# การศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติต้นทุนต่ำสำหรับใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในอาคาร

# Processability Study of Natural Rubber Foam for Insulation Material in Building.

**ชัชวาล วงศ์แสง[1], วัชระ สุวรรณรัตน์[1], Kiyoaki Ishimoto[1], พิมลพรรณ เนียมหลาง[2] และ สุมนมาลย์ เนียมหลาง[1*]**

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110

*E-mail: sumonman.n@en.rmutt.ac.th

[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของยางธรรมชาติสำหรับใช้เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับบ้านเรือน ในปัจจุบันที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนโดยมากนั้นใช้ยางสังเคราะห์ เช่น พอลิยูริเทน ทั้งนี้ยางสังเคราะห์ที่มีราคาสูง จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการการทำโฟมจากน้ำยางธรรมชาติที่มีราคาต่ำมาผสมกับพอลิยูริเทนมาขึ้นรูปเป็นโฟม ยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทนถูกขึ้นรูปในปริมาณพอลิยูริเทนที่สัดส่วนต่างๆ 10, 20, 30 , 40 และ 50 phr เมื่อนำโฟมยางที่ขึ้นรูปมาศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่าปรากฏว่าโฟมยางเกิดรูพรุนแบบเซลล์ปิด และมีการกระจายตัวของรูพรุนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งดีต่อการเป็นฉนวน นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของพอลิยูเทนไม่ส่งผลต่อความสามารถในการยุบตัวของโฟมยาง เมื่อพิจารณาผลการนำความร้อนพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโพลิยูริเทน ค่าการนำความร้อนลดลงและอยู่ในช่วงระหว่าง 0.0745-0.138 W/mK ซึ่งสามารถใช้เป็นฉนวนกันความร้อนได้และราคาถูกกว่าใช้พอลิยูริเทนตัวเดียวด้วย

**คำสำคัญ:** ยางธรรมชาติ, พอลิยูริเทน, โฟม, วัสดุฉนวน

**Abstract**

The processability study of natural rubber foam for insulation material in building was investigated. Recently, the synthetic rubber e.g. polyurethane (PU) plays the important role in insulation material but its limitation is cost. Natural rubber (NR), which is naturally resource and low cost material, is selected to mix with polyurethane and fabricate into insulating foam. To study the effect of NR/PU ratio on the physical, mechanical and thermal properties of NR/PU foam, 10, 20, 30 , 40 and 50 phr of PU were added into 100 phr of NR. The cell morphology of all NR/PU foam is close cell and has good distribution. The amount of PU does not affect the compression set of NR/PU foam. The thermal conductivity decrease with increasing amount of PU. The thermal conductivity of NR/PU foam is 0.0745 – 0.138 W/mK which can comparable as normal insulation material at lower cost.

**Keywords: Natural rubber, Polyurethane, Foam, Insulation material**

## 1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันปรากฏการณ์เรือนกระจกทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน ทำให้มีความปรวนแปรทางธรรมชาติมากมายแต่ที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวันมนุษย์มากที่สุด คือ อุณหภูมิบนพื้นโลกสูงขึ้นอย่างเห็นได้ ชัด อีกทั้งประเทศไทยมีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ในสภาพอากาศปัจจุบัน อุณหภูมิโดยเฉลี่ยในเวลากลางวันจะสูงประมาณ 30 – 35 °C ส่งผลกระทบต่อการอยู่อาศัยของผู้ใช้อาคาร ต้องใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อปรับสภาพอากาศภายในอาคาร ซึ่งก่อให้เกิดการเพิ่มภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ และใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้วิกฤตการณ์ทางสภาพแวดล้อมและสิ้นเปลืองพลังงาน โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวกในการะปรับลดอุณหภูมิของอาคารบ้านเรือน เช่น เครื่องปรับอากาศ พัดลม หรือเครื่องทำความเย็นต่างๆ วัสดุที่ใช้ทำอาคารส่วนใหญ่ คือ ปูน หรือ กระเบื้อง นั้นในช่วงระหว่างวันวัสดุเหล่านี้จะดูดความร้อนไว้ในตัว ทำให้เมื่อถึงตอนค่ำอากาศเริ่มเย็นลง ตัวผนังด้านนอกบ้านก็รับความเย็นจากอากาศและระบายความร้อนออกจากผนังภายในตัวบ้าน ทำให้เรารู้สึกร้อนเมื่ออยู่ภายในตัวบ้าน จึงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็นต่างๆ เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายในการดำรงชีวิตของมนุษย์

การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารเกิดได้ 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในส่วนพื้นใต้หลังคา และความร้อนนั้นจะถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานลงมาในอาคารด้วย ดังนั้นเพื่อลดอุณหภูมิของอาคารโดยรวม การลดการส่งต่อความร้อนจากหลังคาสู่ตัวอาคารด้วยการใช้ฉนวนกันความร้อนจึงเป็นวิธีการหนึ่งในการลดอุณหภูมิของอาคาร ในปัจจุบันมีฉนวนหลายชนิดซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน การเลือกใช้ฉนวนที่มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับประเภทอาคารจะช่วยลดภาระเรื่องค่าไฟฟ้าและประหยัดพลังลงได้ [1]

ฉนวนกันความร้อนหรือฉนวนเก็บความเย็น สามารถป้องกันการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกหรือลดการสูญเสียความเย็นจากภายในได้ ดังนั้นฉนวนกันความร้อนหรือฉนวนเก็บความเย็นมีความสำคัญต่อการลดอุณหภูมิของอาคารบ้านเรือน ถ้าหากเคลือบฉนวนกันความร้อนที่หลังคาก็จะช่วยลดการสูญเสีย ความเย็น และเป็นการรักษาความเย็นให้คงสภาพในอุณหภูมิที่ต่ำได้เป็นเวลานานๆ ซึ่งปัจจุบันมีวัสดุกันความร้อนมากมายและมีขายตามท้องตลาดทั่วไป [2] เช่น โฟม หรือยางประเภทต่างๆ แต่ราคาของวัสดุเหล่านี้ค่อนข้างสูง ทำให้มีแนวความคิดที่จะพัฒนาวัสดุที่เป็นตัวกันความร้อนและตัวเก็บความเย็นที่มีราคาต่ำ จากวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศไทยมาก เช่น ยางธรรมชาติ จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการการทำโฟมจากน้ำยางธรรมชาติที่มีราคาต่ำมาผสมกับพอลิยูริเทนมาขึ้นรูปเป็นโฟม และศึกษาลักษณะโครงสร้างเซลล์โฟม ยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทน ถูกขึ้นรูปในปริมาณพอลิยูริเทนที่สัดส่วนต่างๆ เพื่อศึกษาผลของปริมาณพอลิยูริเทนต่อโครงสร้างโฟม ความสามารถในการยุบตัวและสมบัติทางความร้อน โดยมุ่งหวังว่าจะสร้างโฟมผสมที่สามารถใช้เป็นฉนวนกันความร้อนของอาคาร มีราคาและคุณภาพที่เหมาะสม

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะทำการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทน โดยใช้ ยางธรรมชาติ (เกรด High Ammonia, บริษัท ซุเปอร์ลาเท็กซ์ จำกัด) พอลิยูริเทน (บริษัท เค ทู โปรดักส์) โดยใช้กำมะถัน, Tetramethyl Thiuram Disulfide (TMTD), และ Sodium Bicarbonate (บริษัท นิค อินเตอร์เคม จำกัด) สำหรับเป็นสารเชื่อมขวาง, สารตัวเร่ง, สารที่ทำให้เกิดเป็นโฟม (Foaming agent) และสารตัวเติม ตามลำดับ

2.2 การเตรียมโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทน

เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนของยางธรรมชาติต่อพอลิยูริเทนต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของโฟม ยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทน ถูกขึ้นรูปในปริมาณพอลิยูริเทนที่สัดส่วนต่างๆ 0, 10, 20, 30 , 40 และ 50 phr (NR100, NR100/PU10, NR100/PU20, NR100/PU30, NR100/PU40, และ NR100/PU50 ตามลำดับ) โดยใช้กำมะถัน , TMTD และ Sodium bicarbonate 0.5, 2.5 และ 8 phr ตามลำดับ [3,4] โดยนำสัดส่วนต่างๆผสมด้วยเครื่องกวนสารจนสารละลายที่อุณหภูมิห้องและนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชม.

