่อนตัวลงในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสูง แต่เนื่องจากการที่สามารถนำกลับเข้ากระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาจากเศษวัสดุเหลือหลังใช้งาน ตัวอย่างการนำกระดาษลูกฟูกมาใช้งาน ได้แก่ การใช้แผ่นชนิด 3 ชั้นในการกั้นแบ่งช่องของกล่องบรรจุเครื่องแก้ว เพื่อป้องกันการกระทบกระแทกซึ่งกันและกัน หรือใช้ทำหน้าที่ลดการเคลื่อนที่ภายในกล่องหัตถกรรมที่มีรูปทรงไม่แน่นอน กระดาษลูกฟูกที่มีชั้นกระดาษ 2 ชั้น (กระดาษลูกฟูกหน้าเดียว) ใช้เพื่อการห่อหุ้มเป็นหลัก เช่น ใช้ห่อหุ้มชิ้นส่วนของเฟอร์นิเจอร์หรือชิ้นส่วนของเครื่องจักร

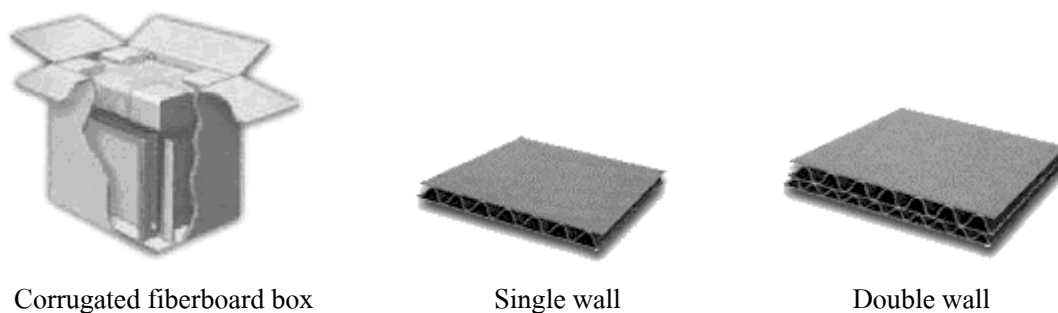


Figure 2. Corrugated fiberboard box.

ที่มา : <http://www.tipack.com/th/product.php> (15 มีนาคม 2550)

5.3.2 โฟมพอลีสไตรีน

โฟมพอลีสไตรีน วัสดุมีโครงสร้างเป็นเซลล์ปิด น้ำหนักเบามาก มีคุณสมบัติป้องกันการกระแทกได้เป็นอย่างดี ไม่ดูดซับความชื้น แต่มีขีดจำกัดในการขึ้นรูป ทำให้ไม่เหมาะกับงานที่ต้องรับการกระแทกรุนแรงหลายๆ ครั้ง มีลักษณะกึ่งแข็ง สามารถขึ้นรูปทรงซับซ้อนได้ง่าย และมีราคาที่ไม่แพงเกินไป เช่น ใช้ในรูปของการทำตามแม่แบบเฉพาะตามรูปของสินค้าแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดความหนาต่างๆ และขึ้นรูปเป็นชิ้นเล็กๆ ในกรณีใช้งานหลายๆ และในการขึ้นรูปสามารถเติมสีเข้าไปเพื่อให้เกิดความสวยงาม โฟมพอลีสไตรีนมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่การใช้งานทำให้เกิดปัญหาเศษวัสดุเหลือใช้ เนื่องจากสลายตัวได้ยาก ตัวอย่างการนำโฟมพอลีสไตรีนมาใช้งาน ได้แก่ การนำโฟมไปขึ้นรูปจากแม่แบบใช้กับเครื่องแก้ว เซรามิก อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือเครื่องใช้ที่มีความประณีต ชนิดชิ้นเล็กๆ ใช้สำหรับเติมในช่องว่างของกล่องที่ใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงไม่แน่นอน



Figure 3. Polystyrene foam.

ที่มา : <http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene> (15 มีนาคม 2550)

5.3.3 โฟมพอลิยูรีเทน

โฟมพอลิยูรีเทน มีโครงสร้างเป็นเซลล์ปิดจนถึงเซลล์เปิด 80 เปอร์เซ็นต์ โดยจะปล่อยอากาศออกจากเซลล์เมื่อได้รับแรงกระแทกและดูดอากาศกลับเมื่อหมดแรงกระแทก มีการคืนรูปที่ดีมากทำให้เป็นวัสดุกันกระแทกที่ดี ไม่ดูดซับความชื้นในอากาศ มีการใช้งานทั้งชนิดที่ขึ้นรูปจากแม่แบบมาก่อนและขึ้นรูปด้วยการฉีดเข้าไปขยายตัวในช่องว่าง ในกรณีขึ้นรูปด้วยวิธีฉีดเข้าไปขยายตัวในช่องว่าง สินค้าจะถูกนำมาห่อหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (ปกติใช้ฟิล์มพอลิเอทิลีน) เพื่อป้องกันการติดของโฟมที่ใส่ไม่ให้เกาะติดสินค้า จากนั้นวางสินค้าดังกล่าวลงในกล่องแล้วฉีดโฟมลงในที่ว่าง การใช้เครื่องเติมโฟมขนาดเล็กจะช่วยให้เคลื่อนย้ายได้ง่ายขึ้น การใช้งานโฟมชนิดนี้จะพบในการห่อสินค้าที่ค่อนข้างละเอียดอ่อน เครื่องมือที่มีราคาแพงหรือสินค้าที่มีขนาดรูปทรงเปลี่ยนแปลงบ่อยมากๆ

5.3.4 โฟมพอลิเอทิลีน

โฟมพอลิเอทิลีน มีโครงสร้างเป็นแบบเซลล์ปิด มีการคืนรูปได้ดีหลังรับแรงกระแทก น้ำหนักเบา ทนทานต่อสารเคมี โฟมพอลิเอทิลีนมีการใช้ใน 2 รูปแบบ คือ ครอสลิงค์ (Crosslink) และนอนครอสลิงค์ (Non Crosslink) ชนิดครอสลิงค์จะมีน้ำหนักมากกว่า และมีราคาสูงกว่าชนิดนอนครอสลิงค์ แต่จะมีสมบัติในการเป็นวัสดุกันกระแทกที่ดีกว่า มีการผลิตโฟมชนิดนี้ในรูปแบบสี่เหลี่ยมที่มีความหนาต่างกัน สามารถตัดหรือเลื่อยแล้วนำมาเชื่อมต่อด้วยความร้อนหรือกาวเพื่อให้ได้รูปทรงต่างๆ การผลิตอีกวิธีหนึ่ง คือการผลิตจากแม่แบบ ตัวอย่างการใช้งานโฟมพอลิเอทิลีนได้แก่ การใช้เป็นวัสดุกันกระแทกให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้านและ เครื่องมือต่างๆ



Figure 4. Polyethylene foam.

ที่มา : http://www.alibaba.com/catalog/10953710/Expanded_Polyethylene_EPE_Foam.html

5.3.5 แผ่นพลาสติกอัดอากาศ

แผ่นพลาสติกอัดอากาศทำจากแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน 2 แผ่นประกบกัน โดยทำให้เกิดที่กั้นอากาศเล็กๆ ขึ้นระหว่างแผ่น มีการผลิตออกมาเป็นม้วน ปกติใช้ห่อหุ้มสินค้าชิ้นเล็กๆ เช่น เซรามิค เครื่องหัตถกรรม บางครั้งใช้ห่อหุ้มภายนอกอุปกรณ์ใหญ่ๆ เช่น ตู้เย็น ซึ่งมีการขนส่งโดยแผ่นรองรับสินค้า แผ่นพลาสติกอัดอากาศมีความเหนียวทน สะอาด และไม่เป็นตัวการทำให้เกิดการผุกร่อน ไม่มีการดูดซับความชื้น ทนต่อแรงกระแทก แต่ไม่เหมาะกับสินค้าที่มีความไวต่อการสัมผัสความร้อน จากที่มีการผลิตเป็นม้วนจึงง่ายต่อการนำมาใช้งานกับสินค้าที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน

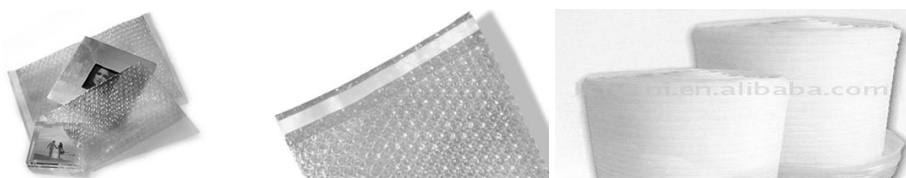


Figure 5. Air bubble pad.

ที่มา : http://www.alibaba.com/catalog/11419314/Air_Bubble_Paded_Envelope.html

5.3.6 ฝอยไม้

ฝอยไม้เป็นวัสดุกันกระแทกที่มีการใช้งานมานาน โดยใช้ใส่ลงในช่องว่างของกล่องหรือลัง ความสามารถในการเป็นวัสดุกันกระแทกขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการบรรจุและความชื้น โดยปกติมีค่าประมาณ 12-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีการใช้งานอย่างกว้างขวางตั้งแต่ผักผลไม้จนกระทั่งสินค้าอุตสาหกรรม แต่ในปัจจุบันประเทศอุตสาหกรรมมักไม่นิยมใช้ฝอยไม้เป็นวัสดุกันกระแทกแล้วเนื่องจากเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเมื่อใช้กับผักผลไม้ ในขณะที่ความชื้นของฝอยไม้เองอาจก่อให้เกิดการผุกร่อนกับสินค้าอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามในสินค้าบางประเภทก็ยังมีความต้องการใช้เนื่องจากเป็นวัสดุที่ให้ลักษณะของความเป็นธรรมชาติเมื่อนำมาใช้กับสินค้าประเภทของขวัญหรือสินค้าที่แสดงความมีคุณค่าสูง เช่น หินแกะสลักขนาดเล็ก หรืองานฝีมือจำพวกเซรามิค

5.3.7 ฝอยกระดาษ

ฝอยกระดาษมีการใช้งานเช่นเดียวกับฝอยไม้ เป็นวัสดุที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย มีข้อเสียคือ ดูดซับความชื้นในอากาศได้ง่าย มีการปนเปื้อนของฝุ่นละอองและไม่สะอาด ในประเทศอุตสาหกรรมจะไม่นิยมใช้ โดยเฉพาะฝอยกระดาษที่ได้จากกระดาษที่ผ่านการพิมพ์มาก่อน

ในปัจจุบันวัสดุกันกระแทกประเภทโฟมมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถผลิตให้ได้ความหนาแน่นตรงตามความต้องการได้ แต่เนื่องจากโฟมหลายชนิด มีการสลายตัวได้ยาก และบางชนิดไม่สามารถนำกลับเข้าสู่กระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ จึงก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการจัดการเศษวัสดุที่เหลืออยู่

6. พื้นฐานของการกระแทกทางบรรจุภัณฑ์

6.1 คำจำกัดความ

Shock คือแรงกระแทกที่มีความรุนแรงสูงและเกิดภายในระยะเวลาสั้นๆ

Shock fragility เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความสามารถของการต้านทานแรงกระแทกสูงสุดของผลิตภัณฑ์ ก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะแตกหัก

6.2 สัญลักษณ์

G คือหน่วยวัดของแรงกระแทกโดยเปรียบเทียบเป็นจำนวนเท่าของความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก และจะเป็นตัวบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงความเร็วต่อเวลา

$$\text{Deceleration} = \text{Velocity change} / \text{Time}$$

$$G = \text{Deceleration} / g$$

g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ 386.4 in/sec^2 หรือ 32.2 ft/sec^2 หรือ 9.81 m/sec^2 (Burgess, 2002)

7. เครื่องมือวัดค่าแรงกระแทก (Accelerometer)

เป็นเครื่องมือวัด (Sensor) โดยวัดค่าแรงกระแทกในหน่วย G หลักการโดยทั่วไปคือ เซรามิกซึ่งมีสมบัติ piezoelectric เมื่อถูกแรงกระแทกจากแท่งเหล็กจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร เมื่อนำไปต่อกับเครื่องวัดและขยายสัญญาณก็จะสามารถอ่านค่าแรงกระแทกได้

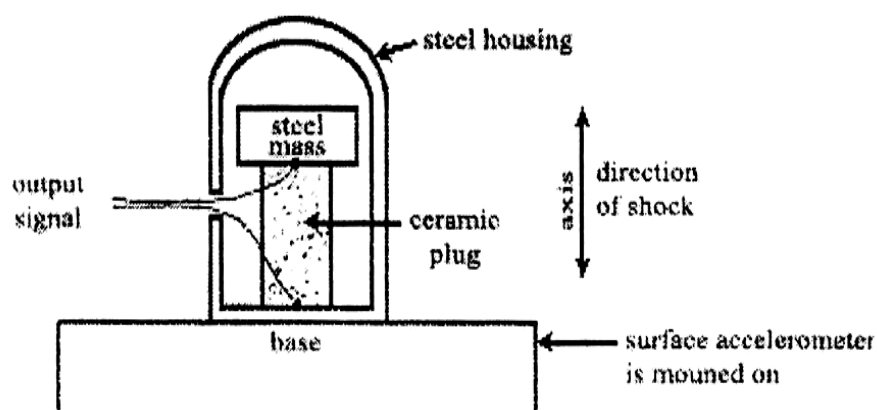


Figure 6. Accelerometer.

ที่มา : Burgess (2002)

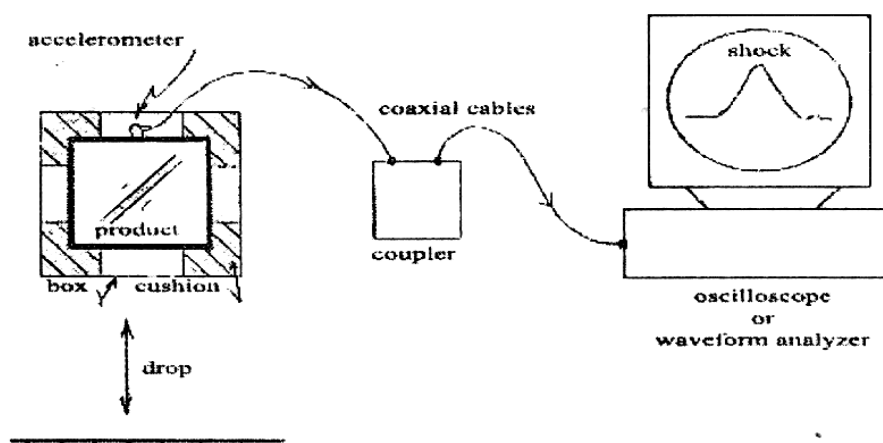


Figure 7. Setup for measuring in – package shock.

ที่มา : Burgess (2002)

8. สัญญาณแรงกระแทก (Shock pulse)

สัญญาณแรงกระแทกเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งหรือความหน่วง (Acceleration or Deceleration) กับเวลาที่เกิดการตกกระแทกอย่างฉับพลัน โดยจะแสดงค่าแรงกระแทกสูงสุด (Peak G), เวลาที่ใช้ในการตกกระแทก (Shock duration) อัตราเร็วที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดจากการตกกระแทกจนถึงสิ้นสุดการกระดอนขึ้น (Velocity change) ดังภาพ

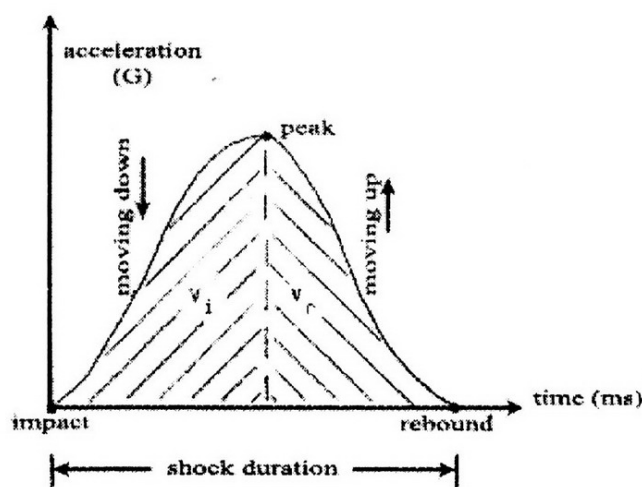


Figure 8.Shock pulse.

ที่มา : Burgess (2002)

จากกราฟสรุปได้ดังนี้

1. แรงกระแทกสูงสุด (Peak G) คือจุดที่มีค่า G สูงสุดจากกราฟสัญญาณแรงกระแทก (Shock pulse)
2. เวลาที่ใช้ในการตกกระแทก (Shock duration) คือช่วงฐานของกราฟตั้งแต่เริ่มต้นตกกระแทก (Impact) จนกระทั่งสิ้นสุดการกระดอน (Rebound) มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที
3. อัตราเร็วที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดตั้งแต่การตกกระแทกจนถึงสิ้นสุดการกระดอน คือพื้นที่ใต้กราฟ หรือ

$$\Delta V = v_i + v_r$$

โดย $\Delta V = \text{Shape factor} \times \text{base} \times \text{height}$ หรือพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณแรงกระแทก สำหรับกราฟรูปสามเหลี่ยม Shape factor มีค่าเท่ากับ 0.5, สี่เหลี่ยมเท่ากับ 1.0 และ Half sine เท่ากับ 0.636

4. ความสูงของการกระแทก (Drop height) มีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วในการตกกระแทก (Impact velocity) โดย

$$v_i = \sqrt{2gh}$$

5. สัมประสิทธิ์การคืนตัว (Coefficient of restitution) ใช้สัญลักษณ์ "e" มีค่าตั้งแต่ 0-1 โดย

$$e = \frac{v_r}{v_i}$$

เมื่อ $e = 0$ หมายถึง ไม่มีการคืนตัว คือความเร็วของการกระดอนมีค่าเป็นศูนย์ หรือไม่เกิดการกระดอนขึ้น

$e = 1$ หมายถึง เกิดการคืนตัวอย่างสมบูรณ์ หรืออัตราเร็วของการกระดอนมีค่าเท่ากับ

อัตราเร็วการตกกระแทก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์ของน้ำอย่างพาราในรูปแบบของวัสดุกันกระแทก
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารที่ทำให้เกิดฟอง (โพแทสเซียมโอเลียด) สารตัวเติม (แคลเซียมคาร์บอเนต) และกระบวนการให้ความร้อน (อบและนึ่งไอน้ำ) ต่อสมบัติของยางฟองน้ำ
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุกันกระแทกจากยางฟองน้ำ
4. เพื่อเปรียบเทียบสมบัติการป้องกันแรงกระแทกระหว่างยางฟองน้ำกับวัสดุสังเคราะห์โฟมพอลิสไตรีน
5. เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตยางฟองน้ำกับวัสดุสังเคราะห์โฟมพอลิสไตรีน

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

ในส่วนของงานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการขึ้นรูปและสมบัติของยางพองน้ำ เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย วิธีดำเนินการวิจัย อุปกรณ์ สารเคมีสำหรับยางพองน้ำ เทคนิคการเตรียมยางพองน้ำในการวิจัย และการทดสอบ

วิธีดำเนินการ

การศึกษาผลของปัจจัยในการผลิตยางพองน้ำต่อสมบัติในการป้องกันการกระแทก ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ดังนี้

1. อิทธิพลของปริมาณสารทำให้น้ำยางเป็นฟอง โพลีเทสซีเอ็ม โอลิเอต 3 ระดับ ความเข้มข้น ได้แก่ 0.75, 1.0, 1.4 phr
2. อิทธิพลของสารตัวเติม แคลเซียมคาร์บอเนต 4 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 10, 20 และ 30 phr
3. วิธีการให้ความร้อนในกระบวนการผลิต 2 วิธี ได้แก่ การอบไอน้ำ และการอบด้วยตู้อบ

วิธีการวิจัยสามารถสรุปได้ ดัง Figure 9

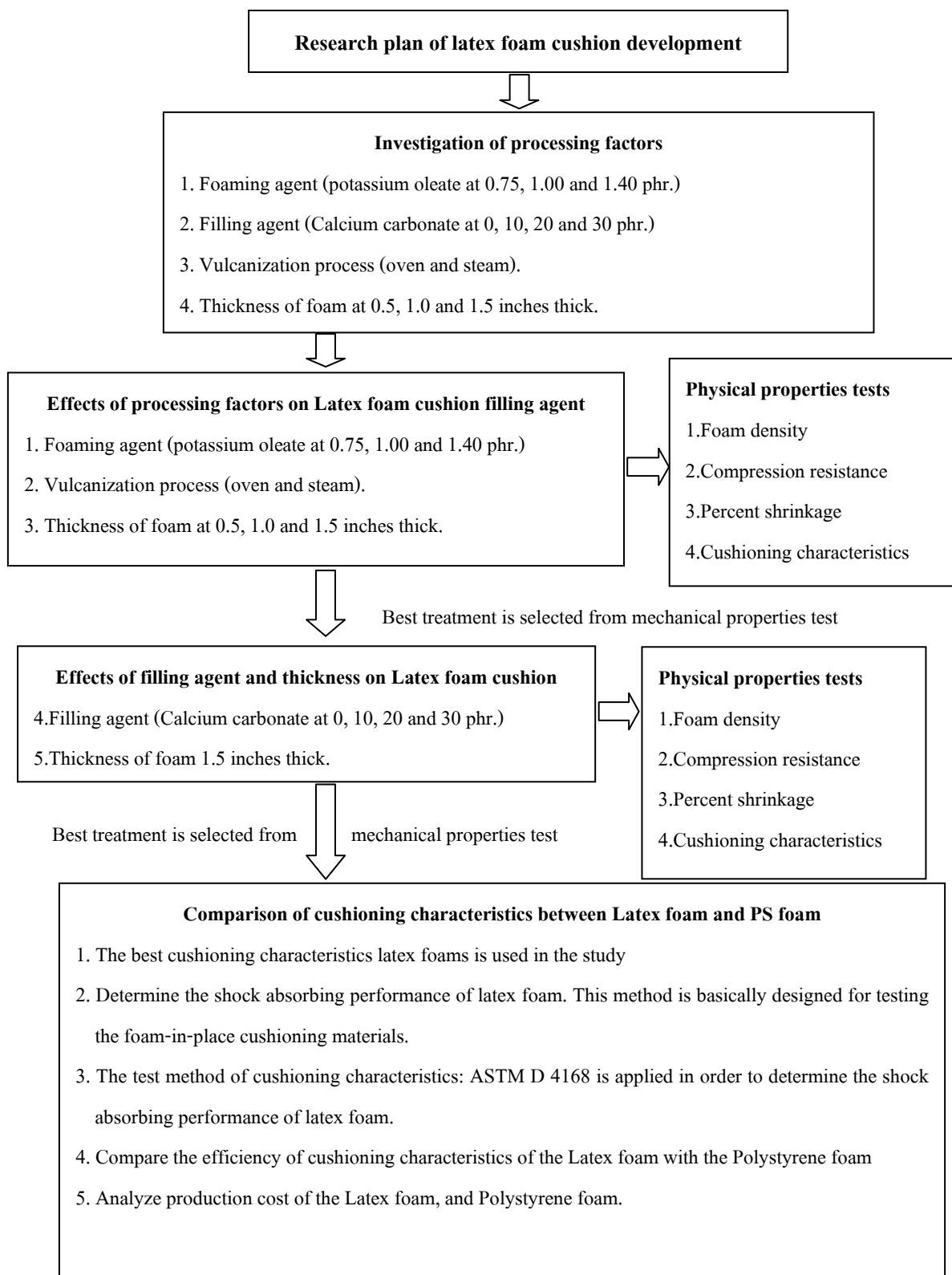


Figure 9. Flow chart of experimental plan.

