



## การใช้สารตัวเติมร่วมระหว่างซิลิกาและยางครัมป์ ในผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ

### The Use of a Co-Filler Between Silica and Crumb Rubber in Natural Rubber Latex Foam Products

สุวัฒน์ รัตนพันธ์, จุฑาทิพย์ อัจฉมภู และ เดี่ยว สายจันทร์

Suwat Rattanapan<sup>\*</sup>, Jutatip Artchomphoo and Diew Saijun

สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Rubber and Polymer Technology Department, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya,

Received : 6 March 2020

Revised : 29 April 2020

Accepted : 28 May 2020

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมและสมบัติเชิงกลของยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ ใช้ซิลิกา และของผสมระหว่างซิลิกากับยางครัมป์เป็นสารตัวเติม โดยแปรปริมาณซิลิกา (silica) ที่ระดับ 10, 20 และ 30 phr และแปรสัดส่วนระหว่างซิลิกากับยางครัมป์ (silica/CRM) ที่ระดับ 0.5/1.0, 0.75/0.75 และ 1.0/0.5 จากการทดลองพบว่าซิลิกาสามารถกระจายตัวและเข้ากับน้ำยางธรรมชาติได้ดี และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำได้ เมื่อปริมาณของซิลิกาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารรถในการยืด ณ จุดขาดของยางฟองน้ำมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด มีค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวที่สูงขึ้น และเปอร์เซ็นต์การบิดรูปถาวรหลังการกดของยางฟองน้ำที่ผสมซิลิกาจะมีค่ามากขึ้น สำหรับกรณีการใช้ซิลิกาและยางครัมป์เป็นสารตัวเติมในยางฟองน้ำพบว่าลักษณะของการเกิดฟองจะสม่ำเสมอ และการยุบตัวของฟองยางจะน้อย ผลของอัตราส่วนซิลิกาและยางครัมป์ต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางฟองน้ำพบว่าเมื่อสัดส่วนของยางครัมป์ลดลงจะส่งผลให้ค่าสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงลดลง การใช้ซิลิกา และของผสมซิลิกากับยางครัมป์ จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ต่ำกว่าสูตรยางฟองน้ำที่ไม่ใส่สารตัวเติม เมื่อสัดส่วนของยางครัมป์ลดลง จะช่วยให้เปอร์เซ็นต์การยุบตัวน้อยลง และการบิดรูปถาวรเนื่องจากการกดก็ลดลงด้วย

**คำสำคัญ :** ซิลิกา ; ยางครัมป์ ; ยางธรรมชาติ ; โฟม ; ยางฟองน้ำ



### Abstract

This research studied the preparation and mechanical properties of natural rubber latex foam (NRLF) using silica and the mixture of silica with crumb rubber (CRM) as filler. By varying the amount of silica at the levels of 10, 20 and 30 phr, and the ratio between silica and CRM (silica/CRM) at the levels of 0.5/1.0, 0.75/0.75 and 1.0/0.5. From the experiment, it was found that silica can disperse and blend with natural rubber latex well. The mechanical properties, density, depression and compression set of NRLF were studied. The increase in the amount of silica resulted in significant decrease in tensile strength and elongation at break of the NRLF. On the other hand, the higher percentage depression and the percentage of the permanent set after pressing of the NRLF mixed with silica were increased. In the case of using silica and crumb rubber as filler in NRLF, it was found that the characteristics of foaming were uniform. It was found that the tensile strength properties were decreased with decreasing ratio of CRM. With the reduction in the ratio of CRM, the percentage of depression and permanent set were decreased.

**Keyword** : silica ; crumb rubber ; natural rubber ; foam ; natural rubber latex foams

## บทนำ

ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ (natural rubber latex foam, NRLF) เป็นผลิตภัณฑ์ยางชนิดหนึ่งที่เตรียมได้จากน้ำยางธรรมชาติ (natural rubber latex, NRL) ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ และเป็นการสนับสนุนให้มีการเพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติในประเทศให้เพิ่มมากขึ้นได้อีกทางหนึ่ง เป็นผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้รองรับน้ำหนักเพื่อรับแรงกระแทกและให้ความรู้สึกสบาย ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำมีหลายอย่างเช่น ที่นอนยางฟองน้ำ พื้นรองเท้า และเฟอร์นิเจอร์ยางฟองน้ำมีลักษณะเป็นรูพรุน สามารถระบายอากาศได้ กัดหรือบิดได้โดยไม่เสียรูปทรง การผลิตผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำบางชนิดมีวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก กลุ่มเกษตรกรหรือภาคเอกชนรายย่อยสามารถดำเนินการได้ ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำแต่ละชนิดมีสมบัติและราคาที่แตกต่างกันขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน และเพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องและต้องคำนึงถึง เช่น ชนิดและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ ชนิดและปริมาณสารเคมี และกระบวนการผลิต เป็นต้น ในปัจจุบันมีนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศต่างก็ให้ความสนใจปรับปรุงการผลิตผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำจากยางธรรมชาติ เน้นที่การลดต้นทุนและยังคงสมบัติที่ดี มีการใช้สารตัวเติมที่สามารถลดต้นทุนการผลิต และเพื่อช่วยปรับสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามต้องการ สารตัวเติมที่มีการใช้ในยางฟองน้ำจากยางธรรมชาติมีทั้งที่มาจากสารสังเคราะห์และจากธรรมชาติ ปัจจุบันสารตัวเติมที่มีการนำไปใช้ในทางการค้ามักจะมาจากการสังเคราะห์ เช่น การใช้ซิลิกา (Pinsanor *et al.*, 2003) และแคลเซียมคาร์บอเนต (Kovuttikulrangsie and Pethrattanamunee, 2006) และกลุ่มสารตัวเติมที่ได้จากธรรมชาติซึ่งเป็นกลุ่มที่นักวิจัยให้ความสนใจกันมากในปัจจุบัน วัตถุประสงค์เพื่อทดแทนกลุ่มสารตัวเติมจากการสังเคราะห์ลดต้นทุนมากขึ้น และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างสารตัวเติมจากธรรมชาติที่ใช้ในยางฟองน้ำจากยางธรรมชาติ ได้แก่ ชีไ้เก้ (Rattanaplome, 2012) จำศักดิ์น้ำมัน (Moonchai and Aiemrum, 2013) ผงแคลบ (Ramasamy *et al.*, 2012) เปลือกไข่ (Bashir *et al.*, 2017) เส้นใยปอแก้ว (Abdul Karim *et al.*, 2015; Karim *et al.*, 2018; Surya *et al.*, 2019) เปลือกของปอแก้ว (Kudori *et al.*, 2019) เส้นใยชานอ้อย (Tomyangkul *et al.*, 2016) และเส้นใยปาล์มน้ำมัน (Tomyangkul *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2018) เป็นต้น นอกจากการใช้สารตัวเติมในยางฟองน้ำที่มาจากสารสังเคราะห์และจากธรรมชาติแล้วพบว่าในปี 2018 มีการเริ่มศึกษาการใช้วัสดุรีไซเคิลชนิดยางครัมม์ (Crumb rubber) หรือยางผง (Rubber powder) เป็นสารตัวเติมลดต้นทุนในยางฟองน้ำจากยางธรรมชาติ (Rattanapan *et al.*, 2018) และพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุยางครัมม์มาใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงในยางฟองน้ำ

