รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในฟองน้ำยางธรรมชาติ

Use of Defatted Rice Bran as a Filler in Latex Foam

โดย ดริญญา มูลชัย

ตุลาคม 2555

สัญญาเลขที่ RDG5450046

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในฟองน้ำยางธรรมชาติ

Use of Defatted Rice Bran as a Filler in Latex Foam

ผู้วิจัย

ดริญญา มูลชัย

สังกัด

สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ชุดโครงการ “โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้”

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

1. ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในฟองน้ำยางธรรมชาติ

(ภาษาอังกฤษ) Use of Defatted Rice Bran as a Filler in Latex Foam

2. ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่

ชื่อ-สกุล ดริญญา มูลชัย

หน่วยงาน สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053-875542 โทรสาร 053-498902

E-mail address darinya@mju.ac.th

3. ผู้ช่วยทำวิจัย

1. อรุณศรี เอี่ยมรัมย์
2. นพดล วงศ์ใจฟู

5. ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน จาก 1 สิงหาคม 2554 ถึง 30 เมษายน 2555

6. ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

รำสกัดน้ำมันเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าว ซึ่งข้าวถือว่าเป็นผลผลิตทางการเกษตรหลักของประเทศไทย และรำสกัดน้ำมันยังเป็นวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ มีราคาถูก กรณีการใช้รำสกัดน้ำมันที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 เมช จะได้รำสกัดน้ำมันที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 ไมโครเมตร และจากการทดสอบค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของรำสกัดน้ำมัน และแคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าดังนี้ 4.63 m^2/g และ 4.46 m^2/g ตามลำดับ (Moonchai *et al.*, 2012) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่ารำสกัดน้ำมันสามารถนำมาผสมกับยางในกระบวนการผลิตยางฟองน้ำได้ งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการนำรำสกัดน้ำมันมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางฟองน้ำแทนการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจัดว่าเป็นสารตัวเติมที่นิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม โดยทดลองแปรปริมาณสารตัวเติม 0-40 phr และศึกษาพฤติกรรมการเกิดฟอง เวลาเจล ลักษณะฟองน้ำหลังการคงรูป สมบัติต่างๆของฟองน้ำยางธรรมชาติโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้รำสกัดน้ำมันกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม

7. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในการผลิตฟองน้ำยางธรรมชาติ

8. ผลการดำเนินงาน

จากผลการทดลองพบว่ารำสกัดน้ำมันสามารถนำมาตีฟองร่วมกับน้ำยางธรรมชาติได้ เมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมัน (0-40 phr) ความหนืดของน้ำยางมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทำให้การตีฟองยากขึ้น สังเกตจากความสูงของฟองยางที่ลดลง แต่เวลาในการเจลกลับเพิ่มมากขึ้น ฟองน้ำที่ได้มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ลักษณะของฟองน้ำหลังการคงรูปจะมีการหดตัว และแข็งมากขึ้น โดยที่ปริมาณรำสกัดน้ำมัน 40 phr จะได้ฟองน้ำที่หดตัวและมีความแข็งกระด้างมาก สูญเสียสมบัติความยืดหยุ่นของยางฟองน้ำ เมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมันทำให้ฟองน้ำที่ได้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น สามารถรับแรงกดในการทำให้ฟองน้ำยุบตัวลงได้มากขึ้นทั้งก่อนและหลังอบ และค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณรำสกัดน้ำมันด้วย แสดงถึงฟองน้ำมีความยืดหยุ่นลดลงเมื่อใช้รำสกัดน้ำมันในปริมาณที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต พบว่ารำสกัดน้ำมันทำให้เวลาในการเจลเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตกลับทำให้เวลาในการเจลลดลง และที่ปริมาณการใช้สารตัวเติมเท่ากันฟองน้ำยางธรรมชาติที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมมีความสามารถรับแรงกดในการทำให้ฟองน้ำยุบตัวได้มากกว่า และยังมีค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดที่น้อยกว่าด้วย

เมื่อนำฟองน้ำที่เตรียมได้ไปจัดชั้นเทียบกับมาตรฐาน มอก. 173-2519 จะได้ว่ายางฟองน้ำผสมแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถจัดชั้นเข้ากับลักษณะที่ต้องการตาม มอก. 173-2519 ได้ 2 สูตรคือ สูตรที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 10 และ 20 phr โดยจัดได้ชั้นคุณภาพ RU 20 และ RU 150 ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ใช้ $CaCO_3$ ปริมาณ 30 และ 40 phr นั้นมีค่าแรงกดที่ทำให้ความหนาลดลงร้อยละ 25 สูงกว่าลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐาน มอก. ไม่สามารถจัดเข้ากับชั้นคุณภาพใดได้ หมายถึงยางฟองน้ำมีความแข็งมากเกินไป จึงทำให้สามารถทนต่อแรงกดได้มากในการทำให้ยุบตัวลงร้อยละ 25 แต่จะเห็นว่าสำหรับค่าที่เปลี่ยนไปหลังการอบด้วยความร้อนและค่ายุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางทั้งสองสูตรมีค่าอยู่ในช่วงตามมาตรฐาน มอก. กำหนด คือไม่เกินร้อยละ 20 และ 10 ตามลำดับ สำหรับยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมันสูตรที่ใช้รำสกัดน้ำมัน 10 phr สามารถจัดชั้นได้ชั้นคุณภาพ RU 20 ขณะที่สูตรที่ใช้รำสกัดน้ำมัน 20 และ 30 phr นั้นเมื่อนำมาจัดชั้นจะได้คุณภาพใกล้เคียงกับชั้น RU 55 และ RU 150 ตามลำดับ โดยมีค่าแรงกดที่ทำให้ความหนาลดลงร้อยละ 25 กับค่าที่เปลี่ยนไปหลังการอบด้วยความร้อนเป็นไปตามลักษณะ

ที่ต้องการตาม มอก. 173-2519 ของชั้นคุณภาพทั้งสอง แต่พบว่าค่าการยุบตัวจากการกดอัดมีค่าเกินจากที่มาตรฐาน มอก. กำหนด

9. สรุปผลการวิจัย

1. สามารถนำรำสกัดน้ำมันมาผสมกับยางธรรมชาติเพื่อตีฟองได้ในปริมาณ 0-30 phr ซึ่งการเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมันส่งผลให้การตีฟองยากขึ้น สังเกตจากความสูงของฟองยางที่ลดลง เวลาในการเจลเพิ่มขึ้น ลักษณะของฟองน้ำหลังการคงรูปจะมีการหดตัว และแข็งมากขึ้น

2.เมื่อเปรียบเทียบการใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าที่ปริมาณสารตัวเติมเท่ากันยางที่ผสมรำสกัดน้ำมันสามารถตีฟองได้ง่ายกว่า เพราะสามารถตีฟองได้ความสูงของฟองมากกว่า แต่ฟองน้ำที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมมีความสามารถรับแรงกดในการทำให้ฟองน้ำยุบตัวได้มากกว่า และยังมีค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดที่น้อยกว่าด้วย

3. เมื่อเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์แล้ว ราคาแคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากับ 16 บาทต่อกิโลกรัม รำสกัดน้ำมันราคา 8.50 บาทต่อกิโลกรัม แต่ในงานวิจัยนี้ใช้รำสกัดน้ำมันที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 เมช ซึ่งในการร่อนจะได้รำสกัดน้ำมันขนาด 150 เมช ปริมาณ 25% ดังนั้นต้นทุนของรำสกัดน้ำมันจึงแพงขึ้นเป็น 34 บาทต่อกิโลกรัม จึงทำให้ต้นทุนของรำสกัดน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัยสูงกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต 18 บาทต่อกิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตามรำสกัดน้ำมันที่เหลือจากการร่อนยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้

10. ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

1. ศึกษาหาปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม ในการปรับสีฟองน้ำที่ใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติม เพื่อให้ได้ฟองน้ำที่มีสมบัติที่ดีเหมาะกับการใช้งาน

2.ศึกษาการใช้รำสกัดน้ำมันที่มีขนาดหยาบมากกว่านี้ในการตีฟอง เพื่อเป็นการลดต้นทุน

11. ผลงานวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

สิ่งตีพิมพ์ระดับชาติหรือนานาชาติ

การใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในฟองน้ำยางธรรมชาติ

บทคัดย่อ

ศึกษาการใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในฟองน้ำยางธรรมชาติ พบว่ารำสกัดน้ำมันสามารถนำมาตีฟองร่วมกับน้ำยางธรรมชาติได้ เมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมันความหนืดของน้ำยางมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทำให้การตีฟองยากขึ้น สังเกตจากความสูงของฟองยางที่มีค่าลดลง และส่งผลให้เวลาในการเจล การหดตัว ความหนาแน่น แรงกดที่ทำให้ฟองน้ำยุบตัว และการยุบตัวเนื่องจากแรงกดของยางฟองน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม พบว่าที่ปริมาณสารตัวเติมเท่ากันยางฟองน้ำที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมมีความสามารถรับแรงกดได้มากกว่า และมีค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดน้อยกว่า อย่างไรก็ตามยางฟองน้ำที่ผสมรำสกัดน้ำมัน 10 phr มีสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 173-2519 สามารถจัดชั้นได้เทียบเท่ากับชั้น RU 20 โดยมีแรงกดที่ทำให้ความหนาลดลง 25% เท่ากับ 2.08 กิโลปาสคาล และมีค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดเท่ากับ 9.20%

คำสำคัญ ฟองน้ำยางธรรมชาติ รำสกัดน้ำมัน สารตัวเติม

Use of Defatted Rice Bran as a Filler in Latex Foam

Abstract

Latex foam from natural rubber was prepared by using defatted rice bran (DRB) as a filler. Increasing amount of DRB showed an increase in viscosity of latex compound. This effected to a difficulty of making latex foam. It was found that gellation time, shrinkage, density, indentation force and compression set of DRB-filled latex foam increased with increasing amount of DRB. The properties of DRB-filled latex foam were also compared with $CaCO_3$-filled latex foam. At similar loading level, $CaCO_3$-filled latex foam gave higher indentation force and lower compression set. However, the properties of latex foam filled with 10 phr of defatted rice bran reached the standard specification of latex foam rubber according to TIS 173-2519. It was qualified in RU 20 with indentation force of 2.08 kPa and compression set of 9.20%.