1. สูตรการผลิตยางฟองน้ำ

สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้เริ่มการพัฒนาระบวนการผลิตวัสดุกันกระแทกโดยอ้างอิงสูตรการผลิตยางฟองน้ำพื้นฐานของศูนย์วิจัยยางสงขลา โดยมีสูตรดัง Table 1

Table 1. The formulation for Dunlop process of Songkhla Rubber Research.

Materials	Weight	
	Dry (phr)	Wet (g)
High ammonia concentrated natural latex 60% DRC	100	167
Potassium-oleate solution 10%	0.75, 1.00, 1.40	7.5, 10.0, 14.0
Sulphur dispersion 50%	2.5	5.0
Zinc-N-diethyl dithiocarbamate dispersion 50%	1.0	2.0
Zinc-2-mercaptobenzothiazole dispersion 50%	1.0	2.0
Wing stay L dispersion 50%	1.0	2.0
Zinc Oxide dispersion 50%	5.0	10.0
Diphenyl guanidine dispersion 33%	1.0	3.0
Sodium silicofluoride dispersion 20%	0.45	2.25
Calcium carbonate dispersion 50%	10, 20, 30	20, 40, 60

ที่มา : ศูนย์วิจัยยางสงขลา (2546)

2. วิธีการเตรียมยางฟองน้ำ

1. เตรียมน้ำยางข้นและสารเคมีตามสูตร
2. ปั่นน้ำยางข้น และเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงในเครื่องปั่นฟองตามลำดับดังนี้

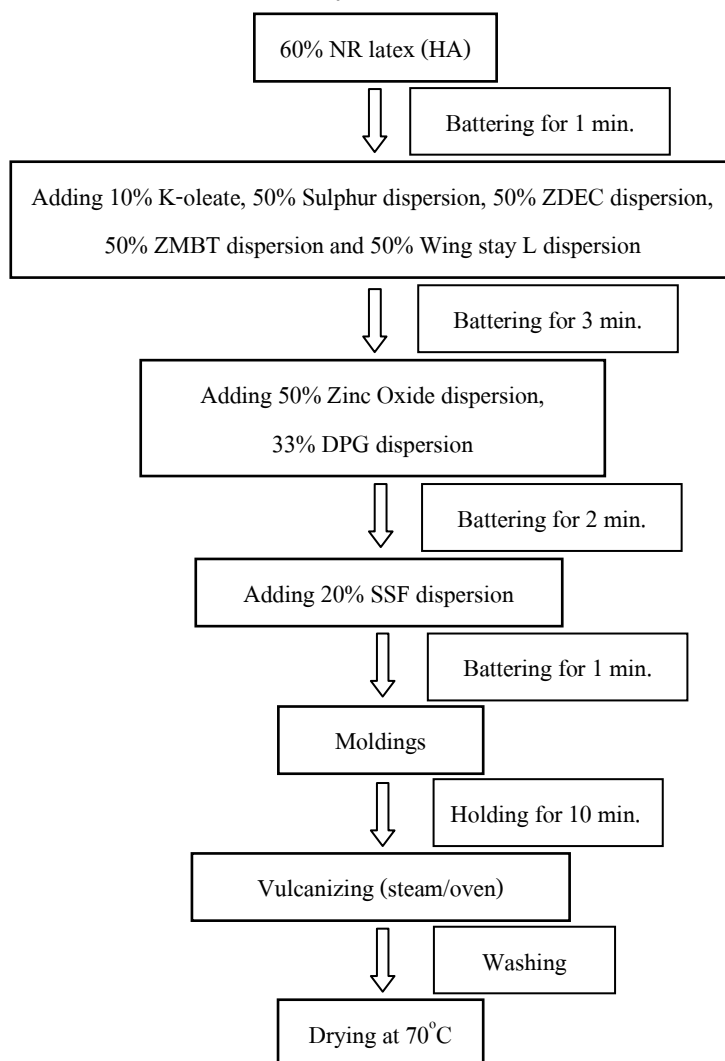


Figure 10. Flow chart of latex foam preparation.

3. นำฟองยางที่ปั่นได้เทลงในเบ้า พิมพ์โลหะ แล้วนำเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที หรือนำไปนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ยางฟองน้ำเกิดการคงรูป
4. นำยางฟองน้ำออกจากเบ้าพิมพ์ใส่ลงในอ่างล้างและรีดสารเคมีที่ตกค้างออกด้วยน้ำสะอาด
5. นำฟองน้ำที่ล้างสารเคมีแล้วไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางพองน้ำ

3.1 การทดสอบความหนาแน่น (Density)

การทดสอบดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D 3574-95 โดยตัดชิ้นยางพองน้ำที่ใช้ในการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง คำนวณความหนาแน่นของตัวอย่างโดยใช้สูตรดังนี้

$$D = \frac{M}{V}$$

D = ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ (g/cm³)

M = น้ำหนักชิ้นทดสอบ (g)

V = ปริมาตรชิ้นทดสอบ (cm³)

3.2 การทดสอบค่าความสามารถในการทนแรงกด (Compression resistance)

โดยใช้หัวกดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.17 เซนติเมตร กดลงบนชิ้นยางพองน้ำให้ยุบตัวลงเหลือ 50% ของความสูงเดิมหรือจนกว่าชิ้นยางพองน้ำจะเกิดความเสียหาย ด้วยเครื่องทดสอบ ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR30K และใช้ความเร็วในการกด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที

3.3 การทดสอบค่าความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกด (Compression set)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1055-90 โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 มิลลิเมตร สูง 19 มิลลิเมตร แล้ววางชิ้นทดสอบในแผ่นเหล็กอัด (ชุดทดสอบ) กดให้ยุบตัว 50% ของความสูงเดิม ตั้งไว้ประมาณ 15 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง นำออกจากเตาอบ วางทิ้งไว้ 30 นาที วัดความสูงของชิ้นตัวอย่าง โดยมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{Compression set \%} = \left(\frac{t_0 - t}{t_0} \right) \times 100$$

t = ความหนาหลังการทดสอบ (mm)

t₀ = ความหนาเดิม (mm)

3.4 เปอร์เซนต์การหดตัวของพองน้ำ (Percent shrinkage)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1055 โดยการวัดรูปร่างด้านกว้าง-ยาว ความสูงด้านข้าง และความสูงตรงกลางของชิ้นงาน โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดของพองน้ำหลังการวัลคาไนซ์ กับขนาดด้านต่าง ๆ ของเบ้าที่เตรียมในการเตรียมพองน้ำ มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ การหดตัว} = \left(\frac{x_1 - x_2}{x_1} \right) \times 100$$

X_1 = ขนาดของด้านต่าง ๆ ของเบ้า (cm)

X_2 = ขนาดของยางพองน้ำด้านต่าง ๆ หลังวัลคาไนซ์ (cm)

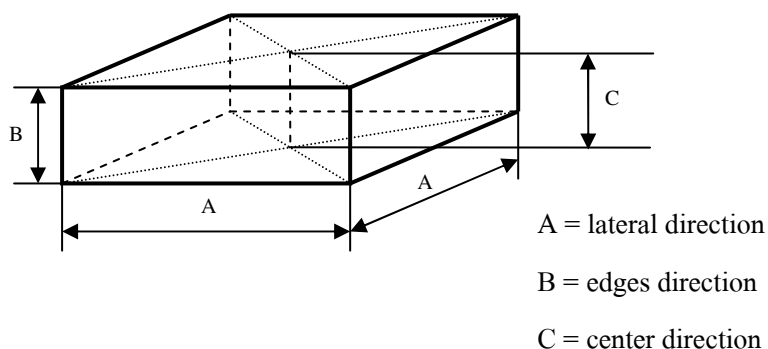


Figure 11. Measuring the shrinkage of latex foam.

3.5 การทดสอบคุณสมบัติการป้องกันแรงกระแทกของยางพองน้ำ

โดยอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 4168 Standard Test Methods For Transmitted Characteristics of Foam- in- Place Cushioning Materials โดยการขึ้นรูปยางพองน้ำตามขนาดของกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้ทดสอบ บรรจุน้ำหนักถ่วงตามระดับน้ำหนักที่ต้องการทดสอบภายในกล่องเหล็ก วางหัววัด Accelerometer ตรงกลางของกล่องเหล็ก ทำการปิดฝากล่องแล้ววางกล่องบนเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop tester) โดยวางก้นกล่องตามแนวราบกับแท่นเครื่องทดสอบ ตั้งความสูงตามระยะที่สัมพันธ์กับน้ำหนักบรรจุที่ทดสอบ กดปุ่มเครื่องทดสอบให้ปล่อยกล่องตกกระแทกในแนวตั้งแบบอิสระ (Free fall drop) อ่านค่าแรงกระแทกที่ส่งผ่านจากยางพองน้ำไปสู่หัววัด

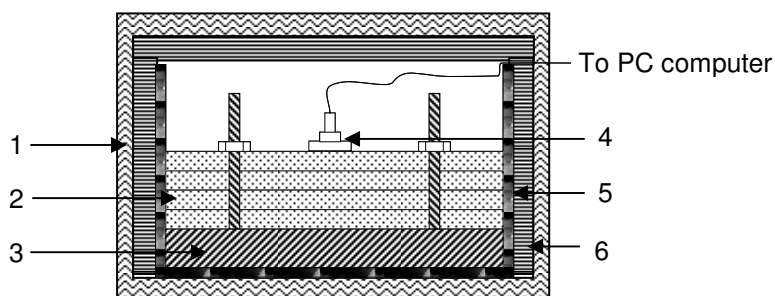


Figure 12. Setup for shock absorbing test; 1. Corrugated box. 2. Ballast weights.

3. Test foam. 4. Accelerometer. 5. Enclosed metal test box. 6. Foam

3.6 การเปรียบเทียบสมบัติการป้องกันการแตกกับโพลีเอสเตอร์

โดยใช้ชุดการทดสอบยางพองน้ำ ซึ่งมีสมบัติการป้องกันแรงกระแทกที่ดีที่สุด เพื่อใช้รองรับน้ำหนักทดสอบขนาด 14.3 กิโลกรัม ซึ่งมีน้ำหนักเช่นเดียวกับจอกคอมพิวเตอร์ขนาด 17 นิ้ว และในกล่องกระดาษลูกฟูกอีกชั้น จากนั้นทำการทดสอบการตกกระแทกโดยอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 4168 โดยผลการทดสอบจะนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับแรงกระแทกกับวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากวัสดุสังเคราะห์โพลีเอสเตอร์

3.7 การศึกษาลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของยางพองน้ำ

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางพองน้ำ ศึกษาโดยใช้การถ่ายภาพด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

4. โปรแกรมทางสถิติ

โปรแกรมทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ โปรแกรม SPSS และใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนในการวิเคราะห์ข้อมูล

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องผสมและตีฟอง ซึ่งประกอบด้วยภาชนะบรรจุขนาด 2 ลิตร และมอเตอร์ตีปั่นเป็นซีลวดความเร็วในการปั่นแบบปรับระดับได้ 5 ระดับ (60-360 รอบต่อนาที) ยี่ห้อ Imaflex รุ่น IF-309

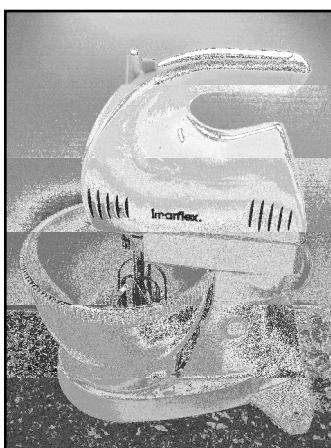


Figure 13. Battering machine.

2. แม่พิมพ์ (Mold) ทำจากโลหะอลูมิเนียม มีขนาดกว้าง 7 นิ้ว ยาว 11 นิ้ว และสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 นิ้ว ตามเงื่อนไขการทดลอง

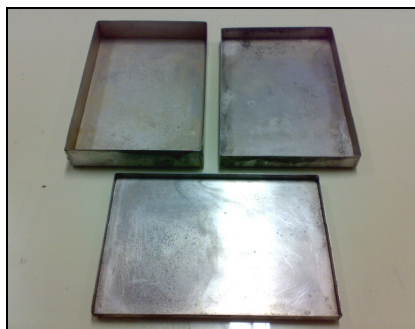


Figure 14. Molds.

3. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Memmert รุ่น UM-500 มีขนาดภายนอก 70 x 54 x 70 เซนติเมตร และขนาดช่องอบภายใน 58 x 40 x 50 เซนติเมตร ผลิตโดยบริษัท Memmert GmbH ประเทศเยอรมัน เป็นตัวให้ความร้อนเพื่อให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์

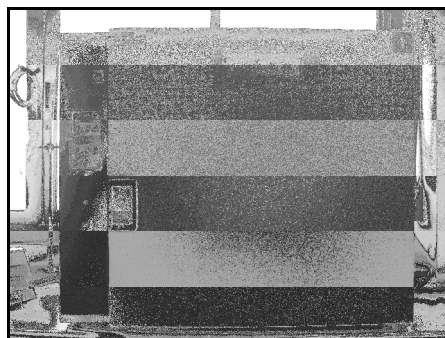


Figure 15. Oven.

4. เครื่องชั่งแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP-2100S



Figure 16. Digital scale.

5. เครื่องทดสอบแรงกด ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR 30 K จัดจำหน่ายโดยบริษัท อินโทรเตอร์ไพร์ส จำกัด



Figure 17. Loading machine.

6. เครื่องวัดและบันทึกแรงกระแทก ยี่ห้อ Lansmont รุ่น Test Partner TP3-Lite ผลิตโดยบริษัท Lansmont และหัววัดแรงกระแทก (Accelerometer) แบบ ICP รุ่น 353B18 ผลิตโดยบริษัท PCB Piezotronics, Sensitivity @ 100.0 Hz 10.05 mV/g, Filter frequency 50 Hz



Figure 18. Accelerometers.

7. เครื่องทดสอบแรงตกกระทบ ยี่ห้อ GOTECH รุ่น GT-7003 จัดจำหน่ายโดยบริษัท สิทธิพร แอสโซซิเอตส์ จำกัด



Figure 19. Drop test machine.

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำจากยางธรรมชาติ

1. น้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโมเนียสูง (High ammonia concentrated natural latex, HA TZ type) มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) ประมาณ 60.08% ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content, TSC) ในน้ำยาง 61.77% และเก็บรักษาด้วยแอมโมเนีย 0.7% ผลิตโดยบริษัท ฉลองน้ำยางชั้น จำกัด
2. สารละลายโพแทสเซียมโอเลต (Potassium oleate solution) เตรียมอยู่รูปสารละลายเข้มข้น 10% (w/v) สารละลายมีลักษณะใส หนืด เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้โพร จำกัด
3. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ลักษณะเป็นผงสีขาวครีมขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยาง เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้โพร จำกัด
4. กำมะถัน (Sulphur, S) เป็นกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้โพร จำกัด
5. ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต (Zinc-N-diethyl dithiocarbamate, ZDEC) มีลักษณะเป็นผงสีขาวเทาขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้โพร จำกัด
6. ซิงค์เมอร์แคปโทเบนโซไทอาโซล (Zinc-2-mercaptobenzothiazole, ZMBT) มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้โพร จำกัด
7. โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride, SSF) มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 20% ทำหน้าที่เป็นสารก่อเจลหลัก เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้โพร จำกัด
8. แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, CaCO₃) มีลักษณะเป็นผงสีขาวครีมขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้โพร จำกัด
9. ไดฟีนิลกวานิดีน (Diphenyl guanidine, DPG) มีลักษณะเป็นผงหยาบสีขาวขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 33% ทำหน้าที่เป็นสารก่อเจลเสริม เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้โพร จำกัด

หมายเหตุ : บริษัท ลักกีโพร จำกัด ตั้งอยู่ที่ 40/204 ถนนคำแหง (สุขาภิบาล 3) แขวงหัวหมาก เขต
บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

หน้าที่ของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางฟองน้ำสามารถสรุปได้ดัง Table 2

Table 2. Chemicals and used in latex foam preparation.

Chemicals	Function
Potassium oleate solution	Foaming agent
Sulphur dispersion	Vulcanizing agent
Zinc-N-diethyl dithiocarbamate dispersion	Accelerator
Zinc-2-mercaptobenzothiazole dispersion	Accelerator
Wing stay L dispersion	Antioxidant
Calcium carbonate dispersion	Filling agent
Zinc Oxide dispersion	Activator gelling agent
Diphenyl guanidine dispersion	Secondary gelling agents
Sodium silicofluoride dispersion	Gelling agent

ที่มา : พงษ์ธร แซ่อูย (2550)

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การเตรียมยางฟองน้ำในการทดลองครั้งนี้ ใช้วิธีการเตรียมและสูตรพื้นฐานโดยอ้างอิงจากสูตรของศูนย์วิจัยยางสงขลา และได้ปรับปรุงอัตราส่วนของสารเคมีให้มีความเข้ากันได้มากขึ้น เนื่องจากสูตรที่อ้างอิงมาจากศูนย์วิจัยยางสงขลานั้นทำให้ยางฟองน้ำที่ได้มีความคงตัวต่ำ และมีการหดตัวสูงเกินไป ได้สูตรปรับปรุงใหม่ดัง Table 3.

Table 3. Formulation of latex foam - Dunlop process.

Materials	Weight	
	Dry (phr)	Wet (g)
High ammonia concentrated natural latex 60% DRC	100	167
Potassium-oleate solution 10%	0.75, 1.00, 1.40	7.5, 10.0, 14.0
Sulphur dispersion 50%	2.5	5.0
Zinc-N-diethyl dithiocarbamate dispersion 50%	1.0	2.0
Zinc-2-mercaptobenzothiazole dispersion 50%	1.0	2.0
Wing stay L dispersion 50%	1.0	2.0
Zinc Oxide dispersion 50%	5.0	10.0
Diphenyl guanidine dispersion 33%	1.0	3.0
Sodium silicofluoride dispersion 20%	0.45	2.25

ผลการเตรียมยางฟองน้ำจากสูตรที่ได้ปรับปรุงแล้วพบว่า ยางฟองน้ำที่เตรียมได้มีลักษณะทางกายภาพดีขึ้นกว่าเดิม การหดตัวลดลง มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น ภายในโครงสร้างของยางฟองน้ำมีความเป็นรูพรุนสม่ำเสมอมากขึ้น โดยสูตรปรับปรุงนี้ถูกนำมาใช้ในการเตรียมยางฟองน้ำเพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ที่เกิดจากการเติมสารก่อฟอง (โพแทสเซียมโอเลต) วิธีการให้ความร้อนที่แตกต่างกันและผลจากการเติมสารตัวเติม (แคลเซียมคาร์บอเนต) ได้ผลการทดลองดังนี้

1. ผลของเติมสารก่อฟอง (โพแทสเซียมโอเลอเตต)

1.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของยางฟองน้ำที่เกิดจากการเติมสารก่อฟอง (โพแทสเซียมโอเลอเตต) ความเข้มข้น 0.75, 1.00 และ 1.40 phr ได้ผลการทดลองดัง Figure 22 พบว่าปริมาณโพแทสเซียมโอเลอเตตที่เติมในสูตรการเตรียมยางฟองน้ำเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของยางฟองน้ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยความหนาแน่นของยางฟองน้ำลดลงตามปริมาณโพแทสเซียมโอเลอเตตที่เพิ่มขึ้น

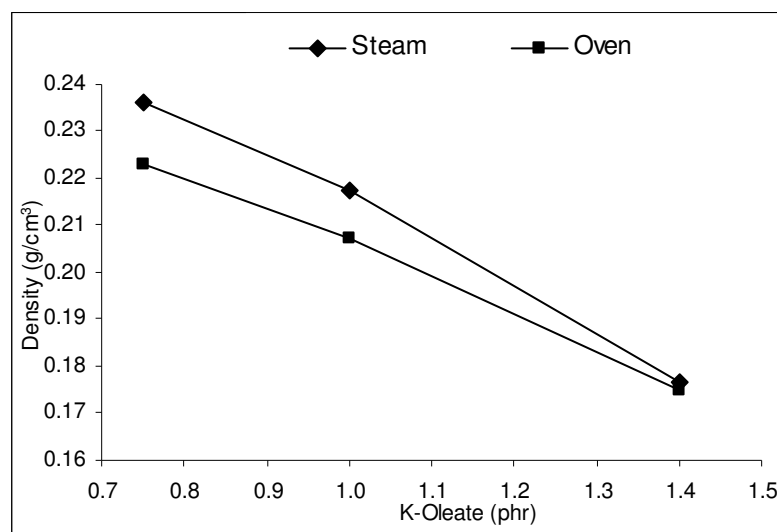


Figure 20. Density of latex foam as a function of potassium oleate.

