



## ผลของสัดส่วนเส้นใยเปลือกหมากและยางครัมภ์ต่อสมบัติเชิงกลและความเสถียรทางความร้อนของยางพองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ

สุวัฒน์ รัตนพันธ์\* จุฑาทิพย์ อัจฉมภู และ เตี่ยว สายจันทร์

สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ปสุตา สังข์ศรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 7577 3336 ต่อ 120 อีเมล: suwat.r@rmutsv.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.03.009

รับเมื่อ 1 กันยายน 2563 แก้ไขเมื่อ 2 ตุลาคม 2563 ตอรับเมื่อ 6 ตุลาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 19 มีนาคม 2564

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

การใช้งานผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำยืดหยุ่นในงานบางประเภทจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติ โดยมักใช้สารตัวเติมสังเคราะห์วัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ และเศษยางรถยนต์เป็นวัสดุที่น่าสนใจสำหรับใช้เป็นสารตัวเติม เพื่อลดต้นทุนและปรับปรุงสมบัติยางพองน้ำแทนการใช้สารสังเคราะห์ได้ งานวิจัยนี้ศึกษาผลการใช้ของผสมเส้นใยเปลือกหมาก (AHF) และยางครัมภ์ (CRM) เป็นสารตัวเติมในยางพองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ (NRLF) โดยแปรสัดส่วน AHF/CRM ที่ 75/25, 50/50 และ 25/75 แต่ละสัดส่วนแปรปริมาณ 5, 10 และ 15 phr พบว่า AHF/CRM เสริมแรงและเพิ่มความหนาแน่นความต้านทานต่อแรงดึง และแรงกดให้ยางพองน้ำเมื่อเทียบกับยางพองน้ำที่ไม่ใช้สารตัวเติม (NRLF) ความหนาแน่นความต้านทานต่อแรงดึง และแรงกดของยางพองน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ AHF/CRM เพิ่มขึ้น แต่ค่าการยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง ความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดึงและแรงกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของ CRM มากกว่า AHF การใช้ AHF/CRM เพิ่มเปอร์เซ็นต์การผิรูปลวกรหลังการกดเมื่อเทียบกับ NRLF ยางพองน้ำที่เติม AHF และ CRM แสดงลักษณะเซลล์เปิดและเซลล์ปิด ตามลำดับ ค่าความเสถียรต่อความร้อนของยางพองน้ำที่เติมสารตัวเติมร่วม AHF/CRM แสดงค่าความเสถียรต่อความร้อนสูงกว่า NRLF และยางพองน้ำที่เติมสารตัวเติมเพียงชนิดเดียว

**คำสำคัญ:** เส้นใยเปลือกหมาก เส้นใยธรรมชาติ ยางครัมภ์ ยางพองน้ำ ยางธรรมชาติ

การอ้างอิงบทความ: สุวัฒน์ รัตนพันธ์, จุฑาทิพย์ อัจฉมภู, เตี่ยว สายจันทร์ และ ปสุตา สังข์ศรี, “ผลของสัดส่วนเส้นใยเปลือกหมากและยางครัมภ์ต่อสมบัติเชิงกลและความเสถียรทางความร้อนของยางพองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 32, ฉบับที่ 3, หน้า 791-803, ก.ค.-ก.ย. 2565.



## Effect of Areca Husk Fiber to Crumb Rubber Ratio on Mechanical Properties and Thermal Stability of Natural Rubber Latex Foam

Suwat Rattanapan\*, Jutatip Artchomphoo and Diew Saijun

Department of Rubber and Polymer Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat, Thailand

Pasuta Sungsee

Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 0 7577 3336 Ext. 120, E-mail: suwat.r@rmutsv.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.03.009

Received 1 September 2020; Revised 2 October 2020; Accepted 6 October 2020; Published online: 19 March 2021

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

The use of flexible rubber foam in some applications requires improvement of its properties. In particular such fillers as natural waste materials and scrap tires are interesting materials that can be used as fillers to decrease cost and improve the properties of rubber foam instead of using synthetic fillers. This research studied the effect of using Areca Husk Fibers (AHF) and Crumb Rubber (CRM) as fillers in natural rubber latex foam with the proportion AHF/CRM ratios of 75/25, 50/50 and 25/75. The contents of each AHF/CRM ratio varied accordingly: 5, 10 and 15 phr. As results, AHF/CRM reinforced rubber foam yielded increased density along with greater tensile and compressive stress when compared with the Natural Rubber Latex Foam without fillers (NRLF). The density, tensile strength and compressive stress of the NRLF increased with increasing AHF/CRM content, but the elongation at the break tended to decrease. The density, tensile strength, compressive stress of the foam tended to increase when the CRM ratio was higher than AHF. Using of AHF/CRM increased the compression set when compared with NRLF. The AHF and CRM reinforced rubber foam showed open cell and closed cell structures. The thermal stability of the rubber foam adding AHF/CRM as cofillers proved to be higher than the NRLF and the rubber foam enhanced with only one filler.

**Keywords:** Areca Husk Fiber, Natural Fiber, Crumb Rubber, Natural Rubber, Natural Rubber Latex Foams

Please cite this article as: S. Rattanapan, J. Artchomphoo, D. Saijun and P. Sungsee, "Effect of areca husk fiber to crumb rubber ratio on mechanical properties and thermal stability of natural rubber latex foam," *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, no. 3, pp. 791–803, Jul.–Sep. 2022 (in Thai).

## 1. บทนำ

ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex Foam; NRLF) ผลิตจากน้ำยางพารามีลักษณะเป็นรูพรุน สามารถกดหรือบิดไม่เสียรูปทรง นิยมทำเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทที่รับแรงกระแทกหรือเพื่อเพิ่มความนุ่ม ได้แก่ เบาะรองนั่ง หมอน และที่นอน ยางฟองน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำโดยที่ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับยางพารา เป็นการสนับสนุนให้มีการใช้ยางพาราในประเทศเพิ่มมากขึ้นได้อีกทางหนึ่ง ยางฟองน้ำแต่ละชนิดมีสมบัติและราคาที่แตกต่างกันขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน และเพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องและต้องคำนึงถึง เช่น ชนิด ปริมาณสารเคมี และกระบวนการผลิต

เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากยางฟองน้ำมีลักษณะนี้ ทำให้การประยุกต์ใช้งานมีขีดจำกัด ด้วยเหตุนี้ นักวิจัยจึงได้ปรับปรุงให้ยางฟองน้ำมีความแข็งแรงมากขึ้นเพื่อสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เริ่มจากการใช้สารตัวเติมสำหรับยาง สารตัวเติมที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมก็คือซิลิกา [1] และแคลเซียมคาร์บอเนต [2] สารตัวเติมเหล่านี้ช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งแรงและเป็นสารลดต้นทุนนับว่ามีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิตสูง แต่การใช้สารเคมีเหล่านี้ก็ยังมีขีดจำกัด คือ เมื่อใช้ในปริมาณสูงยางฟองน้ำจะมีความแข็งแรง สมบัติความยืดหยุ่นจะลดลง จากรายงานการวิจัยของ เสาวณีย์ และธนภัทร [2] แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตมีผลทำให้ความยืดหยุ่นของยางฟองน้ำลดลง เนื่องจากเมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มมากขึ้นทำให้สัดส่วนความเป็นยางหรือส่วนที่มีความยืดหยุ่นของยางลดน้อยลง หรือเนื่องจากอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างอนุภาคของยางธรรมชาติทำให้ความยืดหยุ่นของยางฟองน้ำลดน้อยลง [2] และการเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตจะส่งผลให้ความแข็งแรงของยางฟองน้ำเพิ่มขึ้นมีความยืดหยุ่นน้อยลง [3] และจากการศึกษาการใช้ซิลิกาในโฟมยางของ สมเจตน์ และคณะ [1] พบว่า ซิลิกาเป็นสารตัวเติมประเภทเสริมแรงจึงมีผลช่วยให้ยางโฟมมีความแข็งแรงและมีความ

ยืดหยุ่นได้เพิ่มขึ้น เมื่อใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม แต่เมื่อใช้ซิลิกาในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดของยางคอมพาวด์มีค่าสูงขึ้นทำให้ซิลิกากระจายตัวในยางได้ยากจึงจับตัวเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate) ส่งผลให้ยางโฟมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และยืดหยุ่นได้น้อยลง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำที่มีต้นทุนต่ำและได้สมบัติที่หลากหลาย นักวิจัยจึงนำวัสดุจากธรรมชาติหรือเศษวัสดุที่เป็นของเสียเหลือทิ้งนำมาใช้เป็นสารตัวเติมลดต้นทุนและเสริมแรง

ปัจจุบันมีนักวิจัยให้ความสนใจ ปรับปรุงการผลิตยางฟองน้ำจากยางธรรมชาติเน้นการลดต้นทุนและยังคงสมบัติที่ดี มีการใช้สารตัวเติมทั้งจากสารสังเคราะห์และจากธรรมชาติ สารตัวเติมจากธรรมชาติกำลังเป็นที่สนใจของนักวิจัยเป็นอย่างมากในปัจจุบัน วัสดุประสงค์เพื่อทดแทนสารตัวเติมจากการสังเคราะห์ ลดต้นทุน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สารตัวเติมจากธรรมชาติที่ใช้ในยางฟองน้ำ ได้แก่ ชีไธ [4] รำสกัดน้ำมัน [5] ผงกลบ [6] เปลือกไข่ [7] เส้นใยปอแก้ว [8] เปลือกปอแก้ว [9] เส้นใยชานอ้อย [10] และเส้นใยปาล์มน้ำมัน [10], [11]

เปลือกหมากเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปหมาก และจากชุมชนที่ปอกหมากขายมีมากในภาคใต้ของประเทศไทย เปลือกหมากในหลายพื้นที่กลายเป็นขยะ ที่อยู่ของสัตว์มีพิษ และมีกลิ่นเหม็น ด้วยปัญหาเหล่านี้ทางคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาของเกษตรกรและโรงงานอุตสาหกรรมต่อการกำจัดเศษวัสดุเหล่านี้ จึงนำเปลือกหมากซึ่งเป็นของเหลือทิ้งไม่มีมูลค่า มาพัฒนาให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น โดยนำเส้นใยเปลือกหมากมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางฟองน้ำ จากการทดลองพบว่าการใช้เส้นใยเปลือกหมากเป็นสารตัวเติมในยางฟองน้ำสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับยางฟองน้ำได้ แต่ประสบปัญหา ลักษณะของยางฟองน้ำที่ได้แปรรูปยาก มีปัญหาการยุบตัวทางคณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาหาสารตัวเติมชนิดอื่น นำมาใช้เป็นสารตัวเติมร่วมเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

ใน ค.ศ. 2018 มีการศึกษาการใช้วัสดุรีไซเคิลชนิดยางครัมป์หรือยางผงเป็นสารตัวเติมลดต้นทุนในยางฟองน้ำ [12] และพบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุยางครัมป์มาใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงในยางฟองน้ำ ยางครัมป์เป็นผลิตภัณฑ์



ที่ได้จากการนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว หรือขยะยาง เช่น ล้อยางเก่าหรือเศษยางคงรูปที่เกิดจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางไปผ่านกระบวนการบดโดยใช้เครื่องมือต่างๆ เพื่อให้ได้ยางครัมป์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กตามต้องการ [13] โดยเฉพาะยางครัมป์ที่ได้จากอุตสาหกรรมยางล้อ นับว่ามีบทบาทสำคัญมากเพราะมีจำนวนมาก หากสามารถนำยางครัมป์ประเภทนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ในปริมาณมากเป็นการช่วยเรื่องสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีนักวิจัยพยายามศึกษาการนำเศษยางเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เช่น ใช้ยางครัมป์ผสมกับพลาสติกรีไซเคิลเพื่อเตรียมเป็นวัสดุถุงหลังคา [14] ใช้ยางครัมป์เป็นสารตัวเติมในของผสมระหว่างยางเอทิลีน โพรพิลีน ไดอีน และยางธรรมชาติ อีพอกไซด์ [13] ใช้ยางครัมป์จากยางสังเคราะห์ SBR ผสมกับพอลิโพรพิลีน รีไซเคิล [15] และเตรียมวัสดุเทอร์โมพลาสติกโกลาสโตเมอร์จากการเบลนด์พอลิโพรพิลีนกับยางครัมป์ [16]

ผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติมีการผลิตเพื่อการจำหน่ายมีมากมายชนิดแต่ที่พบว่า มีการกำหนดค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ในปัจจุบันคือผลิตภัณฑ์พองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน (มอก. 2747-2559) และผลิตภัณฑ์พองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำหมอน (มอก. 2741-2559) และผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำจำนวนหนึ่งยังไม่มีมาตรฐานรองรับ ถึงกระนั้นก็ตามการผลิตมักจะอิงตามความต้องการของผู้ใช้เป็นหลัก และผลิตภัณฑ์จากยางพองน้ำในปัจจุบันส่วนใหญ่มาจากยางสังเคราะห์หรือพลาสติกชนิดพอลิยูรีเทนโฟม อีวีเอโฟม และพีวีซีโฟม ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาพองน้ำจากยางธรรมชาติเพื่อปรับปรุงและนำไปแทนที่พองน้ำจากสารสังเคราะห์

จากข้อมูลข้างต้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดจะปรับปรุงยางพองน้ำโดยใช้เส้นใยเปลือกหมาก โดยนำยางครัมป์หรือยางผง (Crumb Rubber; CRM) มาใช้เป็นสารตัวเติมร่วมกับเส้นใยเปลือกหมาก (Areca Husk Fiber; AHF) เพื่อแก้ปัญหาการขึ้นรูป การยุบตัว และการยืดหยุ่นของยางพองน้ำที่ได้จากการใช้ AHF เป็นสารตัวเติมเพียงชนิดเดียว ยังคงขึ้นรูปและให้สมบัติของยางพองน้ำที่ดีได้ โดยเฉพาะการใช้เส้นใยนักวิจัย