KEYWORDS: Latex foam, Defatted rice bran, Filler

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร	i
บทคัดย่อ	iv
Abstract	v
เนื้อหางานวิจัย	
1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์	1
3. ทฤษฎี แนวคิดในการทำวิจัย และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
4. วิธีการ	4
5. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	9
6. สรุปผล	21
7. ข้อเสนอแนะ	22
8. เอกสารอ้างอิง	23
ภาคผนวก คำชี้แจงข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	24

เนื้อหางานวิจัย

1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

จากงานวิจัยเรื่องการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติผสมรำสกัดน้ำมันของดริญญา และคณะ (2552) ได้นำรำสกัดน้ำมันมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางแห้ง พบว่ารำสกัดน้ำมันส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยางไม่ดี จึงไม่เหมาะกับนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และเมื่อเปรียบเทียบกับยางผสมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าที่ปริมาณสารตัวเติมเท่ากัน (50 phr) ยางผสมสารตัวเติมทั้งสองชนิดมีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน แต่รำสกัดน้ำมันจะให้ยางที่มีค่าความต้านทานแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด ความต้านทานการสึกหรอ ความสามารถคืนรูปหลังการกดอัดดีกว่า ซึ่งยางฟองน้ำต้องการสมบัติคือมีความยืดหยุ่นดี นิ่ม ความหนาแน่นต่ำ และเมื่อถูกกระทำด้วยแรงกดสามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ดี

รำสกัดน้ำมันเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าว ซึ่งข้าวถือว่าเป็นผลผลิตทางการเกษตรหลักของประเทศไทย และรำสกัดน้ำมันยังเป็นวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ มีราคาถูก กรณีการใช้รำสกัดน้ำมันที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 เมช จะได้รำสกัดน้ำมันที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 ไมโครเมตร และจากการทดสอบค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของรำสกัดน้ำมัน และแคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าดังนี้ 4.63 m^2/g และ 4.46 m^2/g ตามลำดับ (Moonchai *et al*., 2012) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่ารำสกัดน้ำมันสามารถนำมาผสมกับยางในกระบวนการผลิตยางฟองน้ำได้ งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการนำรำสกัดน้ำมันมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางฟองน้ำแทนการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจัดว่าเป็นสารตัวเติมที่นิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม โดยทดลองแปรปริมาณสารตัวเติม 0-40 phr และศึกษาพฤติกรรมการเกิดฟอง เวลาเจล ลักษณะฟองน้ำหลังการคงรูป สมบัติต่าง ๆของฟองน้ำยางธรรมชาติโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้รำสกัดน้ำมันกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในการผลิตฟองน้ำยางธรรมชาติ

3. ทฤษฎี แนวคิดในการทำวิจัย และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ยางฟองน้ำ (วราภรณ์, 2537)

ยางฟองน้ำที่ผลิตจากน้ำยางโดยตรงมีลักษณะเป็นรูพรุน ผิวหน้าระบายอากาศออกได้ สามารถกดหรือบิดได้โดยไม่เสียรูปทรง นิยมใช้เป็นสิ่งของเครื่องใช้เพื่อการรองรับการกระแทก กันการลื่น หรือเพื่อความนุ่ม เช่น ทำเป็นผลิตภัณฑ์ตามแบบของแม่พิมพ์ ได้แก่ เบาะรองนั่ง หมอนหนุน ที่รองนอน เป็นต้น ทำเป็นแผ่นฟองน้ำ หรือทำเป็นฟองน้ำฉาบหลังของพวกสิ่งทอต่างๆ เป็นต้น

หลักการสำคัญของการผลิตยางฟองน้ำประกอบด้วยขั้นตอน คือ 1) ทำให้น้ำยางเกิดฟองเป็นฟองอากาศหรือฟองของแก๊สต่างๆ 2) ทำให้น้ำยางที่เป็นฟองแล้วเกิดเป็นเจลในเบ้าพิมพ์ หรือเป็นแผ่นหรือเคลือบติดสิ่งทอ และ 3) ทำให้ฟองยางที่ขึ้นรูปต่างๆแล้วคงรูป กระบวนการพื้นฐานในการผลิตยางฟองน้ำ ได้แก่ 1) กระบวนการดันลอป (Dunlop process) 2) กระบวนการทาลาเลย์ (Talalay process) และกระบวนการใช้สารไวต่อความร้อน (Heat sensitive process)

3.2 กระบวนการดันลอป

เรียกอีกอย่างว่ากระบวนการซิลิโคฟลูออไรด์ (Silicofluoride process) เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการผลิตยางฟองน้ำ ขั้นตอนสำคัญประกอบด้วย

1. การเตรียมสารเคมีและการผสมสารเคมีกับน้ำยาง
2. การตีฟอง (Foaming)
3. การขึ้นรูปในเบ้าพิมพ์และทำให้เป็นเจล (Moulding and gellation)
4. การทำให้ฟองยางคงรูป ล้าง อบแห้ง และตกแต่ง (Vulcanising, washing, drying and finishing)

ขั้นตอนในการทำยางฟองน้ำเริ่มจากการไล่แอมโมเนียจากน้ำยางแล้วนำน้ำยางผสมสารเคมีและบ่มให้ได้ที่จึงนำไปตีฟอง ในการใส่สารเคมีนั้นจะใส่ซิงค์ออกไซด์และสารช่วยในการเจล (Secondary gelling agent) ก่อนแล้วใส่สารช่วยให้เกิดเจล ได้แก่ โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์เป็นตัวสุดท้าย จากนั้นเทใส่เบ้า ฟองน้ำจะค่อย ๆ แข็งตัวเรียกกระบวนการแข็งตัวอย่างช้า (Delayed-action-gelling system) หลังจากนั้นนำไปคงรูปโดยการอบด้วยไอน้ำเมื่อถอดออกจากเบ้าแล้วก็นำไปล้างแล้วอบให้แห้งอีกครั้งก่อนนำไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งในกระบวนการทำยางฟองน้ำด้วยวิธีดันลอปมีน้ำยางและสารเคมีที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. น้ำยางธรรมชาติใช้ได้ทั้งชนิดแอมโมเนียสูงและแอมโมเนียต่ำ ซึ่งอาจใช้ตามลำพังหรือใช้ร่วมกับน้ำยางสังเคราะห์ SBR ถ้าใช้น้ำยางชนิดแอมโมเนียสูงจะต้องเป่าไล่แอมโมเนียให้เหลือ 0.15-0.20 เปอร์เซ็นต์ ก่อนการใช้
2. สารทำให้เกิดฟอง (Foaming agent) ปกติใช้สารละลายโพแทสเซียมโอลิเอต (Potassium Oliate

solution) เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างกรดโอลิอิกกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

3. สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanising agent) ใช้ซัลเฟอร์ดิสเพิสชั่น 50 เปอร์เซ็นต์
4. สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (Accelerator) ใช้ซิงค์ไดเอททิลไดไธโอคาร์บาเมต (ZDEC) และซิงค์เมอแคปโตเบนโซไธอาโซล (ZMBT) ในรูปดิสเพิสชั่น 50 เปอร์เซ็นต์
5. สารป้องกันยางเสื่อม (Antioxidant) มักใช้พวกไม่ติดสีซึ่งอาจเป็นผงและทำให้เป็นดิสเพิสชั่น 50 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจเป็นของเหลวและทำให้เป็นอิมัลชั่น 50 เปอร์เซ็นต์
6. สารช่วยการเกิดเจล (Secondary gelling agents) ชนิดที่ใช้อย่างกว้างขวางได้แก่ Diphenylguanidine (DPG) ในรูปดิสเพิสชั่น ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงต่อฟองน้ำยุบตัวก่อนที่จะเกิดเจล
7. สารช่วยเสริมการเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (Activator) และช่วยทำให้เกิดเจลใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยเสริมการเร่งปฏิกิริยาทำให้ยางคงรูป และยังเป็นตัวช่วยการเกิดเจลด้วย ใช้ในรูปดิสเพิสชั่น 50 เปอร์เซ็นต์
8. สารทำให้เกิดเจล (Gelling agent) ใช้โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ ในรูปของดิสเพิสชั่น
9. สารตัวเติม (Fillers) การใช้สารตัวเติมที่มีราคาถูกในการผลิตยางฟองน้ำมักนิยมกันเพื่อการลดต้นทุนการผลิต แต่ปริมาณที่ใช้จะต้องไม่มากเกินไป เพราะจะทำให้กระบวนการผลิตเกิดปัญหา หรือทำให้คุณภาพของยางฟองน้ำเสียไปได้ สารตัวเติมที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ดินขาว ทาล์ค ลิโทโพน ไมก้า และแม็กนีเซียมซิลิเกต สำหรับปริมาณที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของยางฟองน้ำที่จะผลิต

วินัย และสิทธิชัย (2550) ศึกษาการทำผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำรองใต้เสื่อกระจูด โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นสารตัวเติม แปรปริมาณที่ใช้ 10-50 phr พบว่า การใช้ $CaCO_3$ 10-20 phr จะให้ฟองน้ำที่มีลักษณะเป็นครีมที่สม่ำเสมอ ฟองมีขนาดเล็ก ฟองน้ำที่คงรูปแล้วมีผิวหน้าเรียบ และไม่เกิดการยุบตัว แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ $CaCO_3$ สูงถึง 40 และ 50 phr จะพบว่าฟองน้ำที่คงรูปแล้วมีผิวหน้าที่ไม่เรียบ มีรอยแตกของฟองอากาศ และฟองยางเกิดการยุบตัวเป็นแอ่งโค้งจากเบ้าพิมพ์

นอกจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่นิยมถูกนำมาใช้เป็นสารตัวเติมแล้ว ปัจจุบันมีการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางฟองน้ำ สุรศักดิ์ (2553) ศึกษาผลของสารตัวเติมจากวัสดุธรรมชาติต่อสมบัติของฟองน้ำยางธรรมชาติ วัสดุธรรมชาติที่ใช้ได้แก่ แป้งไม้ และเส้นใยเปลือกมะพร้าว โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม อิทธิพลของสารตัวเติมชนิดต่าง ๆต่อสมบัติของฟองยางสรุปได้ดังนี้

ก. อิทธิพลของปริมาณแป้งไม้ต่อสมบัติของฟองยาง พบว่าการใช้แป้งไม้ 50 % ดิสเพิสชั่น ปริมาณ 20 phr เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองละเอียด สม่ำเสมอ ฟองน้ำหลังการคงรูปหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบและนิ่ม แต่เมื่อใช้แป้งไม้ในปริมาณมากขึ้น

เป็น 30 และ 40 phr การตีฟองยากขึ้นและมีการจับตัวเร็วหลังเติมสารเจลหลัก ฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์หดตัว

ข. อิทธิพลของปริมาณเส้นใยเปลือกมะพร้าวต่อสมบัติของฟองยาง พบว่าการใช้ 100 เปอร์เซ็นต์เส้นใยเปลือกมะพร้าว ปริมาณต่ำกว่า 15 phr ไม่มีปัญหาในการตีฟอง เมื่อใช้เส้นใยในปริมาณ 25 phr ทำให้ตีฟองยากมาก ฟองน้ำหลังการคงรูปเกิดการยุบตัว และหดตัวมาก

ค. อิทธิพลของปริมาณสารแคลเซียมคาร์บอเนตต่อสมบัติของฟองน้ำ พบว่าการใช้ 50 % ดิสเพิสชั่นแคลเซียมคาร์บอเนตในช่วง 5 และ 10 phr จากการตีฟองได้ฟองยางที่สม่ำเสมอ ขนาดฟองละเอียดและเกิดฟองได้ง่าย ส่วนเวลาการเจลของฟองยางเร็วขึ้นตามปริมาณของสารตัวเติมที่เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อใช้สารตัวเติมในปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่า 30 phr ได้ฟองไม่สม่ำเสมอ เกิดฟองยากขึ้น ฟองน้ำเกิดการยุบตัวและหดตัวมากขึ้น มีรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าและบริเวณขอบ และฟองน้ำแข็งขึ้น

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการนำรำสกัดน้ำมันมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางฟองน้ำ โดยแปรปริมาณรำสกัดน้ำมัน (0-40 phr) และศึกษาพฤติกรรมการเกิดฟอง เวลาเจล ลักษณะฟองน้ำหลังการคงรูป สมบัติต่างๆของฟองน้ำยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม

4.วิธีการ

4.1 น้ำยางและสารเคมี

1. น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia concentrated natural rubber) มีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 60%
2. สารละลายโพแทสเซียมโอลิเอต (Potassium Oliate solution) เตรียมอยู่ในรูปสารละลาย 10% (w/v) โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดโอเลอิก
3. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ใช้ในรูป 50% ดิสเพิสชั่น
4. กำมะถัน (Sulphur) ทำหน้าที่เป็นสารคงรูป ใช้ในรูป 50% ดิสเพิสชั่น
5. ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต (ZDEC) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง ใช้ในรูป 50% ดิสเพิสชั่น
6. ซิงค์เมอแคปโตเบนโซไธอาโซล (ZMBT) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง ใช้ในรูป 50% ดิสเพิสชั่น
7. โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (SSF) ทำหน้าที่เป็นสารทำให้เกิดเจล ใช้ในรูป 25% ดิสเพิสชั่น
8. ไดฟีนิลกัวนิดีน (DPG) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยการเกิดเจล ใช้ในรูป 33% ดิสเพิสชั่น
9. ซีพีแอล (CPL) เป็นสารป้องกันการเสื่อม ใช้ในรูป 50% ดิสเพิสชั่น
10. แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม ใช้ในรูป 50% ดิสเพิสชั่น โดยแปรปริมาณที่ใช้ดังนี้ 0 10 20 30 40 phr

11. รำสกัดน้ำมัน (Defatted rice bran, DRB) ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 เมช ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม ก่อนใช้นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 ชั่วโมง (ดริญญา และคณะ, 2552) ใช้ในรูป 25% ดิสเพิสชั่น แปรปริมาณที่ใช้ดังนี้ 0 10 20 30 40 phr

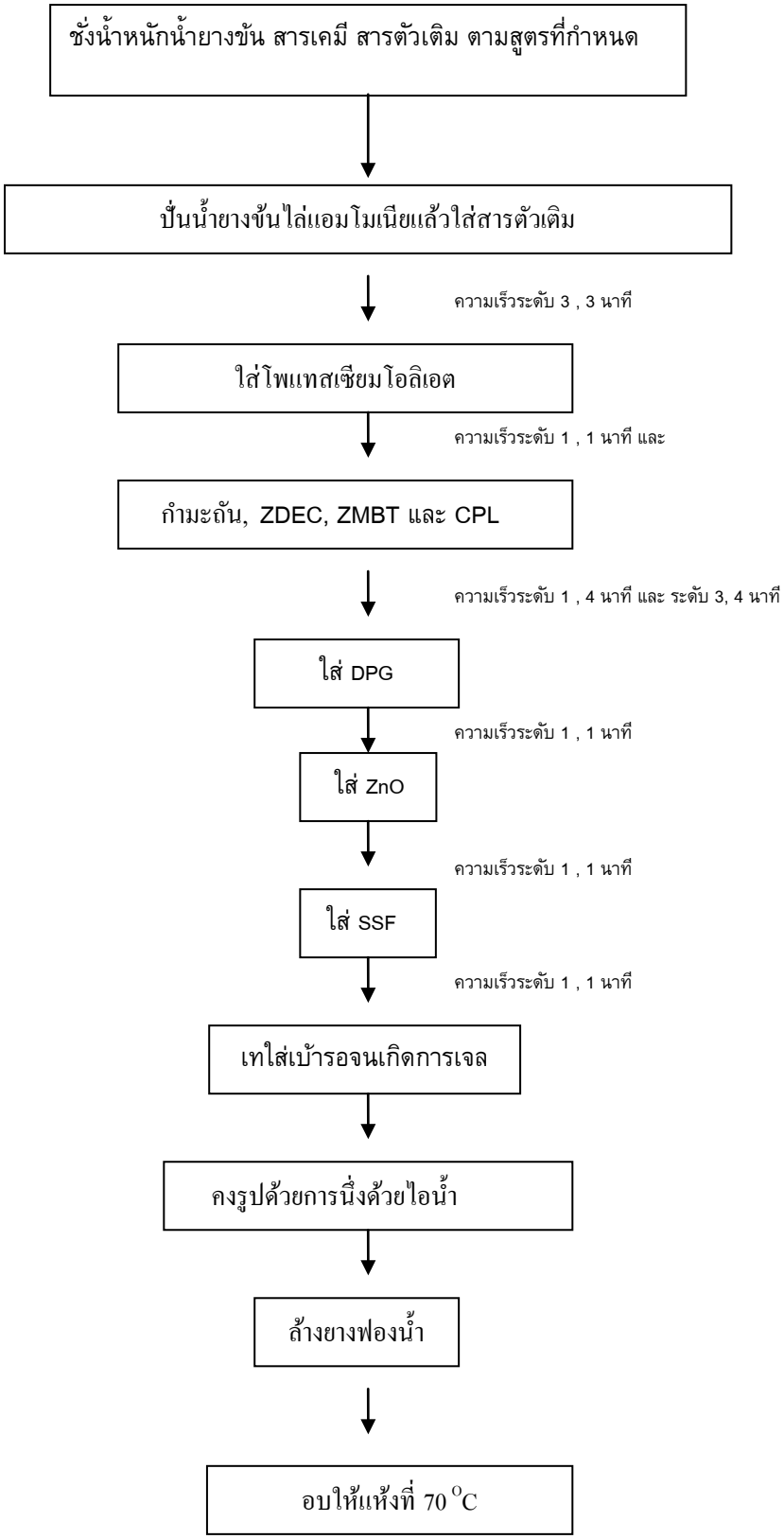
4.2 การเตรียมยางฟองน้ำ

4.2.1 กระบวนการเตรียมฟองน้ำได้มีการประยุกต์จากวิธีการดันลอป ในการทำวิจัยครั้งนี้เลือกการเตรียมฟองน้ำตามกระบวนการเตรียมแบบไม่บ่มเร่ง โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ สุรศกดิ์ (2553) แต่เปลี่ยนวิธีการคงรูปจากการอบเป็นการนึ่งด้วยไอน้ำ ส่วนความเร็วและเวลาในการปั่นดัดแปลงจาก ณพ รัตน์ (2550) เพื่อให้การตีฟองเกิดได้ดี รายละเอียดขั้นตอนการเตรียมฟองน้ำแสดงดังรูปที่ 1

4.2.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารตัวเติมต่อสมบัติของฟองน้ำยางธรรมชาติ เปรียบเทียบผลของชนิดสารตัวเติมต่อสมบัติของฟองน้ำ โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต และรำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติม โดยแปรปริมาณสารตัวเติมดังนี้ 0, 10, 20, 30 และ 40 phr ตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 1 แล้วสังเกตลักษณะการเกิดฟอง เวลาในการเจลของฟองยาง และลักษณะฟองน้ำหลังการคงรูป รวมทั้งนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ

ตารางที่ 1 สูตรน้ำยางผสมสารเคมีสำหรับใช้ในการตียางฟองน้ำ

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% น้ำยางข้นแอมโมเนียสูง	100	167
10% โพแทสเซียมโอลิเอต	1	10
50% กำมะถัน	2.5	5
50% ZDEC	1	2
50% ZMBT	1	2
50% CPL	1	2
33% DPG	0.8	2.4
50% ZnO	5	10
25% SSF	1	8
50% $CaCO_3$ หรือ 25% DRB	0, 10, 20, 30, 40	0, 20, 40, 60, 80 หรือ 0, 40, 80, 120, 160



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมฟองน้ำ

4.3 การทดสอบสมบัติสมบัติยางฟองน้ำ

4.3.1.การทดสอบความหนืดของน้ำยาง

ในการทดลองนี้ทำการวัดความหนืดของน้ำยางผสมสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer

4.3.2. การทดสอบลักษณะการเกิดฟองของฟองน้ำยางธรรมชาติ

1) ลักษณะพฤติกรรมการเกิดฟองยางธรรมชาติ

ก. สังเกตลักษณะฟองก่อนใส่สารก่อเจล

ข. วัดความสูงของฟองยาง

ค. จับเวลาที่ใช้ในการเจลของฟองยาง

2) สังเกตลักษณะฟองน้ำหลังการคงรูป

4.3.3 การทดสอบสมบัติกายภาพของฟองน้ำยางธรรมชาติ

1) ทดสอบความหนาแน่น (ทวีศักดิ์ และภาพพิมพ์, 2548)

โดยตัดฟองน้ำเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง คำนวณหาความหนาแน่น

จากสมการ

$$D = M/V \qquad (4.1)$$

เมื่อ D = ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

M = น้ำหนักของชิ้นทดสอบ (กรัม)

V = ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

2) ทดสอบแรงกดที่ทำให้ความหนาของฟองน้ำลดลงร้อยละ 25 (Indentation test)

ทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 173-2519 มีวิธีการทดสอบดังนี้ ใช้ฟองน้ำขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 40 x 40 x 25 มิลลิเมตร นำฟองน้ำวางลงใต้แผ่นอัดแล้วใช้แรงกด 4.5 นิวตัน วัดความหนาของยางฟองน้ำถือว่าเป็นความหนาเดิม จากนั้นกดฟองน้ำจนยุบตัวลงไป 25 % ของความหนาเดิมอ่านแรงที่ใช้กดซึ่งรวมกับแรง 4.5 นิวตัน

3) ทดสอบแรงกดภายหลังการอบด้วยความร้อน (Accelerated aging test)

ทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 173-2519 มีวิธีทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบแรงกดที่ทำให้ความหนาของฟองน้ำลดลงร้อยละ 25 แต่นำชิ้นทดสอบเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่อเนื่องกัน 22 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปทดสอบตามวิธีในข้อ 2)

4) ทดสอบหาค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด

ตามมาตรฐาน มอก. 173-2519 ตัดยางฟองน้ำเป็นทรงสี่เหลี่ยมมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 50 x 50 x 25 มิลลิเมตร นำฟองน้ำวางไว้ใต้แผ่นเหล็ก กดแผ่นเหล็กอัดให้ฟองน้ำยุบไป 50% ของความสูงเดิม จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อครบตามกำหนดเวลานำออกจากตู้อบ แกะเอาแผ่นเหล็กอัดออก แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดจากสมการ

$$C_h = \frac{[t_0 - t] \times 100}{t_0} \qquad (4.2)$$

C_h = ความหนาที่ลดลงจากความหนาเดิมหลังจากผ่านแรงอัด (ร้อยละ)
t_0 = ความสูงของชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบ (มิลลิเมตร)
t = ความสูงของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบ (มิลลิเมตร)

5) ลักษณะโครงสร้างรูพรุนของยางฟองน้ำ

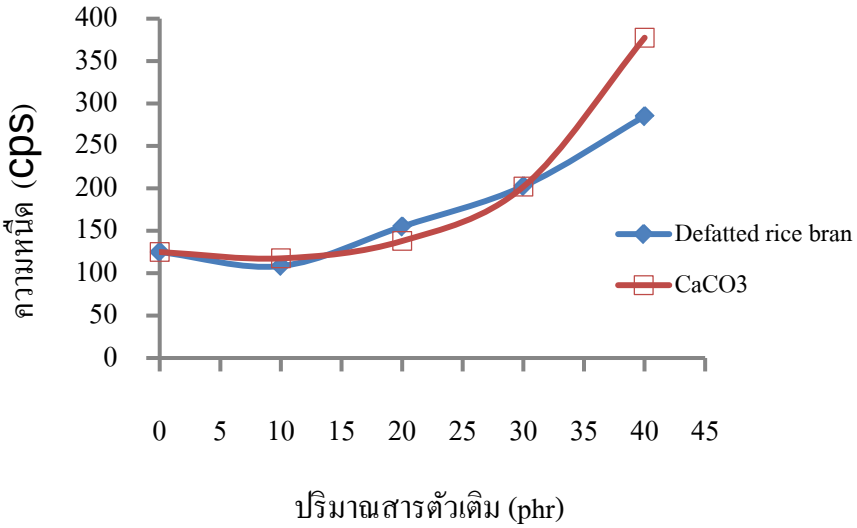
ทดสอบโดยตัดยางฟองน้ำเป็นชิ้นเล็ก ๆ ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) เพื่อดูลักษณะโครงสร้างรูพรุนของยางฟองน้ำ

6) ตรวจสอบการเกิดเชื้อรา

ตรวจสอบการเกิดเชื้อราของฟองน้ำวัลคาไนซ์ด้วยวิธี Total plate count เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้ Potato Dextrose Broth (PDB) ผสมกับ ผงวุ้น (Agar) เทใส่หลอดทดลอง ปิดฝา แล้วนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันเป็นเวลา 15 นาที เมื่อเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อได้แล้ว ใช้ก้านสำลีกวาดไปบนตัวอย่างยางฟองน้ำแล้วนำมาเกลี่ยบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ ปิดฝา นำไปตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ สังเกตการเกิดเชื้อราของฟองน้ำ บันทึกภาพ

5.ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

5.1 การศึกษาผลของสารตัวเติมต่อความหนืดของน้ำยาง



รูปที่ 2 ผลของปริมาณสารตัวเติมต่อความหนืดของน้ำยาง

รูปที่ 2 แสดงผลของปริมาณสารตัวเติมต่อค่าความหนืดของน้ำยางจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมัน (Defatted rice bran, DRB) และแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ส่งผลให้ความหนืดของน้ำยางมีค่าเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ เสาวนีย์ และนทีภัทร (2549) ที่ศึกษาผลของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อการทำฟองน้ำยางธรรมชาติ พบว่าค่าความหนืดของน้ำยางจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมเมื่อใส่ลงไปในน้ำยางจะทำให้ปริมาณของแข็งในน้ำยางมีมากขึ้น ความหนืดของน้ำยางจึงเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับการใส่รำสกัดนั้นเป็นสารตัวเติม ส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางเพิ่มขึ้น ความหนืดของน้ำยางจึงเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยที่ผลของสารตัวเติมทั้งสองต่อความหนืดของน้ำยางมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ยกเว้นที่ปริมาณสารตัวเติม 40 phr ความหนืดของน้ำยางผสมแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าสูงกว่าน้ำยางผสมรำสกัดน้ำมันอย่างเห็นได้ชัด

5.2 การศึกษาผลของสารตัวเติมต่อพฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองน้ำหลังการคงรูป

5.21 รำสกัดน้ำมัน

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะฟองก่อนใส่สารเกิดเจล ความสูงของฟอง เวลาในการเจล และลักษณะ

ฟองยางหลังการคงรูปของฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมัน พบว่าเมื่อใส่รำสกัดน้ำมันปริมาณ 10 phr ยังเกิดฟองได้ง่าย ฟองเล็กละเอียดมีขนาดสม่ำเสมอ แต่สีฟองยางเริ่มเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลอ่อน เมื่อใส่รำสกัดน้ำมันตั้งแต่ 20 phr ทำให้การเกิดฟองยากขึ้น สังเกตจากความสูงของฟองที่ลดลงตามปริมาณรำสกัดนั้นที่เพิ่มขึ้น และสีฟองยางจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นตามปริมาณรำสกัดน้ำมันที่เพิ่มขึ้น สำหรับเวลาในการเจลจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมัน แสดงว่าฟองยางมีการจับตัวหลังเติมสารก่อเจลหลักช้าลง ทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้นในการให้ฟองยางคงตัว สำหรับลักษณะฟองน้ำหลังการคงรูป กรณีใช้รำสกัดน้ำมัน 0-10 phr ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อยและนิ่ม แต่เมื่อเพิ่มรำสกัดน้ำมันไปถึง 20-30 phr พบว่าฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก ฟองน้ำมีลักษณะแข็งขึ้นตามปริมาณรำสกัดน้ำมันที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อใส่รำสกัดน้ำมัน 40 phr ฟองน้ำจะเกิดการหดตัวอย่างมาก ผิวหน้าย่นและแข็งกระด้างมากสูญเสียสมบัติของฟองน้ำที่นิ่ม สามารถคืนรูปได้ดี และมีความยืดหยุ่น (รูปที่ 3) เนื่องจากการผสมสารตัวเติมเข้าไปในยางคอมปาวด์ทำให้เปอร์เซ็นต์ของเนื้อยางในน้ำยางมีน้อยลงเพราะมีส่วนของสารตัวเติมเข้าไปแทนที่ ซึ่งสารตัวเติมที่ใช้อาจจะเข้าไปเกาะตัวกันเอง หรือเกิดการตกตะกอนได้ ดังนั้นปริมาณรำสกัดน้ำมันที่สามารถใช้ในการผสมน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตยางฟองน้ำได้คือไม่เกิน 30 phr