ยางฟองน้ำที่มีการเติมโพแทสเซียมโอเลอเตตในปริมาณสูงสุด (1.40 phr) มีความหนาแน่นต่ำสุด (0.175 g/cm^3) และสูตรยางฟองน้ำที่มีการเติมโพแทสเซียมโอเลอเตตในปริมาณต่ำสุด (0.75 phr) มีความหนาแน่นสูงสุด (0.236 g/cm^3) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโพแทสเซียมโอเลอเตตเป็นสารที่ทำให้หน้าที่ยางฟองน้ำมีการพองตัว เมื่อใช้ในปริมาณมากขึ้น การเกิดฟองง่ายขึ้น มีฟองมาก ลักษณะฟองมีความสม่ำเสมอมากขึ้น โพแทสเซียมโอเลอเตตยังมีส่วนช่วยในการลดความตึงผิวของน้ำยางชั้นด้วย (พงษ์ธร, 2548) ดังนั้นยางฟองน้ำที่มีโพแทสเซียมโอเลอเตตในปริมาณต่ำจึงสามารถเกิดฟองได้ยาก มีปริมาณฟองน้อยและไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการเติมโพแทสเซียมโอเลอเตตลงไปปริมาณต่ำ ปริมาตรของยางฟองน้ำที่เท่ากันมีปริมาณของฟองอากาศน้อยกว่า ส่งผลให้ยางฟองน้ำมีความหนาแน่นสูงกว่า ในทางกลับกันเมื่อเติมโพแทสเซียมโอเลอเตตในปริมาณสูงขึ้น ยางฟองน้ำมีความหนาแน่นต่ำลง เนื่องจากเกิดฟองได้ง่ายขึ้น ทำให้ยางฟองน้ำมีปริมาณของอากาศต่อหน่วยปริมาตรของยางฟองน้ำสูงกว่า

ปริมาณโพแทสเซียมโอเลตเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อความหนาแน่นของยางฟองน้ำ โดยสูตรยางฟองน้ำที่มีปริมาณโพแทสเซียมโอเลตต่ำ ทำให้อย่างฟองน้ำเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น และมีการหดตัวต่ำ เนื่องจากในระหว่างการตีฟองเกิดฟองอากาศขึ้นค่อนข้างน้อยและไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผนังของฟองแข็งแรงเกินไปเกิดการขยายตัวได้ยาก จึงมีส่วนของเนื้อยางมากกว่าส่วนของฟองอากาศ แต่เมื่อเพิ่มโพแทสเซียมโอเลตในปริมาณมากขึ้น พบว่ายางฟองน้ำมีความยืดหยุ่นมากขึ้น นุ่ม และมีการหดตัวสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากการมีฟองอากาศที่มากขึ้น ทำให้ฟองอากาศมีการแตกตัวและยุบตัวลงบางส่วน ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากการจับตัวของฟองยางซ้ำจึงส่งผลให้มีการหดตัวมากขึ้น และยังพบว่ายางฟองน้ำจะมีการหดตัวที่สูงขึ้นเมื่อมีปริมาณโพแทสเซียมโอเลตที่มากขึ้น

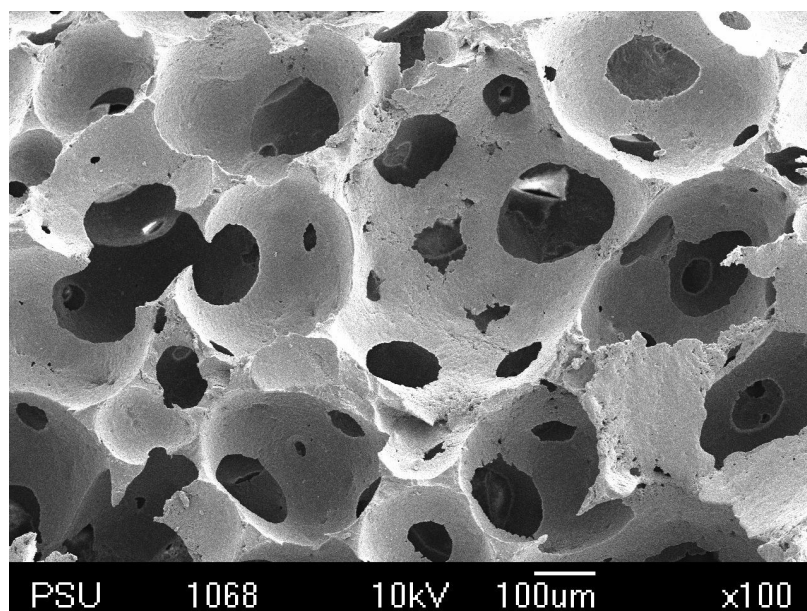


Figure 21. SEM of latex foam density of 0.175 g/cm^3 .

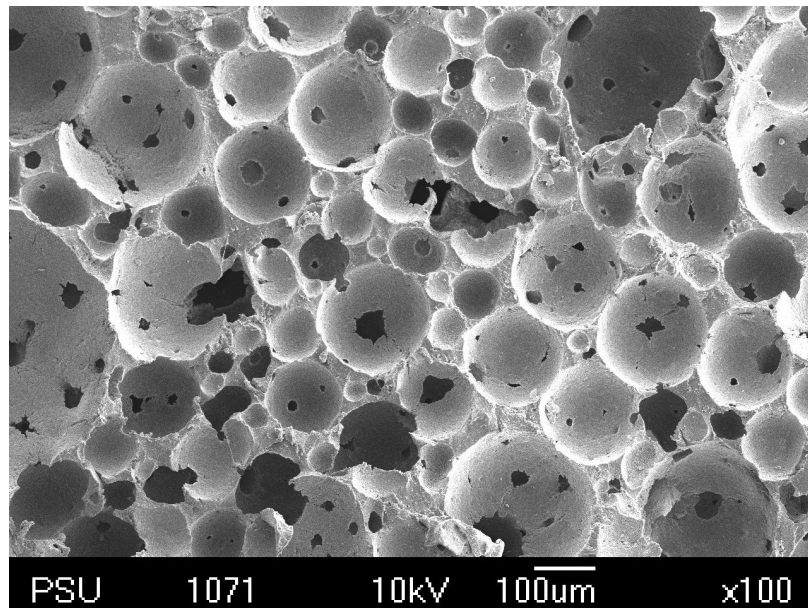


Figure 22. SEM of latex foam density of 0.236 g/cm^3 .

จาก Figure 21 เป็นภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของยางพองน้ำที่มีความหนาแน่นต่ำสุด (0.175 g/cm^3) พบว่าฟองอากาศภายในยางพองน้ำมีขนาดใหญ่ มีลักษณะการเรียงตัวแบบหลวมๆ มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและมีลักษณะเป็นเซลล์เปิดอย่างเห็นได้ชัด และ Figure 22 เป็นภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของยางพองน้ำที่มีความหนาแน่นสูงสุด (0.236 g/cm^3) พบว่าโครงสร้างของยางพองน้ำมีฟองอากาศขนาดเล็ก การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ และมีระยะห่างระหว่างเซลล์น้อย

วิธีการให้ความร้อนที่ต่างกัน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของยางพองน้ำ โดยพบว่ายางพองน้ำที่ผ่านวิธีการให้ความร้อนแบบอบมีความหนาแน่นต่ำกว่า ($0.175 - 0.223 \text{ g/cm}^3$) ยางพองน้ำที่ผ่านวิธีการให้ความร้อนแบบนึ่ง ($0.175 - 0.236 \text{ g/cm}^3$) และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันเมื่อเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมโอเลตขึ้น โดยพบว่าในกระบวนการให้ความร้อนแบบอบน้ำถูกระเหยแห้งทันที ส่งผลให้ยางพองน้ำมีความคงตัวสูง มีการหดตัวน้อยกว่า ในขณะที่ยางพองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบนึ่ง ยางพองน้ำเซตตัวได้ช้า ยางพองน้ำมีการหดตัวสูง จึงส่งผลให้ยางพองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบนึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่า

1.2 ความสามารถในการต้านทานแรงกด (Compression resistance)

การทดสอบความสามารถในการต้านทานต่อแรงกดของยางพองน้ำ ทดสอบโดยใช้หัวกดทรงกระบอก กดลงบนชิ้นยางพองน้ำจนกระทั่งยางพองน้ำยุบตัวลงไป 50 เปอร์เซ็นต์ของความหนาเดิม ได้ผลการทดสอบดัง Figure 23 และ Figure 24

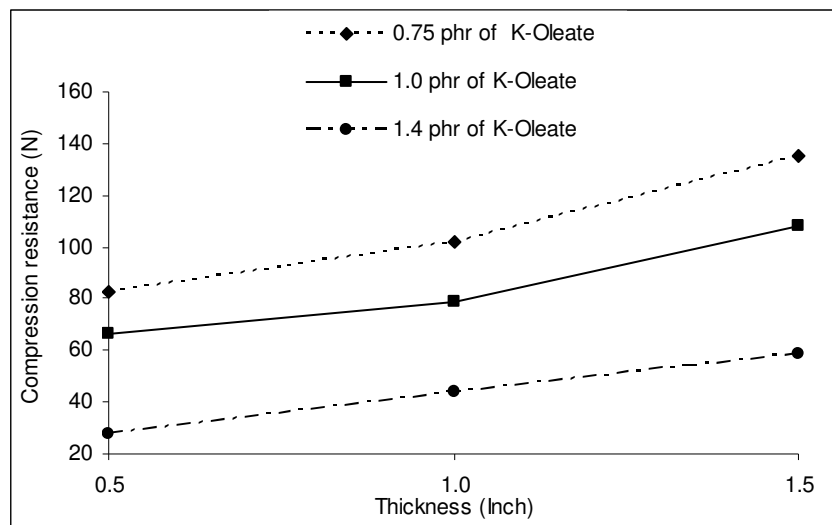


Figure 23. Compression resistance of latex foams vulcanized by steam.

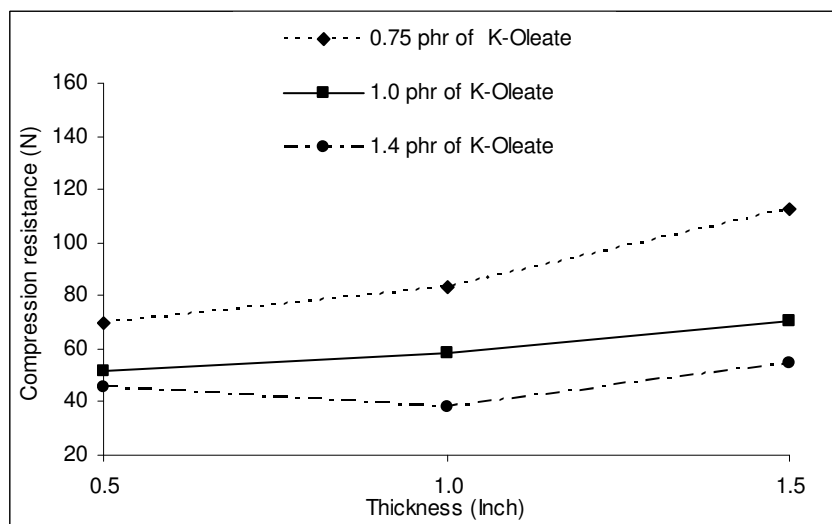


Figure 24. Compression resistance of latex foams vulcanized by oven.

ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงกดของยางฟองน้ำพบว่า ยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นสูง ($0.223 - 0.236 \text{ g/cm}^3$) และเป็นชิ้นตัวอย่างที่มีความหนามาก (1.5 นิ้ว) สามารถต้านทานแรงกดได้ดี โดยพบว่ายางฟองน้ำที่สามารถต้านทานแรงกดได้ดีที่สุดคือ ยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบหนึ่ง มีปริมาณโพแทสเซียมโอเลเอต 0.75 phr และมีความหนา 1.5 นิ้ว สามารถต้านทานแรงกดได้ 134.95 นิวตัน ในขณะที่ยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นต่ำ ($0.175 - 0.177 \text{ g/cm}^3$) และขนาดของชิ้นตัวอย่างที่บางกว่า สามารถต้านทานแรงกดได้เพียง 69.35 นิวตัน เนื่องจากขนาด

เซลของยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นสูง มีการจัดเรียงตัวใกล้ชิดกันมากและมีขนาดเล็กทำให้สามารถต้านทานต่อแรงกดได้ดีกว่า

1.3 ความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกด (Compression set)

ความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดของยางฟองน้ำที่ระดับการใช้โพแทสเซียมโอเลตในปริมาณต่างๆ พบว่าปริมาณโพแทสเซียมโอเลตมีอิทธิพลต่อความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดของยางฟองน้ำ โดยความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีปริมาณโพแทสเซียมโอเลตที่สูงขึ้น เนื่องจากการทดสอบความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดเป็นการทำให้ขึ้นยางฟองน้ำมีการเปลี่ยนรูปร่างโดยการกดจากความสูงเดิม 50% เป็นเวลานาน 22 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นเหตุให้โครงสร้างของเซลเปลี่ยนจากรูปร่างปกติ เป็นลักษณะแบน แน่น เป็นวงรี และบิดเบี้ยว จึงทำให้โครงสร้างของเซลเกิดความล้าและความเครียดเพิ่มขึ้น เมื่อหยุดให้แรงกดทำให้โครงสร้างเซลที่ไม่แข็งแรงคืนกลับสู่สภาพเดิมได้น้อย หรือ โครงสร้างเซลอาจเกิดการแตกและฉีกขาด จึงทำให้มีการเสียรูปไปจากเดิม ดังนั้นหลังการทดสอบ ยางฟองน้ำจึงมีความสามารถในการคืนรูปต่ำกว่าปกติ

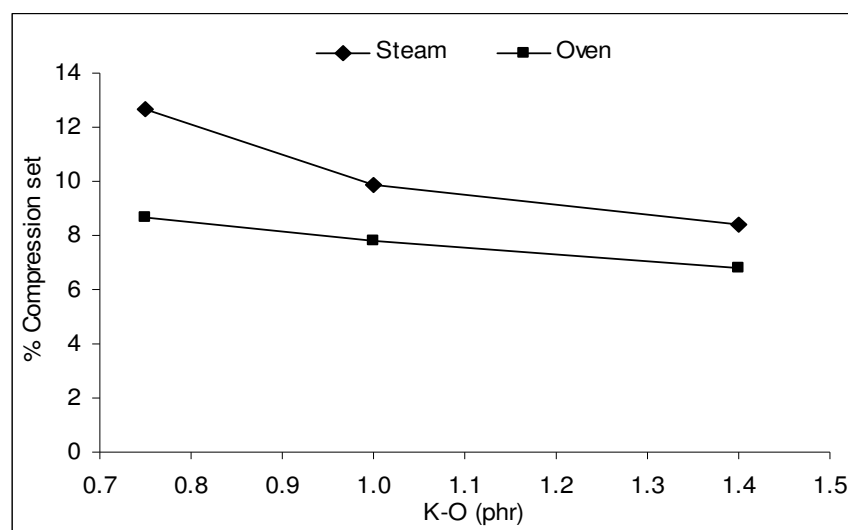


Figure 25. Percent compression set as a function of potassium oleate.

จาก Figure 25 พบว่ายางฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดสูงเมื่อมีการใช้โพแทสเซียมโอเลตในปริมาณต่ำ เนื่องจากเซลมีขนาดเล็กและแข็งแรงจึงทำให้เซลมีความแข็งแรงมากกว่า ทำให้มีความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดสูง และเมื่อใช้โพแทสเซียมโอเลตในปริมาณสูงขึ้น พบว่ายางฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดต่ำลง เนื่องจากโครงสร้างของเซลมีขนาดใหญ่ และมีช่องว่างระหว่างเซลที่ใหญ่และกว้างเป็นสาเหตุให้ยางฟองน้ำมีความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดต่ำกว่า

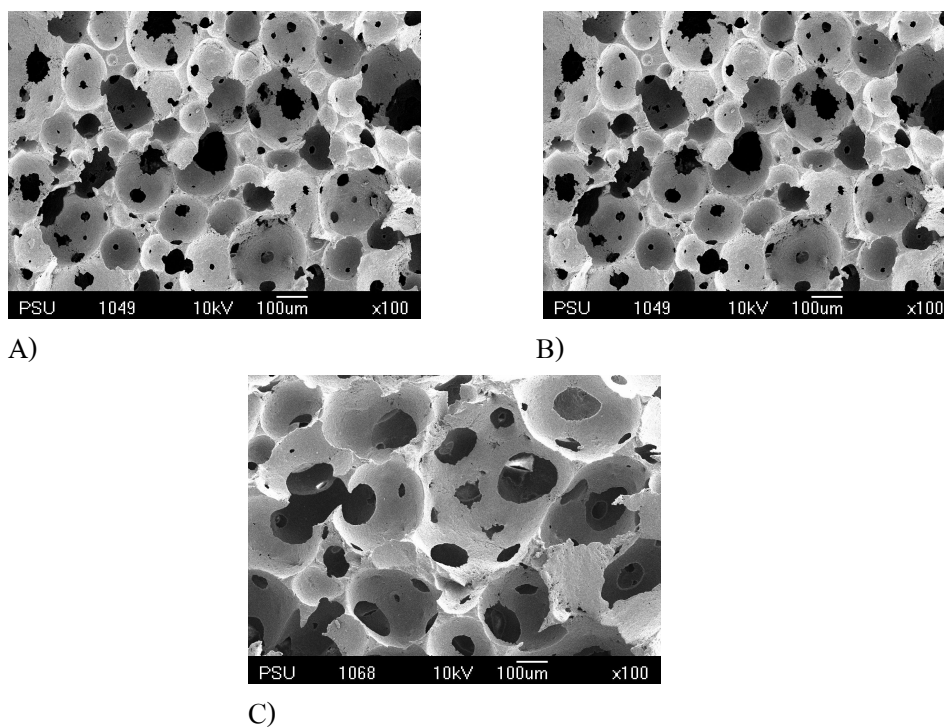


Figure 26. SEM of latex foam vulcanized by oven. A) 0.75 phr of potassium oleate, B) 1.00 phr of potassium oleate, C) 1.40 phr of potassium oleate.

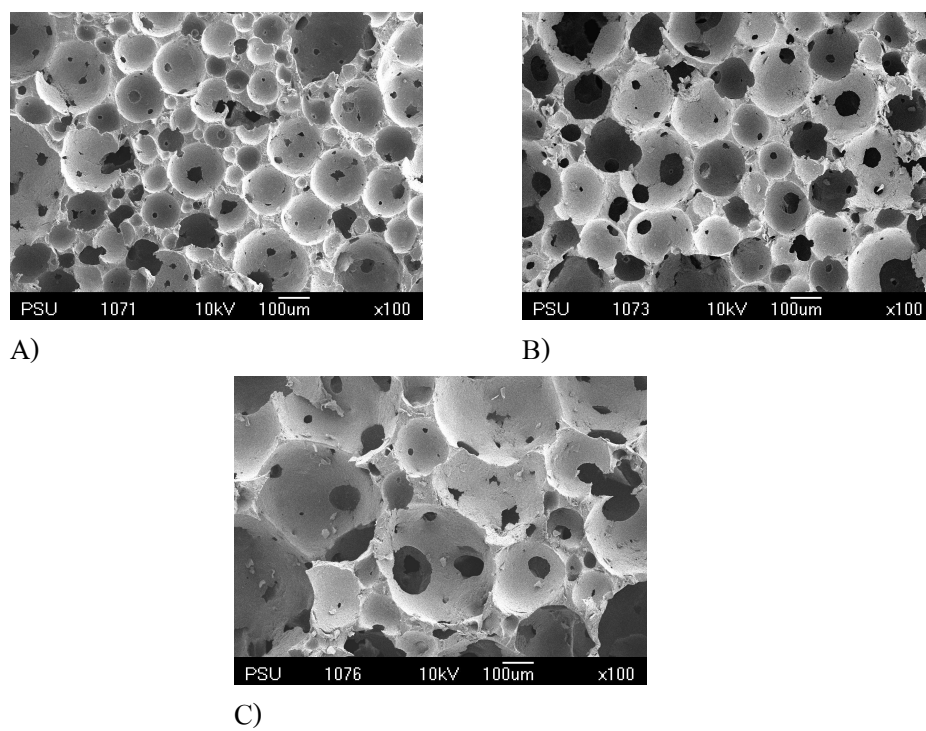


Figure 27. SEM of latex foam vulcanized by steam. A) 0.75 phr of potassium oleate, B) 1.00 phr of potassium oleate, C) 1.40 phr of potassium oleate.

จาก Figure 26 เป็นภาพถ่ายโครงสร้างของยางฟองน้ำที่ระดับการใช้โพแทสเซียมโพลีเอตในปริมาณ 0.75, 1.00 และ 1.40 phr โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบ และ Figure 27 เป็นภาพถ่ายโครงสร้างของยางฟองน้ำที่ระดับการใช้โพแทสเซียมโพลีเอตในปริมาณ 0.75, 1.00 และ 1.40 phr โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบนึ่ง โดยจะเห็นได้ว่ายางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบนึ่งมีช่องว่างของอากาศภายในโครงสร้างน้อยกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบ ส่งผลให้มีความหนาแน่นสูงกว่าจึงทำให้ยางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบนึ่งมีเปอร์เซ็นต์การคืนรูปภายหลังการกดที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (Figure 25)

1.4 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของยางฟองน้ำ (Percent shrinkage)

โดยปกติในกระบวนการผลิตยางฟองน้ำจากน้ำยางพารา พบว่าฟองน้ำจะเกิดการหดตัวภายหลังจากการวัลคาไนซ์ ซึ่งทำให้ขนาดของฟองน้ำยางธรรมชาติได้ขนาดเล็กกว่าที่กำหนดไว้จากขนาดเบ้า ซึ่งเป็นปัญหาต่อการใช้งานที่ต้องการรูปร่างที่แน่นอนของยางฟองน้ำ ปัญหาการหดตัวนี้เกิดจากยางพารามีการทนทานต่อการบวมตัวในตัวทำละลายค่อนข้างต่ำ และอาจเกิดจากอัตราในการตีฟองไม่คงที่ ส่งผลให้ความหนาแน่นของยางแตกต่างกัน รวมทั้งปริมาณของแข็ง ชนิดและปริมาณของสารเกิดฟอง (Blowing agent) ส่งผลให้คุณสมบัติทางกลของยางไม่แน่นอนโดยเปอร์เซ็นต์การหดตัวขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งในสารเคมีที่ใช้ในสูตร (สุรศักดิ์, 2545) จากผลการทดลองพบว่าการเติมปริมาณโพแทสเซียมโพลีเอตในปริมาณที่แตกต่างกันเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวของยางฟองน้ำ โดยยางฟองน้ำที่มีการเติมโพแทสเซียมโพลีเอตสูงสุด (1.40 phr) มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงสุด เช่น ยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบนึ่งมีเปอร์เซ็นต์การหดตัว 12.69% ส่วนยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบมีเปอร์เซ็นต์การหดตัว 11.07% ในขณะที่ยางฟองน้ำที่มีการเติมโพแทสเซียมโพลีเอตต่ำสุด (0.75 phr) มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำสุด เช่น ยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบนึ่งมีเปอร์เซ็นต์การหดตัว 10.27% ส่วนยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบมีเปอร์เซ็นต์การหดตัว 7.20%

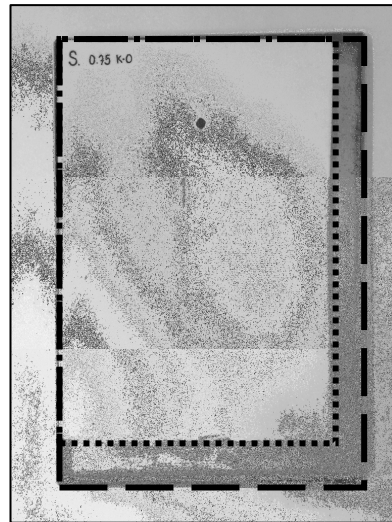


Figure 28. The shrinkage of latex foam at lateral direction.

จาก Figure 28 เป็นตัวอย่างลักษณะของยางฟองน้ำที่มีการหดตัวจากเบ้าหลังจากผ่านการให้ความร้อน โดยเส้นประด้านนอกคือขนาดของเบ้า ส่วนเส้นประด้านในคือชิ้นยางฟองน้ำที่มีการหดตัวหลังจากการให้ความร้อน และจากผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวทั้งสามด้านของยางฟองน้ำ พบว่าความสูงบริเวณตรงกลางของชิ้นตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงสุด (8.40-17.07%) ส่วนด้านกว้าง-ยาวมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำสุด (5.87-10.20%) ดัง Figure 29

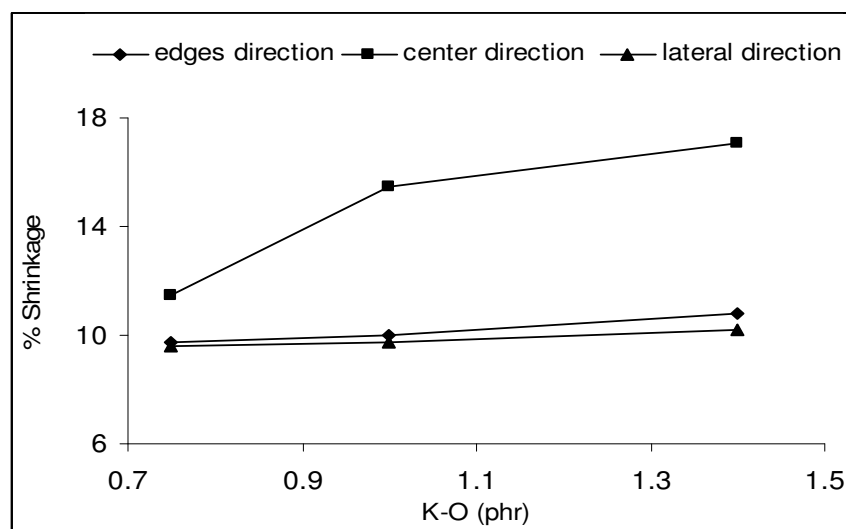


Figure 29. Percent shrinkage of the latex foams vulcanized by steam as a function of potassium oleate.