คาดว่าจะสามารถช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งแรงทนทานการใช้สารตัวเติมจากสารเคมี และการใช้ CRM คาดหวังว่าจะสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการยืดหยุ่นของยางพองน้ำ ดังนั้นการใช้ AHF และ CRM นับว่าเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งเปลือกหมากและยางครัมป์ เป็นการสร้างนวัตกรรมใหม่ที่สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำเพื่อการใช้งานได้อีกหลากหลายชนิดในอนาคต

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 น้ำยางและสารเคมี

น้ำยาง สารเคมี และสูตรการเตรียมยางพองน้ำดังตารางที่ 1 ประกอบด้วย น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (HANRL) มีเนื้อยางแห้ง 60% และสารเคมีสำหรับการเตรียมยางพองน้ำในรูปของแข็งที่กระจายตัวในน้ำคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%dispersion) ประกอบด้วย สารละลายโพแทสเซียมโอเลอเตต (K-Oleate) กำมะถัน (S) ซิงค์ไดเอทิล ไดไรโอคาร์บาเมต (ZDEC) ซิงค์เมอแคปโตเบน-โซโรอาโซล (ZMBT) ริงสเตเอล (Wingstay L) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ไดฟีนิลกัวนิติน (DPG) โซเดียมซิติโคฟลูออไรด์ (SSF) เส้นใยเปลือกหมาก (AHF) ขนาด 0.5 มิลลิเมตร และยางครัมป์หรือยางผง (CRM) ขนาด 40 เมช

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของน้ำยางและสารเคมี (น้ำยางคอมปาวด์) สำหรับเตรียมยางพองน้ำ

ยางและสารเคมี (ชุดที่ 1)	ปริมาณ (phr*)	ปริมาณ (g)
60% HANRL	100	166.7
20% K-Oleate	1.0	5.0
50% Sulphur	5.0	10.0
50% ZDEC	1.0	2.0
50% ZMBT	1.0	2.0
50% Wingstay L	1.0	2.0
สารเคมี (ชุดที่ 2)	ปริมาณ (phr)	ปริมาณ (g)
50% ZnO	5.0	10.0
33% DPG	1.0	3.03
20% SSF	1.5	7.5
AHF/CRM**	10, 20, 30	10, 20, 30

\* phr = part per hundred of rubber

\*\* AHF/CRM = 75/25, 50/50 และ 25/75 โดยน้ำหนัก

## 2.2 ขั้นตอนการเตรียมยางพองน้ำ

นำน้ำยาง HANRL ผสมกับสารเคมีชุดที่ 1 (น้ำยางคอมปาวด์) ปริมาณน้ำยาง HANRL และสารเคมีที่ใช้รายละเอียดดังตารางที่ 1 นำน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนน้ำยางเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จนน้ำยางและสารเคมีผสมเป็นเนื้อเดียวกัน นำน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้ขึ้นรูปเป็นยางพองน้ำในขั้นตอนถัดไป โดยผสมสารเคมีชุดที่ 2 รายละเอียดดังตารางที่ 1 เติมสารเคมีตามลำดับดังนี้ สารตัวเติม (AHF/CRM) ซิงค์ออกไซด์ ไทฟีนิลกัวนิติน และโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ เป็นลำดับสุดท้าย ใช้สารตัวเติม AHF/CRM ที่สัดส่วน 75/25, 50/50 และ 25/75 โดยน้ำหนัก และแต่ละสัดส่วนแปรปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 phr ปั่นของผสมทั้งหมดด้วยเครื่องตียางพองน้ำ ยางพองน้ำที่ได้ใส่เข้าพิมพ์รอจนกระทั่งเกิดการเจล นำยางพองน้ำอบด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที ล้างสารเคมีที่ตกค้างออกด้วยน้ำสะอาด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

## 2.3 การทดสอบสมบัติของยางพองน้ำ

ยางพองน้ำที่เตรียมได้จะนำมาตรวจสอบและทดสอบสมบัติต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 สมบัติด้านแรงดึง (Tensile Properties) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412 ด้วยเครื่องทดสอบยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H10 KS เตรียมชิ้นทดสอบรูปดัมเบล ดึงด้วยความเร็ว 500 มิลลิเมตร/นาที คำนวณหาค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength; MPa) ดังสมการที่ (1) และ คำนวณค่าความสามารถในการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break; %) ดังสมการที่ (2)

$$\text{Tensile Strength} = F/A \quad (1)$$

เมื่อ  $F$  คือ แรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานขาด (N)

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ ( $\text{mm}^2$ )

$$\text{Elongation at Break} = ((L - L_0)/L_0) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $L_0$  = ระยะกำหนดก่อนขึ้นทดสอบยืด (25 mm)

$L$  = ระยะที่ขึ้นทดสอบยืดได้สูงสุดจนขาด (mm)

2.3.2 ความหนาแน่น (Density) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3574 เตรียมชิ้นตัวอย่างปริมาตรไม่น้อยกว่า 1000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง คำนวณค่าความหนาแน่นดังสมการที่ (3)

$$\text{ความหนาแน่น (D)} = M/V \quad (3)$$

เมื่อ  $D$  คือ ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )

$M$  คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบ (g)

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

2.3.3 ความต้านทานต่อแรงกด (Compressive Stress) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3574 ด้วยเครื่องทดสอบยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H10 KS เตรียมชิ้นทดสอบขนาดกว้าง  $\times$  ยาว  $\times$  สูง เท่ากับ  $50 \times 50 \times 25$  มิลลิเมตร กดให้ชิ้นทดสอบยุบตัว 50 เปอร์เซ็นต์ของความหนาเดิมด้วยความเร็วในการกด 50 มิลลิเมตรต่อวินาที บันทึกค่าแรงกดที่ได้หลังจากกดทิ้งไว้ 60 วินาที คำนวณค่าความต้านทานต่อแรงกด (Compressive Stress; MPa) ดังสมการที่ (4)

$$\text{Compressive Stress} = F/A \quad (4)$$

เมื่อ  $F$  คือ แรงกดที่ได้หลังจากกดชิ้นทดสอบให้ยุบ 50% เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที (N)

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ ( $\text{mm}^2$ )

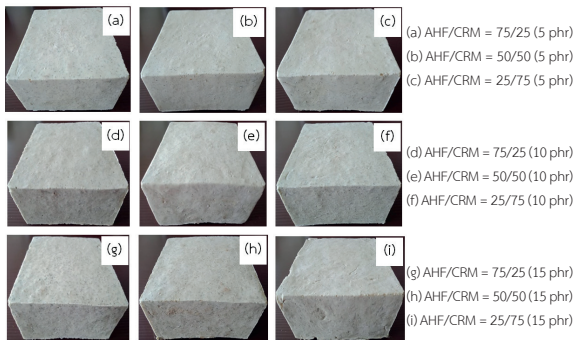
2.3.4 การผิดรูปถาวรหลังการกด (Compression Set; %) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3574 คำนวณได้ดังสมการที่ (5)

$$C_t = [(t_0 - t_f)/t_0] \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ  $C_t$  = ค่าการผิดรูปถาวรหลังการกด (%)