ตารางที่ 2 แสดงผลของรำสกัดน้ำมันต่อพฤติกรรมการเกิดฟองและเวลาในการเจล

สารตัวเติม (phr)	ลักษณะฟองก่อนใส่สารเกิดเจล	ความสูงฟอง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองยางหลังการคงรูป
0 phr	เกิดฟองได้ง่าย ฟองเล็กละเอียดสม่ำเสมอ เนียน สีขาว	4.75	3	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย นิ่ม
10 phr	เกิดฟองได้ง่าย ฟองเล็กละเอียดสม่ำเสมอ เนียน สีน้ำตาลอ่อน +	3.75	2.50	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย นิ่ม
20 phr	เกิดฟองได้ยากขึ้น ฟองเล็กละเอียด สม่ำเสมอ เนียน สีน้ำตาลอ่อน ++	3.12	4.00	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก ค่อนข้างแข็ง
30 phr	เกิดฟองได้ยาก ฟองเล็กละเอียดสม่ำเสมอ เนียน สีน้ำตาลอ่อน+++	2.87	5.50	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก ผิวหน้าเรียบและแข็ง
40 phr	เกิดฟองได้ยาก ฟองเล็กละเอียดสม่ำเสมอ เนียน สีน้ำตาลอ่อน++++	2.75	7.50	ฟองน้ำเกิดการหดตัวอย่างมาก ผิวหน้าย่นและแข็งกระด้างมาก

หมายเหตุ เครื่องหมาย +, ++, +++, ++++ ใช้แสดงระดับความเข้มของสีน้ำตาลของฟองน้ำที่ใส่รำสกัดน้ำมัน

0 phr 10 phr 20 phr

30 phr 40 phr

รูปที่ 3 ฟองน้ำยางธรรมชาติผสมรำสกัดน้ำมันที่ปริมาณต่าง ๆ (0-40 phr)

5.2.2 แคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะฟองก่อนใส่สารเกิดเจล ความสูงของฟอง เวลาในการเจล และลักษณะฟองยางหลังการคงรูปของฟองน้ำผสมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าเมื่อใส่แคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 10 phr ยังเกิดฟองได้ง่าย แต่ถ้าใส่แคลเซียมคาร์บอเนตตั้งแต่ 20-40 phr ทำให้การตีฟองยากขึ้น สังเกตจากความสูงของฟองที่ลดลง สำหรับผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลักษณะฟองก่อนใส่สารเกิดเจล พบว่าถึงแม้จะเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตจนถึง 40 phr ยังได้ฟองที่เล็ก ละเอียด มีขนาดสม่ำเสมอ และสีฟองไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่เวลาในการเจลมีค่าลดลงตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากค่าความตึงผิวของน้ำยางมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต เพราะการใส่แคลเซียมคาร์บอเนตลงไปในน้ำยาง ทำให้คาร์บอเนตอิออนซึ่งมีประจุบวกในแคลเซียมคาร์บอเนตรวมตัวกับสบู่ ทำให้สบู่ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ในน้ำยางสูญเสียสภาพ (เสาวนีย์ และนทีภัทร, 2549) ส่งผลให้เวลาในการเจลของฟองยางเร็วขึ้น ลักษณะฟองน้ำหลังการคงรูป กรณีที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 0-10 phr ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อยและนิ่ม เมื่อเพิ่มแคลเซียมคาร์บอเนตไปถึง 20 phr พบว่าฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก ผิวหน้าเรียบแต่ยังนิ่ม และฟองน้ำจะมีการหดตัวมากขึ้นและมีลักษณะแข็งขึ้นตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3 และ รูปที่4)

ตารางที่ 3 แสดงผลของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อพฤติกรรมการเกิดฟองและเวลาในการเจล

สารตัวเติม (phr)	ลักษณะฟองก่อนใส่สารเกิดเจล	ความสูงฟอง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองยางหลังการคงรูป
0 phr	เกิดฟองได้ง่าย ฟองเล็กละเอียดสม่ำเสมอ เนียน	4.75	3.00	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย นิ่ม
10 phr	เกิดฟองได้ง่าย ฟองเล็กละเอียดสม่ำเสมอ เนียน	3.12	2.50	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย นิ่ม
20 phr	เกิดฟองได้ยาก ฟองเล็กละเอียดสม่ำเสมอ เนียน	2.75	2.00	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก ผิวหน้าเรียบ นิ่ม
30 phr	เกิดฟองได้ยาก ฟองเล็กละเอียดสม่ำเสมอ เนียน	2.50	1.50	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก ผิวหน้าเรียบ แข็ง
40 phr	เกิดฟองได้ยาก ฟองเล็กละเอียดสม่ำเสมอ เนียน	2.30	1.00	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก ผิวหน้าเรียบ แข็ง

0 phr

10 phr

20 phr

30 phr

40 phr

รูปที่ 4 ฟองน้ำยางธรรมชาติผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปริมาณต่าง ๆ (0-40 phr)

5.3 การศึกษาผลของสารตัวเติมต่อสมบัติกายภาพของยางฟองน้ำ

5.3.1 ความหนาแน่น

ตารางที่ 4 ความหนาแน่นของยางฟองน้ำผสมสารตัวเติมที่ปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณสารตัวเติม (phr)	ความหนาแน่น (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	DRB	$CaCO_3$
0	0.10±0.01	0.10±0.01
10	0.14±0.04	0.12±0.02
20	0.25±0.03	0.22±0.02
30	0.28±0.03	0.34±0.01
40	0.43±0.08	0.40±0.03

เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมส่งให้ให้ยางฟองน้ำมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อผสมสารตัวเติมทั้งรำสกัดน้ำมัน และแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปในน้ำยาง สารตัวเติมจะเข้าไปแทนที่น้ำยางบางส่วน หมายความว่าฟองน้ำจะมีทั้งส่วนของยางและสารตัวเติม จึงทำให้เกิดเป็นฟองยากขึ้น และโครงสร้างเซลล์ที่ได้จะอัดตัวกันแน่นกว่า เป็นเหตุให้ความหนาแน่นของฟองน้ำเพิ่มขึ้น

5.3.2 แรงกดที่ทำให้ความหนาของฟองน้ำลดลงร้อยละ 25 ก่อนและหลังอบ

ตารางที่ 5 ค่าแรงกดของยางฟองน้ำผสมสารตัวเติมที่ปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณสารตัวเติม (phr)	แรงกด (กิโลปาสคาล)					
	ก่อนอบ		หลังอบ		ค่าการเปลี่ยนแปลง (%)	
	DRB	$CaCO_3$	DRB	$CaCO_3$	DRB	$CaCO_3$
0	1.36±0.11	1.36±0.11	1.51±0.31	1.51±0.31	11.25	11.25
10	2.08±0.44	2.44±0.78	2.25±0.97	2.91±0.75	8.52	19.32
20	7.47±2.02	22.71±2.95	8.58±2.34	24.26±6.60	14.79	6.83
30	13.97±1.18	32.81±2.73	10.99±1.85	38.95±1.24	-21.26	18.72
40*	N.A.	81.70±2.56	N.A.	89.77±10.45	N.A.	9.88

หมายเหตุ *ยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมัน 40 phr มีลักษณะไม่เหมาะกับการนำไปทดสอบสมบัติ เนื่องจากอาจทำให้ผลทดสอบที่ได้ต่างไปจากความเป็นจริงได้

จากตารางที่ 5 แสดงค่าแรงกดทั้งก่อนอบและหลังอบของยางฟองน้ำ จะเห็นว่าค่าแรงกดของยางฟองน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารตัวเติม นั่นหมายถึงการเพิ่มสารตัวเติมทำให้ยางมีความแข็งขึ้นสามารถรับแรงได้มากขึ้น จึงทำให้ต้องใช้แรงมากขึ้นในการกดให้ยุบตัวลง 25 % เกิดจากการที่สารตัวเติมเข้าไปแทรกอยู่ในยาง ทำให้ยางฟองน้ำมีทั้งส่วนที่เป็นยางและสารตัวเติมอยู่ จึงเป็นการเสริมความแข็งให้กับยางฟองน้ำ (อาซีซัน และคณะ, 2548) โดยที่ยางฟองน้ำผสมแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีค่าแรงกดมากกว่ายางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมัน สำหรับแรงกดหลังอบจะมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะโมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่เพิ่มขึ้น ในระหว่างการอบด้วยความร้อน ยกเว้นที่ปริมาณรำสกัดน้ำมัน 30 phr ค่าแรงกดหลังอบกลับลดลง ดังจะเห็นจากค่าการเปลี่ยนแปลงแรงกดหลังการอบมีค่าเท่ากับ -21.26 % อาจเป็นเพราะว่ารำสกัดน้ำมันเป็นวัสดุทางธรรมชาติ ที่ไม่ทนความร้อน สามารถเสื่อมสภาพได้เมื่อเจอความร้อนเป็นเวลานาน ๆ จึงส่งผลให้เมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดมากขึ้นจนถึง 30 phr ทำให้ยางฟองน้ำทนต่อแรงกดได้น้อยลง