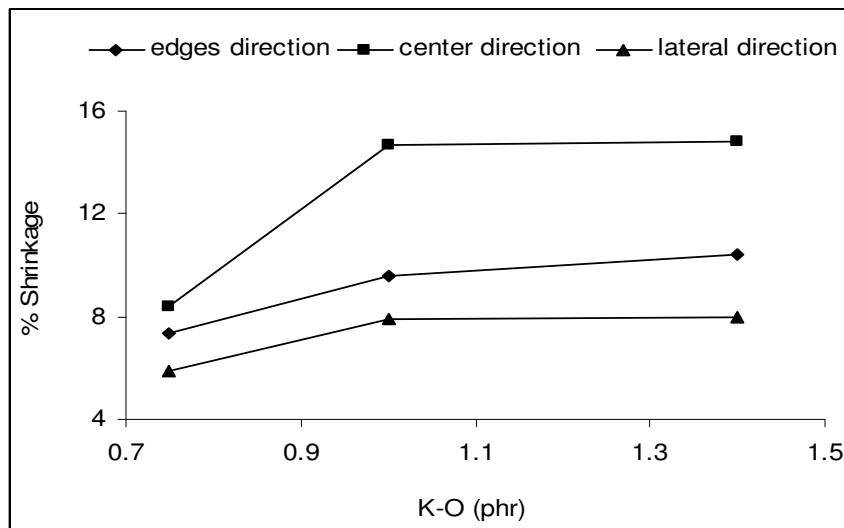


Figure 30. Percent shrinkage of the latex foams vulcanized by oven as a function of potassium oleate.

นอกจากผลของปริมาณสารก่อฟองที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวแล้วยังพบว่าวิธีการให้ความร้อนก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวของยางฟองน้ำเช่นกัน โดยพบว่าวิธีการให้ความร้อนแบบหนึ่งทำให้ยางฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงกว่า (11.56%) ยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบ (9.67%) การหดตัวที่มากกว่านี้ ส่งผลให้ยางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบหนึ่ง มีความหนาแน่นสูงกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบ

1.5 สมบัติการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำ

สมบัติการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำเป็นสมบัติที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดในการทดลองนี้ เนื่องจากเป็นสมบัติที่ใช้บ่งบอกว่ายางฟองน้ำที่ผลิตได้มีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใดที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกันกระแทก โดยค่าดัชนีที่บ่งชี้สมบัติการป้องกันแรงกระแทก คือ ค่า G ซึ่งเป็นค่าความหน่วงสูงสุดเมื่อวัสดุที่ทดสอบตกกระแทกพื้นอย่างอิสระที่ยางฟองน้ำดูดซับแรงกระแทกได้ต่ำจะส่งผลแรงกระแทกถูกส่งผ่านมายังผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุได้ ดังนั้นวัสดุกันกระแทกที่ดีจึงต้องสามารถดูดซับแรงกระแทกได้มาก และส่งผ่านแรงกระแทกมายังผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด (ค่า G ต่ำ)

ผลการทดสอบพบว่าปริมาณโพแทสเซียมโอเลตไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำ โดยทุกระดับปริมาณโพแทสเซียมโอเลตในชิ้นตัวอย่างความหนาแน่นระดับเดียวกัน สมบัติการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และขนาดความหนาของชิ้นตัวอย่างเป็นเพียงปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อสมบัติการป้องกันแรงกระแทก โดยผลการทดสอบสมบัติการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่เดิม

โพแทสเซียมโอเลต 0.75, 1.00, 1.40 phr ความหนา 0.5, 1.0, 1.5 นิ้ว และที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่ต่างกัน พบว่าฟองน้ำที่มีขนาดความหนา 1.5 นิ้ว สามารถป้องกันแรงกระแทกได้ดีที่สุดประมาณ 43 G, ยางฟองน้ำที่มีความหนา 1.0 นิ้ว สามารถป้องกันแรงกระแทกได้ประมาณ 55 G และยางฟองน้ำที่มีความหนา 0.5 นิ้ว สามารถป้องกันแรงกระแทกได้ต่ำสุดประมาณ 63 G

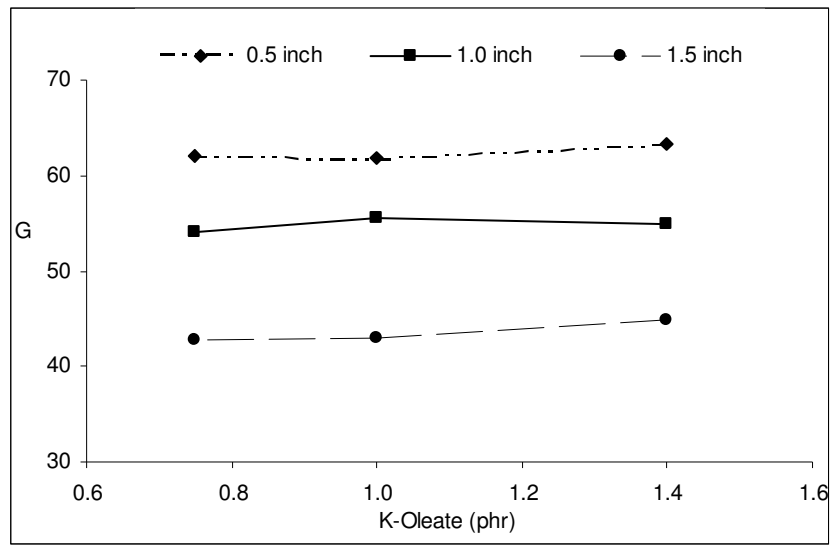


Figure 31. Cushioning characteristics of the latex foam vulcanized by steam.

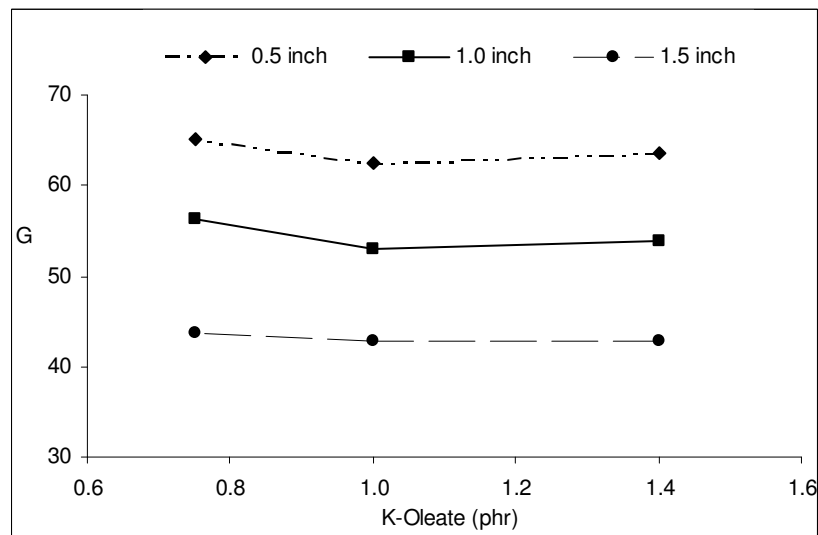


Figure 32. Cushioning characteristics of the latex foam vulcanized by oven.

จาก Figure 31 และ Figure 32 เป็นภาพที่แสดงสมบัติในการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแตกต่างกัน พบว่าขนาดความหนาของชิ้นตัวอย่างเป็นเพียง

ปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อสมบัติในการป้องกันแรงกระแทก ในขณะที่ปริมาณสารก่อฟองและวิธีการให้ความร้อนที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติการป้องกันแรงกระแทก เนื่องจากวัสดุกันกระแทกเป็นวัสดุที่ถูกใช้เพื่อดูดซับแรงกระแทกและปกป้องการส่งผ่านแรงกระแทกมายังตัวผลิตภัณฑ์ (Burgess, 2002) ซึ่งวัสดุที่มีขนาดความหนามากกว่าจะสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดีกว่าวัสดุที่บางกว่า ดังนั้นชิ้นตัวอย่างที่มีความหนามากกว่าจึงสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดีกว่าและส่งผ่านมายังผลิตภัณฑ์ได้น้อยกว่า การเลือกใช้งานยางฟองน้ำที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกันกระแทกจึงควรเลือกพิจารณาที่ความหนาของวัสดุกันกระแทกเป็นประเด็นหลัก

จาก Table 4 เป็นผลการทดสอบสมบัติของยางฟองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่มีปริมาณสารก่อฟองในระดับต่างๆ และกระบวนการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน พบว่ายางฟองน้ำที่มีสมบัติที่ดีในการป้องกันแรงกระแทกคือ ยางฟองน้ำที่มีขนาดความหนาของชิ้นตัวอย่าง 1.5 นิ้ว และใช้โพแทสเซียมโอเลตในปริมาณ 1.40 phr ดังนั้นการทดลองในขั้นตอนต่อไป จึงเลือกเตรียมยางฟองน้ำจากสมบัติที่ดีที่สุดจากผลการทดลองข้างต้น โดยจะเตรียมและทดสอบสมบัติของยางฟองน้ำที่มีความหนา 1.5 นิ้ว ใช้โพแทสเซียมโอเลตในปริมาณ 1.40 phr ผ่านกระบวนการให้แบบนิ่งและแบบอบ ที่ปริมาณสารตัวเติม (แคลเซียมคาร์บอเนต) แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 10, 20 และ 30 phr

Table 4. Characteristics of natural latex foam as a function of potassium oleate.

Vulcanization	Foaming agent	%Compression set	%Shrinkage			Density (g/cm ³)	Cushioning characteristic(G)			Compression resistant (N)		
			Edges	Center	Lateral		Thickness (Inch)			Thickness (Inch)		
							0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
Steam	1.40	8.4	10.8	17.1	10.2	0.177	63.31	54.94	44.91	27.42	44.17	58.49
	1.00	9.9	10.0	15.5	9.7	0.217	61.86	55.59	43.06	66.60	78.93	108.30
	0.75	12.7	9.7	11.5	9.6	0.236	62.11	53.99	42.87	82.48	102.37	134.95
Oven	1.40	6.8	10.4	14.8	8.0	0.175	63.62	53.89	42.87	45.45	38.10	54.73
	1.00	7.8	9.6	14.7	7.9	0.207	62.51	52.99	42.82	51.90	58.10	70.56
	0.75	8.7	7.3	8.4	5.9	0.223	65.06	56.30	43.71	69.35	82.96	112.95

2. ผลของการเติมสารตัวเติม (แคลเซียมคาร์บอเนต)

2.1 ความหนาแน่น (Density)

จากผลการทดสอบความหนาแน่นของยางฟองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่เติมโพแทสเซียมโอเลตในระดับที่แตกต่างกัน พบว่ายางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุดทั้งแบบที่ผ่านการให้ความร้อนแบบหนึ่งและแบบอบ คือ ยางฟองน้ำที่เตรียมมาจากสูตรที่เติมโพแทสเซียมโอเลตในปริมาณ 1.40 phr ซึ่งได้ถูกคัดเลือกนำมาใช้ศึกษาผลจากการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 20 และ 30 phr ตามลำดับ

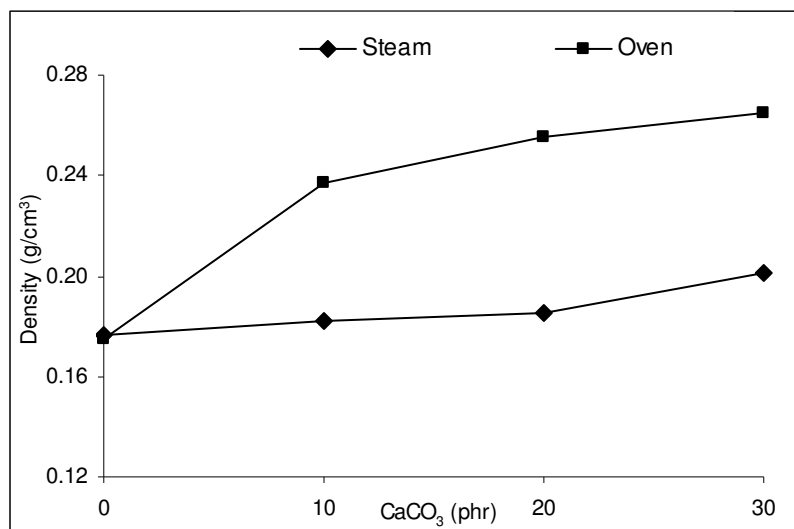


Figure 33. Density of latex foam as the function of calcium carbonate.

พบว่าสารตัวเติมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของยางฟองน้ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยยางฟองน้ำมีความหนาแน่นสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณสารตัวเติมที่สูงขึ้น และยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบจะมีความหนาแน่นสูงกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบหนึ่งอย่างมีนัยสำคัญ

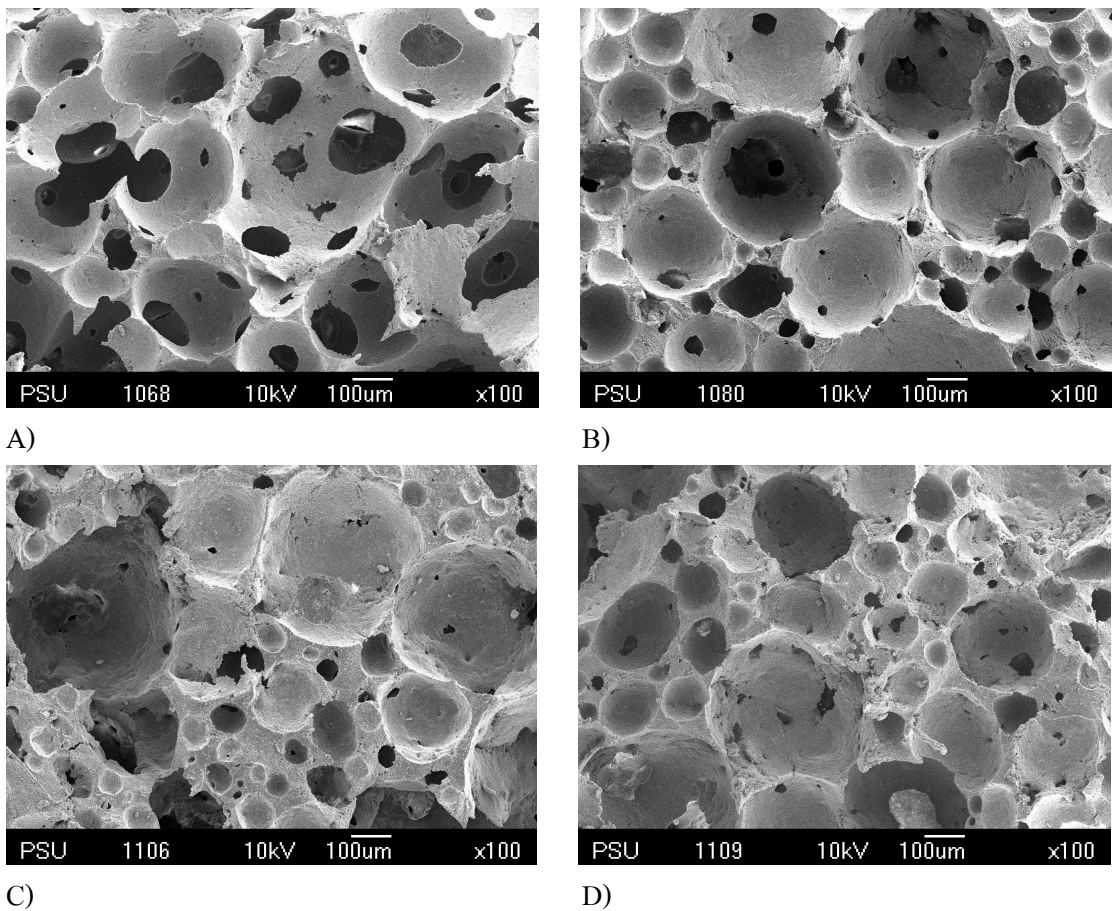


Figure 34. SEM of latex foam vulcanized by oven

- A) 0 phr of calcium carbonate, B) 10.0 phr of calcium carbonate,
 C) 20.0 phr of calcium carbonate, D) 30.0 phr of calcium carbonate.

Figure 34 เป็นภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของยางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตในระดับที่แตกต่างกัน พบว่าในแต่ละระดับแคลเซียมคาร์บอเนตยางฟองน้ำมีความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยยางฟองน้ำที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีความหนาแน่นต่ำสุด (0.175 g/cm^3) และยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นสูงสุด (0.265 g/cm^3) คือ ยางฟองน้ำที่เกิดจากการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 30.0 phr โดยโครงสร้างของยางฟองน้ำมีการยึดเกาะกันหนาแน่นมากขึ้นเมื่อมีแคลเซียมคาร์บอเนตผสมอยู่ในปริมาณที่สูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตมีการยึดเกาะภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ของยางฟองน้ำ และเข้าไปแทนที่น้ำบางส่วนหนึ่ง จึงทำให้ยางฟองน้ำมีส่วนของยางและแคลเซียมคาร์บอเนต เกิดเป็นฟองน้ำได้ยากขึ้น ขนาดของฟองจึงเล็กและไม่มีความสม่ำเสมอของเซลล์ เป็นเหตุให้ยางฟองน้ำมีความหนาแน่นสูงขึ้น ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้ยางฟองน้ำมีความกระด้างมากยิ่งขึ้น ทำให้ยางฟองน้ำเกิดการฉีกขาดได้ง่ายอีกด้วย

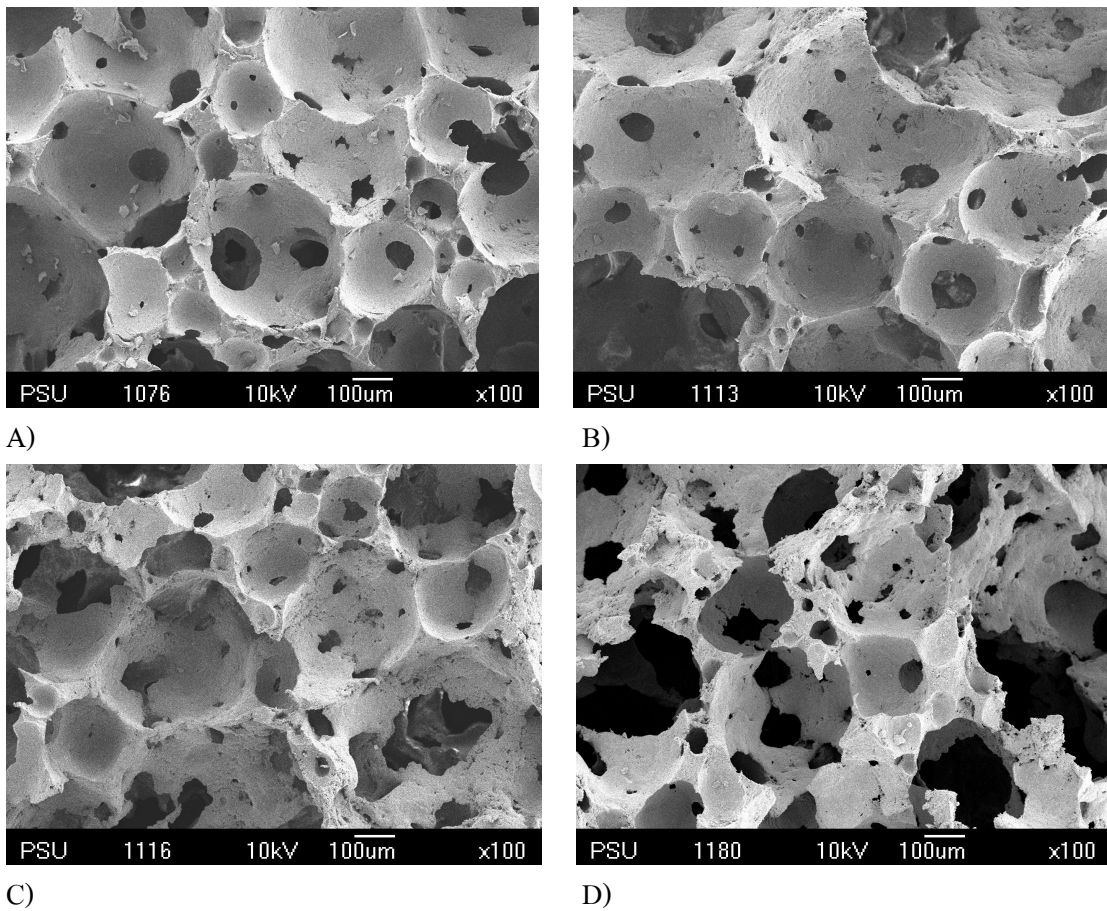


Figure 35. SEM of latex foam vulcanized by steam

- A) 0 phr of calcium carbonate, B) 10.0 phr of calcium carbonate,
 C) 20.0 phr of calcium carbonate, D) 30.0 phr of calcium carbonate.

Figure 35 เป็นภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบหนึ่ง พบว่าการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้หนาแน่นของยางฟองน้ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ($0.177-0.201 \text{ g/cm}^3$) เนื่องจากลักษณะของเซลมีความเสียหายเพิ่มขึ้นตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนแบบหนึ่งทำให้น้ำที่อยู่ภายในเซลของยางฟองน้ำร้อนและเดือด ทำให้เกิดแรงดันไอน้ำไปทำลายการยึดเกาะกันของเซลฟองยางในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนได้ง่าย ทั้งนี้แคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมเพิ่มขึ้นยังไปลดประสิทธิภาพในการยึดเกาะกันของยางภายในเซลของยางฟองน้ำ ในขณะที่ยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบนั้น ไอน้ำที่ร้อนจัดในยางฟองน้ำจะค่อยๆ ถูกระเหยแห้งออกไป ทำให้เซลมีความเป็นระเบียบมากกว่าและถูกทำลายน้อยกว่า ดังนั้นยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบหนึ่ง

(0.177-0.201 g/cm³) จึงมีความหนาแน่นต่ำกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบ (0.175-0.265 g/cm³) อย่างมีนัยสำคัญ

2.2 ความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกด (Compression set)

ยางฟองน้ำที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ และผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน มีความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดที่ต่างกัน

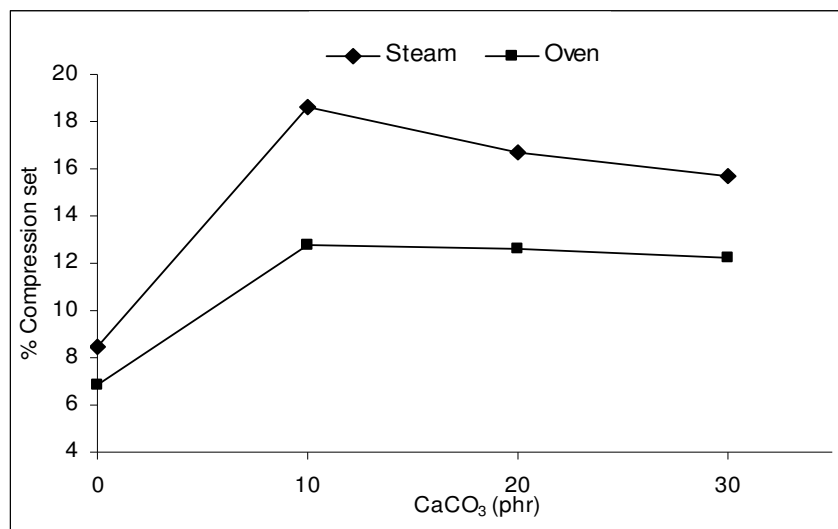


Figure 36. Percent compression set as the function of calcium carbonate.