$t_0$  = ความหนาเริ่มต้นของชิ้น (mm)

$t_f$  = ความหนาสุดท้ายหลังจากทดสอบ (mm)



รูปที่ 1 ลักษณะของยางพองน้ำที่มี AHF/CRM เป็นสารตัวเติม

2.3.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) ยี่ห้อ ZEISS รุ่น MERLIN COMPACT ขึ้นทดสอบมีขนาด  $10 \times 10 \times 3$  มิลลิเมตร เคลือบผิวด้วยทองคำ ทดสอบที่กึ่งกลางขยาย 25 เท่า 10 กิโลโวลต์

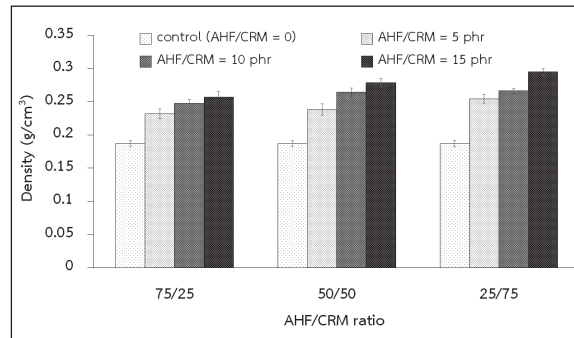
คุณสมบัติเชิงความร้อน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis; TGA) (TGA4000, Perkin Elmer) ช่วงอุณหภูมิการทดสอบ 30–900 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไนโตรเจน อัตราความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 3.1 ลักษณะทางกายภาพและความหนาแน่น

การใช้สารตัวเติมระหว่างเส้นใยเปลือกหมากและยางครัมป์ในยางพองน้ำพบว่า สารตัวเติมทั้ง 2 ชนิด สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำยาง และสามารถขึ้นรูปเป็นยางพองน้ำได้ มีผิวเรียบ ไม่เกิดการหดตัว ไม่มีการยุบตัว ทุกสัดส่วนของ AHF และ CRM และทุกปริมาณที่ทำการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สุวัฒน์ และคณะ [12] ลักษณะของยางพองน้ำที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 1 เนื่องจากมีลักษณะการรวมตัวกันแน่นมากขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณ AHF/CRM เพิ่มขึ้น 5, 10 และ 15 phr จะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของยางพองน้ำเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ และเมื่อสัดส่วนของ CRM มีปริมาณมากกว่า AHF ความหนาแน่นของยางพองน้ำมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจาก CRM เป็นเศษยางวัลคาไนซ์ที่มีความ



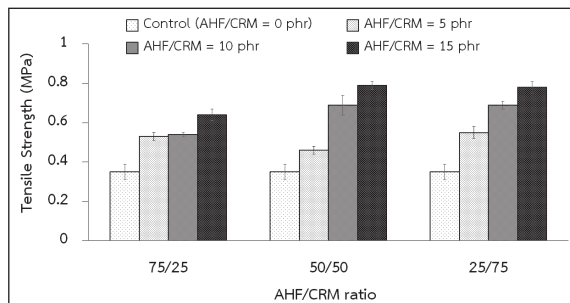
รูปที่ 2 ความหนาแน่นของยางพองน้ำที่มี AHF/CRM เป็นสารตัวเติม

หนาแน่นสูงกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใย AHF ซึ่งมีความหนาแน่น 0.75 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร [17] จึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของยางพองน้ำที่สัดส่วนของ CRM มาก (AHF/CRM = 25/75) มีค่าความหนาแน่นมากกว่ายางพองน้ำที่มีสัดส่วนของ CRM น้อย (AHF/CRM = 75/25) [12] ดังผลในรูปที่ 2

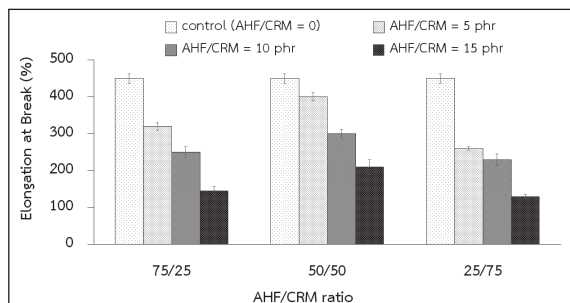
#### 3.2 สมบัติแรงดึง

จากผลการทดลองในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ผลของอัตราส่วนระหว่าง AHF/CRM ต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยึด ถ จุดขาดของยางพองน้ำที่ระดับสัดส่วน 75/25, 50/50 และ 25/75 พบว่า เมื่อสัดส่วนของยางครัมป์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ สุวัฒน์ และคณะ [12] โดยศึกษาผลของ CRM ต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางพองน้ำพบว่า เมื่อปริมาณยาง CRM เพิ่มมากขึ้นสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางพองน้ำจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกับการทดลองของณัฐพงศ์ และคณะ [14] ศึกษาการใช้ยาง CRM ผสมกับพลาสติกกรีซเคลซินดีพอลิโพรพิลีนเพื่อเตรียมเป็นหลังคาพบว่า เมื่อปริมาณสัดส่วนของยาง CRM เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน [14] อย่างไรก็ตาม AHF เป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีปริมาณเซลลูโลส (57%) เฮมิเซลลูโลส (13%) ลิกนิน (23%) และอื่นๆ (7%) [18] เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในโครงสร้างจึงมีความเป็นไปได้เมื่อ





รูปที่ 3 ความต้านทานต่อแรงดึงของยางพองน้ำที่มี AHF/CRM เป็นสารตัวเติม



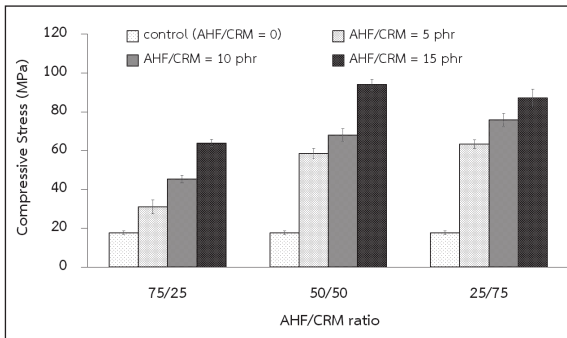
รูปที่ 4 ความสามารถในการยืด ณ จุดขาดของยางพองน้ำที่มี AHF/CRM เป็นสารตัวเติม

AHF ในขั้นตอนการเตรียมยางพองน้ำจะส่งผลให้น้ำยางคอมพาวด์มีความหนืดสูงขึ้น เนื่องจาก AHF จะดูดน้ำบางส่วนและมีความเป็นไปไม่ได้ที่ AHF จะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้สมบัติของยางพองน้ำลดลง [19]