5.3.4 ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด

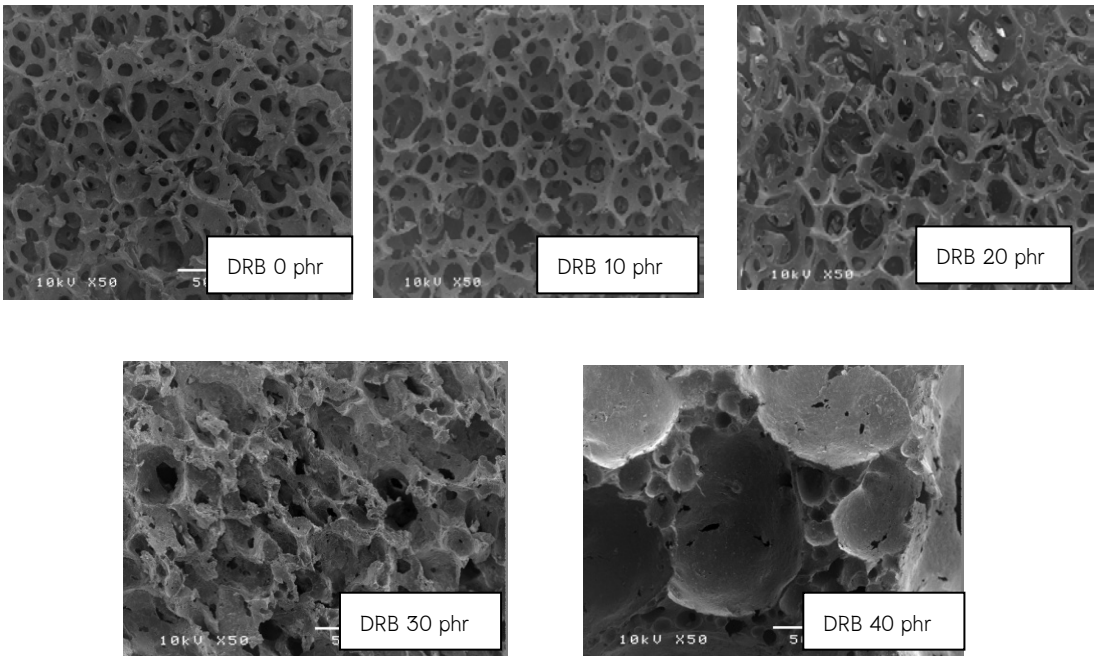
ตารางที่ 6 ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางฟองน้ำผสมสารตัวเติมที่ปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณสารตัวเติม (phr)	ค่าการยุบตัวเนื่องแรงอัด (%)	
	DRB	$CaCO_3$
0	7.380±1.79	7.380±1.79
10	9.203±0.22	10.438±0.62
20	12.823±0.46	10.743±1.90
30	22.457±1.86	9.090±0.150
40	N.A.	12.145±3.03

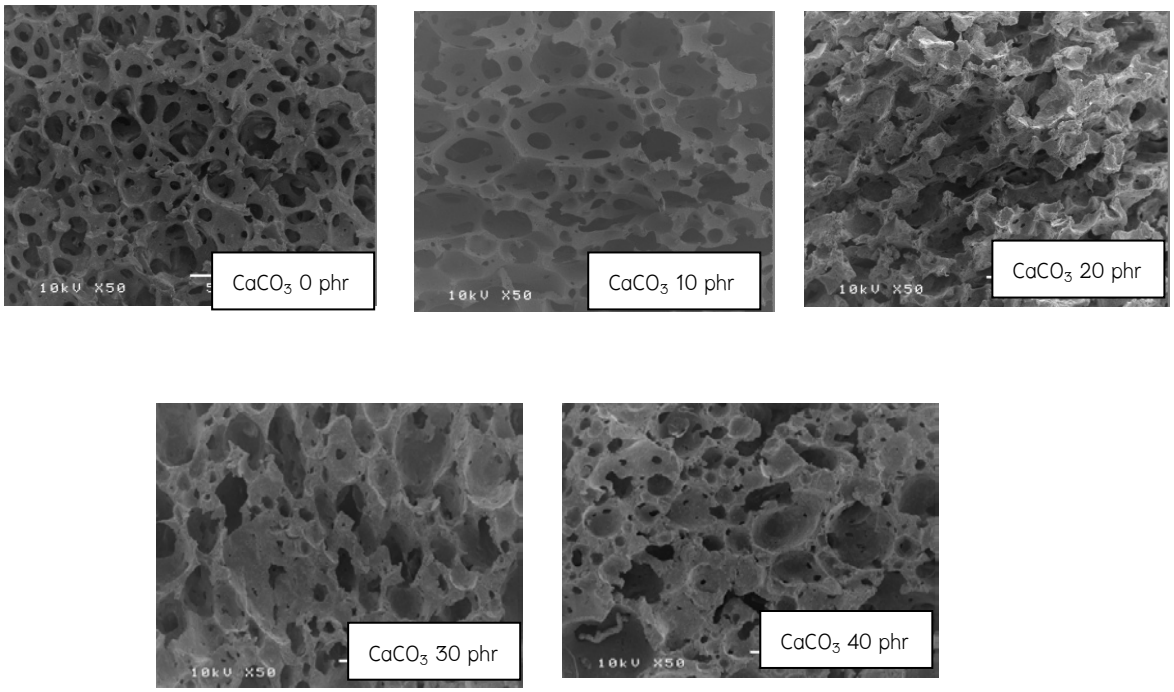
ค่าการยุบตัวเนื่องแรงอัดของยางฟองน้ำแสดงดังตารางที่ 6 เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติม ทำให้ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดเพิ่มขึ้น การที่เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมมากขึ้นทำให้ยางเสียรูปหลังได้รับแรงอัดมากขึ้น เนื่องจากเมื่อผสมสารตัวเติมเข้าไปในสูตรยางฟองน้ำ ทำให้การเกิดฟองยางยากขึ้น ฟองน้ำที่ได้มีโครงสร้างเซลล์น้อยลง ขนาดของเซลล์ฟองน้ำไม่สม่ำเสมอ (รูปที่ 5 และ 6) และความยืดหยุ่นของยางฟองน้ำลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้รำสกัดน้ำมันกับแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม พบว่าที่ปริมาณสารตัวเติมตั้งแต่ 20 phr ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางฟองน้ำที่ใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมมีค่ามากกว่าการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต

5.4 การศึกษาผลของสารตัวเติมต่อโครงสร้างรูพรุนของยางฟองน้ำ

ผลของสารตัวเติมต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาแสดงดังรูปที่ 5 และ 6 จะเห็นว่าการใช้สารตัวเติมปริมาณ 10 phr ลักษณะเซลล์มีขนาดสม่ำเสมอใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ใช้สารตัวเติม แต่พอเพิ่มปริมาณสารตัวเติมมากขึ้น พบว่าลักษณะเซลล์จะไม่สม่ำเสมอ เมื่อใช้รำสกัดน้ำมันที่ 40 phr พบว่าเซลล์มีลักษณะต่างออกไป เซลล์จะมีลักษณะถูกอัดแน่น ขนาดรูพรุนเล็ก สอดคล้องกับลักษณะของยางฟองน้ำหลังการคงรูป (ตารางที่ 2 และ รูปที่ 3) ที่ยางฟองน้ำมีการหดตัวอย่างมาก และมีลักษณะแข็งกระด้าง สูญเสียสมบัติของยางฟองน้ำไป



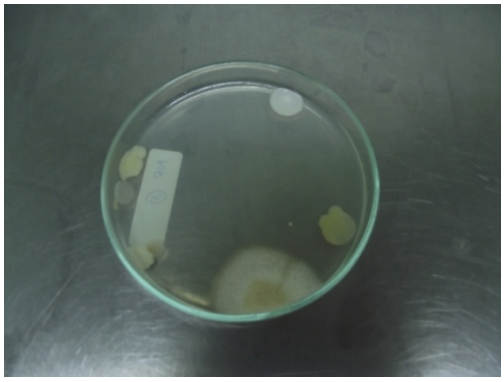
รูปที่ 5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟองน้ำยางธรรมชาติผสมรำสกัดน้ำมันที่ปริมาณต่าง ๆ



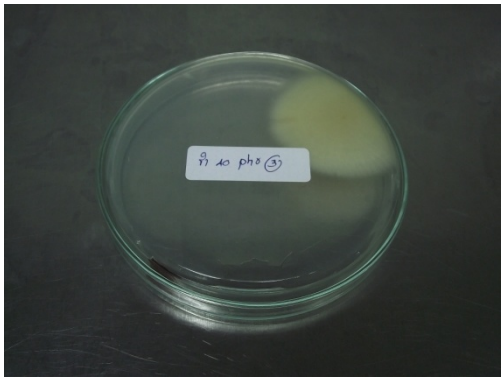
รูปที่ 6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟองน้ำยางธรรมชาติผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปริมาณต่าง ๆ

5.5 การศึกษาการเกิดเชื้อราของยางฟองน้ำ

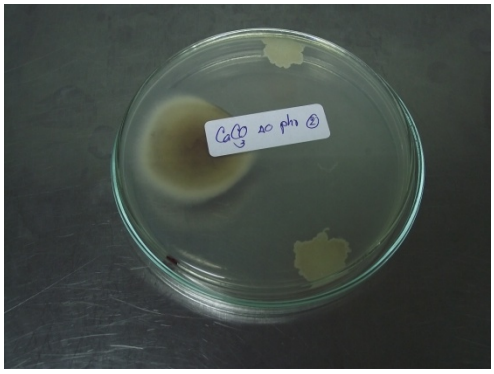
เนื่องจากรำสกัดน้ำมันที่ใช้เป็นสารตัวเติมนั้นเป็นวัสดุทางธรรมชาติ และมีส่วนประกอบที่สามารถเป็นอาหารของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเกิดเชื้อราในยางฟองน้ำด้วย เพื่อตรวจสอบโอกาสการเกิดเชื้อรา โดยทำการตรวจสอบยางฟองน้ำทั้งที่ไม่ใส่สารตัวเติม ที่ใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติม รวมทั้งกรณีใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 5 เดือน ที่ปริมาณสารตัวเติมต่าง ๆ ผลการตรวจสอบพบว่าพบการเกิดของเชื้อราบนยางฟองน้ำสูตรต่าง ๆ น้อยมาก ซึ่งปริมาณเชื้อราที่พบในฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมันไม่แตกต่างจากเชื้อราที่พบในฟองน้ำสูตรอื่น ๆ และทางทฤษฎีแล้วถ้านับจำนวนแล้วพบเชื้อราน้อยกว่า 30 โคโลนีถือว่าไม่พบเชื้อรา เนื่องมาจากในขั้นตอนการทำยางฟองน้ำต้องมีการอบฟองน้ำจนแห้ง ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดเชื้อราที่ฟองยางจึงมีน้อย