จาก Figure 36 เป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดของยางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบนึ่งและแบบอบ โดยมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่ต่างกัน พบว่ายางฟองน้ำที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตมีความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดสูงกว่ายางฟองน้ำที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมลงไปปริมาณมากเกินไป เข้าไปแทนที่น้ำในระหว่างการตีฟองทำให้ยางฟองน้ำมีความเปราะ และมีโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง ความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดจึงมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารตัวเติมยังมีผลทำให้ความยืดหยุ่นของยางฟองน้ำลดลงด้วย เป็นสาเหตุให้เมื่อถูกแรงกดเพิ่มขึ้นจึงมีการคืนตัวกลับได้ช้าและมีการคืนรูปกลับช้ามากขึ้นเมื่อเติมในปริมาณที่สูงขึ้น และพบว่ายางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบนึ่งมีความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดสูงกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากยางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบนึ่งมีความหนาแน่นต่ำกว่าและมีช่องว่างของอากาศภายในโครงสร้างมากกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบ ส่งผลให้มีความยืดหยุ่นสูงกว่าจึงมีเปอร์เซ็นต์การคืนรูปภายหลังการกดที่สูงกว่าด้วย

2.3 ความสามารถในการต้านทานแรงกด (Compression resistance)

การเติมแคลเซียมคาร์บอเนต และกระบวนการให้ความร้อนที่ต่างกัน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการต้านทานแรงกดของยางพองน้ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าความสามารถในการต้านทานแรงกดของยางพองน้ำสูงขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มเช่นเดียวกับความหนาแน่น ซึ่งยางพองน้ำที่มีความหนาแน่นสูง สามารถต้านทานแรงกดได้ดี เนื่องจากการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปในส่วนผสมของยางพองน้ำ สารตัวเติมเข้าไปแทนที่น้ำยาง จึงเกิดเป็นฟองได้น้อยในขณะตีฟอง ทำให้มีฟองอากาศขนาดเล็ก ความหนาแน่นจึงสูงขึ้น จึงสามารถต้านทานแรงกดได้ดี และยางพองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบสามารถต้านทานแรงกดได้ดีกว่ายางพองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบนึ่ง เนื่องจากยางพองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบมีโครงสร้างที่มีความหนาแน่นมากกว่ายางพองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบนึ่งจึงสามารถต้านทานต่อแรงกดได้ดีกว่า

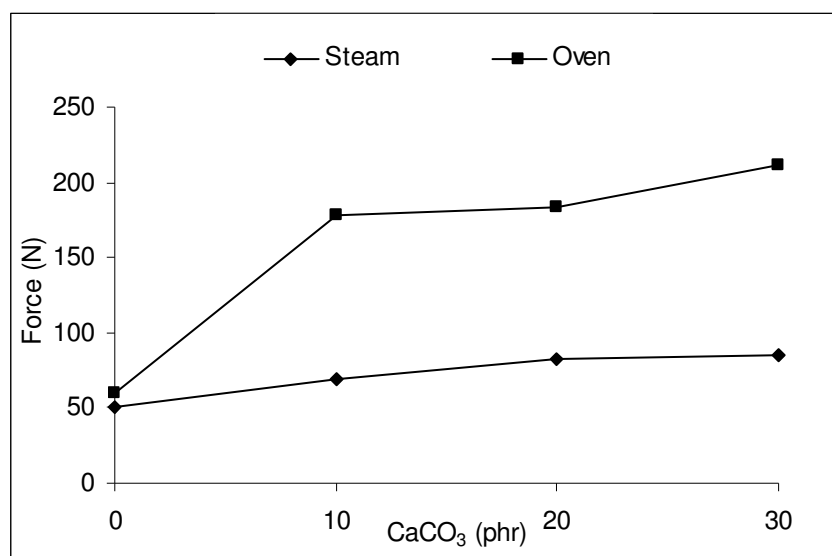


Figure 37. Compression resistance of latex foams at 1.5 inches-thick and as function of calcium carbonate.

ยางพองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบสามารถต้านทานแรงกดได้ดีกว่ายางพองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบนึ่ง โดยยางพองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบที่มีความหนาแน่นต่ำสุด คือ 0.175 g/cm^3 (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) สามารถต้านทานแรงกดได้เพียง 59.5 นิวตัน ในขณะที่ยางพองน้ำที่มีความหนาแน่นสูงสุด คือ 0.265 g/cm^3 (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 30 phr) สามารถต้านทานแรงกดได้ถึง 211.8 นิวตัน

2.4 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของยางฟองน้ำ (Percent shrinkage)

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การหดตัวของยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบนึ่งและแบบอบหลังจากที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบนึ่งมีค่าสูงกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบในทุกๆ ด้านอย่างมีนัยสำคัญ

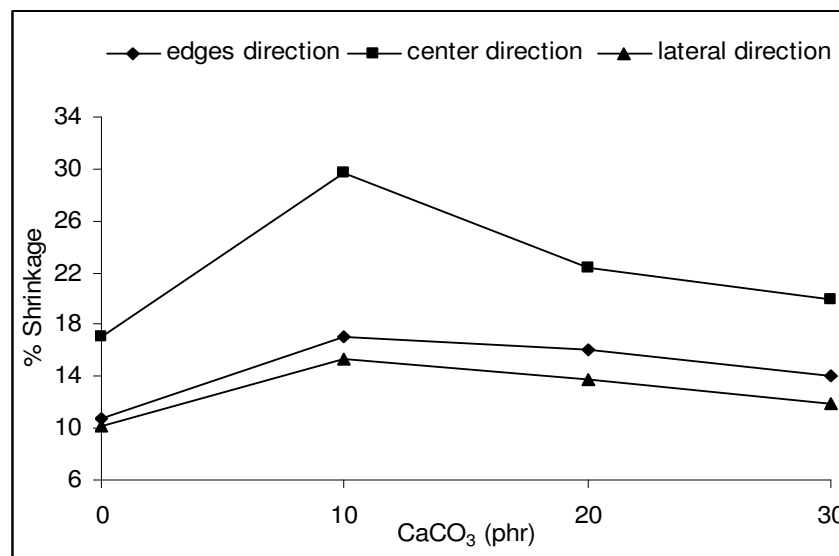


Figure 38. Percent shrinkage of the latex foams vulcanized by steam as a function of calcium carbonate.

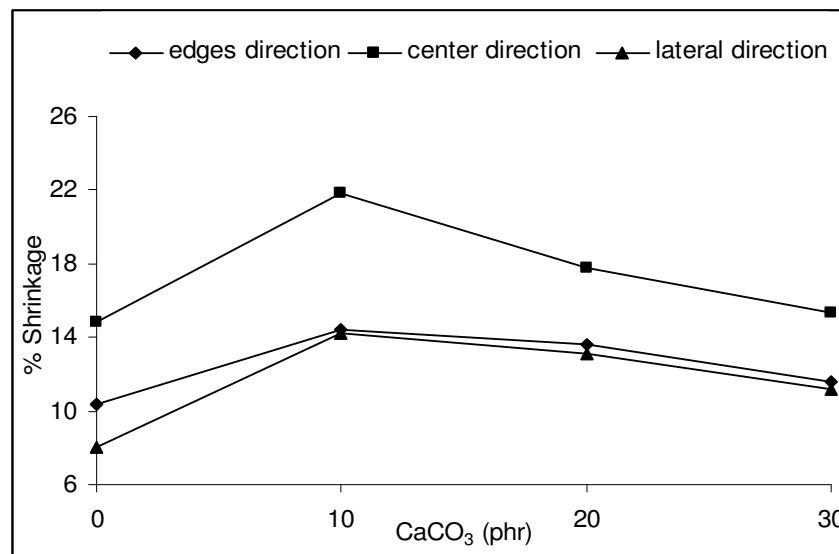


Figure 39. Percent shrinkage of the latex foams vulcanized by oven as a function of calcium carbonate.

จาก Figure 38 และ Figure 39 พบว่าปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในระดับที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ยางพองน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่แตกต่างกัน โดยยางพองน้ำทั้งแบบที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบหนึ่งและแบบอบมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงที่สุดที่บริเวณตรงกลางของชิ้นตัวอย่าง ส่วนด้านกว้าง-ยาวและด้านข้างมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และยางพองน้ำจะมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่ตำแหน่งต่างๆ สูงสุดที่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตระดับ 10.0 phr และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมลงไปในส่วนผสมของยางพองน้ำ ทำให้เปอร์เซ็นต์ของยางในน้ำยางลดลง เพราะแคลเซียมคาร์บอเนตเข้าไปแทนที่บางส่วนหนึ่ง ซึ่งแคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะคล้ายผงแป้ง มีการจับตัวกันแน่นหรือมีการกระจายตัวไปยังโครงสร้างของยางพองน้ำ ทำให้ยางพองน้ำมีโครงสร้างที่แข็งกระด้าง จึงเป็นเหตุให้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่ลดลงเมื่อมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่มากขึ้น

จาก Figure 34 เป็นภาพถ่ายโครงสร้างของยางพองน้ำที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตในระดับต่างๆ และผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบ และ Figure 35 เป็นภาพถ่ายโครงสร้างของยางพองน้ำที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตในระดับต่างๆ และผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบหนึ่ง พบว่ายางพองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบหนึ่งมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงกว่าการให้ความร้อนแบบอบ สาเหตุเกิดจากในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบหนึ่งนั้นยางพองน้ำถูกแรงดันไอน้ำไปทำลายโครงสร้างของพองน้ำ ทำให้ผนังเซลล์ของพองน้ำได้รับความเสียหาย จึงส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่สูงกว่าแบบอบ

2.5 สมบัติการป้องกันแรงกระแทกของยางพองน้ำ (Cushioning characteristics)

การทดสอบสมบัติการป้องกันแรงกระแทกของยางพองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตในระดับต่างๆ และผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน พบว่ายางพองน้ำมีสมบัติการป้องกันแรงกระแทกที่แตกต่างกัน โดยยางพองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบมีสมบัติในการป้องกันแรงกระแทกได้ดีกว่ายางพองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบหนึ่งในทุกๆ ระดับ ปริมาณสารตัวเติมอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากยางพองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบเป็นยางพองน้ำที่มีความหนาแน่นสูง มีความสามารถในการต้านทานแรงกดได้ดีและมีความหนาแน่นสูงกว่ายางพองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบหนึ่ง ดังนั้นเมื่อถูกแรงกระแทกจึงสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดีกว่า และพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่ต่ำกว่าด้วย

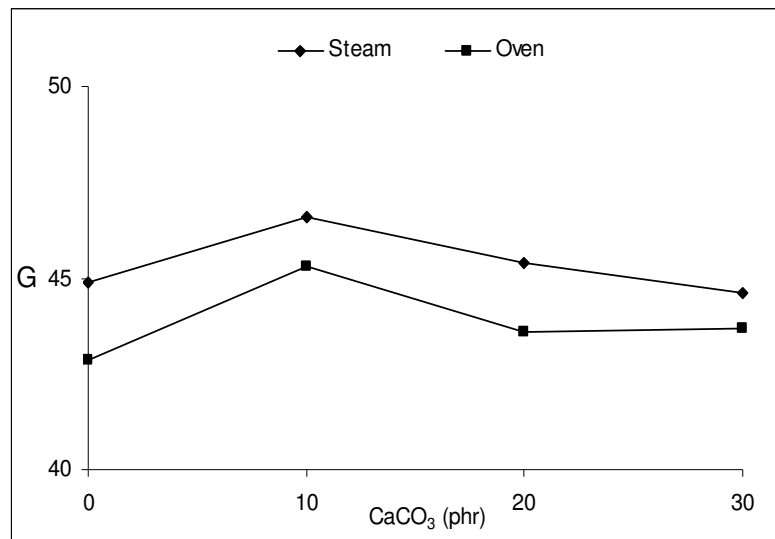


Figure 40. Cushioning characteristics of the latex foam at 1.40 phr of potassium oleate, 1.5 inch-thick and as a function of calcium carbonate.

จาก Figure 40 พบว่าปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมในการเตรียมยางฟองน้ำมีผลทำให้ความสามารถในการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปปริมาณมากนั้น มีผลทำให้ยางฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูง แต่มีความสามารถในการต้านทานแรงกดสูงขึ้น แคลเซียมคาร์บอเนตไปทำลายการเกาะติดกันของเซลล์ฟองน้ำ ทำให้ยางฟองน้ำมีความกระด้างเพิ่มขึ้น เกิดการเปื่อยยุ่ยได้ง่าย เมื่อได้รับแรงกระแทกสามารถนิกขาดได้ง่ายจึงสามารถรับแรงกระแทกได้น้อย ดังนั้นยางฟองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตเลยจึงสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดีที่สุด (42.9 G) และยางฟองน้ำที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr สามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดีที่สุด (46.6 G) และมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวและความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดสูงสุดด้วย

Table 5. Characteristics of natural latex foam.

Vulcanization	Filling agent CaCO ₃ (phr)	%Compression set	%Shrinkage			Density (g/cm ³)	Cushioning characteristic (G)		Compression resistant (N)
			Edges	Center	Lateral		1.5 inches - thick	1.5 inches - thick	
Steam	0.0	8.4	10.8	17.1	10.2	0.177	44.87	51.1	
	10.0	18.6	17.1	29.7	15.0	0.182	46.57	69.2	
	20.0	16.7	16.0	22.4	13.8	0.185	45.37	82.6	
	30.0	15.7	14.0	20.0	11.9	0.201	44.61	84.9	
Oven	0.0	6.8	10.4	14.8	8.0	0.175	42.88	59.5	
	10.0	12.8	14.4	21.9	14.2	0.237	45.31	178.3	
	20.0	12.6	13.6	17.7	13.1	0.256	43.59	184.2	
	30.0	12.2	11.6	15.3	11.2	0.265	43.69	211.8	

จาก Table 5 พบว่ายางฟองน้ำที่เตรียมโดยใช้โพแทสเซียมโอเลต 1.40 phr ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบที่มีความหนา 1.5 นิ้ว และไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นชุดการทดลองที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมยางฟองน้ำเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกันกระแทก เนื่องจากเป็นยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นต่ำ มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำ และมีความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกได้ดีที่สุด และในการทดลองนี้ พบว่าการให้ความร้อนแบบอบเป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็วกว่าการให้ความร้อนแบบนึ่งรวมทั้งมีความสิ้นเปลืองน้อยกว่า ดังนั้นในการเลือกวิธีการให้ความร้อนที่เหมาะสมแก่ยางฟองน้ำนั้นยังช่วยประหยัดเวลา ต้นทุนและมีความสะดวกกว่าด้วย

3. การเปรียบเทียบสมบัติการป้องกันแรงกระแทกระหว่างยางฟองน้ำกับโฟมสังเคราะห์พอลิสไตรีน

จากผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของยางฟองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่แตกต่างกัน พบว่ายางฟองน้ำที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตมีสมบัติโดยรวมต่ำกว่ายางฟองน้ำที่เตรียมโดยไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำสมบัติความสามารถในการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำที่เตรียมโดยไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตมาเปรียบเทียบกับสมบัติการป้องกันแรงกระแทกของโฟมสังเคราะห์พอลิสไตรีน ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทกในปัจจุบัน ดัง Figure 41

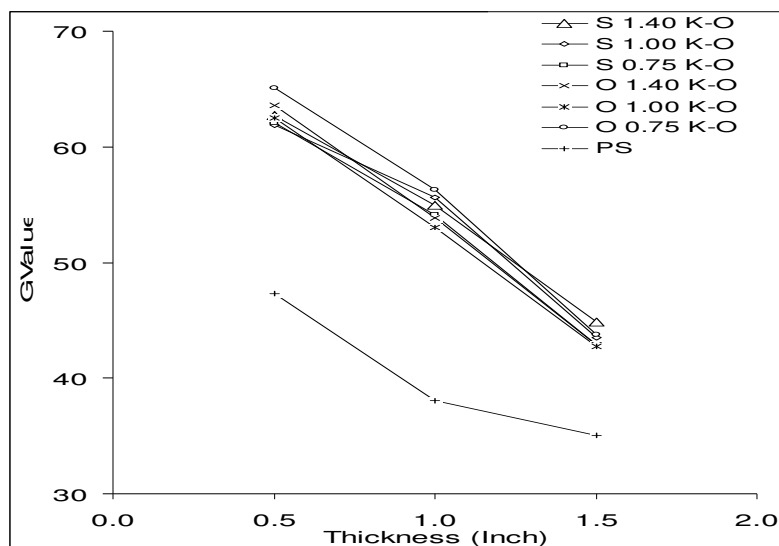


Figure 41. Cushioning characteristics of Natural latex foam and Polystyrene foam.

เนื่องจากการใช้งานวัสดุกันกระแทกในปัจจุบัน มีการเลือกใช้วัสดุกันกระแทกที่ผลิตมาจากวัสดุสังเคราะห์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะโฟมพอลิสไตรีน เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำที่เตรียมโดยสูตรต่างๆ กับความสามารถในการป้องกันแรง

กระแทกของวัสดุสังเคราะห์พอลีสไตรีนพบว่า วัสดุกันกระแทกประเภทวัสดุสังเคราะห์พอลีสไตรีนที่มีขนาดความหนาของชั้นตัวอย่างเท่ากับยางฟองน้ำสามารถป้องกันแรงกระแทกได้ดีกว่ายางฟองน้ำ และชั้นตัวอย่างที่มีขนาดความหนามากสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดีเช่นเดียวกับสมบัติของยางฟองน้ำ โดยสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ 35.1 G ซึ่งเป็นความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกที่ดีกว่ายางฟองน้ำ แต่พบว่าวัสดุสังเคราะห์พอลีสไตรีนนั้น เมื่อถูกแรงกระทำหลายๆ ครั้งแล้วจะทำให้ความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกลดน้อยลง เนื่องจากเม็ดโพลีเมอร์เกิดการเสียดสีได้ง่ายและไม่คืนตัวกลับหลังจากรับแรงกระแทก ในขณะที่ยางฟองน้ำนั้นมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อได้รับแรงกดหรือแรงกระแทกแล้วเกิดการเสียดสีน้อยมาก มีความสามารถในการคืนตัวกลับสูงกว่า เพราะเซลล์ของยางฟองน้ำที่ขยายตัวออกเป็นชนิดเซลล์เปิด อากาศภายใน โครงสร้างสามารถเคลื่อนที่ได้ดี ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของยางฟองน้ำ

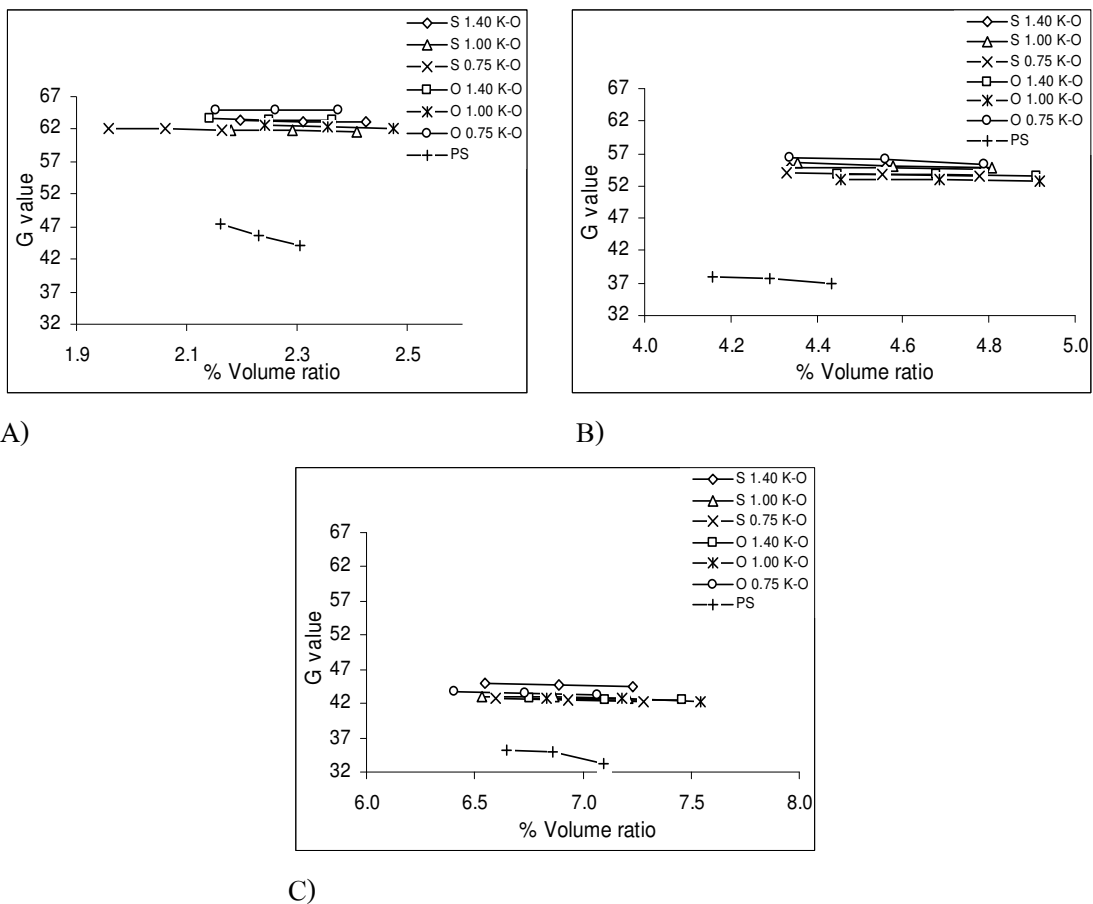


Figure 42. Cushioning characteristics of volume ratio of the latex foam and polystyrene foam
 A) 0.5 inch - thick, B) 1.0 inch - thick, C) 1.5 inch – thick.