จากผลการทดลองในรูปที่ 3 พบว่า การใช้สัดส่วน AHF/CRM ระดับ 50/50 ปริมาณ 5 phr ให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงต่ำกว่าสัดส่วนอื่นที่มีปริมาณเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากการใช้ AHF/CRM ในปริมาณ 10 และ 15 phr จะให้ผลในลักษณะแนวโน้มเหมือนกันคือ ค่าความต้านทานต่อแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยาง CRM เพิ่มขึ้น จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อปริมาณการใช้ AHF/CRM มากกว่า 10 phr ปริมาณ CRM จะมีผลต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงมากกว่า AHF แต่ในขณะที่ปริมาณการใช้ AHF/CRM น้อยกว่า 5 phr AHF บางส่วนที่เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน

จะส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลง [19] และในขณะที่ค่าความสามารถในการยืด ณ จุดขาดที่สัดส่วน AHF/CRM เท่ากับ 50/50 ยางพองน้ำจะสามารถยืดได้สูงกว่าที่ระดับสัดส่วนอื่น และทุกสัดส่วนของ AHF/CRM เมื่อปริมาณการใช้ AHF/CRM เพิ่มมากขึ้นสมบัติความสามารถในการยืด ณ จุดขาดจะลดลง เนื่องจากในน้ำยางมีปริมาณสารตัวเติมมาก มีผลทำให้อันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมและยางลดลง เกิดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมกับสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ AHF/CRM ที่เติมมากเกิดเป็นกลุ่มก้อน (Aggregate) จึงทำใหยางพองน้ำที่ได้มีความสามารถในการยืดได้ ณ จุดขาดลดลง [20] หรือเมื่อปริมาณ AHF/CRM เพิ่มมากขึ้น AHF/CRM มีโอกาสที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนกระจายตัวอยู่ในฟองของยางพองน้ำส่งผลให้ความหนืดของยางพองน้ำมากขึ้นทำให้ความสามารถในการยืดได้ ณ จุดขาดลดลง [21] และผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Kakroodi และคณะ [15] ศึกษาการใช้พอลิโพรพิลีนชนิดรีไซเคิลผสมกับยาง CRM ที่ได้จากยางสไตรีนบิวทาไดอีน และใช้แบ่งเป็นสารตัวเติมพบว่า เมื่อปริมาณยาง CRM เพิ่มขึ้นจาก 20% เป็น 40% จะส่งผลให้ค่าความสามารถในการยืด ณ จุดขาด ลดลง ด้วยเหตุที่สารตัวเติมสามารถกระจายตัวอยู่ในเฟสของยางพองน้ำได้ ยาง CRM เป็นยางที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีรูปร่างที่แน่นอนจึงสามารถกระจายตัวในเฟสของยางพองน้ำได้ง่ายเมื่อเติมในปริมาณที่เหมาะสม แต่เมื่อเติมในปริมาณที่มากเกินไปอาจส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางพองน้ำลดลงได้จากผลการทดลองพบว่าการใช้ AHF/CRM สัดส่วน 50/50 เป็นสัดส่วนที่ใช้ปริมาณ CRM ที่เหมาะสมไม่มากเกินไปสมบัติความสามารถในการยืด ณ จุดขาดจึงมีค่าสูงกว่าสัดส่วนอื่นๆ

อย่างไรก็ตาม พบว่า การใช้สารตัวเติมระหว่าง AHF/CRM เป็นการเสริมแรงให้ยางพองน้ำมีความต้านทานต่อแรงดึงมากขึ้นเมื่อเทียบกับยางพองน้ำที่ไม่ใช้สารตัวเติม (Control) จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นสารตัวเติมในยางพองน้ำจะส่งผลให้ค่าสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางพองน้ำมีค่าลดลง [8], [9] และจากงานวิจัยการใช้ CRM เป็นสารตัวเติมในยางพองน้ำ

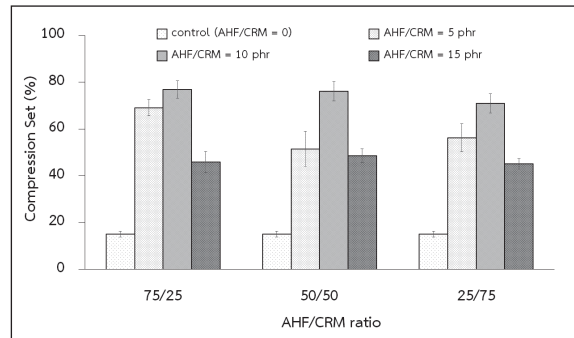


รูปที่ 5 ความต้านทานต่อแรงกดของยางพองน้ำที่มี AHF/CRM เป็นสารตัวเติม

พบว่า CRM จะช่วยให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ CRM เป็นสารตัวเติมในยางพองน้ำ [12] ดังนั้นจากผลการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางพองน้ำเป็นผลมาจากอิทธิพลของ CRM เป็นส่วนใหญ่

### 3.3 สมบัติแรงกด

จากรูปที่ 5 เป็นผลของสัดส่วนระหว่าง AHF/CRM ต่อค่าความต้านทานต่อแรงกดของยางพองน้ำสัดส่วน 75/25, 50/50 และ 25/75 พบว่า การใช้สัดส่วน CRM ในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงกดของยางพองน้ำที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ของผสมระหว่าง AHF/CRM พบว่า เมื่อปริมาณของ AHF/CRM เพิ่มขึ้นสมบัติความต้านทานต่อแรงกดจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ AHF และ CRM ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น สารตัวเติมเข้าไปแทรกในช่องว่างของยางพองน้ำส่งผลให้ช่องว่างในยางพองน้ำลดลงยางพองน้ำจึงมีความสามารถต้านทานต่อการกดได้สูงเมื่อปริมาณการใช้ AHF/CRM เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อปริมาณ CRM เพิ่มขึ้นช่วยให้ยางพองน้ำมีความยืดหยุ่นและมีค่าความต้านทานต่อแรงกดได้มากขึ้น เนื่องจากยาง CRM ยังคงมีสมบัติของยางวัลคาไนซ์คือยืดหยุ่นได้ดีและแข็งแรง แต่ในขณะที่ AHF เป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่เป็นจำนวนมาก AHF สามารถทำปฏิกิริยากับ AHF ด้วยกันกลายเป็นกลุ่มก้อนสามารถกระจายตัวในยาง



รูปที่ 6 เปอร์เซนต์การผิดรูปถาวรหลังการกดของยางพองน้ำที่มี AHF/CRM เป็นสารตัวเติม

พองน้ำได้ และสามารถเพิ่มสมบัติความต้านทานต่อแรงกดเมื่อมีในปริมาณที่มากพอตั้งสัดส่วน AHF/CRM เท่ากับ 50/50 ปริมาณ 15 phr ซึ่งต่างจาก AHF/CRM ที่สัดส่วน 25/75 ปริมาณ 15 phr เมื่อเทียบกันพบว่าการใช้ AHF/CRM มากกว่า 15 phr AHF จะมีผลต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกดเป็นอย่างมาก หากเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ AHF และ CRM ในปริมาณมาก พบว่า AHF จะมีความแข็งแรงยืดหยุ่นน้อยกว่า CRM จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อการกดของยางพองน้ำที่ใช้ AHF/CRM เท่ากับ 50/50 มีค่าสูงกว่าที่สัดส่วน 25/75