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 7 แสดงเชื้อราที่เกิดขึ้นบนฟองน้ำยางธรรมชาติผสมสารตัวเติม (ก) No filler (ข) DRB 40 phr (ค) $CaCO_3$ 40 phr

5.6 การศึกษาการลดสีของยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมันด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์

เนื่องจากการใช้รำสกัดน้ำมันส่งผลให้ได้ยางฟองน้ำที่มีสีเข้มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองปรับสีให้ขาวขึ้นโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อผสมไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าไปด้วยผลปรากฏว่ายางฟองน้ำมีสีขาวขึ้น (รูปที่ 8) แสดงว่าในการผลิตยางฟองน้ำที่ใช้รำสกัดน้ำมัน สามารถแก้ปัญหาสีที่เข้มขึ้นได้โดยการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ ตารางที่ 7 เปรียบเทียบสมบัติของยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมัน กับยางฟองน้ำผสมรำสกัดนั้นที่ใช้ไทเทเนียมเป็นสารตัวเติมลดสี ที่ปริมาณรำสกัดน้ำมัน 30 phr และไทเทเนียมไดออกไซด์ 10 phr จะเห็นว่าเมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าไปส่งผลให้ยางฟองน้ำมี

ความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดเพิ่มขึ้น เป็นเพราะเมื่อผสมไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำให้การเกิดฟองยางยากขึ้น ขนาดของฟองยางไม่สม่ำเสมอและความยืดหยุ่นของฟองยางมีค่าลดลง และจากตารางที่ 7 ยังพบว่าเมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าไปค่าแรงกดที่ทำให้ความหนาของฟองน้ำลดลงร้อยละ 25 มีค่าลดลงด้วย เป็นเพราะว่าในยางฟองน้ำที่ผสมทั้งรำสกัดน้ำมันและไทเทเนียมไดออกไซด์ มีความไม่เข้ากันของสารตัวเติมเกิดขึ้นได้ ทำให้ยางฟองมีความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างเซลล์มากขึ้น จึงส่งผลให้ยางฟองน้ำสามารถรับแรงกดได้น้อยลง

(ก) (ข)

รูปที่ 8 เปรียบเทียบยางฟองน้ำระหว่าง (ก) ยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมัน 30 phr (ข) ยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมัน 30 phr และ ไทเทเนียมไดออกไซด์ 10 phr

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบสมบัติของยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมันและยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมันและไทเทเนียมไดออกไซด์

สมบัติ	ชนิดของยางฟองน้ำ		
	NR	NR+DRB (30 phr)	NR + DRB (30 phr) + TiO_2 (10 phr)
ความหนาแน่น (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.10±0.01	0.28±0.03	0.30 ± 0.01
แรงกดที่ทำให้ความหนาของฟองน้ำลดลงร้อยละ 25 (กิโลปาสคาล)	1.36±0.11	13.97±1.18	7.5±1.49
แรงกดภายหลังการอบด้วยความร้อน (กิโลปาสคาล)	1.51±0.31	10.99±1.85	7.84±2.08
การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (%)	7.38±1.79	22.46±1.86	24.07± 2.32

5.7 การจัดชั้นยางฟองน้ำเทียบกับมาตรฐาน มอก.

จากผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของยางฟองน้ำเมื่อนำมาจัดชั้นตามมาตรฐาน มอก. 173-2519 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 8 ฟองน้ำยางธรรมชาติที่เตรียมได้จัดได้ชั้น RU 11 ส่วนยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมันเมื่อนำไปจัดชั้นตามมาตรฐาน มอก. แล้ว พบว่าสูตรที่ใช้รำสกัดน้ำมัน 10 phr สามารถจัดชั้นคุณภาพได้ตามสมบัติที่กำหนด คือชั้น RU 20 ขณะที่สูตรที่ใช้รำสกัดน้ำมัน 20 และ 30 phr นั้น เมื่อนำมาจัดชั้นจะได้คุณภาพใกล้เคียงกับชั้น RU 55 และ RU 150 ตามลำดับ โดยมีค่าแรงกดที่ทำให้ความหนาลดลงร้อยละ 25 กับค่าที่เปลี่ยนไปหลังการอบด้วยความร้อนเป็นไปตามลักษณะที่ต้องการตาม มอก. 173-2519 ของชั้นคุณภาพทั้งสอง แต่พบว่าค่าการยุบตัวจากการกดอัดมีค่าเกินจากที่มาตรฐาน มอก.กำหนด สำหรับการจัดชั้นยางฟองน้ำผสมแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถจัดชั้นเข้ากับลักษณะที่ต้องการตาม มอก. 173-2519 ได้ 2 สูตรคือ สูตรที่ใช้ $CaCO_3$ 10 และ 20 phr โดยจัดได้ชั้นคุณภาพ RU 20 และ RU 150 ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ใช้ $CaCO_3$ ปริมาณ 30 และ 40 phr นั้นมีค่าแรงกดที่ทำให้ความหนาลดลงร้อยละ 25 สูงกว่าลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐาน มอก. ไม่สามารถจัดเข้ากับชั้นคุณภาพใดได้ หมายถึงยางฟองน้ำมีความแข็งมากเกินไป จึงทำให้สามารถทนต่อแรงกดได้มากในการทำให้ยุบตัวลงร้อยละ 25 แต่จะเห็นว่าสำหรับค่าที่เปลี่ยนไปหลังการอบด้วยความร้อน และค่ายุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางทั้งสองสูตรมีค่าอยู่ในช่วงตามมาตรฐาน มอก. กำหนด คือไม่เกินร้อยละ 20 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 การจัดชั้นยางฟองน้ำเทียบกับลักษณะฟองน้ำที่ต้องการตามมาตรฐาน มอก. 173-2519

ยางฟองน้ำ		จัดเป็นฟองน้ำชนิดตันชั้นคุณภาพ	ลักษณะที่ต้องการตาม มอก. 173-2519		
			แรงกดที่ทำให้ความหนาลดลง 25% (กิโลปาสคาล)	ค่าที่เปลี่ยนไปหลังการอบด้วยความร้อน (ไม่เกิน,%)	ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (ไม่เกิน,%)
DRB (phr)	0	RU 11	1.5±0.6 (1.36)	±20 (11.25)	10 (7.38)
	10	RU 20	2.8±0.7 (2.08)	±20 (8.52)	10 (9.20)
	20*	RU 55	7.7±1.4 (7.47)	±20 (14.79)	10 (12.82)
	30*	RU 150	20.8±7.7 (13.97)	±20 (-21.26)	10 (22.46)
$CaCO_3$ (phr)	0	RU 11	1.5±0.6 (1.36)	±20 (11.25)	10 (7.38)
	10	RU 20	2.8±0.7 (2.44)	±20 (19.32)	10 (10.44)
	20	RU 150	20.8±7.7 (22.71)	±20 (6.83)	10 (10.74)
	30	ค่าแรงกดมีค่ามากกว่าค่าแรงกดของชั้นที่มีแรงกดสูงสุดในการจัดชั้นคุณภาพ		±20 (18.72)	10 (9.09)
	40			±20 (9.88)	10 (12.14)

หมายเหตุ ( ) = ค่าที่ได้จากการทดสอบ

* DRB 20 และ 30 phr จัดชั้นตามค่าแรงกดที่ทำให้ความหนาลดลง 25% แต่การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่ามากกว่าที่กำหนดในมาตรฐาน มอก. 173-2519

6.สรุปผล

จากผลการทดลองพบว่ารำสกัดน้ำมันสามารถนำมาตีฟองร่วมกับน้ำยางธรรมชาติได้ เมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมัน (0-40 phr) ความหนืดของน้ำยางมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทำให้การตีฟองยากขึ้น สังเกตจากความสูงของฟองยางที่ลดลง แต่เวลาในการเจลกลับเพิ่มมากขึ้น ฟองน้ำที่ได้มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ลักษณะของฟองน้ำหลังการคงรูปจะมีการหดตัว และแข็งมากขึ้น โดยที่ปริมาณรำสกัดน้ำมัน 40 phr จะได้ฟองน้ำที่หดตัวและมีความแข็งกระด้างมาก สูญเสียสมบัติความยืดหยุ่นของยางฟองน้ำ เมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมันทำให้ฟองน้ำที่ได้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น สามารถรับแรงกดในการทำให้ฟองน้ำยุบตัวลงได้มากขึ้นทั้งก่อนและหลังอบ และค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณรำสกัดน้ำมันด้วย แสดงถึงฟองน้ำมีความยืดหยุ่นลดลงเมื่อใช้รำสกัดน้ำมันในปริมาณที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต พบว่ารำสกัดน้ำมันทำให้เวลาในการเจลเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตกลับทำให้เวลาในการเจลลดลง และที่ปริมาณ การใช้สารตัวเติมเท่ากันฟองน้ำยางธรรมชาติที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมมีความสามารถรับแรงกดในการทำให้ฟองน้ำยุบตัวได้มากกว่าและยังมีค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดที่น้อยกว่าด้วย