ในหลายปีที่ผ่านมาปัญหาขยะจากพลาสติกหรือยางวัลคาไนซ์ที่ไม่ผ่านการกำจัดที่ถูกต้องนับว่าเป็นปัญหาใหญ่ที่ทุกสังคม ทุกรัฐบาล หรือทุกประเทศพยายามหาวิธีกำจัดหรือวิธีนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งในรูปของการ recycle หรือ การ reuse เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเฉพาะยางวัลคาไนซ์นับว่าสร้างปัญหาเรื่องขยะเป็นอย่างมาก ยางครัมม์ หรือยางผงซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำขยะยาง (เช่น ยางล้อเก่า เศษยางที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต) ไปผ่านกระบวนการบดโดยใช้เครื่องมือเชิงกลต่างๆ เช่น เครื่องแกรนูลเลเตอร์ (granulator) เครื่องพัลเวอร์ไรเซอร์ (pulverizer) เครื่องบดกระแทก (hammermill) เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill) ทั้งนี้การบดสามารถทำได้ทั้งที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปการบดที่อุณหภูมิต่ำจะเหมาะกับการผลิตยางผงที่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ ยางผงที่ได้จะมีรูปร่างที่ไม่เป็นระเบียบและมีพื้นผิวขรุขระ หากต้องการยางผงที่มีขนาดอนุภาคเล็กลง จำเป็นต้องนำขยะยางไปผ่านเครื่องบดซ้ำหลายรอบ ซึ่งจะส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ส่วนการบดที่อุณหภูมิต่ำนั้นเป็นวิธีการบดที่มีต้นทุนสูง เพราะต้องใช้ในโตรเจนเหลวปริมาณมาก จึงเหมาะสำหรับการใช้ผลิตยางผงที่มีอนุภาคขนาดเล็กเท่านั้น ยางผงที่ได้จากการบดที่อุณหภูมิต่ำส่วนใหญ่จะมีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ ปัจจุบันได้มีการนำยางผงที่ได้จากการรีไซเคิลไปประยุกต์ใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เช่น การ

นำไปใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมยาง นำไปใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในพลาสติก นำไปใช้เป็นวัตถุเติมในการผลิตยางรีไซเคิลและยางเทอร์โมพลาสติก รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมโยธา เป็นต้น

จากข้อมูลข้างต้นพบว่านักวิจัยสนใจศึกษาค้นคว้าและวิจัย โดยนำสารเคมีและวัสดุเหลือทิ้ง ทั้งที่ได้จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์หลายชนิด นำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางพองน้ำจากยางธรรมชาติ จากข้อมูลเบื้องต้นของ Rattanapan *et al.* (2018) ทางคณะผู้วิจัยมีแนวคิดนำยางครัมป์มาพัฒนาเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อลดต้นทุนโดยนำมาศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารตัวเติมชนิดซิลิกาเพื่อปรับปรุงให้ได้สมบัติของยางพองน้ำที่ดีมากขึ้น ตลอดจนยังคงขึ้นรูปเป็นยางพองน้ำได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งยางครัมป์ และยางธรรมชาติ เป็นการสร้างนวัตกรรมใหม่ที่สามารนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำเพื่อการใช้งานได้อีกหลากหลายชนิดในอนาคต

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. น้ำยางและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

น้ำยาง สารเคมี และสูตรการเตรียมยางพองน้ำสำหรับการทดลองในครั้งนี้ดังแสดงในตารางที่ 1 ประกอบด้วยน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (high ammonia concentrated natural rubber latex, HANR) มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60% และสารเคมีสำหรับการเตรียมยางพองน้ำประกอบด้วย สารละลายโพแทสเซียมโอเลเอต (K-Oleate) กำมะถัน (S) ซิงค์ไดเอทิลไดไฮโอคาร์บาเมต (ZDEC) ซิงค์เมอแคปโตเบนโซไธโอไซด์ (ZMBT) วิงสเตล (Wingstay L) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ไดฟีนิลกัวนิดีน (DPG) โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (SSF) และสารตัวเติมชนิดซิลิกา (Silica)

### 2. การเตรียมยางพองน้ำ

#### ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางผสมสารเคมี

เติมสารเคมีที่เตรียมให้อยู่ในรูปของแข็งที่กระจายตัวในน้ำ (dispersion) ลงในน้ำยางชั้น HANR 60% โดยน้ำหนัก ปริมาณสารแต่ละชนิดที่ใช้ตามสูตรในตารางที่ 1 (ยางและสารเคมีชุดที่ 1) โดยเติมตามลำดับดังนี้ คือ K-Oleate, Sulphur, ZDEC, ZMBT และ Wingstay L ตามลำดับ บั่นกวนด้วยเครื่องกวนน้ำยางเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

#### ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการเติมสารเคมีชุดที่ 2

นำน้ำยางคอมปาวด์จากขั้นตอนที่ 1 มาศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติมซิลิกาและผลของการใช้สารตัวเติมร่วมระหว่างซิลิกาและยางครัมป์ ต่อสมบัติของยางพองน้ำ โดยนำน้ำยางผสมสารเคมีจากขั้นตอนที่ 1 เติมสารเคมีชุดที่ 2 เริ่มจากเติมสารตัวเติมซิลิกาปริมาณดังตารางที่ 1 และศึกษาสัดส่วนระหว่างซิลิกาต่อยางครัมป์ 0.5/1, 0.75/0.75 และ 1/0.5 โดยน้ำหนัก กวนบั่นไล่แอมโมเนียเป็นเวลา 3 นาที เติมสารเคมีชุดที่ 2 ที่เหลือ คือ ZnO, DPG และ SSF ตามลำดับ หลังจากเติมสารแต่ละชนิด บั่นด้วยเครื่องตียางพองน้ำ ยางพองน้ำที่ได้เทใส่เบ้าพิมพ์ รอจนกระทั่งเกิดการเจล นำยางพองน้ำอบด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปล้างสารเคมีที่ตกค้างออกด้วยน้ำสะอาด และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