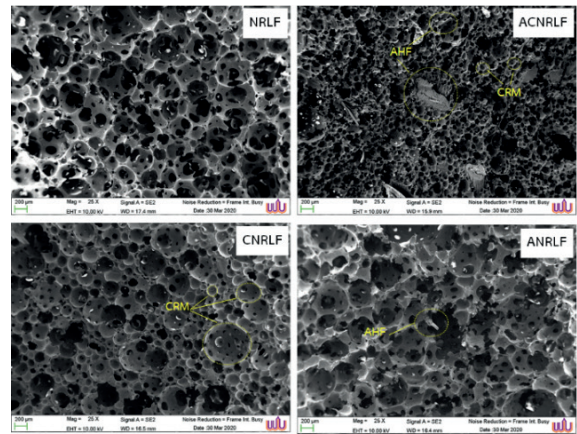
จากรูปที่ 6 เป็นการศึกษาค่าเปอร์เซนต์การผิดรูปถาวรหลังการกดของยางพองน้ำที่ใช้ AHF/CRM เป็นสารตัวเติมสำหรับค่าเปอร์เซนต์การผิดรูปถาวรหลังการกดนั้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรักษาสมบัติความยืดหยุ่นของยาง หรือความสามารถในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ยางหลังจากได้รับแรงกดระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้นค่าเปอร์เซนต์การผิดรูปถาวรเนื่องจากการกดหากมีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้นคืนตัวได้น้อยมีความยืดหยุ่นน้อย พบว่า เมื่อใช้ AHF/CRM เป็นสารตัวเติมในยางพองน้ำส่งผลให้ค่าเปอร์เซนต์การผิดรูปถาวรหลังการกดมีค่าเพิ่มขึ้น มีความยืดหยุ่นน้อยลงเมื่อเทียบกับยางพองน้ำที่ไม่มีสารตัวเติม และที่ระดับปริมาณ AHF/CRM 10 phr เปอร์เซนต์การผิดรูปถาวรหลังการกดของยางพองน้ำจะมีค่าสูงที่สุดและจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ AHF/CRM เพิ่มขึ้น (15 phr) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ AHF/CRM ปริมาณ



5 phr เป็นปริมาณที่น้อยแต่ก็ยังมีผลต่อสมบัติการผิวดรูปถาวรหลังการกด เนื่องจาก AHF และ CRM จะเข้าไปกระจายในยางพองน้ำทำให้สมบัติความยืดหยุ่นของยางพองน้ำลดลง คืบตัวได้น้อย มีค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าการผิวดรูปถาวรหลังการกดสูงเช่นเดียวกับการใช้ AHF/CRM ปริมาณ 10 phr แต่เมื่อใช้ AHF/CRM ปริมาณ 15 phr พบว่า ยางพองน้ำสามารถคืนตัวได้ดีกว่า หรือมีค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าการผิวดรูปถาวรหลังการกดน้อยกว่าการใช้ AHF/CRM ระดับ 5 และ 10 phr เนื่องจากเมื่อใช้ AHF และ CRM จำนวนมาก CRM จะสามารถแสดงสมบัติความยืดหยุ่นของยางวัลคาไนซ์ส่งผลให้ยางพองน้ำสามารถคืนตัวได้มาก และจากผลการทดลองยังพบอีกว่า เมื่อสัดส่วนของ CRM เพิ่มมากขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การผิวดรูปถาวรหลังการกดมีค่าลดลงหมายความว่ายางพองน้ำสามารถคืนตัวได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานของสรารุฑ และคณะ โดยศึกษาผลการใช้สารตัวเติมร่วมระหว่าง CRM/CaCO<sub>3</sub> ต่อสมบัติของยางผสมระหว่างยาง EPDM และ ENR พบว่า การใช้สัดส่วน CRM ในปริมาณที่มากกว่า CaCO<sub>3</sub> จะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าการผิวดรูปถาวรหลังการกดมีค่าลดลง (ยางผสมคืนตัวได้ดีมากขึ้น)

### 3.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

รูปที่ 7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางพองน้ำที่ไม่ใช้สารตัวเติม (NRLF) และใช้สารตัวเติมเส้นใยเปลือกหมากปริมาณ 10 phr (ANRLF) ใช้ยางครีမ်ปริมาณ 10 phr (CNRLF) และใช้เส้นใยเปลือกหมากร่วมกับยางครีမ်เป็นสารตัวเติม AHF/CRM เท่ากับ 50/50 ปริมาณ 10 phr (ACNRLF) พบว่า ลักษณะของยางพองน้ำ NRLF, ACNRLF และ ANRLF จะมีลักษณะส่วนใหญ่เป็นเซลล์เปิดผนังจะเชื่อมโยงทะลุถึงกันได้ ในขณะที่ CNRLF จะมีลักษณะส่วนใหญ่เป็นแบบเซลล์ปิด และหากทำการเปรียบเทียบขนาดของฟองแต่ละแบบพบว่าฟองของยางพองน้ำที่ใช้ AHF/CRM เป็นสารตัวเติมร่วมจะให้ฟองที่มีขนาดเล็กกว่ายางพองน้ำแบบอื่น ยางพองน้ำ ACNRLF จึงมีค่าความหนาแน่นและสมบัติเชิงกลสูงกว่ายางพองน้ำที่ไม่ใช้สารตัวเติม



รูปที่ 7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางพองน้ำชนิด NRLF, ANRLF, CNRLF และ ACNRLF

### 3.5 สมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA (Thermogravimetric Analysis) ศึกษาพฤติกรรมการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมของพอลิเมอร์เป็นการวิเคราะห์หาช่วงเริ่มต้นของการทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก่อนเกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ จากผลการทดลองกราฟที่เกิดขึ้นมีลักษณะการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างซึ่งเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 200–800 องศาเซลเซียส โดยในช่วงแรกอุณหภูมิ 200–300 องศาเซลเซียส เป็นการสูญเสียน้ำหนักของไอน้ำที่ดูดซับอยู่บนชิ้นทดสอบ ช่วงที่ 2 ช่วงอุณหภูมิ 300–400 องศาเซลเซียส เป็นการสูญเสียน้ำหนักที่เกิดจากการสลายตัวอย่างรวดเร็วของยางพองน้ำ ซึ่งถือว่าเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมาก สูญเสียน้ำหนักไปประมาณร้อยละ 95–99 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักชิ้นทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงที่ยางพองน้ำถูกเผาไหม้และเมื่อระบบมีการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นการเผาไหม้ของยางพองน้ำจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เป็นการสลายตัวของเซลลูโลสหรือสารอินทรีย์ในช่วงสุดท้ายที่อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส เป็นต้นไป มีการสลายตัวทางความร้อนของเซลลูโลส ลิกนิน หรือสารอินทรีย์ เนื่องจากเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จนเกิดการสลายตัวกลายเป็นเถ้า (Residual) โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอีก

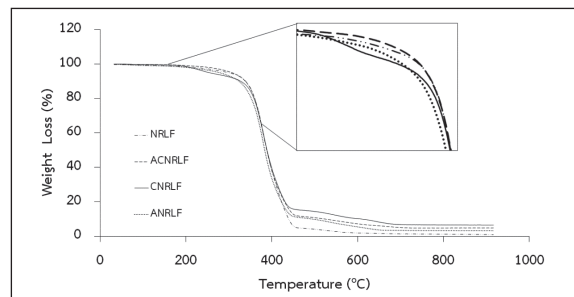
ตารางที่ 2 สมบัติเชิงความร้อนของยางพองน้ำชนิด NRLF, ANRLF, CNRLF และ ACNRLF

Sample Code	Degradation Temperature (°C)		Maximum Weight Loss (%)	Temperature at Maximum Weight Loss (°C)	Final Char Residue (%)
	T <sub>ds</sub>	T <sub>d10</sub>			
NRLF	297.7	338.85	98.94	379	1.06
ACNRLF	307.21	338.30	95.16	382	4.84
CNRLF	277.75	323.55	96.82	379	3.20
ANRLF	254.27	327.58	93.53	382	6.47

จากตารางที่ 2 พบว่า เปอร์เซ็นต์ถ่วงเหลือของยางพองน้ำ ANRLF มีค่าสูงสุดคือ 6.47% มากกว่าสูตร ACNRLF, CNRLF และ NRLF ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นเป็นเถ้าที่ได้จากการสลายตัวอย่างช้าๆ ของลิกนิน และพบว่า สูตร ANRLF เป็นสูตรที่ใช้ AHF เป็นสารตัวเติมเพียงชนิดเดียวในปริมาณ 10 phr จึงมีปริมาณเถ้ามากกว่าสูตร ACNRLF เป็นสูตรที่ใช้สารตัวเติมร่วมระหว่าง AHF/CRM สัดส่วน 50/50 และสูตร CNRLF กับ สูตร NRLF ซึ่งไม่มี AHF เป็นองค์ประกอบปริมาณเถ้าจึงน้อยมาก [22] อุณหภูมิการเสื่อมที่ระดับ 5 และ 10 % พบว่า ยางพองน้ำ ACNRLF จะมีอุณหภูมิการเสื่อมสูงกว่า NRLF, CRLF และ ANRLF ตามลำดับ จากการทดลองเปรียบเทียบระหว่างยางพองน้ำ NRLF, ANRLF, CNRLF และ ACNRLF ได้ผลดังรูปที่ 8 พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิการเสื่อม 5% ยางพองน้ำ ANRLF มีความเสถียรทางความร้อนต่ำที่สุดเนื่องจากเส้นใย AHF มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลสมีอุณหภูมิการสลายตัว 200–400 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่ายางวัลคาไนซ์ สูตร ANRLF เป็นสูตรที่ใช้เส้นใย AHF เพียงชนิดเดียวจึงทำให้อุณหภูมิการเสื่อมมีค่าต่ำกว่ายางพองน้ำสูตรอื่น [22] และ ACNRLF มีความเสถียรทางความร้อนสูงกว่ายางพองน้ำที่ใช้สารตัวเติมเพียงชนิดเดียว และทนความร้อนได้มากขึ้น

#### 4. สรุป

การใช้สารตัวเติมจากของผสมระหว่าง AHF/CRM จะเสริมแรงให้ยางพองน้ำมีความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานต่อแรงกดมากขึ้นเมื่อเทียบกับยางพองน้ำที่ไม่ใช้สารตัวเติม เมื่อปริมาณ AHF/CRM เพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทาน



รูปที่ 8 สมบัติเชิงความร้อนของยางพองน้ำชนิด NRLF, ANRLF, CNRLF และ ACNRLF

ต่อแรงกดของยางพองน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง และเมื่อสัดส่วนของ CRM มีปริมาณมากกว่า AHF ความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานต่อแรงกดของยางพองน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการยืด ณ จุดขาดที่ระดับสัดส่วน AHF/CRM เท่ากับ 50/50 สามารถยืดได้สูงกว่าที่ระดับสัดส่วนอื่น เมื่อใช้ AHF/CRM เป็นสารตัวเติมในยางพองน้ำค่าเปอร์เซ็นต์การผิรูปลาวรรหลังการกดมีค่าเพิ่มขึ้นมีความยืดหยุ่นน้อยลง เมื่อเทียบกับยางพองน้ำที่ไม่มีสารตัวเติมลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางพองน้ำที่ไม่ใช้สารตัวเติมและใช้เส้นใยเปลือกหมาก และใช้เส้นใยเปลือกหมากร่วมกับยางครีမ်เป็นสารตัวเติมจะมีลักษณะเป็นแบบเซลล์เปิด สำหรับยางพองน้ำที่ใช้ยางครีမ်เป็นสารตัวเติมเพียงชนิดเดียวจะมีลักษณะส่วนใหญ่เป็นแบบเซลล์ปิด ลักษณะฟองของยางพองน้ำที่ใช้ AHF/CRM เป็นสารตัวเติมร่วมจะให้ฟองที่มีขนาดเล็กกว่ายางพองน้ำแบบอื่น และให้ความเสถียรทางความร้อนหรือทนความร้อนได้สูงที่สุด สูงกว่า NRLF, CNRLF และ ANRLF ตามลำดับ