2.3 การวิเคราะห์สมบัติของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทน

วัดสมบัติทางความร้อน หาอุณหภูมิคล้ายแก้ว ($T_g$) และอุณหภูมิการสลายตัว ($T_d$) ด้วยเครื่อง *Thermo gravimetric Analysis* (TGA) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของโฟมถูกวัดตามมาตรฐาน ASTM D1056 และคำนวณตามสมการที่ 1

$$\text{Relative density} = \frac{\text{Foam density}(g/cm^3)}{\text{Solid density}\ (g/cm^3)} \qquad (1)$$

วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของลักษณะและขนาดรูพรุนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และทดสอบหาความหนาแน่นของยางผสมตามมาตรฐาน ASTM D297

ความสามารถในการบวมตัว (% Swelling) ของโฟมยางที่ขึ้นรูปได้ศึกษาโดยนำยางที่ผ่านการเชื่อมขวางแล้วมา แช่ในตัวทำละลายอะซีโตนเป็นเวลา 5 วัน น้ำหนักของยางก่อนแช่และน้ำหนักบวมตัวของยางจะถูกนำไปคำนวณหา % Swelling ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\text{Swelling} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \qquad (2)$$

โดย $W_s$ คือ น้ำหนักยางหลังแช่อะซีโตน 5 วัน และ $W_d$ คือ น้ำหนักยางก่อนแช่อะซีโตน

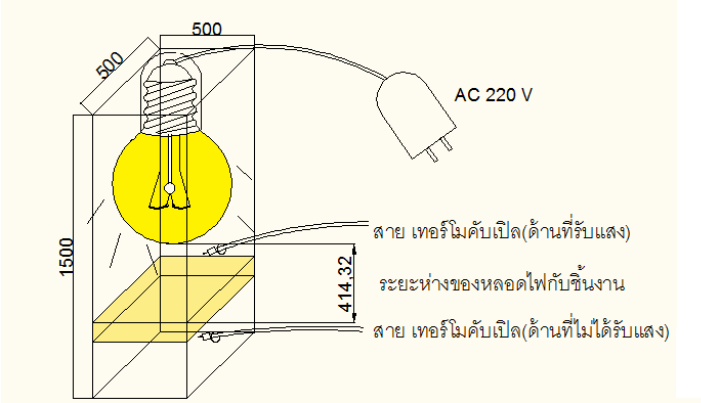
ค่าการนำความร้อนสามารถวัดได้การนำโฟมยางที่ขึ้นรูปได้บรรจุในกล่องสีดำขนาดกว้าง x ยาว x สูง 500 x 500 x 1500 มิลลิเมตร ชิ้นงานถูกตัดแผ่นขนาด กว้าง x ยาว x สูง 500 x 500 x 50 มิลลิเมตร แล้วนำมาวางแหล่งกำเนิดความร้อนหลอดไฟขนาด 11 watts ระยะห่างระหว่างหลอดไฟและชิ้นงาน คือ 414.32 มิลลิเมตร วัดอุณหภูมิที่ผิวด้านที่รับแสงและด้านที่ไม่ได้รับแสง ดังแสดงในรูปที่ 1 และคำนวณค่าการนำความร้อนจากสมการที่ 3

$$K = \frac{Q}{A} \times \frac{\text{ความหนาของตัวอย่าง}}{\Delta T} \qquad (3)$$

เมื่อ Q = ค่าวัตต์ที่อ่านได้ ( Watts)

A = พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานตัวอย่าง (cm)

$\Delta T$ = ผลต่างของอุณหภูมิ ของชิ้นงานที่อ่านได้ ทั้งสองข้าง (°C)