จาก Figure 42 ความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกกับเปอร์เซ็นต์อัตราส่วนปริมาตรระหว่างปริมาตรของยางฟองน้ำต่อน้ำหนักจำลองที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการป้องกันการกระแทกของยางฟองน้ำเปรียบเทียบกับวัสดุสังเคราะห์พอลิสไตรีน พบว่ายางฟองน้ำมีประสิทธิภาพในการป้องกันการกระแทกได้ดีที่สุดในกรณีที่ยื่นตัวของยางฟองน้ำมีความหนา 1.5 นิ้ว มีความสามารถในการป้องกันการกระแทกได้ดีที่สุด และมีแนวโน้มที่จะใกล้เคียงกับสมบัติการป้องกันการกระแทกของวัสดุสังเคราะห์พอลิสไตรีน

4. การวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างยางฟองน้ำกับวัสดุสังเคราะห์พอลิสไตรีน

จากผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของยางฟองน้ำพบว่ายางฟองน้ำที่มีสมบัติดีที่สุดที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกันกระแทกคือ ยางฟองน้ำที่เตรียมจากการใช้โพแทสเซียมโอเลียด 1.40 phr, การให้ความร้อนแบบอบและมีความหนา 1.5 นิ้ว และไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต โดยจากสูตรการเตรียมดังกล่าวประกอบด้วยน้ำยางข้นและสารเคมีหลายชนิด ดังนั้นราคาต้นทุนในการผลิตยางฟองน้ำจึงขึ้นอยู่กับราคาตั้งต้นของสารเคมีและน้ำยางข้น จากตารางที่ 6 แสดงราคาของวัตถุดิบแต่ละชนิด ที่จะนำมาใช้ในการเตรียมยางฟองน้ำและวัสดุสังเคราะห์พอลิสไตรีนที่มีปริมาตรเท่ากับ 1 ลูกบาศก์เมตร แต่ความหนาแน่นต่างกัน โดยเปรียบเทียบกับยางฟองน้ำมีความหนาแน่น 0.175 g/cm^3 กับวัสดุสังเคราะห์พอลิสไตรีนมีความหนาแน่น 0.026 g/cm^3 โดยพบว่ายางฟองน้ำต้องใช้ต้นทุนในการผลิต 6,512 บาทต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร และวัสดุสังเคราะห์พอลิสไตรีนที่มีปริมาตรเท่ากันใช้ต้นทุนในการผลิต 1,260 บาท

อย่างไรก็ตามจากราคาของต้นทุนที่แตกต่างกันนั้น เกิดจากความหนาแน่นที่แตกต่างกันของยางฟองน้ำและวัสดุสังเคราะห์พอลิสไตรีน เนื่องจากไม่สามารถเตรียมยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นต่ำๆ และเท่ากับวัสดุสังเคราะห์พอลิสไตรีนได้ เพราะการเติมสารก่อฟองในปริมาณมากจนเกินไปส่งผลให้ฟองยางใช้เวลาในการจับตัวนานขึ้น ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอมากนัก เนื่องจากความเข้มข้นของสารก่อฟองเลยจากจุด Critical Micelle Concentration (c.m.c.) ของสารก่อฟองแล้ว เมื่อเพิ่มปริมาณลงไปจึงไม่มีผลในการลดความตึงผิวลงอีก (สมนึก, 2526 อ้างโดยสุรศักดิ์, 2545) ทำให้เม็ดฟองบางส่วนแตกก่อนที่จะจับตัวเป็นโครงสร้าง และเป็นเหตุให้ยางฟองน้ำเกิดการหดตัวสูงขึ้นในทุกๆ ด้าน

Table 6. Material cost of latex foam prepared from Dunlop process.

Chemicals	Latex foam (density of 0.175 g/cm ³)	
	Weight (g)	Price (Baht)
High ammonia concentrated natural latex 60% DRC	98,864	4,440
Potassium-oleate solution 10%	8,880	474
Sulphur dispersion 50%	1,776	118
Zinc-N-diethyl dithiocarbamate dispersion 50%	1,184	118
Zinc-2-mercaptobenzothiazole dispersion 50%	1,184	178
Wing stay L dispersion 50%	1,184	59
Zinc Oxide dispersion 50%	5,920	710
Diphenyl guanidine dispersion 33%	1,776	296
Sodium silicofluoride dispersion 20%	1,332	59
Total	122,100	6,512

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1. บทสรุป

ความหนาแน่น (Density)

ยางฟองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่มีปริมาณสารก่อฟอง (โพแทสเซียมโอเลเอต) ในปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลต่อความหนาแน่นของยางฟองน้ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยยางฟองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่มีปริมาณสารก่อฟองสูงจะมีความหนาแน่นต่ำ และสูตรที่มีปริมาณสารก่อฟองต่ำยางฟองน้ำจะมีความหนาแน่นสูง

ปริมาณสารตัวเติม(แคลเซียมคาร์บอเนต) ที่สูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของยางฟองน้ำสูงขึ้นตามลำดับ และพบว่ายางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบหนึ่งมีความหนาแน่นต่ำกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบ เนื่องจากในระหว่างการขึ้นรูปยางฟองน้ำเกิดการหดตัวได้น้อย และยังพบว่าการขึ้นรูปทำให้เกิดแรงดันไอน้ำภายในชั้นยางฟองน้ำ ทำให้เซลล์ของยางฟองน้ำถูกทำลาย และส่งผลให้เกิดการฉีกขาดง่ายอีกด้วย

ในการเลือกยางฟองน้ำที่จะนำไปใช้งานเป็นวัสดุกันกระแทกนั้น ต้องพิจารณายางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นต่ำ เพื่อลดน้ำหนักภายในบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นยางฟองน้ำที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานเป็นวัสดุกันกระแทกจึงเป็นยางฟองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่มีสารก่อฟองในปริมาณสูง และไม่ใช้สารตัวเติม

ความสามารถในการต้านทานแรงกด (Compression resistance)

ความสามารถในการต้านทานแรงกดของยางฟองน้ำขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นตัวอย่างของยางฟองน้ำ โดยพบว่าชิ้นตัวอย่างที่มีความหนามาก สามารถต้านทานแรงกดได้ดีกว่ายางฟองน้ำที่มีขนาดบาง และยางฟองน้ำที่มีความหนามากที่สุดสามารถต้านทานแรงกดได้สูงสุด ส่วนผลจากการใช้วิธีการให้ความร้อนที่ต่างกันนั้นพบว่า ยางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบหนึ่งสามารถต้านทานต่อแรงกดได้ดีกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนแบบอบ

ยางฟองน้ำที่เติมสารตัวเติมในปริมาณที่แตกต่างกัน มีความสามารถในการต้านทานแรงกดที่แตกต่างกัน โดยพบว่ายางฟองน้ำที่มีการเติมสารตัวเติมในปริมาณที่สูงขึ้น สามารถต้านทานต่อแรงกดได้ดีขึ้น นอกจากนี้สารตัวเติมจะส่งผลให้ยางฟองน้ำมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นแล้วยังทำให้ยางฟองน้ำมีความกระด้างเพิ่มขึ้นอีกด้วย

ความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกด (Compression set)

ปริมาณโพแทสเซียม โอลิเอตและปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมีอิทธิพลต่อความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดของยางฟองน้ำ โดยความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเติมโพแทสเซียม โอลิเอตในปริมาณที่สูงขึ้น และยางฟองน้ำที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตมีความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดสูงกว่ายางฟองน้ำที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต และพบว่าที่ทุกๆ ระดับการเติมโพแทสเซียม โอลิเอตและแคลเซียมคาร์บอเนตนั้น ยางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบหนึ่งมีความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดสูงกว่ายางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบ

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของยางฟองน้ำ (Percent shrinkage)

ยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นต่ำ (สารก่อฟองมาก) จะมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูง และยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นสูงจะมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นสูงกว่าจะมีการเชื่อมต่อกันของเซลล์ที่ดีกว่า โครงสร้างของยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีการเชื่อมต่อของเซลล์เป็นไปในลักษณะหลวมๆ ทำให้เกิดการฉีกขาดหรือการเสียหายของเซลล์ได้ง่ายกว่า จึงส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูง

วิธีการให้ความร้อนที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวของยางฟองน้ำ พบว่ากระบวนการให้ความร้อนแบบหนึ่ง ทำให้ยางฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงกว่า ยางฟองน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบอบ และปริมาณสารตัวเติมที่สูงขึ้นส่งผลให้ยางฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่สูงขึ้นด้วย

สมบัติการป้องกันแรงกระแทกของยางฟองน้ำ (Cushioning characteristic)

ผลการทดสอบสมบัติการดูดซับแรงกระแทกของยางฟองน้ำ พบว่าขนาดความหนาของชั้นยางฟองน้ำเป็นเพียงปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับแรงกระแทก ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียม โอลิเอต กระบวนการให้ความร้อน และปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกอย่างมีนัยสำคัญ โดยยางฟองน้ำที่มีขนาดความหนามาก สามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดี และพบว่ายางฟองน้ำที่มีความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกดีที่สุด คือ ยางฟองน้ำที่เตรียมจากการใช้โพแทสเซียม โอลิเอต 1.40 phr, การให้ความร้อนแบบอบและมีความหนา 1.5 นิ้ว ซึ่งมีค่า G ต่ำสุด (42.9 G) เมื่อทดสอบที่ความเค้นสถิต 0.04 kg/cm^2 และตกกระแทกที่ความสูง 18 นิ้ว

การเปรียบเทียบสมบัติการป้องกันแรงกระแทกระหว่างยางพองน้ำกับโฟมสังเคราะห์ พอลิสไตรีน

ความสามารถในการป้องกันแรงกระแทกที่ดีที่สุดของยางพองน้ำถูกนำมาใช้เปรียบเทียบกับโฟมสังเคราะห์พอลิสไตรีนพบว่า วัสดุกันกระแทกประเภทโฟมสังเคราะห์พอลิสไตรีนที่มีความหนาเท่ากับความหนาของยางพองน้ำสามารถป้องกันแรงกระแทกได้ดีกว่า แต่วัสดุกันกระแทกจากโฟมสังเคราะห์พอลิสไตรีนนั้น เมื่อถูกแรงกระทำหลายๆ ครั้งแล้วทำให้ความสามารถในการป้องกันแรงกระแทกลดลง เนื่องจากเม็ดโฟมเสียรูปได้ง่าย และมีความสามารถในการคืนตัวต่ำ ในขณะที่ยางพองน้ำ เมื่อได้รับแรงกระทำหลายๆ ครั้งแล้วยางพองน้ำยังมีความสามารถในการป้องกันแรงกระแทกได้ดีเท่าเดิม เนื่องจากเซลล์ของยางพองน้ำที่พองตัวออกมีความยืดหยุ่นสูง มีการคืนตัวกลับได้ดีซึ่งเป็นลักษณะเด่นของยางพองน้ำ ดังนั้นวัสดุกันกระแทกที่ผลิตมาจากยางพองน้ำจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานเป็นวัสดุกันกระแทกประเภทนำมาใช้ซ้ำหรือการป้องกันการกระแทกซ้ำแบบบ่อยครั้ง

ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างยางพองน้ำกับวัสดุสังเคราะห์โฟมพอลิสไตรีน

ต้นทุนในการผลิตยางพองน้ำขึ้นอยู่กับราคาน้ำยางข้นและสารเคมี โดยเมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรเท่ากัน โดยเปรียบเทียบจากยางพองน้ำมีความหนาแน่น 0.175 g/cm^3 และโฟมสังเคราะห์พอลิสไตรีนมีความหนาแน่น 0.026 g/cm^3 พบว่ายางพองน้ำต้องใช้ต้นทุนในการผลิต 6,520 บาทต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรขณะที่โฟมสังเคราะห์พอลิสไตรีนที่มีปริมาตรเท่ากันใช้ต้นทุนในการผลิต 1,260 บาท หรือคิดเป็น 5.2 เท่าของต้นทุนวัสดุที่ใช้ผลิตโฟมสังเคราะห์พอลิสไตรีน

2. ข้อเสนอแนะ

ควรเลือกใช้น้ำยางข้นที่มีความเสถียรและเป็นน้ำยางข้นจากแหล่งที่มาเดียวกันในการนำมาทดสอบ เนื่องจากน้ำยางข้นจากแหล่งที่มาต่างกันนั้นจะมีปริมาณองค์ประกอบภายในแตกต่างกัน

ในกระบวนการให้ความร้อนแบบนี้ควรปิดฝาเบ้าโลหะให้สนิท เพื่อป้องกันการฉีกขาดเสียหายของเซลล์ยางพองน้ำ อันเนื่องมาจากแรงดันไอน้ำ

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2550. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.doa.go.th> (25 มิถุนายน 2550)
- นนทศักดิ์ สมเกื้อ. 2523. ผลของสารเคมีต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของยางพองน้ำ. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เบญจ ทองนวลจันทร์. 2546. การเตรียมยางพองน้ำจากการเบรนด่ระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับน้ำ
ยางสังเคราะห์อะครีโนไตรลบีวทาไอดีน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต.
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บริษัท อุตสาหกรรมไทยบรรจุภัณฑ์ จำกัด (มหาชน). 2550 (ออนไลน์). สืบค้นจาก:
<http://www.tipack.com/th/product.php> (15 มีนาคม 2550)
- แผ่นพลาสติกอัดอากาศ. 2550. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: [http://www.alibaba.com/catalog/11419314/
Air_Bubble_Paded_Envelope.html](http://www.alibaba.com/catalog/11419314/Air_Bubble_Paded_Envelope.html) (15 มีนาคม 2550)
- พงษ์ธร แซ่อูย. 2548. สารเคมียาง. ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- โพลีโพลีสไตรีน. 2550 (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene>
(15 มีนาคม 2550)
- โพลีเอทิลีน. 2550 (ออนไลน์). สืบค้นจาก: [http://www.alibaba.com/catalog/10953710/
Expanded_Polyethylene_EPE_Foam.html](http://www.alibaba.com/catalog/10953710/Expanded_Polyethylene_EPE_Foam.html) (15 มีนาคม 2550)
- ยางพารา . 2550 (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.rubberthai.com> (25 มิถุนายน 2550)
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2548. อุตสาหกรรมการผลิตยางธรรมชาติ. ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัย
ยาง กรมวิชาการเกษตร.
- สุจิตรา คำป้อก. 2549. การศึกษากระบวนการขึ้นรูปและสมบัติของโพลียูรีเทนธรรมชาติความ
หนาแน่นต่ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุรศักดิ์ เทพทอง. 2545. อิทธิพลของสารก่อเจลเสริมต่อการหดตัวและสมบัติของฟองน้ำยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศุภชัย ภิสัชเพ็ญ และคณะ. 2549. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง. ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศูนย์วิจัยยางสงขลา. 2546. การทำเบาะยางฟองน้ำ. ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Arif, S., Burgess, G., Narayan, R. and Harte, B. 2007. Evaluation of Biodegradable Foam for Protective Packaging Application. *Packag. Technol. Sci.* DOI: 10. 1002/pts.770.

ASTM D 1055-90. 1994. Standard Specifications for Flexible Cellular Materials Latex Foam.

ASTM D 3574-95. 1997. Standard Methods of testing Flexible Cellular Materials-Slab, Bonded, And Moulded Urethane Foams.

ASTM D 4168. 1998. Standard Test Methods For Transmitted Characteristics of Foam- in- Place Cushioning Materials.

Blackley, D.C. 1997. Polymer Latices Science and Technology. *In Latex Foam Rubber*. Vol. III. 2nd ed. P. 283. Chapman & Hall. London.

Burgess, G. 2002. Course Pack of Shock and Vibration. School of Packaging, Michigan State University, USA.

Calvert, K. O. 1982. Polymer Latices and Their Application. *App Sci*: P. 207-209

El-Eraki, M.H., El-Lawindy, A.M.Y., Hassan, H.H. and Mahmoud, W.E. 2006. The physical properties of pressure sensitive rubber composites. *In Polymer Degradation and Stability* 91: P. 1417-1423.

- El-Lawindy, A.M.Y., Eikade, K.A., Mahmoud, W.E. and Hassan, H.H. 2002. Physical studies of foamed reinforced rubber composites. Part 1. *In* Mechanical properties of foamed ethylene-propylene-diene terpolymer and nitrile-butadiene rubber composites. *Polym Int.* 51: P. 601-605.
- Hanlon, J.F., Kelsey, R.J. and Forcinio, H.E. 1998. Cushioning. *In* Handbook of Package. Technomic publication. Pennsylvania: P.513-536
- Klampner, D. and Frisch, K. 1991. Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology. Hanser Publishers. New York: P. 317-318
- Lin, G., Zhang, X.J., Liu., Zhang, J.C., Chen, Q.M. and Zhang, L.Q. 2004. Study on microstructure and mechanical properties relationship of short fibers/rubber foam composites. *J. European Polymer.* 40: P. 1733-1742.
- Morton, M. 1995. Rubber Technology. 3rd ed. Van Nostrand Reinhold. New York: P. 547-549.
- Nasner, A.I. and Meinecke, E.A. 1996. Porosity in rubber (review). *Rubber Chem Technol.* 68(3): P. 425-431.
- Nayak, N.C. and Tripathy, D.K. 2002. Effect of aluminium silicate filler on morphology and physical properties of closed-cell microcellular ethylene-octene copolymer. *J. Mater Sci.* 37: P. 1347-54.
- NR Technical Bulletin. 1996. An Introduction to Latex Foam Manufacture. Natural Rubber Producers Research Association: P. 3-4.
- Paine, A.F. 1991. The Packaging User's Handbook. Blackie and Son Ltd: P. 565-570.
- Shey, J., Imam, S.H., Glenn, G.M. and Orts, W.J. 2006. Properties of baked starch foam with natural rubber latex. *Industrial Crops and products.* 24: P. 34-40.
- Vinatoru, M.A., Radziewicz, C.J. and Morrow, D.R. 1979. A test method for the performance of foam-in-place packaging. Packaging Science and Engineering Program Rutgers. The State University of New Jersey Piscataway. New Jersey.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อมูลการวิเคราะห์สมบัติของยางฟองน้ำ

Table 7. Density of latex foam as a function of potassium oleate.

Vulcanization	Potassium oleate (phr)	Density (g/cm³)
Steam	0.75	0.236
	1.00	0.217
	1.40	0.177
Oven	0.75	0.223
	1.00	0.207
	1.40	0.175

Table 8. Density of latex foam as a function of calcium carbonate.

Vulcanization	Calcium carbonate (phr)	Density (g/cm³)
Steam	0	0.177
	10	0.182
	20	0.185
	30	0.201
Oven	0	0.175
	10	0.237
	20	0.256
	30	0.265

Table 9. Compression resistance of latex foams as a function of potassium oleate.

Vulcanization	Thickness(Inch)	Potassium oleate (phr)		
		0.75	1.00	1.40
Steam	0.5	82.48	66.60	27.42
	1.0	102.37	78.93	44.17
	1.5	134.95	108.30	58.49
Oven	0.5	69.35	51.90	45.45
	1.0	82.96	58.10	38.10
	1.5	112.95	70.56	54.73

Table 10. Compression resistance of latex foams at 1.5 inches-thick.

Vulcanization	Calcium carbonate (phr)	Compression resistance (N)
Steam	0	51.12
	10	69.16
	20	82.61
	30	84.88
Oven	0	59.46
	10	178.33
	20	184.17
	30	211.80

Table 11. Percent shrinkage of the latex foams as a function of potassium oleate.

Vulcanization	Potassium oleate (phr)	Shrinkage (%)		
		Edges	Center	Lateral
Steam	0.75	9.7	11.5	9.6
	1.00	10.0	15.5	9.7
	1.40	10.8	17.1	10.2
Oven	0.75	7.3	8.4	5.9
	1.00	9.6	14.7	7.9
	1.40	10.4	14.8	8.0

Table 12. Percent shrinkage of the latex foams as a function of calcium carbonate.

Vulcanization	Calcium carbonate (phr)	Shrinkage (%)		
		Edges	Center	Lateral
Steam	0	10.8	17.1	10.2
	10	17.1	29.7	15.3
	20	16.0	22.4	13.8
	30	14.0	20.0	11.9
Oven	0	10.4	14.8	8.0
	10	14.4	21.9	14.2
	20	13.6	17.7	13.1
	30	11.6	15.3	11.2

Table 13. Cushioning characteristics of the latex foam as a function of potassium oleate.

Vulcanization	Potassium oleate (phr)	G Value		
		0.5 Inch	1.0 Inch	1.5 Inch
Steam	0.75	62.11	53.99	42.87
	1.00	61.86	55.59	43.06
	1.40	63.31	54.94	44.91
Oven	0.75	65.06	56.30	43.71
	1.00	62.51	52.99	42.82
	1.40	63.62	53.89	42.87

Table 14. Cushioning characteristics of the latex foam at 1.40 phr of potassium oleate.

Vulcanization	Calcium carbonate (phr)	G Value
Steam	0	44.87
	10	46.57
	20	45.37
	30	44.61
Oven	0	42.88
	10	45.31
	20	43.59
	30	43.69

Table 15. Cushioning characteristics as a function of thickness.

Vulcanization	Potassium oleate (phr)	G Value		
		0.5 Inch	1.0 Inch	1.5 Inch
Steam	0.75	62.11	54.13	42.87
	1.00	61.86	55.59	43.50
	1.40	62.69	54.94	44.87
Oven	0.75	65.06	56.30	43.77
	1.00	62.51	53.06	42.74
	1.40	63.62	53.87	42.88
Polystyrene foam		47.34	38.05	35.07

Table 16. Percent compression set as the function of potassium oleate.

Vulcanization	Potassium oleate (phr)	t₀	t₁	Compression set (%)	Average
Steam	0.75	17.7	15.6	11.9	12.7
		18.1	15.5	14.4	
		17.8	15.7	11.8	
	1.00	17.0	15.2	10.6	9.9
		16.9	15.1	10.7	
		16.7	15.3	8.4	
	1.40	16.5	15.0	9.1	8.4
		17.0	16.0	5.9	
		16.5	14.8	10.3	
		18.1	16.3	9.9	
Oven	0.75	18.0	16.6	7.8	8.7
		18.0	16.5	8.3	
		17.0	15.5	8.8	
	1.00	16.7	15.4	7.8	7.8
		16.3	15.2	6.7	
		16.6	15.5	6.6	
	1.40	16.5	15.5	6.1	6.8
		16.8	15.5	7.7	

Table 17. Percent compression set as the function of calcium carbonate.

Vulcanization	Calcium carbonate (phr)	t₀	t₁	Compression set (%)	Average
Steam	10	17.2	14.0	18.6	18.6
		17.2	14.0	18.6	
	20	17.2	14.0	18.6	16.7
		17.4	14.5	16.7	
		17.4	14.5	16.7	
		17.4	14.5	16.7	
		16.6	14.0	15.7	
		16.6	14.0	15.7	
	30	16.6	14.0	15.7	15.7
		16.6	14.0	15.7	
Oven	10	11.5	12.8	12.8	12.8
		11.4	12.9	12.9	
		11.4	12.7	12.7	
		12.5	12.5	12.5	
	20	12.7	12.7	12.7	12.6
		12.6	12.6	12.6	
		12.2	12.2	12.2	
		12.2	12.2	12.2	
	30	12.2	12.2	12.2	12.2
		12.2	12.2	12.2	

Table 18. Percent volume ratio of latex foam and polystyrene foam at 0.5 inch-thick.