จากมาตรฐานการผลิตผลิตภัณฑ์ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน (มอก. 2747-2559) กำหนดให้ยางฟองน้ำที่ผลิตได้ต้องมีความหนาแน่นในช่วง 0.061–0.091 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่นอนฟองน้ำโพลียูรีเทน (มอก.1404-2540) กำหนดให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ไม่น้อยกว่า 0.027 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความต้านทานต่อแรงดึงไม่น้อยกว่า 0.07 เมกะปาสคาลและความสามารถในการยืด ณ จุดขาดไม่น้อยกว่า 150% และผลิตภัณฑ์ยางฟองที่มีการผลิตเพื่อการจำหน่ายในอุตสาหกรรม เช่น ฟองน้ำสำหรับที่นอน เพอร์นิเจอร์ เบาะรองนั่ง และเพื่อการบรรจุหีบห่อ พบว่า มีสมบัติดังนี้ ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.01–0.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความต้านทานต่อแรงดึงอยู่ในช่วง 0.3 ถึงมากกว่า 1.2 เมกะปาสคาล และความสามารถในการยืด ณ จุดขาดอยู่ในช่วง 50 ถึงมากกว่า 100% [23] จากผลการทดลองพบว่า ยางฟองน้ำที่ใช้ AHF/CRM เป็นสารตัวเติมมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.2320–0.2949 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความต้านทานต่อแรงดึงอยู่ในช่วง 0.46–0.79 เมกะปาสคาล และความสามารถในการยืด ณ จุดขาดอยู่ในช่วง 130–400% ดังนั้นยางฟองน้ำที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปปรับปรุงสมบัติบางประการและพัฒนาต่อเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลายชนิด และผลิตภัณฑ์ที่คาดหวังว่าจะเหมาะสำหรับการต่อยอด และสามารถสร้างมูลค่าให้กับยางพาราได้มากคือเบาะรถจักรยานยนต์ และเบาะรถยนต์ เนื่องจากในปัจจุบันเบาะรถเหล่านี้ผลิตจากพอลิยูรีเทนโฟม หรือจากเศษโฟมอัด ดังนั้นยางฟองน้ำจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เพื่อแทนที่พอลิยูรีเทนโฟมได้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับภารกิจการดำเนินงานวิจัย เป็นทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2563 และขอบคุณนางสาวอัสมี หมดเจริญ และนายปิยะศักดิ์ ศรีสง นักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้ความช่วยเหลือในส่วนของ การทดสอบสมบัติของยางฟองน้ำ การเตรียมเส้นใยเปลือกหมากและอื่นๆ งานสำเร็จจุล่งไปได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Patcharaphun, V. Pinsanor, S. Junpoonsup, and N. Sombatsompop, "Effects of silica, calcium carbonate, and  $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$  blends on some properties of cellular NR compounds," *Songklanakar Journal of Science and Technology*, vol. 25, no. 1, pp. 75–90, 2003 (in Thai).
- [2] S. Kovuttikulrangsie and N. Pethrattanamunee, "Effect of calcium carbonate on making natural rubber sponge," *Full research Rep. The Thailand Research Fund (TRF)*, pp. 137–143, 2006 (in Thai).
- [3] K. Yaworasan, "The development of natural rubber sponge formulations as teaching media for children," *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University*, vol. 6, no. 1, pp. 66–75, 2018 (in Thai).
- [4] T. Rattanaplome, "Latex foam reinforced by fly ash," in *Proceedings The 13th Conference of Thai Society of Agricultural Engineering International Conference on Agricultural Engineering*, 2012, pp. 743–750 (in Thai).
- [5] D. Moonchai and A. aimrat, "Effects of defatted rice bran on properties of natural rubber latex foam," *KKU Science Journal*, vol. 41, no. 4, pp. 1019–1029, 2013 (in Thai).
- [6] S. Ramasamy, H. Ismail, and Y. Munusamy, "Preparation and characterization of rice husk powder incorporated natural rubber latex foam," *Advanced Materials Research*, vol. 626, pp. 523–529, 2013.



- [7] A. S. Bashir, Y. Manusamy, T. L. Chew, H. Ismail, and S. Ramasamy, "Mechanical, thermal, and morphological properties of (eggshell powder)-filled natural rubber latex foam," *Journal of Vinyl and Additive Technology*, vol. 23, no. 1, pp. 3–12, 2017.
- [8] A. Karim, H. Ismail, and Z. Ariff, "Effects of kenaf loading and alkaline treatment on properties of kenaf filled natural rubber latex foam," *Sains Malaysiana*, vol. 47, no. 9, pp. 2163–2169, 2018.
- [9] S. N. I. Kudori, H. Ismail, and R. K. Shuib, "Kenaf core and bast loading vs. properties of natural rubber latex foam (NRLF)," *Bioresources*, vol. 14, no. 1, pp. 1765–1780, 2019.
- [10] S. Tomyangkul, P. Pongmuksuwan, W. Harnnarongchai, and K. Chaochanchaikul, "Enhancing sound absorption properties of open-cell natural rubber foams with treated bagasse and oil palm fibers," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 35, pp. 1–10, 2016.
- [11] H. M. Lim, S. Manroshan, and M. Geraghty, "Oil palm trunk fibre filled natural rubber latex biocomposite foam," *Journal of Rubber Research*, vol. 21, no. 3, pp. 182–193, 2018.
- [12] S. Rattanapan, J. Artchomphoo, and A. Wichianchom, "Effect of waste tire powder on the properties of natural rubber latex foams," in *Proceedings The 9th Rajamangala University of Technology International Conference "RMUT Driving Innovation for Thailand 4.0,"* 2018, pp. 159–168.
- [13] S. Prasertsri, K. Kurakanok, N. Sukkapan, and P. Nuinu, "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*, vol. 18, no. 3, pp. 50–59, 2016 (in Thai).
- [14] N. Nithi-Uthai, J. Raksapram, and A. Tohsan, "Preparation of rubber roof tile from crumb rubber and recycled plastic," in *Proceedings The 6th PSU Engineering Conference, 2008*, pp. 537–542 (in Thai).
- [15] R. Kakroodi, S. Leduc, R. González-Núñez, and D. Rodrigue, "Mechanical properties of recycled polypropylene/sbr rubber crumbs blends reinforced by birch wood flour," *Polymers and Polymer Composites*, vol. 20, no. 5, pp. 439–444, 2012.
- [16] N. Khunthong, J. Artchomphoo, D. Saijun, and S. Rattanapan, "Effect of compatibilizer on mechanical properties of thermoplastic elastomer from polypropylene and crumb rubber blends," in *Proceedings The 5th Nation Science and Technology Conference (NSCIC 2020), 2020*, pp. 228–238 (in Thai).
- [17] J. S. Binoj, E. Raj, B. S. S. Daniel, and S. S. Saravanakumar, "Optimization of short indian areca fruit husk fiber (*Areca catechu* L.) reinforced polymer composites for maximizing the mechanical property," *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, vol. 21, no. 2, pp. 112–122, 2015.
- [18] J. S. Binoj, R. E. Raj, V. S. Sreenivasan, and G. R. Thusnavis, "Morphological, physical, mechanical, chemical and thermal characterization of sustainable Indian Areca fruit husk fibers (*Areca Catechu* L.) as potential alternate for



- hazardous synthetic fibers,” *Journal of Bionic Engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 156–165, 2016.
- [19] I. Surya, S. N. I. Kudori, and H. Ismail, “Effect of partial replacement of kenaf by empty fruit bunch (EFB) on the properties of natural rubber latex foam (NRLF),” *BioResources*, vol. 14, no. 4, pp. 9375–9391, 2019.
- [20] A.I. Putkham, N. Tanpaiboonkul, S. Ladhan, Y. Chaiyachet, K. Sukaranandana, and A. Putkham, “Characterization of thermal and mechanical property of latex foam rubber mixed with silica aerogel-filler,” *Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences*, vol. 18, no. 2, pp. 267–277, 2017 (in Thai).
- [21] V. Pinsanor, S. Junpoonsup, S. Patcharaphun, and N. Sombatsompop, “Effects of silica, calcium carbonate, and  $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$  blends on properties of cellular NR compounds,” *Songklanakarin Journal of Science and Technology (SJST)*, vol. 25, pp. 75–90, 2003 (in Thai).
- [22] A. K. Fikri, I. Hanafi, and M. A. Zulkifli, “Mechanical and morphological properties of kenaf powder filled natural rubber latex foam,” *Malaysian Journal of Microscopy*, vol. 10, pp. 106–111, 2014.
- [23] SPH Engineering. (2020, October). *Properties of foam*. [Online]. Available: <https://www.sph-pufoam.com>.