**รูปที่ 1**: การวัดการนำความร้อน

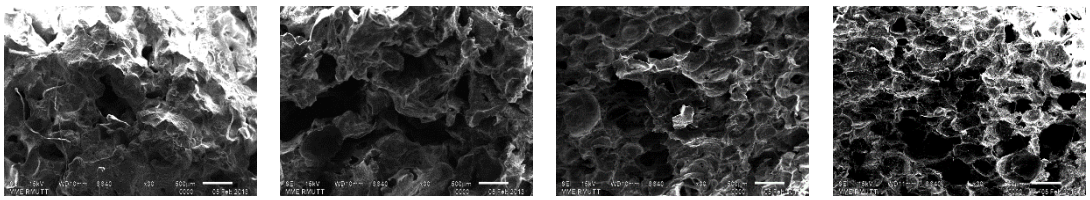
## 3. ผลและวิจารณ์

3.1 สมบัติทางกายภาพของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทน

โฟมยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิยูริเทนที่ขึ้นรูปได้นั้นมีลักษณะค่อนข้างนิ่ม กดชิ้นงานสามารถคืนรูปได้ สีเหลืองอ่อนดังทุกสัดส่วน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2

**รูปที่ 2:** ตัวอย่างโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทน NR100/PU 30

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทนที่ขึ้นรูปได้ได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าลักษณะรูพรุนในโฟมยางทุกชิ้นนั้นมีลักษณะเป็นเซลปิด ขนาดของรูพรุนไม่สม่ำเสมอ โดยจะพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโพลิยูริเทนลักษณะเซลล์ของรูพรุนจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นตามปริมาณพอลิยูริเทน ดังแสดงในรูปที่ 3



NR 100/PU 10 NR 100/PU 20 NR 100/PU 40 NR 100/PU 50

**รูปที่ 3**: สัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทน

โดย NR 100/PU 10 จะมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่ แต่จะเกิดรูพรุนเป็นบางส่วนเท่านั้น ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงาน NR 100/PU 10 เมื่อเทียบกับ NR 100/PU 20 จะมีขนาดรูพรุนที่เล็กกว่า และมีพื้นที่การเกิดรูพรุนที่น้อยกว่า NR 100/PU 20 เนื่องมาจากปริมาณพอลิยูริเทนที่เพิ่มขึ้นทำให้เซลล์รูพรุนในเนื้อยางเพิ่มขึ้นและพื้นที่การเกิดเซลล์รูพรุนโฟมยางจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสรุปได้ว่า การเกิดรูพุรนเกิดได้ในเนื้อยางและพอลิยูริเทน เนื่องจากในขั้นตอนการผสมระหว่างยางกับพอลิยูริเทนทำให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันและขนาดรูพรุนจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นตามปริมาณพอลิยูริเทนที่เพิ่มขึ้น โดย NR 100/PU 50 จะมีขนาดการเกิดรุพรุนที่ใหญ่กว่าปริมาณพอลิยูริเทน10,20,30,40 phr แต่จะมีจำนวนการเกิดรูพรุนที่น้อยกว่าปริมาณพอลิยูริเทน 10,20,30,40 และเกิดรูพรุนทั่วทั้งชิ้นงาน ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงาน NR 100/PU 50 พบว่ารูพรุนมีขนาดใหญ่กว่าปริมาณโพลิยูริเทน10,20,30,40 phr และรูพรุนที่เกิดสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าโดยที่ไม่ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พอลิยูริเทนที่เติมลงไปจะช่วยในการเกิดรูพรุนภายในเนื้อยาง และช่วยให้ยางมีการแข็งตัวเร็วขึ้นและเพิ่มความแข็งให้กับชิ้นงานอีกด้วย โดยค่าเฉลี่ยรูพรุนของโฟมยาง NR100/PU 10, NR100/PU 20, NR100/PU 30, NR100/PU 40 และ NR100/PU 50 คือ 140.61, 237.43, 239.20, 245.66 และ 298.48 $\mu$m [5].

เพื่อทดสอบสมบัติการบวมตัวของโฟมยางที่ขึ้นรูปได้ พบว่าค่าปริมาณของพอลิยูริเทนนั้นไม่ส่งผลต่อสัดส่วนการบวมตัว (%Swelling) เนื่องจากมีการเกิดโฟมไม่สม่ำเสมอ และส่วนที่มีความเชื่อมขวางที่ยางธรรมชาติไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดสัดส่วนการบวมตัวไม่สม่ำเสมอ โดยค่าสัดส่วนการบวมตัวของ NR100/PU 10, NR100/PU 20, NR100/PU 30, NR100/PU 40 และ NR100/PU 50 คือ 180, 144, 300, 183 และ 183 %