Vulcanization	Potassium oleate (phr)	Volume (cm³)	Volume ratio (%)	G Value	
Steam	0.75	432.6	2.0	62.11	
		432.6	2.1	62.07	
		432.6	2.2	61.81	
	1.00	1.00	481.5	2.2	61.86
			481.5	2.3	61.74
			481.5	2.4	61.52
			485.3	2.2	63.31
	1.40	1.40	485.3	2.3	63.19
			485.3	2.4	63.09
			475.0	2.2	65.06
Oven	0.75	475.0	2.3	64.95	
		475.0	2.4	64.90	
		494.7	2.2	62.51	
	1.00	1.00	494.7	2.4	62.39
			494.7	2.5	62.08
			472.6	2.1	63.62
	1.40	1.40	472.6	2.3	63.52
			472.6	2.4	63.44
Polystyrene foam		691.6	2.2	47.34	
		691.6	2.2	45.54	
		691.6	2.3	44.09	

Table 19. Percent volume ratio of latex foam and polystyrene foam at 1.0 inch-thick.

Vulcanization	Potassium oleate (phr)	Volume (cm³)	Volume ratio (%)	G Value	
Steam	0.75	955.5	4.3	53.99	
		955.5	4.6	53.72	
		955.5	4.8	53.59	
	1.00	961.1	4.4	55.59	
		961.1	4.6	55.11	
		961.1	4.8	54.83	
	1.40	955.5	4.3	53.99	
		955.5	4.6	53.72	
		955.5	4.8	53.59	
	Oven	0.75	957.4	4.3	56.30
			957.4	4.6	56.07
			957.4	4.8	55.32
1.00		983.8	4.5	52.99	
		983.8	4.7	52.88	
		983.8	4.9	52.69	
1.40		981.9	4.4	53.89	
		981.9	4.7	53.71	
		981.9	4.9	53.52	
Polystyrene foam		1330.0	4.2	38.05	
		1330.0	4.3	37.68	
		1330.0	4.4	36.85	

Table 20. Percent volume ratio of latex foam and polystyrene foam at 1.5 inch-thick.

Vulcanization	Potassium oleate (phr)	Volume (cm³)	Volume ratio (%)	G Value
Steam	0.75	1455.8	6.6	42.87
		1455.8	6.9	42.42
		1455.8	7.3	42.36
	1.00	1441.7	6.5	43.06
		1441.7	6.9	42.95
		1441.7	7.2	42.67
		1455.8	6.6	42.87
	1.40	1455.8	6.9	42.42
		1455.8	7.3	42.36
		1413.7	6.4	43.71
Oven	0.75	1413.7	6.7	43.56
		1413.7	7.1	43.33
		1508.8	6.8	42.82
	1.00	1508.8	7.2	42.65
		1508.8	7.5	42.38
		1491.2	6.8	42.87
	1.40	1491.2	7.1	42.63
		1491.2	7.5	42.49
		2128.0	6.7	35.07
Polystyrene foam		2128.0	6.9	34.83
		2128.0	7.1	33.23

Table 21. Definitions of latex foam formulation.

Formulation	Vulcanization	Potassium oleate (phr)	Calcium carbonate (phr)
Oven 0.75 K-O	Oven	0.75	-
Oven 1.00 K-O	Oven	1.00	-
Oven 1.40 K-O	Oven	1.40	-
Steam 0.75 K-O	Steam	0.75	-
Steam 1.00 K-O	Steam	1.00	-
Steam 1.40 K-O	Steam	1.40	-
Oven 1.40 K-O 10 CaCO ₃	Oven	1.40	10
Oven 1.40 K-O 20 CaCO ₃	Oven	1.40	20
Oven 1.40 K-O 30 CaCO ₃	Oven	1.40	30
Steam 1.40 K-O 10 CaCO ₃	Steam	1.40	10
Steam 1.40 K-O 20 CaCO ₃	Steam	1.40	20
Steam 1.40 K-O 30 CaCO ₃	Steam	1.40	30

ตารางสถิติ ของยางฟองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่เติมโพแทสเซียมโอเลอีนในปริมาณที่ต่างกัน

Tables 22. Test no. Used for analyze of variation of latex foam.

Test no.	Potassium oleate (phr)	Vulcanization
1	1.40	Steam
2	1.00	Steam
3	0.75	Steam
4	1.40	Oven
5	1.00	Oven
6	0.75	Oven

Table 23. ANOVA of density of latex foam as a function of potassium oleate.

ANOVA

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.006	5	.001	231.726	.000
Within Groups	.000	12	.000		
Total	.006	17			

Table 24. ANOVA of percent shrinkage at center direction as a function of potassium oleate.

ANOVA

%Shrinkage (center)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	148.978	5	29.796	6.230	.005
Within Groups	57.387	12	4.782		
Total	206.364	17			

Table 25. ANOVA variation of percent shrinkage at edges direction on potassium oleate.

ANOVA

%Shrinkage (edges)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22.444	5	4.489	25.250	.000
Within Groups	2.133	12	.178		
Total	24.578	17			

Table 26. ANOVA of percent shrinkage at lateral direction as a function of potassium oleate.

ANOVA

%Shrinkage (lateral)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	39.324	5	7.865	73.733	.000
Within Groups	1.280	12	.107		
Total	40.604	17			

Table 27. ANOVA of percent compression set as a function of potassium oleate.

ANOVA

%Compression set

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	64.363	5	12.873	7.889	.002
Within Groups	19.580	12	1.632		
Total	83.943	17			

Table 28. Test no. used for analyze of variation of G value as a function of potassium oleate.

Test no.	Potassium oleate (phr)	Thickness (Inch)	Vulcanization	G Value
1	1.4	1.5	Oven	42.8764 ^a
2	1.4	1.5	Steam	44.8739 ^b
3	1.4	1.0	Oven	53.8747 ^{cd}
4	1.4	1.0	Steam	54.9387 ^{def}
5	1.4	0.5	Oven	63.6207 ^{hi}
6	1.4	0.5	Steam	62.6914 ^{gh}
7	1.0	1.5	Oven	42.7433 ^a
8	1.0	1.5	Steam	43.0505 ^a
9	1.0	1.0	Oven	53.0645 ^c
10	1.0	1.0	Steam	55.5900 ^{ef}
11	1.0	0.5	Oven	62.5067 ^{gh}
12	1.0	0.5	Steam	61.8573 ^g
13	0.75	1.5	Oven	43.7695 ^{ab}
14	0.75	1.5	Steam	42.8679 ^a
15	0.75	1.0	Oven	56.2958 ^f
16	0.75	1.0	Steam	54.1274 ^{cde}
17	0.75	0.5	Oven	65.0587 ⁱ
18	0.75	0.5	Steam	62.1080 ^{gh}

Table 29. ANOVA of G value as a function of potassium oleate.

ANOVA

G Value

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23697.917	17	1393.995	257.346	.000
Within Groups	1868.801	345	5.417		
Total	25566.718	362			

ตารางสถิติ ของยางฟองน้ำที่เตรียมจากสูตรที่เติมโพแทสเซียมโอเลต และแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่แตกต่างกัน

Table 30. Test no. Used for analyze of variation of latex foam as a function of calcium carbonate.

Test no.	Potassium oleate (phr)	Calcium carbonate (phr)	Vulcanization
1	1.40	0	Steam
2	1.40	10	Steam
3	1.40	20	Steam
4	1.40	30	Steam
5	1.40	0	Oven
6	1.40	10	Oven
7	1.40	20	Oven
8	1.40	30	Oven

Table 31. ANOVA of density of latex foam as a function of calcium carbonate.

ANOVA

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.029	7	.004	104.718	.000
Within Groups	.001	16	.000		
Total	.030	23			

Table 32. ANOVA of percent compression set as a function of calcium carbonate.

ANOVA

% Compression set

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	337.413	7	48.202	65.767	.000
Within Groups	11.727	16	.733		
Total	349.140	23			

Table 33. ANOVA of percent shrinkage at center direction as a function of calcium carbonate.

ANOVA

% Shrinkage (center)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	499.200	7	71.314	26.676	.000
Within Groups	42.773	16	2.673		
Total	541.973	23			

Table 34. ANOVA of percent shrinkage at edges direction as a function of calcium carbonate.

ANOVA

% Shrinkage (edges)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	121.647	7	17.378	21.022	.000
Within Groups	13.227	16	.827		
Total	134.873	23			

Table 35. ANOVA of percent shrinkage at lateral direction as a function of calcium carbonate.

ANOVA

% Shrinkage (lateral)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	119.638	7	17.091	155.374	.000
Within Groups	1.760	16	.110		
Total	121.398	23			

Table 36. Test no. Used for analyze variation of G value.

Test no.	Potassium oleate (phr)	Calcium carbonate (phr)	Vulcanization
1	1.40	10	Oven
2	1.40	20	Oven
3	1.40	30	Oven
4	1.40	10	Steam
5	1.40	20	Steam
6	1.40	30	Steam

Table 37. ANOVA of G value as a function of calcium carbonate.

ANOVA

G Value					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	134.061	5	26.812	10.157	.000
Within Groups	322.050	122	2.640		
Total	456.110	127			

ภาคผนวก ข ภาพถ่ายโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของยางฟองน้ำ

1. ภาพถ่าย SEM ของยางฟองน้ำความหนาแน่นแตกต่างกันที่กำลังขยาย 60 เท่า

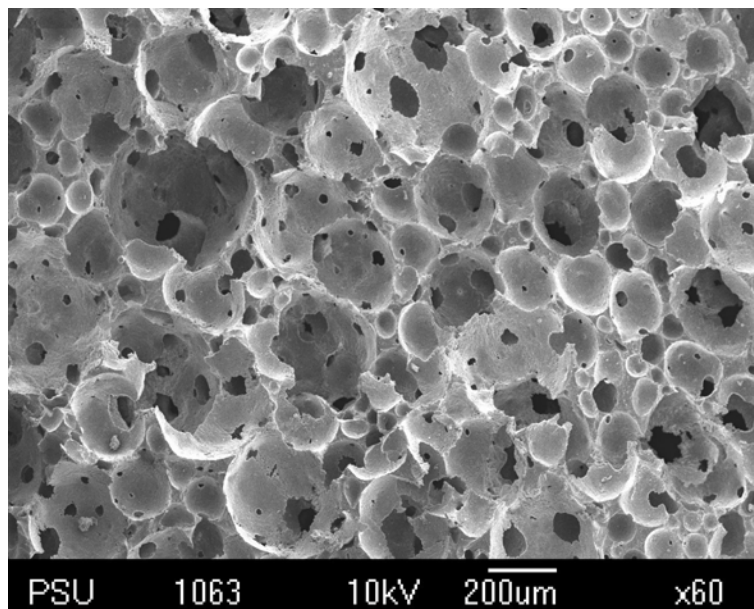


Figure 43. SEM of latex foam density of 0.223 g/cm^3 .

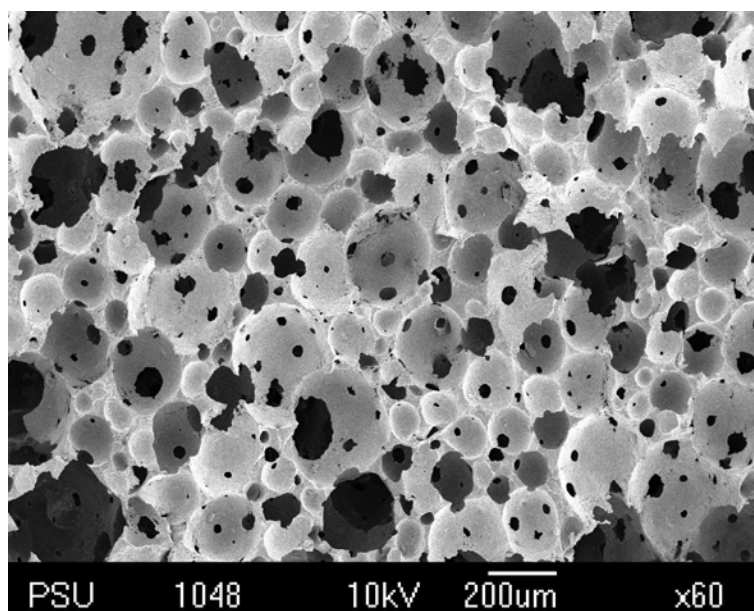


Figure 44. SEM of latex foam density of 0.207 g/cm^3 .

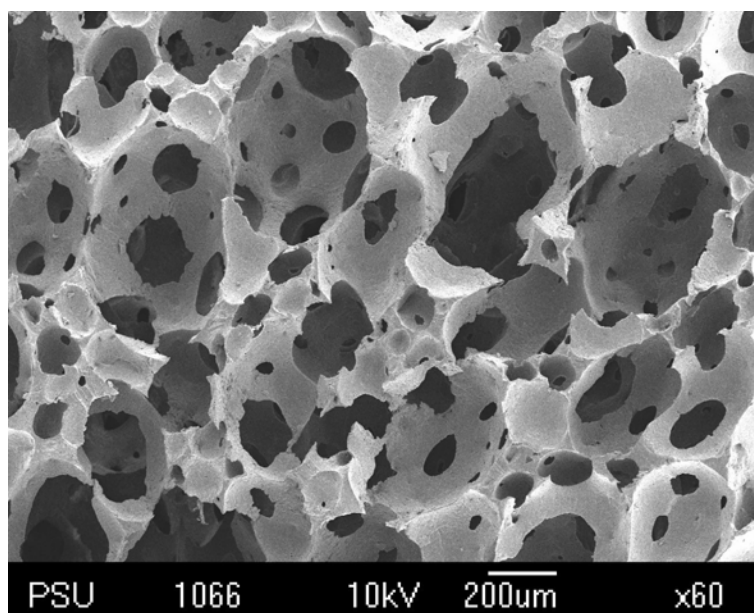


Figure 45. SEM of latex foam density of 0.175 g/cm³.

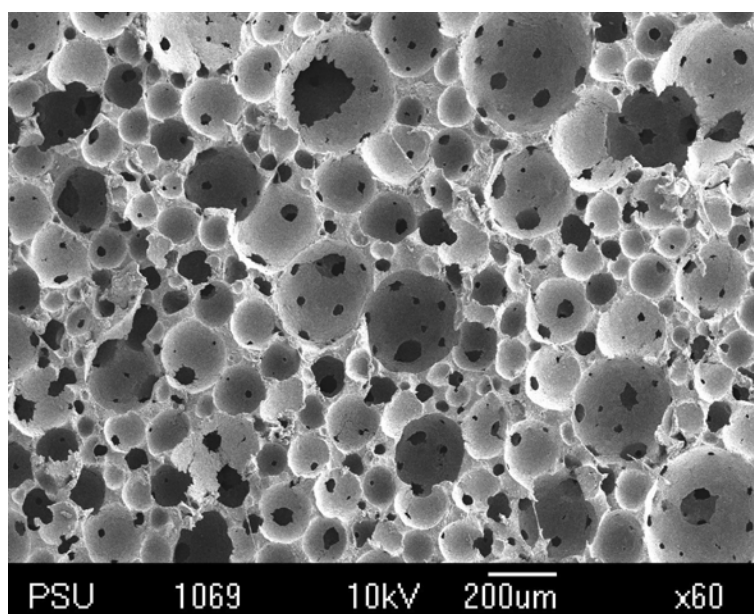


Figure 46. SEM of latex foam density of 0.236 g/cm³.

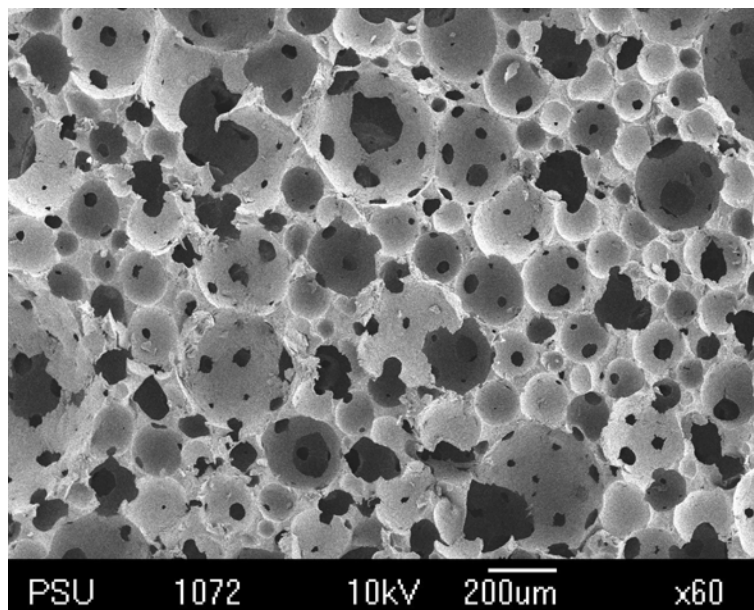


Figure 47. SEM of latex foam density of 0.217 g/cm³.

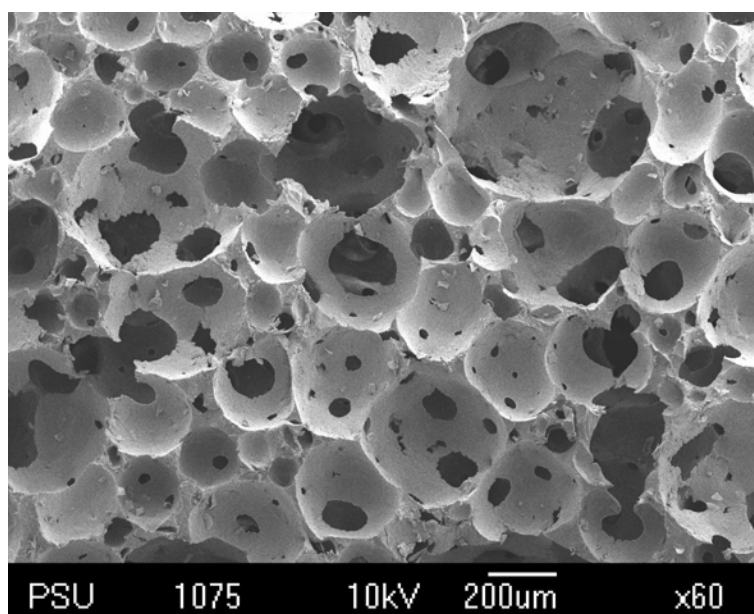


Figure 48. SEM of latex foam density of 0.177 g/cm³.

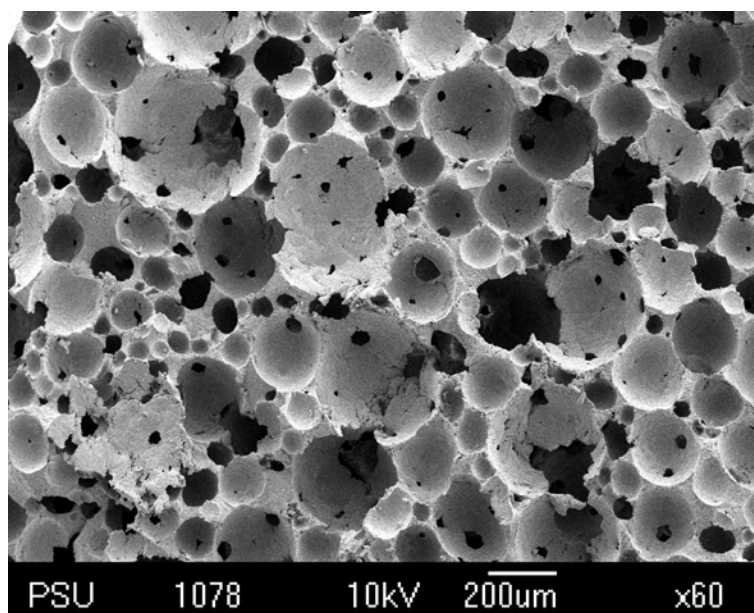


Figure 49. SEM of latex foam density of 0.237 g/cm^3 .

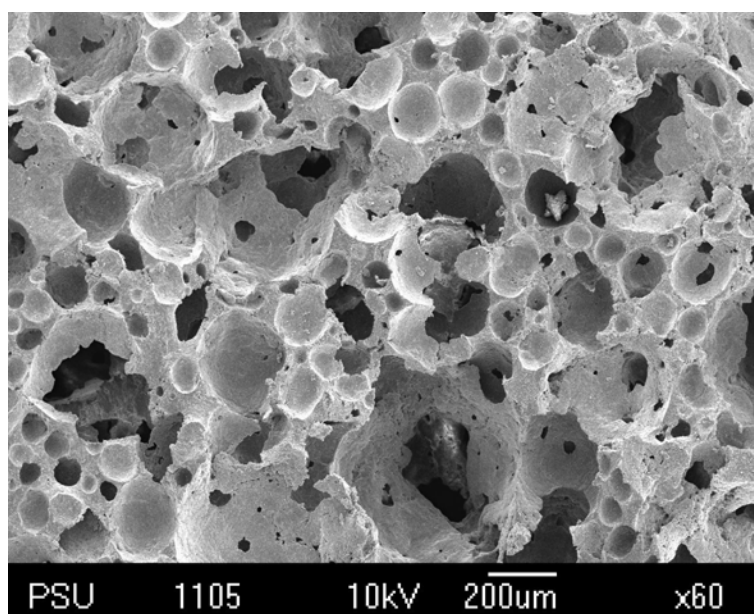


Figure 50. SEM of latex foam density of 0.256 g/cm^3 .

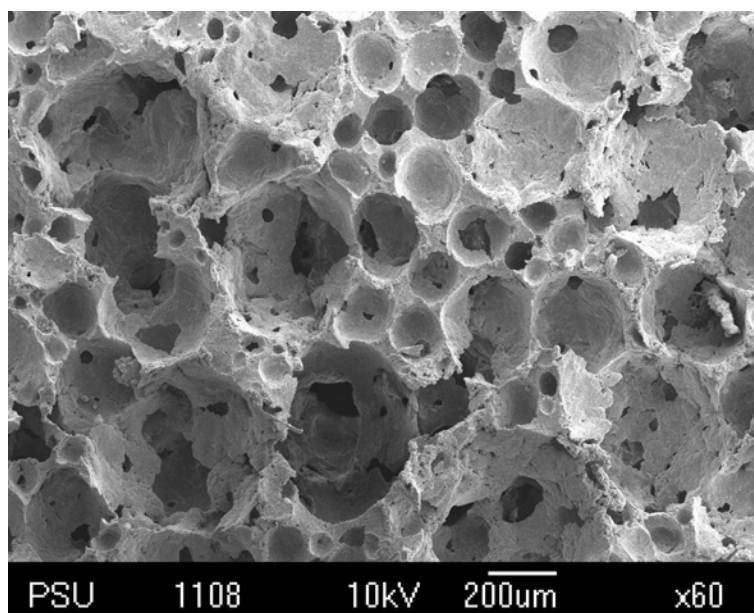


Figure 51. SEM of latex foam density of 0.265 g/cm³.