**ตารางที่ 1** ส่วนผสมของสูตรน้ำยางคอมปาวด์

ยางและสารเคมี (ชุดที่ 1)	ปริมาณ (phr)	สารเคมี (ชุดที่ 2)	ปริมาณ (phr)
HANR 60% โดยน้ำหนัก	100	ZnO 50% โดยน้ำหนัก	5.0
K-Oleate 20% โดยน้ำหนัก	1.0	DPG 33% โดยน้ำหนัก	1.0
Sulphur 50% โดยน้ำหนัก	5.0	SSF 20% โดยน้ำหนัก	1.5
ZDEC 50% โดยน้ำหนัก	1.0	Silica 20% โดยน้ำหนัก	0, 10, 20, 30
ZMBT 50% โดยน้ำหนัก	1.0		
Wingstay L 50% โดยน้ำหนัก	1.0		

**3. การทดสอบสมบัติของยางพองน้ำ**

จากศึกษาในข้างต้นทำการศึกษามลของปริมาณสารตัวเติมซิลิกาและผลของการใช้สารตัวเติมร่วมระหว่างซิลิกาและยางครีမ်บ์ ต่อสมบัติของยางพองน้ำ โดยทำการทดสอบสมบัติดังต่อไปนี้

**ความหนาแน่น (Density)** ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3574 เตรียมชิ้นตัวอย่างที่มีปริมาตรไม่น้อยกว่า 1000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร นำไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง คำนวณค่าความหนาแน่นโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$D = M / V$$

เมื่อกำหนดให้  $D =$  ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )

$M =$  น้ำหนักของชิ้นทดสอบ ( $\text{g}$ ) และ

$V =$  ปริมาตรชิ้นทดสอบ ( $\text{cm}^3$ )

**สมบัติด้านแรงดึง (Tensile Properties)** ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412 ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile testing machine) ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H10 KS เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบล ดึงด้วยความเร็ว 500 mm/min

คำนวณค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength (T.S.), MPa) โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{Tensile Strength} = F / A$$

เมื่อกำหนดให้  $F =$  แรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการขาด

(N) และ  $A =$  พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ ( $\text{mm}^2$ )

คำนวณค่าความสามารถในการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break (E.B.), %) โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{E.B.} = ((L - L_0) / L_0) \times 100$$

เมื่อกำหนดให้  $L_0$  = ระยะกำหนดก่อนขึ้นทดสอบยืด (25 mm)  
 $L$  = ระยะที่ขึ้นทดสอบยืดได้สูงสุดจนขาด (mm)

ค่าการผิดรูปถาวรเนื่องจากการกด (Compression Set (C.S.), %) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3574  
คำนวณโดยใช้สมการ

$$C_t = [(t_0 - t_t)/t_0] \times 100$$

เมื่อกำหนดให้  $C_t$  = ค่าการผิดรูปถาวรเนื่องจากการกด (%),  
 $t_0$  = ความหนาเริ่มต้นของชิ้น (mm) และ  
 $t_t$  = ความหนาสุดท้ายหลังจากทดสอบ (mm)

ค่าการยุบตัว (Depression, %) เป็นการทดสอบเพื่อวัดค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของยางฟองน้ำ คำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{Depression} = [(C - D)/C] \times 100$$

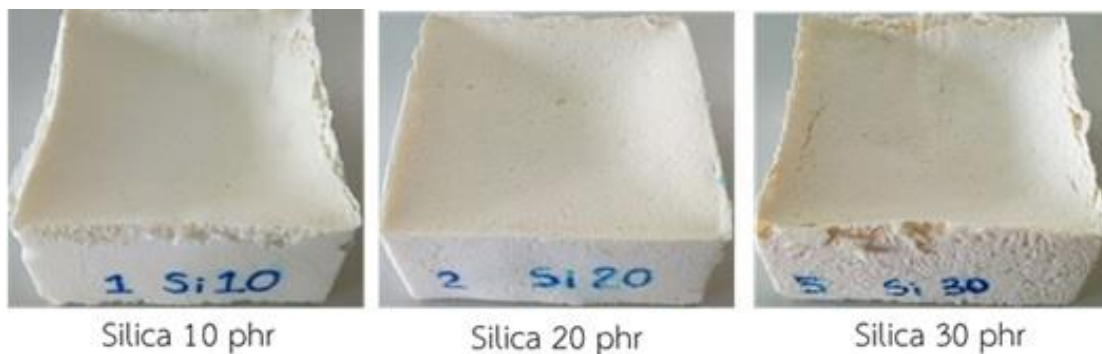
เมื่อกำหนดให้  $C$  = ความสูงของแม่พิมพ์ (mm)  
 $D$  = ความสูงเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (mm)

## ผลการวิจัย

### 1. ผลของปริมาณสารตัวเติมซิลิกาต่อสมบัติของยางฟองน้ำ

#### 1.1 ลักษณะทางกายภาพและความหนาแน่น

การใช้สารตัวเติมชนิดซิลิกาในยางฟองน้ำพบว่าซิลิกาสามารถกระจายตัวและเข้ากับน้ำยางธรรมชาติได้ดี และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำได้ ลักษณะดังภาพที่ 1

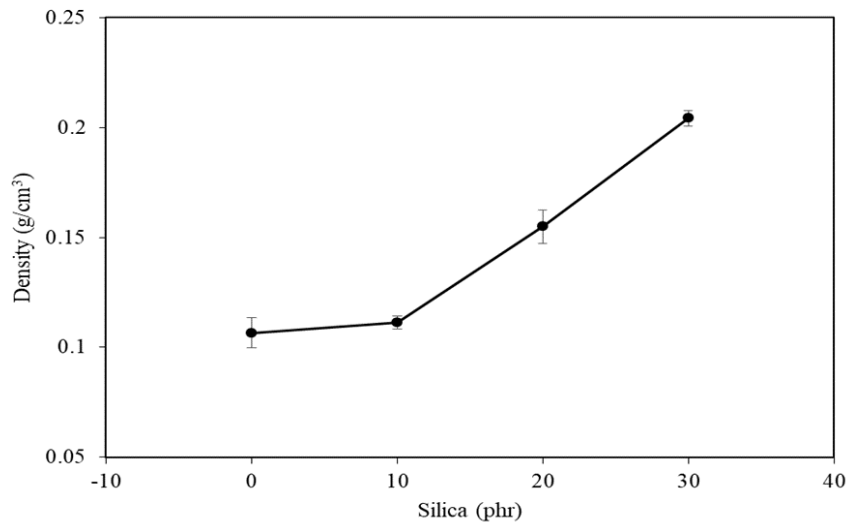


ภาพที่ 1 ลักษณะของยางฟองน้ำที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม

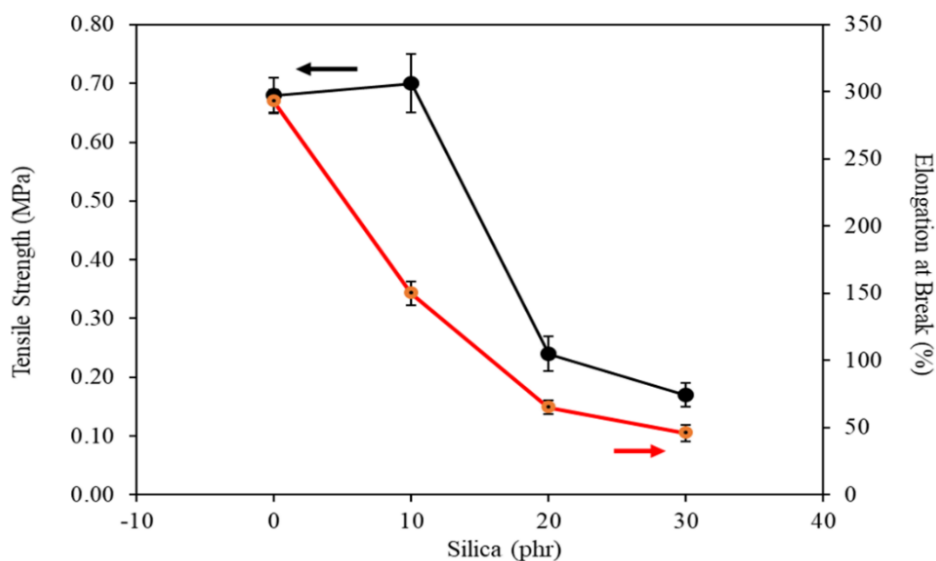
จากภาพที่ 1 และภาพที่ 2 พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาที่ใช้มากขึ้น ทำให้น้ำยางเกิดฟองยากขึ้นมีเปอร์เซ็นต์การยุบตัวที่สูงขึ้น การใช้ซิลิกา 10 phr ยางฟองน้ำที่เตรียมได้จะยุบและหดตัวอย่างเห็นได้ชัด ลักษณะของฟองยาค่อนข้างละเอียดและยืดหยุ่นได้ดี การใช้ซิลิกา 20 phr ยางฟองน้ำที่ได้จะยุบตัวและหดตัวน้อย แต่ฟองยาค่อนข้างหยาบ มีฟองอากาศบางส่วน และแข็งฉีกขาดได้ง่าย และการใช้ซิลิกา 30 phr ยางฟองน้ำจะยุบตัวและหดตัวมาก ฟองยามีลักษณะหยาบและแข็งกรอบฉีกขาดได้ง่าย ไม่มีความยืดหยุ่น สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของยางฟองน้ำที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณสารตัวเติมซิลิกาเพิ่มสูงขึ้น 10, 20 และ 30 phr ตามลำดับ

### 1.2 สมบัติแรงดึง

ผลของปริมาณสารตัวเติมซิลิกาต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืด ณ จุดขาด ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ความหนาแน่นของยางฟองน้ำเมื่อใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม

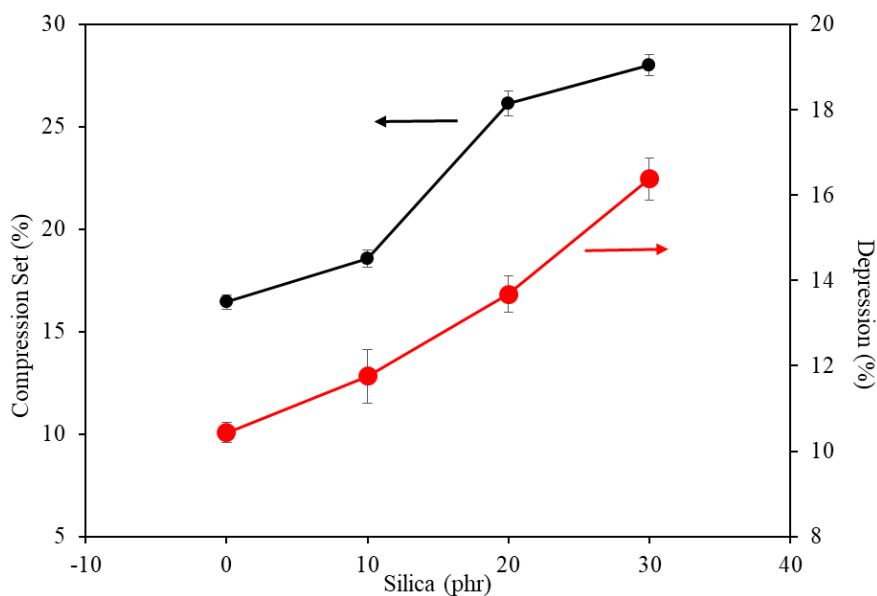


ภาพที่ 3 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืด ณ จุดขาดของยางฟองน้ำเมื่อใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม

จากผลการวิจัยในภาพที่ 3 พบว่า การผสมซิลิกาในน้ำยางปริมาณ 10 phr มีผลทำให้ยางพองน้ำมีความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืด ณ จุดขาด สูงที่สุด คือ 0.7 MPa และ 150% ตามลำดับ และเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืด ณ จุดขาด ของยางพองน้ำมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในช่วงเริ่มต้นของการเติมซิลิกาช่วงปริมาณไม่เกิน 10 phr เป็นช่วงที่เหมาะสมแสดงให้เห็นว่าสารตัวเติมสามารถเกิดอันตรกิริยากับยางได้มากขึ้นทำให้เกิดการเสริมแรงในยางพองน้ำ แต่เมื่อปริมาณสารตัวเติมซิลิกามากกว่า 10 phr หรือเติมจนเลยปริมาณที่เหมาะสมมีผลทำให้อันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมและยางลดลง

### 1.3 สมบัติแรงกด

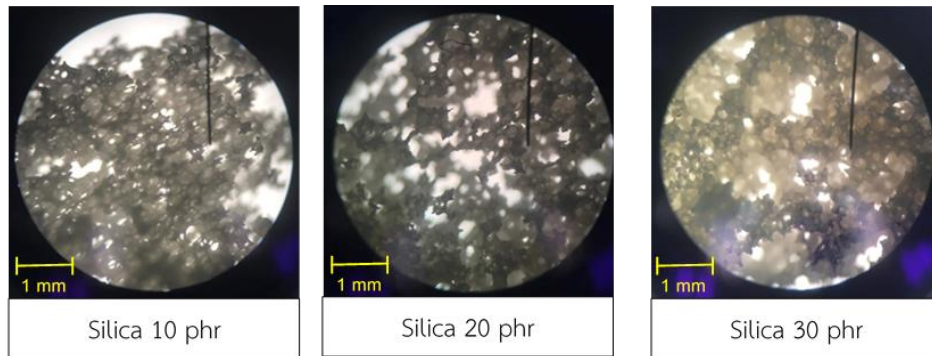
ผลของปริมาณสารตัวเติมซิลิกาต่อเปอร์เซ็นต์การบิดรูปถาวรหลังการกด (%compression set) และเปอร์เซ็นต์การยุบตัว (%depression) ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์การบิดรูปถาวรหลังการกดและการยุบตัวของยางพองน้ำเมื่อใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม

จากภาพที่ 4 ผลของปริมาณสารตัวเติมซิลิกาต่อเปอร์เซ็นต์การบิดรูปถาวรหลังการกด (%compression set) และเปอร์เซ็นต์การยุบตัว (%depression) พบว่ายางพองน้ำที่ผสมซิลิกาเป็นสารตัวเติม ปริมาณ 10 phr มีเปอร์เซ็นต์การยุบตัวที่น้อย อยู่ที่ 11.76% เมื่อเทียบกับปริมาณซิลิกาคืออื่น ๆ และเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มมากขึ้นที่ปริมาณ 20 และ 30 phr พบว่าอนุภาคของซิลิกาเข้าไปแทนที่อนุภาคยางส่งผลให้สมบัติความยืดหยุ่นของยางพองน้ำลดลงทำให้มีเปอร์เซ็นต์การยุบตัวที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับยางพองน้ำที่ไม่ใช้สารตัวเติมซิลิกา พบว่ายางพองน้ำที่ไม่ใส่สารตัวเติมจะมีเปอร์เซ็นต์การยุบตัวที่ต่ำกว่า และจากภาพที่ 3 ยังพบอีกว่าเปอร์เซ็นต์การบิดรูปถาวรหลังการกดของยางพองน้ำที่ผสมซิลิกาจะมีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มมากขึ้น นั้นหมายความว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มมากขึ้นความเป็นยางของยางพองน้ำจะลดลงส่งผลให้การคืนตัวของยางพองน้ำลดลงด้วย





ภาพที่ 5 ลักษณะรูพรุนของยางฟองน้ำที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม จากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า

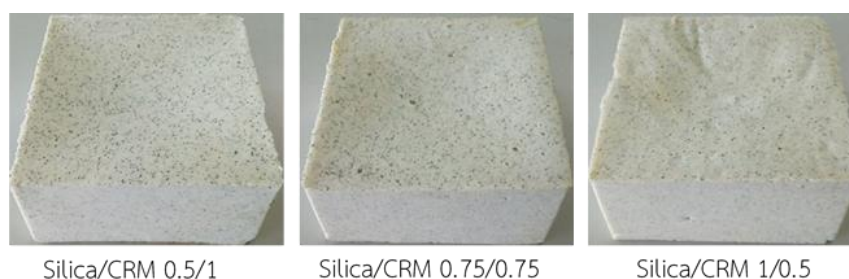
จากภาพที่ 5 ลักษณะรูพรุนของยางฟองน้ำที่ผสมซิลิกาปริมาณ 10, 20 และ 30 phr โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 40 เท่า พบว่ายางฟองน้ำที่ผสมซิลิกามีลักษณะสีเหลืองอ่อน เมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ฟองของยางฟองน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีปริมาณฟองน้ำลดลง

## 2. ผลของการใช้สารตัวเติมระหว่างซิลิกา (Silica) และ ยางครีမ် (CRM)

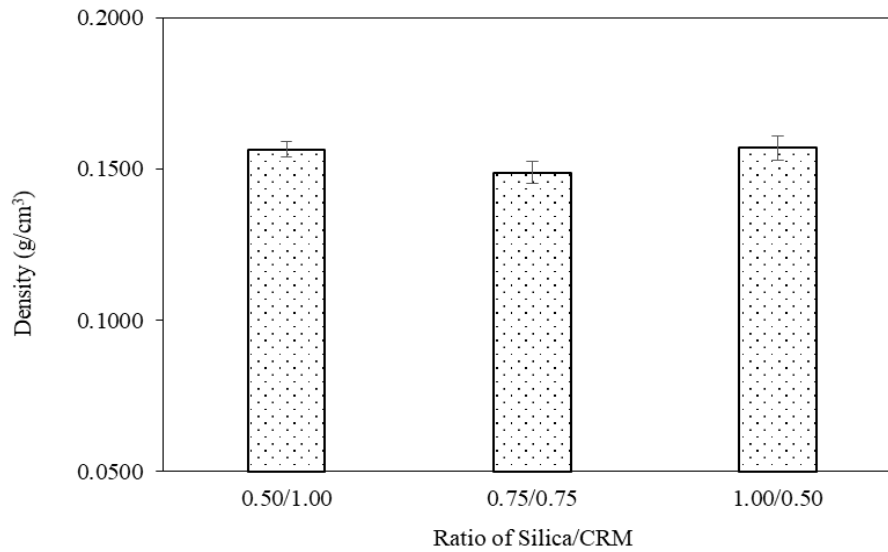
ผลของการใช้สารตัวเติมซิลิการ่วมกับยางครีမ်ต่อการเตรียมยางฟองน้ำ สำหรับการทดลองในตอนนี้จะเลือกขนาดของยางครีမ်ที่ขนาด 40 เมช ซึ่งเป็นขนาดที่ช่วยให้สมบัติของยางฟองน้ำมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าขนาดอื่น ดังผลการทดลองของ (Rattanapan *et al.*, 2018) การทดลองจึงเลือกใช้ยางครีမ်ที่ขนาดดังกล่าว และศึกษาการใช้สารตัวเติมร่วมระหว่างซิลิกาและยางครีမ်ในปริมาณของซิลิกาและยางครีမ်รวม 10 phr สัดส่วนระหว่างซิลิกาต่อยางครีမ်ที่ทำการศึกษา คือ 0.5/1, 0.75/0.75 และ 1/0.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

### 2.1 ลักษณะทางกายภาพและความหนาแน่น

การใช้ซิลิกาและยางครีမ်เป็นสารตัวเติมในยางฟองน้ำพบว่าลักษณะของการเกิดฟองของยางฟองน้ำผสมซิลิกาและยางครีမ်ที่ปริมาณต่างๆ ทั้งซิลิกาและยางครีမ်สามารถกระจายตัวและเข้ากับน้ำยางธรรมชาติได้ดี และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำได้ ลักษณะดังภาพที่ 6 พบว่าปริมาณซิลิกาที่ใช้มากขึ้นจะส่งผลให้น้ำยางเกิดฟองยาก ยางฟองน้ำที่เตรียมได้จะยุบและหดตัวเล็กน้อย เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของยางฟองน้ำที่ได้จากการใช้ยางครีမ်เป็นสารตัวเติมร่วมกับซิลิกา (ภาพที่ 6) และยางฟองน้ำที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมเพียงชนิดเดียว (ภาพที่ 1) พบว่าการใช้ยางครีမ်เป็นสารตัวเติมร่วมจะสามารถเตรียมชิ้นงานที่สมบูรณ์กว่า ภาพที่ 7 เป็น ผลการทดสอบความหนาแน่น พบว่าเมื่อสัดส่วนของสารตัวเติมระหว่างซิลิกาเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของยางฟองน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ

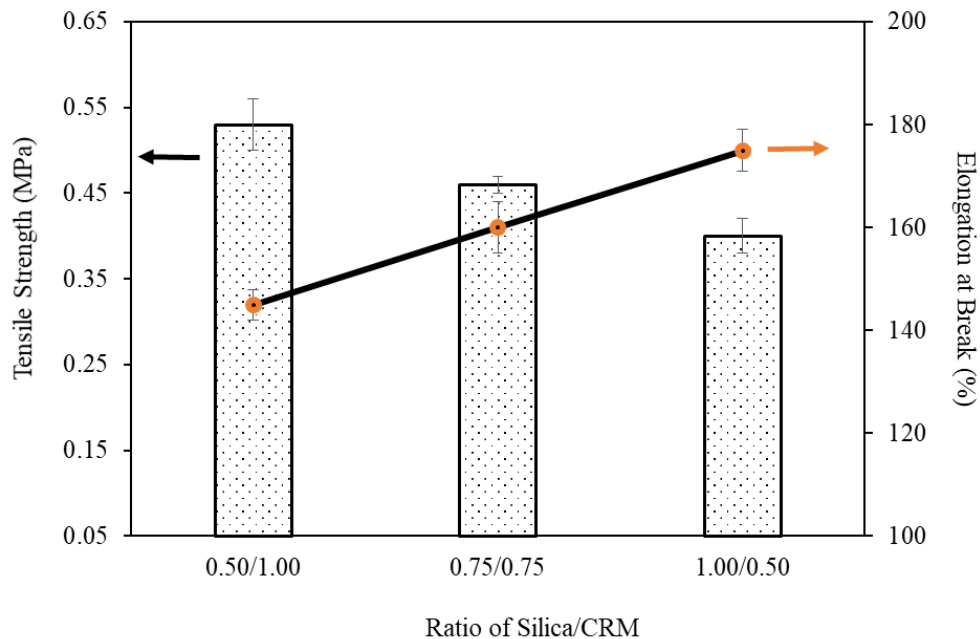


ภาพที่ 6 ลักษณะของยางฟองน้ำที่ใช้ซิลิการ่วมกับยางครีမ်เป็นสารตัวเติมในสัดส่วนต่างๆ



ภาพที่ 7 ความหนาแน่นของยางพองน้ำเมื่อใช้ซิลิกาพร้อมกับยางครีမ်เป็นสารตัวเติมในสัดส่วนต่างๆ

## 2.2 สมบัติแรงดึง



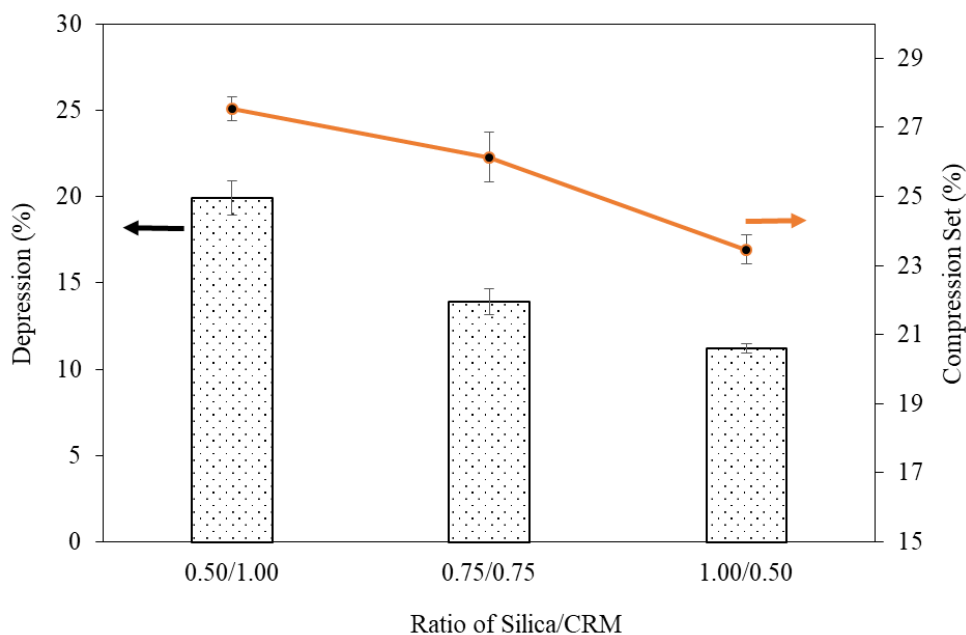
ภาพที่ 8 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืด ณ จุดขาดของยางพองน้ำเมื่อใช้ซิลิกาพร้อมกับยางครีမ်เป็นสารตัวเติมในสัดส่วนต่างๆ

จากผลการทดลองในภาพที่ 8 แสดงผลของอัตราส่วนซิลิกาและยางครีမ်ต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางพองน้ำที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อยางครีမ် ที่สัดส่วน 0.5/1, 1/1 และ 1/0.5 พบว่าเมื่อสัดส่วนของยางครีမ်ลดลงจะส่งผลให้ค่าสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงลดลงด้วยซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Rattanapan *et al.* (2018)

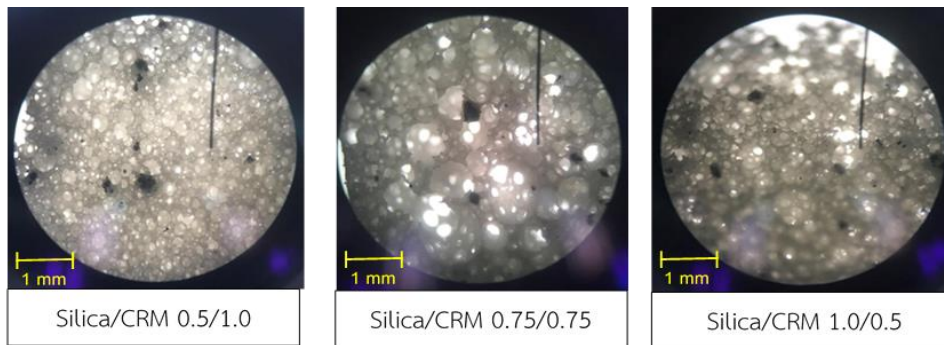
เนื่องจากอนุภาคของซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่เสริมแรงในน้ำยาง หากเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับสูตรยางฟองน้ำที่ไม่ใช้ยางครีမ်ร่วม คือใช้ซิลิกาเพียงชนิดเดียวพบว่าการใช้ยางครีမ်ร่วมกับซิลิกาจะส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงลดลงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความไม่เข้ากันของยางผสมกับสารตัวเติมและยางครีမ် ผลการทดลองยังพบอีกว่าการใช้ซิลิกาและยางครีမ်เป็นสารตัวเติมจะช่วยปรับปรุงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดให้เพิ่มมากขึ้นดังผลการทดลองในภาพที่ 8 แต่ทั้งนี้การใช้สารตัวเติมทั้ง 2 ลักษณะคือ ซิลิกา และของผสมซิลิกากับยางครีမ် จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ต่ำกว่าสูตรยางฟองน้ำที่ไม่ใส่สารตัวเติมทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการใส่สารตัวเติมหรือยางครีမ်ในสูตรยางฟองน้ำอาจจะทำให้เกิดจุดที่เป็นตำหนิส่งผลให้ขาดได้ง่าย