3.2 สมบัติทางความร้อนของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทน

เพื่อการทดสอบสมบัติทางความร้อนของโฟมยางที่ขึ้นรูปได้ โฟมยางที่องค์ประกอบต่างๆ ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermal Gravimetric (TGA) เมื่อนำโฟมยางที่ขึ้นรูปได้มาพิจารณาผลของพอลิยูริเทนพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิยูริเทนค่าการทนความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย โดยค่า Degradation Temperature, Td ของ NR100/PU 10, NR100/PU 20, NR100/PU 30, NR100/PU 40 และ NR100/PU 50 คือ 143, 145, 165, 155 และ 170 $^{\circ}$C ตามลำดับ

และเมื่อศึกษาการนำความร้อนของโฟมยางพบว่าค่าการนำความร้อนของโฟมยางนั้นลดลงเมื่อที่เพิ่มปริมาณพอลิยูริเทนในยางผสม 0.138, 0.11, 0.11, 0.10 และ 0.07 W/mK

3.3 การยุบตัวเนื่องจากแรงกด

เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของการใช้โฟมในการเป็นฉนวนกันความร้อนของอาคาร การศึกษาการยุบตัวเนื่องจากแรงกดจึงจำเป็นต้องทำการศึกษา ค่าการยุบตัวต่อเนื่องจากแรงกดของโฟมยาง NR100/PU 10, NR100/PU 20, NR100/PU 30, NR100/PU 40 และ NR100/PU 50 คือ 11.0±0.02, 11.0±0.02, 13.2±0.79, 12.8±0.65, 9.1±0.65 และ 11.7±0.27% เมื่อพิจารณาผลของปริมาณพอลิยูริเทนต่อการทนต่อแรงกด พบว่าที่ปริมาณพอลิยูริเทน NR100/PU40 จะมีการยุบตัวต่อเนื่องจากแรงกดต่ำที่สุด และ NR100/PU 20 จะมีการยุบตัวต่อเนื่องจากแรงกดสูงที่สุด

## 4. สรุปผล

โดยสรุปในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของยางธรรมชาติสำหรับใช้เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ศึกษาความเป็นไปได้ในการการทำโฟมจากน้ำยางธรรมชาติที่มีราคาต่ำมาผสมกับพอลิยูริเทนมาขึ้นรูปเป็นโฟม พบว่าโฟมยางผสมสามารถขึ้นรูปได้ยางที่ขึ้นรูปได้ เมื่อนำโฟมยางที่ขึ้นรูปมาศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่าปรากฏว่าโฟมยางเกิดรูพรุนแบบเซลล์ปิด และมีการกระจายตัวของรูพรุนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งดีต่อการเป็นฉนวน เนื่องจากเซลล์ปิดนั้นยากต่อการนำความร้อนของอากาศในฉนวน นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษา การยุบตัวต่อเนื่องจากแรงกดของโฟมยางที่ขึ้นรูปได้ พบว่าปริมาณของพอลิยูเทนไม่ส่งผล

ต่อความสามารถในการยุบตัวของโฟมยาง ในขณะที่การเพิ่มปริมาณของเขม่าดำนั้นจะทำให้ความสามารถในการยุบตัวของโฟมมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูริเทนนั้นสามารถเป็นต้นแบบนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุฉนวนได้

## 5. เอกสารอ้างอิง

[1] ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2537, คู่มือฉนวนความร้อน, กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์.

[2] บริษัท เค แมททีเรียล (ประเทศไทย) จำกัด, www.kmat.co.th/download/maxcool/03/Energy%20Seaving.pdf

[3] สมศักดิ์ วรมงคลชัย, 2547, สารปรับแต่งพอลิเมอร์ (Polymer Additives), กรุงเทพฯ: บุ๊คเน็ท.

[4] พงษ์ธร แซ่อุย, 2547, ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[5] N.N. Najib., Z.M. Ariff., A.A. Bakar., C.S. Sipaut, 2010, “Correlation between the acoustic and dynamic mechanical properties of natural rubber foam: Effect of foaming temperature”, School of Material and Mineral Resources Engineering, Engineering Campus, Universiti Sains Malaysia, School of Engineering and Information Technology, Universiti Malaysia Sabah