เมื่อนำฟองน้ำที่เตรียมได้ไปจัดชั้นเทียบกับมาตรฐาน มอก. 173-2519 จะได้ว่ายางฟองน้ำผสมแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถจัดชั้นเข้ากับลักษณะที่ต้องการตาม มอก. 173-2519 ได้ 2 สูตรคือ สูตรที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 10 และ 20 phr โดยจัดได้ชั้นคุณภาพ RU 20 และ RU 150 ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ใช้ $CaCO_3$ ปริมาณ 30 และ 40 phr นั้นมีค่าแรงกดที่ทำให้ความหนาลดลงร้อยละ 25 สูงกว่าลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐาน มอก. ไม่สามารถจัดเข้ากับชั้นคุณภาพใดได้ หมายถึงยางฟองน้ำมีความแข็งมากเกินไป จึงทำให้สามารถทนต่อแรงกดได้มากในการทำให้ยุบตัวลงร้อยละ 25 แต่จะเห็นว่าสำหรับค่าที่เปลี่ยนไปหลังการอบด้วยความร้อน และค่ายุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางทั้งสองสูตรมีค่าอยู่ในช่วงตามมาตรฐาน มอก. กำหนด คือไม่เกินร้อยละ 20 และ 10 ตามลำดับ สำหรับ ยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมันสูตรที่ใช้รำสกัดน้ำมัน 10 phr สามารถจัดชั้นได้ชั้นคุณภาพ RU 20 ขณะที่สูตรที่ใช้รำสกัดน้ำมัน 20 และ 30 phr นั้น เมื่อนำมาจัดชั้น จะได้คุณภาพใกล้เคียงกับชั้น RU 55 และ RU 150 ตามลำดับ โดยมีค่าแรงกดที่ทำให้ความหนาลดลงร้อยละ 25 กับค่าที่เปลี่ยนไปหลังการอบด้วยความร้อนเป็นไปตามลักษณะที่ต้องการตาม มอก. 173-2519 ของชั้นคุณภาพทั้งสอง แต่พบว่าค่าการยุบตัวจากการกดอัดมีค่าเกินจากที่มาตรฐาน มอก. กำหนด ตารางที่ 9 แสดงตัวอย่างสูตรการผลิตยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมันที่มีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 173-2519 อาจใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำจำพวก ที่นอน หมอน และเบาะรองนั่ง เป็นต้น

ตารางที่ 9 ตัวอย่างสูตรการผลิตยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมันที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับชั้น RU 20 ตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 173-2519

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% น้ำยางข้นแอมโมเนียสูง	100	167
10% โพแทสเซียมโอลิเอต	1	10
50% กำมะถัน	2.5	5
50% ZDEC	1	2
50% ZMBT	1	2
50% CPL	1	2
33% DPG	0.8	2.4
50% ZnO	5	10
25% SSF	1	8
25% รำสกัดน้ำมัน	10	40

7. ข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมดิสเพิสชั่นรำสกัดน้ำมันไม่สามารถเตรียม 50 % ดิสเพิสชั่นได้ เนื่องจากรำสกัดน้ำมันมีสมบัติดูดน้ำมาก ต้องลดความเข้มข้นลงเหลือ 25 % และดิสเพิสชั่นที่เตรียมได้ไม่ควรเก็บไว้ข้ามคืน เพราะจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นได้

<u>ประเด็นวิจัยใหม่</u>

1) ศึกษาหาปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม ในการปรับสีฟองน้ำที่ใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติม เพื่อให้ได้ฟองน้ำที่มีสมบัติที่ดีเหมาะกับการใช้งาน
2) ศึกษาการใช้รำสกัดน้ำมันที่มีขนาดหยาบมากกว่านี้ในการตีฟอง เพื่อเป็นการลดต้นทุน

8. เอกสารอ้างอิง

1. ณพรัตน์ วิชิตชลชัย. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ หลักสูตร “การผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง” กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2550.
2. ดริญญา มูลชัย ณัฐพงษ์ หมอยาดี และนิพนธ์ ภูสดแสง. การศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติผสมรำสกัดน้ำมัน รายงานการวิจัยเสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ RDG5150042, 2552.
3. ทวีศักดิ์ พลายรักษา และภาพพิมพ์ ชัยศิริวารินทร์. การผลิตฟองน้ำยางธรรมชาติโดยเบ้าพิมพ์อลูมิเนียม. โครงงานวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2548.
4. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 173-2519. ยางฟองน้ำ. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
5. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2537.
6. วินัย ใสแจ่ม และสิทธิชัย อุ่นคง. ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำใต้เสื้อกระจูด. โครงงานวัสดุศาสตร์ หลักสูตรวัสดุศาสตร์ (อุตสาหกรรมการยาง) คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2550.
7. สุรศักดิ์ เทพทอง. การศึกษาผลของสารตัวเติมจากวัสดุธรรมชาติต่อสมบัติของฟองน้ำยางธรรมชาติ. วิจัยยางพาราเล่มที่ 5 โครงการวิจัยแห่งชาติ : ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2553, 315-323.
8. เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี และนทีภัทร เพชรัตนมุณี. ผลของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อการทำฟองน้ำยางธรรมชาติ. วิจัยยางพารา เพื่ออนาคตที่ยั่งยืน โครงการวิจัยแห่งชาติ : ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2549, 137-143.
9. อาซีซัน แกสมาน เจริญ นาคะสรรค์ และเครือวัลย์ กัลป์ยาศิริ. การพัฒนาวัสดุช่วยสอนทางการแพทย์จากน้ำยางธรรมชาติ. เอกสารประกอบการนำเสนอบทความวิชาการ ผลงานวิจัยยางพารา การประชุมวิชาการ “ฟื้นยางไทยให้ยั่งยืน” โครงการวิจัยแห่งชาติ : ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2548, 81-88.
10. Moonchai, D., Moryadee, N. and Poosodsang, N. Comparative properties of natural rubber vulcanisates filled with defatted rice bran, clay and calcium carbonate. *Maejo Int. J. Sci. Technol*., 2012, 6(02), 249-258.

ภาคผนวก

คำชี้แจงของนักวิจัยต่อข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ
“การใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในฟองน้ำยางธรรชาติ” สัญญาเลขที่ RDG 5450046

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ
“การใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในฟองน้ำยางธรรมชาติ” สัญญาเลขที่ RDG 5450046

ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)

1. ในส่วนของสรุปผลการวิจัยหน้า iii ที่อ้างว่าการใช้รำสกัดน้ำมัน สามารถตีฟองได้ง่ายกว่า และในส่วนของบทคัดย่อหน้า iv “เมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดน้ำมัน 0-40 phr ความหนืดของยางมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทำให้การตีฟองยากขึ้น” นั้นใช้อะไรเป็นเครื่องมือในการตัดสิน นักวิจัยควรระบุให้เป็นเชิงวิชาการ

   คำชี้แจงโดยนักวิจัย

   การที่ระบุว่าสามารถตีฟองได้ง่ายหรือยากกว่า นักวิจัยได้ใช้ความสูงของฟองที่ตีได้เป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบ และได้ระบุเพิ่มเติมเข้าไปในส่วนของสรุปหน้า iii และในบทคัดย่อหน้า iv แล้ว

2. ในส่วนของบทคัดย่อ นักวิจัยควรแสดงค่าเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพจากการใช้รำสกัดน้ำมัน เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ สมอ. ให้มองเห็นภาพ พร้อมคำอธิบายย่อ ๆ

   คำชี้แจงโดยนักวิจัย

   ได้เพิ่มเติมในบทคัดย่อแล้ว

3. เนื่องจากต้นทุนของรำสกัดน้ำมันสูงกว่า $CaCO_3$ มาก และไม่แน่ใจว่ารำสกัดน้ำมันจะมีแหล่งที่หาได้ง่ายกว่าหรือเปล่า นักวิจัยควรศึกษาวิธีลดต้นทุนของรำสกัดน้ำมัน มิฉะนั้นงานวิจัยจะไม่มีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมหรือในเชิงการค้า อาจจะเพียงได้ข้อข้อมูลว่าสามารถนำไปใช้ได้แต่ไม่เหมาะในทางการค้า บางทีแหล่งที่ผลิตรำสกัดน้ำมัน อาจจะแนะนำได้ว่ามีจำหน่ายในรูปแบบใด ที่ไหน และสมบัติ-ขนาดคร่าว ๆ ควรเป็นแบบใด

   คำชี้แจงโดยนักวิจัย

   นักวิจัยเห็นว่าควรศึกษาการลดต้นทุนของรำสกัดน้ำมันต่อไป เช่นการใช้รำสกัดน้ำมันที่มีขนาดหยาบขึ้น อาจร่อนเพียงแค่กำจัดสิ่งเจือปนที่ไม่ใช่รำสกัดน้ำมันออกไป เนื่องจากราคาต้นทุนที่สูงเกิดจากการร่อนรำสกัดน้ำมันให้มีขนาดเล็ก 150 เมช และจากการสอบถามบริษัทผู้ผลิต รำสกัดน้ำมันนั้นมีขาย 2 รูปแบบคือ แบบผง และแบบอัดเม็ด แต่ในการตีฟองเหมาะกับการใช้แบบผง

4. เมื่อรำสกัดน้ำมันเหมาะกับยางฟองน้ำ นักวิจัยควรให้สูตรการผลิตยางฟองน้ำเฉพาะผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นแนวทางต่อผู้ผลิตต่อไป

   คำชี้แจงโดยนักวิจัย

   เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบสมบัติของยางฟองน้ำกับมาตรฐาน มอก. 173-2519 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางฟองน้ำ) ดังนั้นนักวิจัยจึงยกตัวอย่างสูตรการผลิตยางฟองน้ำผสมรำสกัดน้ำมันที่มีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 173-2519 ซึ่งอาจใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำจำพวก ที่นอน หมอน และเบาะรองนั่ง เป็นต้น ไว้ในส่วนของสรุปผล