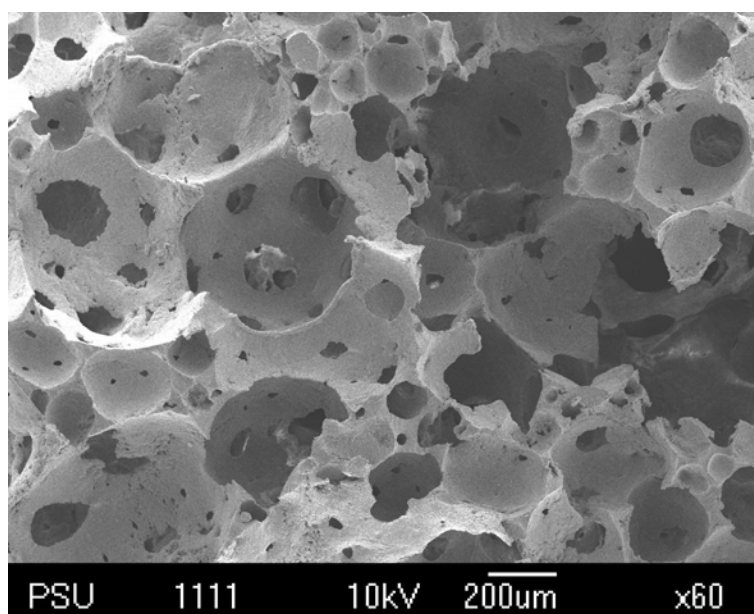


Figure 52. SEM of latex foam density of 0.182 g/cm³.

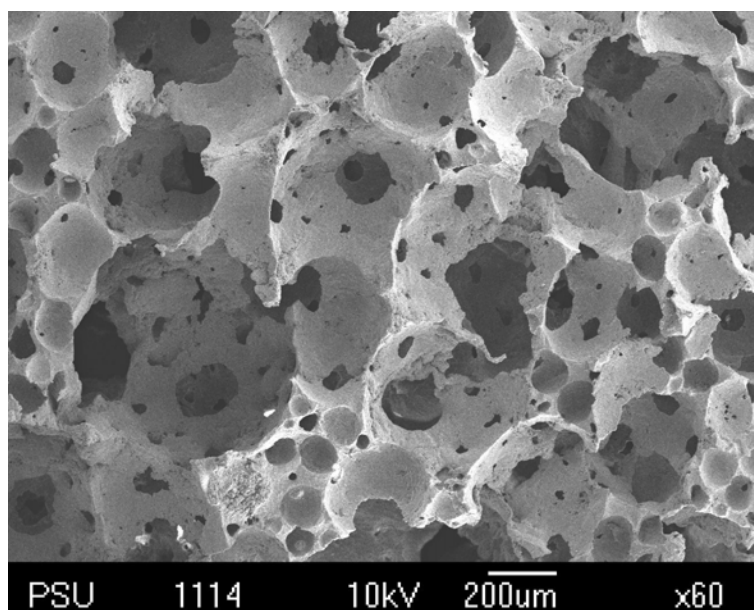


Figure 53. SEM of latex foam density of 0.185 g/cm^3 .

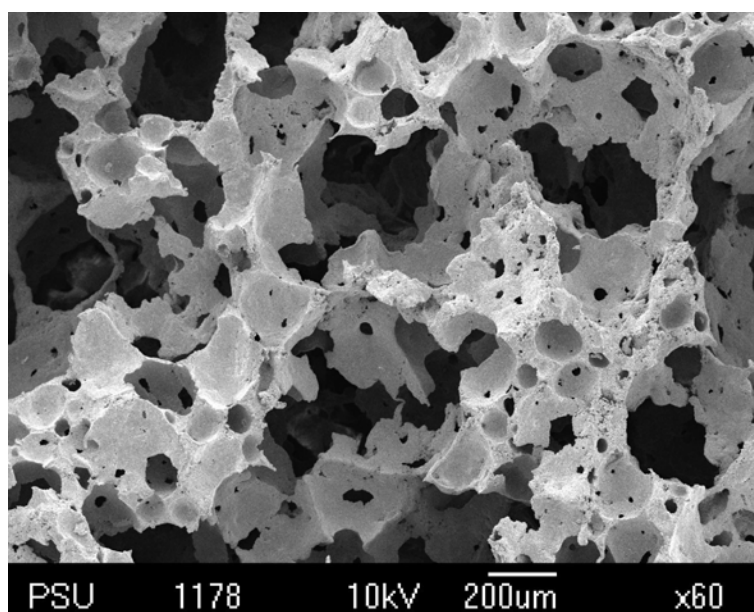


Figure 54. SEM of latex foam density of 0.201 g/cm^3 .

2. ภาพถ่าย SEM ของยางฟองน้ำความหนาแน่นแตกต่างกันที่กำลังขยาย 100 เท่า

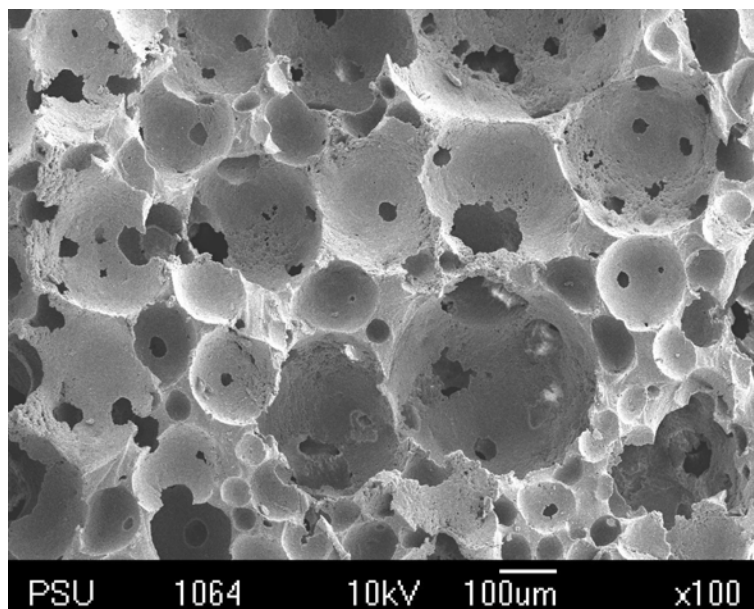


Figure 55. SEM of latex foam density of 0.223 g/cm³.

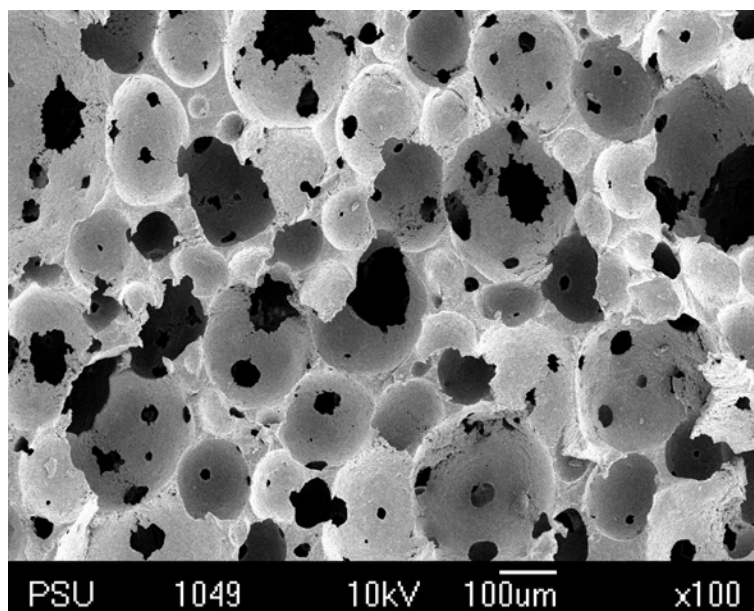


Figure 56. SEM of latex foam density of 0.207 g/cm³.

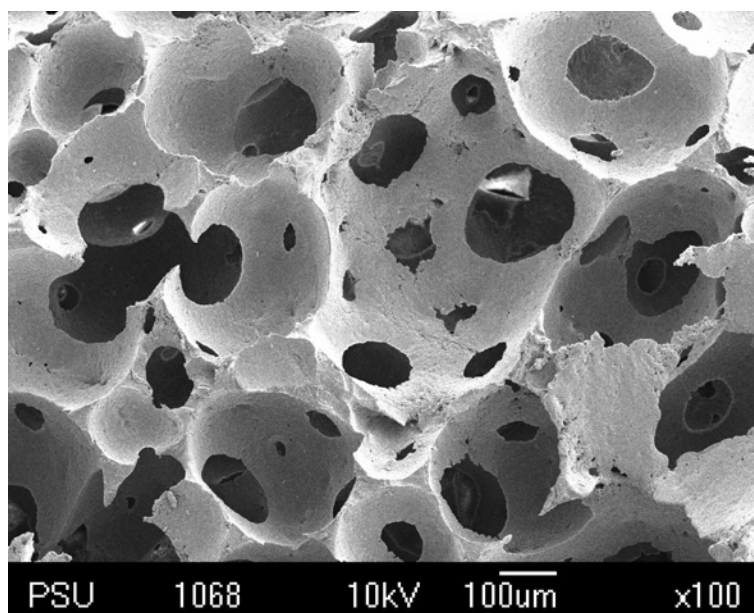


Figure 57. SEM of latex foam density of 0.175 g/cm³.

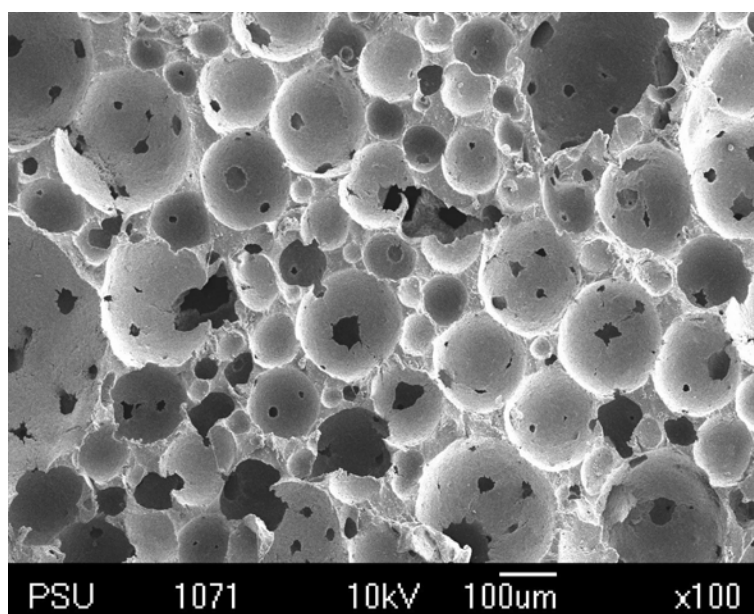


Figure 58. SEM of latex foam density of 0.236 g/cm³.

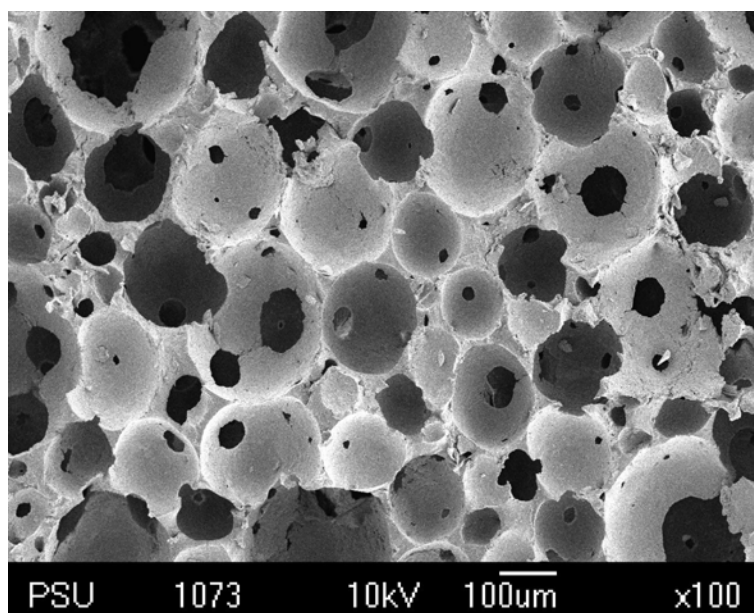


Figure 59. SEM of latex foam density of 0.217 g/cm^3 .

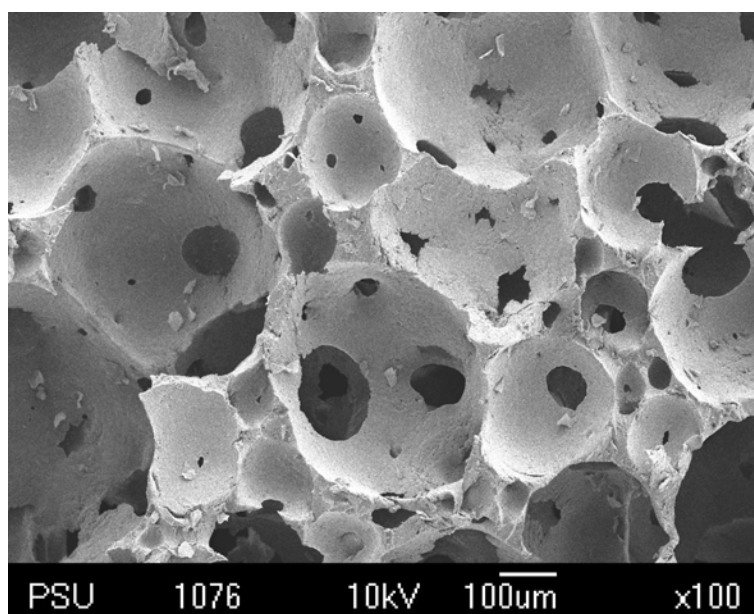


Figure 60. SEM of latex foam density of 0.177 g/cm^3 .

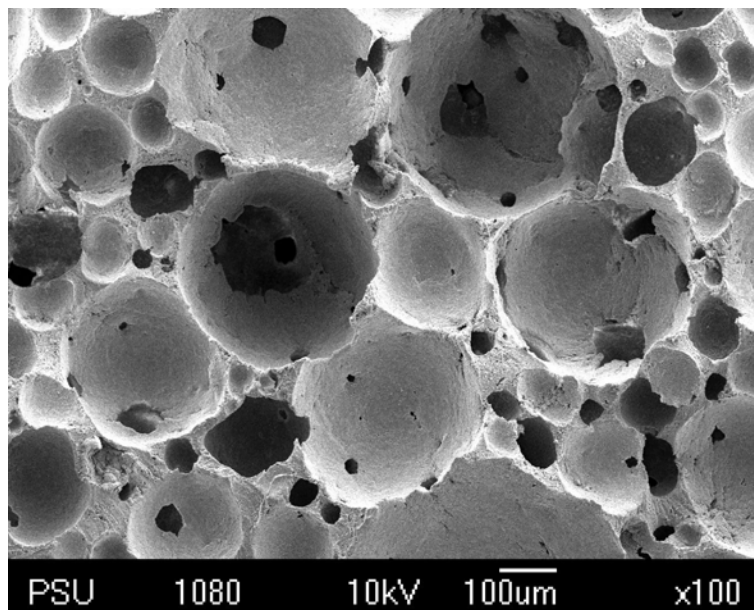


Figure 61. SEM of latex foam density of 0.237 g/cm^3 .

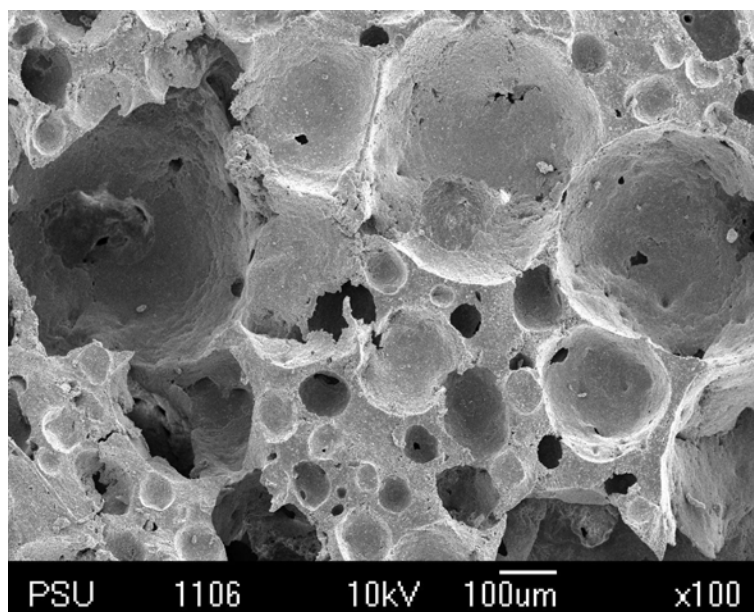


Figure 62. SEM of latex foam density of 0.256 g/cm^3 .

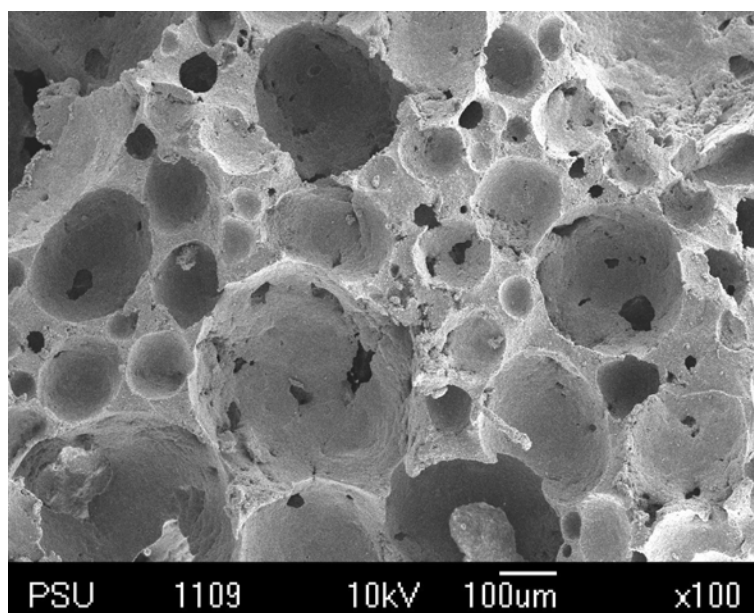


Figure 63. SEM of latex foam density of 0.265 g/cm³.

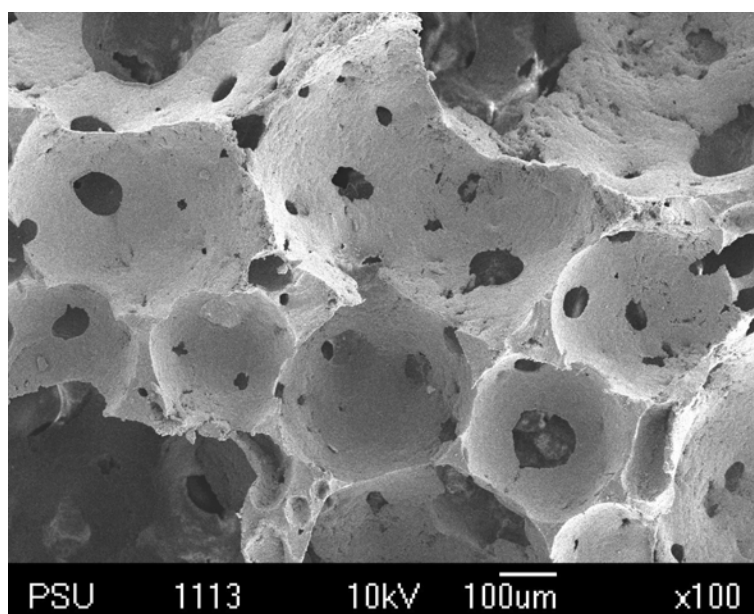


Figure 64. SEM of latex foam density of 0.182 g/cm³.

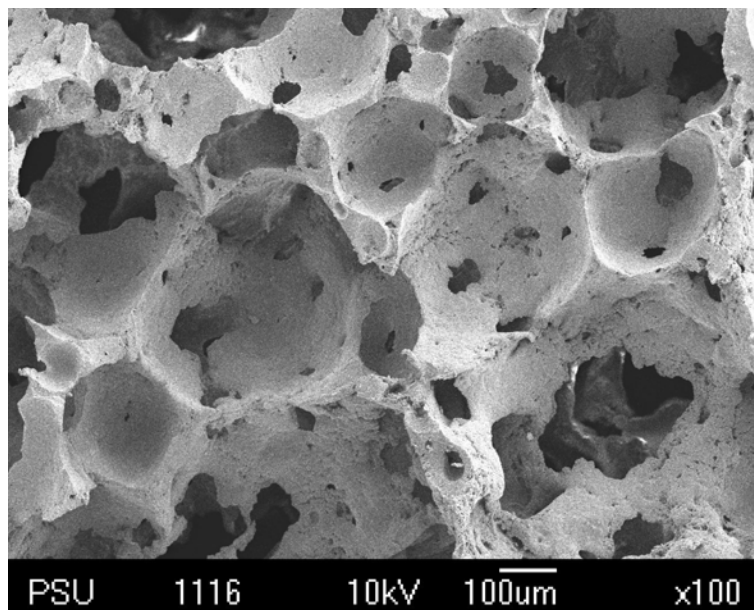


Figure 65. SEM of latex foam density of 0.185 g/cm^3 .

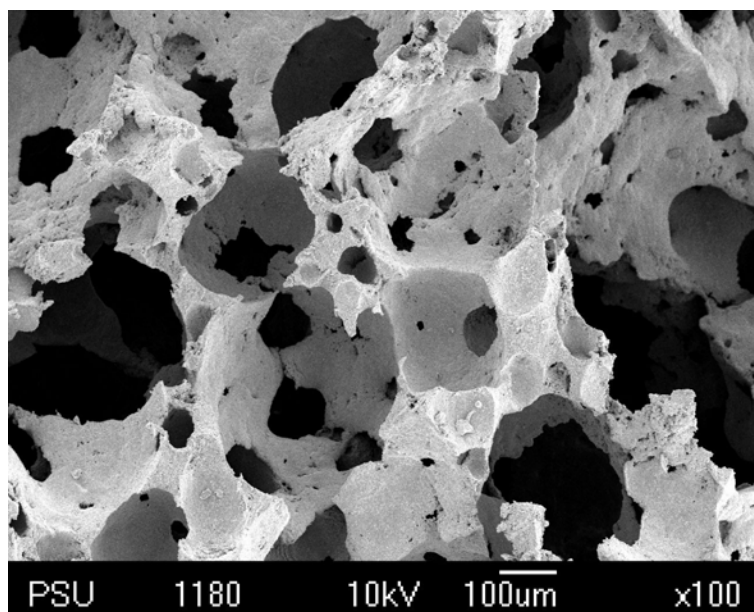


Figure 66. SEM of latex foam density of 0.201 g/cm^3 .

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายวรารุช สุขมาก

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4911020063

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จการศึกษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์)

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2549

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ตำแหน่งผู้จัดการ โรงเรียนกวดวิชาเก็ต เอ

21 ถ. กำพลอุทิศ อ.สะเคา จ.สงขลา 90120 โทร. 074-461123, 086-6856052

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Warawut, S. and Supachai, P. 2008. Preparation and characterization of natural latex foam for package cushioning material. 16th International Association of Packaging Research Institutes (IAPRI) World Conference on Packaging. Bangkok. Thailand. 8-12 June 2008.