### 2.3 สมบัติแรงกด

จากภาพที่ 9 เป็นผลของสัดส่วนระหว่างซิลิกากับยางครีမ်ต่อเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของยางฟองน้ำพบว่าเมื่อสัดส่วนของยางครีမ်ลดลงจะช่วยให้เปอร์เซ็นต์การยุบตัวน้อยลง และการผิดรูปถาวรเนื่องจากการกดก็ลดลงด้วย แสดงให้เห็นว่าการใช้ยางครีမ်ในสัดส่วนที่มากกว่าซิลิกาจะส่งผลให้สมบัติยืดหยุ่นของยางฟองน้ำลดลงซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ (Prasertsri *et al.*, 2016)



ภาพที่ 9 เปอร์เซ็นต์การผิดรูปถาวรหลังการกดและการยุบของยางฟองน้ำเมื่อใช้ซิลิการ่วมกับยางครีမ်เป็นสารตัวเติมในสัดส่วนต่างๆ



ภาพที่ 10 ลักษณะรูพรุนของยางฟองน้ำเมื่อใช้ซิลิกา ร่วมกับยางครีမ်เป็นสารตัวเติมในสัดส่วนต่างๆ จากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า

จากภาพที่ 10 ลักษณะรูพรุนของยางฟองน้ำที่ผสมซิลิกา ร่วมกับยางครีမ် ที่สัดส่วน 0.5/1.0, 0.75/0.75 และ 1.0/0.5 โดยน้ำหนัก โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 40 เท่า พบว่ายางฟองน้ำที่ได้มีลักษณะเป็นสีขาว ผิวเรียบ ฟองยางละเอียด ขนาดฟองยางสม่ำเสมอ ยางครีမ်กระจายตัวได้ดีไม่จับตัวเป็นกลุ่มก้อน ที่สัดส่วนซิลิกาต่อยางครีမ်เท่ากับ 0.75/0.75 จะให้ฟองยางมีขนาดใหญ่กว่าที่สัดส่วน 0.5/1.0 และ 1.0/0.5 นอกจากนี้ยางฟองน้ำใช้ของผสมระหว่างซิลิกา ร่วมกับยางครีမ်เป็นสารตัวเติม จะให้ขนาดของฟองค่อนข้างจะสม่ำเสมอมากกว่ายางฟองน้ำที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมเพียงชนิดเดียว ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนโครงสร้างของซิลิกา ส่งผลให้เกิดเป็นมวลรวม (aggregate) เกิดขึ้นภายในฟองยาง (Putkham *et al.*, 2017) เมื่อมวลรวมของซิลิกาเข้าไปแทรกในฟองยาง ทำให้ขนาดของฟองใหญ่มากขึ้นตามปริมาณซิลิกาเพิ่มมากขึ้น ขนาดของฟองยางที่ได้จากการใช้ซิลิกาเพียงชนิดเดียวจึงมีความสม่ำเสมอต่ำกว่ากรณีของการใช้ยางครีမ်เป็นสารตัวเติมร่วม เนื่องจากยางครีမ်สามารถเกิดอันตรกิริยากับซิลิกาได้ ช่วยลดการเกิดเป็นมวลรวมระหว่างซิลิกากับซิลิกา จึงส่งผลให้ลักษณะของฟองยางมีความสม่ำเสมอมากกว่าการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมเพียงชนิดเดียว

### วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อปริมาณของสารตัวเติมซิลิกาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของยางฟองน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ยางฟองน้ำยุบตัวมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของ Putkham *et al* ได้ทำการศึกษาการใช้ซิลิกาแอโรเจลเป็นสารตัวเติมในยางฟองน้ำพบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาแอโรเจลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สมบัติความหนาแน่นของยางฟองน้ำเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการผสมสารตัวเติมซิลิกาแอโรเจลมากขึ้นมีผลทำให้ฟองอากาศในเนื้อยางมีขนาดเล็กลง และเนื้อยางฟองน้ำมีการเกาะตัวกันแน่นมากขึ้นจึงส่งผลให้ยางฟองน้ำมีความพรุนลดลง ได้ยงที่มีน้ำหนักมาก (Putkham *et al.*, 2017) ในขณะเดียวกันผลการทดลองของ Moonchai และ Aiemrum ในปี 2013 ได้ทำการทดลองใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในยางฟองน้ำพบว่าเมื่อปริมาณรำสกัดน้ำมันเพิ่มมากขึ้นค่าความหนาแน่นของยางฟองน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรำสกัดน้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำยางธรรมชาติบางส่วน หมายความว่าฟองน้ำจะมีทั้งส่วนของยางและสารตัวเติม จึงทำให้เกิดเป็นฟองยากขึ้น และโครงสร้างเซลล์ที่ได้จะอัดตัวกันแน่นกว่าเป็นเหตุให้ความหนาแน่นของยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น และยางฟองน้ำจะยุบตัวมากขึ้นเมื่อมีสารตัวเติมมากขึ้น (Moonchai

and Aiemrum, 2013) การยู่บตัวของยางพองน้ำที่ใช้สารตัวเติมเป็นองค์ประกอบนี้ให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกับ (Kovuttikulrangsie and Pethrattanamunee, 2006) ซึ่งได้ทดลองใช้สารตัวเติมชนิดแคลเซียมคาร์บอเนตในยางพองน้ำ

ค่าความต้านทานต่อแรงดึงในงานวิจัยพบว่าเมื่อปริมาณสารตัวเติมซิลิกาเพิ่มมากกว่า 10 phr จะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืด ณ จุดขาด มีค่าลดลง เนื่องจากในน้ำยางมีปริมาณสารตัวเติมของซิลิกามากเกินไป มีผลทำให้อันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมและยางลดลง เกิดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมกับสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ซิลิกาที่เติมมากจนเกินไปเกิดเป็นมวลรวม (aggregate) จึงทำให้สมบัติเชิงกลของยางพองน้ำที่ได้มีค่าลดลง (Putkham *et al.*, 2017) หรือปริมาณซิลิกาที่เพิ่มมากขึ้นซิลิกามีโอกาสที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนกระจายตัวอยู่ในพองของยางพองน้ำส่งผลให้ความหนืดของยางพองน้ำมากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางพองน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น (Pinsanor *et al.*, 2003)

จากผลการวิจัยสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางพองน้ำที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อยางครัมป์ ที่สัดส่วน 0.5/1, 1/1 และ 1/0.5 พบว่าเมื่อสัดส่วนของยางครัมป์ลดลงจะส่งผลให้ค่าสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงลดลงและเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับสูตรยางพองน้ำที่ไม่ใช้ยางครัมป์ร่วมคือใช้ซิลิกาเพียงชนิดเดียวพบว่าการใช้ยางครัมป์ร่วมกับซิลิกาจะส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงลดลงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความไม่เข้ากันของยางผสมกับสารตัวเติมและยางครัมป์ ซึ่งให้ผลในลักษณะเดียวกันกับการทดลองของ (Prasertsri *et al.*, 2016) เนื่องจากการใส่สารตัวเติมหรือยางครัมป์ในสูตรยางพองน้ำอาจจะทำให้เกิดจุดที่เป็นตำหนิส่งผลให้ขาดได้ง่าย

### สรุปผลการวิจัย

การเตรียมยางพองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติผสมซิลิกาพบว่าซิลิกาสามารถกระจายตัวและเข้ากับน้ำยางธรรมชาติได้ดี และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำได้ แต่มีผลต่อการยู่บตัวและสมบัติเชิงกลของยางพองน้ำอย่างเห็นได้ชัด คือ เมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้น้ำยางเกิดพองยากขึ้นมีเปอร์เซ็นต์การยู่บตัวที่สูงขึ้น การใช้ซิลิกา 20 phr ยางพองน้ำที่ได้จะยู่บตัวและหดตัวน้อย ปริมาณซิลิกาที่ผสมในน้ำยางปริมาณ 10 phr มีความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืด ณ จุดขาด สูงที่สุด และเมื่อปริมาณของซิลิกาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืด ณ จุดขาดของยางพองน้ำมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด มีค่าเปอร์เซ็นต์การยู่บตัวที่สูงขึ้น และเปอร์เซ็นต์การผิดรูปถาวรหลังการกดของยางพองน้ำที่ผสมซิลิกาจะมีค่ามากขึ้น สำหรับกรณีการใช้ซิลิกาและยางครัมป์เป็นสารตัวเติมในยางพองน้ำพบว่าลักษณะของการเกิดพองจะสม่ำเสมอและการยู่บตัวของยางจะน้อยกว่ากรณีที่ไม่ใช้ยาง CRM ร่วม ผลของอัตราส่วนซิลิกาและยางครัมป์ต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางพองน้ำพบว่าเมื่อสัดส่วนของยางครัมป์ลดลงจะส่งผลให้ค่าสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงลดลง การใช้ซิลิกา และของผสมซิลิกากับยางครัมป์ จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ต่ำกว่าสูตรยางพองน้ำที่ไม่ใส่สารตัวเติม สัดส่วนระหว่างซิลิกากับยางครัมป์ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การยู่บตัวของยางพองน้ำพบว่าเมื่อสัดส่วนของยางครัมป์ลดลงจะช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การยู่บตัวน้อยลง และการผิดรูปถาวรเนื่องจากการกดก็ลดลงด้วย

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) หรือ สกว.(เดิม) ที่ให้ทุนสนับสนุน และขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย



เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเพื่อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับทำวิจัย และขอขอบคุณนางสาวอุไรวรรณ วันทอง และนายปัญญาไชย อามิตย์ นักศึกษาด้านเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในส่วนของการทดสอบสมบัติของยางฟองน้ำและอื่นๆ จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

- Bashir, A. S., Manusamy, Y., Chew, T. L., Ismail, H., & Ramasamy, S. (2017). Mechanical, thermal, and morphological properties of (eggshell powder)-filled natural rubber latex foam. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 23(1), 3-12.
- Karim, A. F. A, Ismail, H., & Mohamad Ariff, Z. (2015). Properties and characterization of kenaf-filled natural rubber latex foam. *Bioresources*, 11(1), 1080-1091.
- Karim, A. F. A., Ismail, H., & Ariff, Z. M. (2018). Effects of kenaf loading and alkaline treatment on properties of kenaf filled natural rubber latex foam. *Sains Malaysiana*, 47(9), 2163-2169.
- Kovuttikulrangsie, S. , & Pethrattanamunee, N. (2006). Effect of calcium carbonate on making natural rubber sponge. *The Thailand research fund (TRF)*. 137-143. (in Thai)
- Kudori, S. N. I., Ismail, H., & Shuib, R. K. (2019). Kenaf core and bast loading vs. properties of natural rubber latex foam (NRLF). *Bioresources*, 14(1), 1765-1780.
- Lim, H. M., Manroshan, S., & Geraghty, M. (2018). Oil palm trunk fibre filled natural rubber latex biocomposite foam. *Journal of Rubber Research*, 21(3), 182-193.
- Moonchai, D., & Aiemrum, A. (2013). Effects of defatted rice bran on properties of natural rubber latex foam. *KKU science journal*, 41(4), 1019-1029. (in Thai)
- Pinsanor, V. , Junpoonsup, S. , Patcharaphun, S. , & Sombatsompop, N. (2003). Effects of silica, calcium carbonate, and SiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> blends on properties of cellular nr compounds. *Songklanakarin Journal of Science and Technology (SJST)*, 25, 75-90. (in Thai)
- Prasertsri, S. , Kurakanok, K. , Sukkapan, N. , & Nuinu, P. (2016). Effect of Crumb Rubber/Calcium Carbonate Ratio on Mechanical and Thermal Properties of Ethylene-Propylene Diene Rubber/Epoxidized Natural Rubber Blends. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 18 (3), 50-59. (in Thai)



- Putkham, A. I., Tanpailboonkul, N., Ladhan, S., Chaiyachet, Y., Sukaranandana, K., & Putkham, A. (2017). Characterization of thermal and mechanical property of latex foam rubber mixed with silica aerogel-filler. *Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences*, 18(2), 267-277. (in Thai)
- Ramasamy, S., Ismail, H., & Munusamy, Y. (2012). Preparation and characterization of rice husk powder incorporated natural rubber latex foam. *Advanced Materials Research*, 626, 523-529.
- Rattanapan, S., Artchomphoo, J. & Wichianchom. A. (2018). Effect of waste tire powder on the properties of natural rubber latex foams. *The 9th Rajamangala University of Technology International Conference "RMUT Driving Innovation for Thailand 4.0"*(Proceeding)
- Rattanaplome, T. (2012). Latex foam reinforced by fly ash. The 13 th TSAE National Conference and the 5th TSAE International Conference : (TSAE 2012). 743-750. (in Thai)
- Surya, I., Kudori, S. N. I. & Ismail, H. (2019). Effect of partial replacement of kenaf by empty fruit bunch (efb) on the properties of natural rubber latex foam (NRLF). *Bioresources*, 14(4), 9375-9391.
- Tomyangkul, S., Pongmuksuwan, P., Harnnarongchai, W., & Chaochanchaikul, K. (2016). Enhancing sound absorption properties of open-cell natural rubber foams with treated bagasse and oil palm fibers. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 35, 1-10.