



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี : การโพลีวัลคาไนซ์ของฟองยาง
ธรรมชาติ

โดย

ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย และคณะ

31 พฤษภาคม 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การโพลีคลาในซ์ของฟองยางธรรมชาติ

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
2. ศุภเชษ ผลิตทอง	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

ชุดโครงการ โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเป็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

การวัลคาไนซ์ของฟองยางธรรมชาติ

Post-Vulcanization of Natural Rubber Foam

ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย

ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี อ.เมือง จ. ปัตตานี 94000

โทรศัพท์ 073-313930-50 ext. 1863, โทรสาร 073-331099

E-mail: nattapong@nrfoam.org

นักศึกษาหรือนักวิจัย : ศุภเชษฐ ผลทอง

ระยะเวลาดำเนินงาน 6 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2548 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2549

ปัญหาที่ท้าวิจัยและความสำคัญ

ฟองยางธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์น้ำยางที่สำคัญอีกผลิตภัณฑ์หนึ่ง เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ทำจากยางธรรมชาติ คุณสมบัติที่ได้จะขึ้นอยู่กับระดับการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลของยาง ซึ่งจะถูกลบด้วยปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ในขั้นตอนการอบแห้งของฟองยางถึงแม้ว่าฟองยางที่มีการวัลคาไนซ์โดยสมบูรณ์แล้ว ร่องรอยของการผิรุ่ยของฟองยางในขณะอบแห้ง เช่น รอยยับ รอยขุ่นวาว จะปรากฏให้เห็นได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้การปรับปรุงสายการผลิตฟองยางธรรมชาติด้วยการเปลี่ยนระบบการอบแห้งจากระบบอากาศร้อนไปเป็นระบบไดอิเล็กตริก ทำให้ประวัติการณ์การผ่านความร้อนของฟองยาง มีความแตกต่างกันเป็นอย่างมาก ดังนั้นการทำความเข้าใจปรากฏการณ์การวัลคาไนซ์อย่างต่อเนื่องภายหลังกระบวนการวัลคาไนซ์หลักนั้นจะส่งผลให้การควบคุมการผลิตที่เหมาะสมทำได้ง่าย และถูกต้องมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการวัลคาไนซ์ต่อเนื่องภายหลังกระบวนการวัลคาไนซ์หลักต่อสมบัติทางกายภาพ
2. ศึกษาการวัลคาไนซ์ต่อเนื่องโดยกระบวนการอบแห้งแบบอากาศร้อนและแบบไมโครเวฟ รวมทั้งการวัลคาไนซ์ภายใต้กระบวนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง

ผลการดำเนินงาน

กระบวนการอบแห้งฟองยางในอุตสาหกรรมมีตัวแปรที่หลากหลาย ทั้งวิธีในการอบแห้ง เช่น อบด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ หรือด้วยคลื่นไมโครเวฟ ถึงแม้ว่าฟองยางดังกล่าวผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ในขั้นตอนก่อนการอบแห้งมาแล้ว การวัลคาไนซ์อย่างต่อเนื่องภายหลังการวัลคาไนซ์หลัก โดยเฉพาะในช่วงการอบแห้งนั้นส่งผลต่อคุณสมบัติฟองยางเป็นอย่างมาก จากการทดลอง โดยทำการอบแห้งฟองยางธรรมชาติด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70°C, 90°C เป็นเวลา 18, 12 ชั่วโมงตามลำดับ และอบแห้งด้วยคลื่น

ไมโครเวฟเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าฟองยางที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนจะมีค่า Tensile strength ที่สูงกว่า ฟองยางที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ แต่เมื่อฟองยางแห้งสนิทแล้วยังมีการอบต่อไปค่า Tensile strength และ ค่า Elongation at break จะลดลงเนื่องจากฟองยางเกิดการเสื่อมสภาพ ผลของการเก็บรักษาฟองยางธรรมชาติที่ อุณหภูมิห้องภายหลังการอบแห้ง ฟองยางมีค่า Tensile strength และค่า Elongation at break เปลี่ยนแปลงน้อย มาก จากการทดสอบ Compression set พบว่าค่า Compression set ของฟองยางธรรมชาติที่ไม่ผ่านการวัลคาไนซ์ หลักมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าเทียบเท่าฟองยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์หลัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟองยางธรรมชาตินี้ สามารถวัลคาไนซ์ได้ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนค่า compression set, compression stress ของฟองยางที่อบแห้งด้วย อากาศร้อนที่ 70 °C และ 90 °C มีค่าใกล้เคียงกันแต่การอบแห้งด้วยไมโครเวฟจะมีค่าสูงกว่า ความทนทานของ ฟองยางธรรมชาติโดยการทดสอบ pounding test พบว่าของฟองยางที่อบด้วยอากาศร้อนมีความทนทานสูงกว่า การอบไมโครเวฟ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยจะพบว่า ฟองยางธรรมชาติสามารถเกิดการวัลคาไนซ์ได้ในระดับหนึ่งที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามภายหลังการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ฟองยางธรรมชาติเกิดการวัลคาไนซ์เกือบ สมบูรณ์ ซึ่งการทำโพสวัลคาไนซ์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการอบแห้งนั้น ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในสมบัติด้าน tensile strength หรือ elongation at break ไม่ว่าจะเป็นการอบแห้งวิธีใด ๆ ก็ตาม แต่ทว่าสมบัติด้าน compression set และ durability test จะยังสามารถส่งผลให้เห็นความแตกต่างได้ โดยวิธีการอบแห้งแบบไมโครเวฟจะได้ฟอง ยางที่มีสมบัติด้อยกว่าเล็กน้อย สมบัติที่เปลี่ยนไปด้าน compression set ในระหว่างการอบแห้งนี้มีความสำคัญต่อ รูปร่างภายนอกของฟองยางธรรมชาติขั้นสุดท้ายหลังจากการอบแห้งเป็นอย่างมาก

เมื่อทดสอบสมบัติขณะการจัดเก็บไม่พบว่าสมบัติเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามก็ตีพบว่าการอบแห้งเกิน ระยะเวลาที่ฟองยางธรรมชาติแห้งสนิทจะทำให้สมบัติทางกายภาพของฟองยางตกลงอย่างมาก ดังนั้นการควบคุม เวลาในการอบแห้งฟองยางธรรมชาติจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ถึงแม้ว่าจะพบว่าฟองยางธรรมชาติจะสามารถวัลคาไนซ์ได้ในระดับหนึ่งในอุณหภูมิห้อง การวัลคาไนซ์ แทบจะสิ้นสุดภายหลังการวัลคาไนซ์หลัก มีเพียงสมบัติด้าน compression set และ durability test เท่านั้น ที่จะยัง เกิดความแตกต่างเมื่อใช้ระบบอบแห้งที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามสมบัติ compression set นี้ น่าจะส่งผลโดยตรง ต่อการเสียรูปในลักษณะการเกิดริ้วรอย หรือ เสียรูปทรงของฟองยางธรรมชาติในขั้นตอนอบแห้ง ซึ่งพบมาใน อุตสาหกรรมในรูปของ รอยแครงตากฟองยาง เป็นต้น ดังนั้น การทำการวิจัยโดยเน้นการคงรูปหรือผิดรูปของฟอง ยางธรรมชาติในขั้นตอนการอบแห้งจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการทำวิจัยขั้นตอนต่อไป

บทคัดย่อ

กระบวนการอบแห้งฟองยางในอุตสาหกรรมมีตัวแปรที่หลากหลาย ทั้งวิธีในการอบแห้ง เช่น อบด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ หรือด้วยคลื่นไมโครเวฟ ถึงแม้ว่าฟองยางดังกล่าวผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ในขั้นตอนก่อนการอบแห้งมาแล้ว การวัลคาไนซ์อย่างต่อเนื่องภายหลังการวัลคาไนซ์หลัก โดยเฉพาะในช่วงการอบแห้งนั้นส่งผลต่อคุณสมบัติฟองยางเป็นอย่างมาก จากการทดลอง โดยทำการอบแห้งฟองยางธรรมชาติด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70°C, 90°C เป็นเวลา 18, 12 ชั่วโมงตามลำดับ และอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าฟองยางที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนจะมีค่า Tensile strength ที่สูงกว่าฟองยางที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ แต่เมื่อฟองยางแห้งสนิทแล้วยังมีการอบต่อไปค่า Tensile strength และค่า Elongation at break จะลดลงเนื่องจากฟองยางเกิดการเสื่อมสภาพ ผลของการเก็บรักษาฟองยางธรรมชาติที่อุณหภูมิห้องภายหลังจากการอบแห้ง ฟองยางมีค่า Tensile strength และค่า Elongation at break เปลี่ยนแปลงน้อยมาก จากการทดสอบ Compression set พบว่าค่า Compression set ของฟองยางธรรมชาติที่ไม่ผ่านการวัลคาไนซ์หลักมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าเทียบเท่าฟองยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์หลัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟองยางธรรมชาตินี้สามารถวัลคาไนซ์ได้ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนค่า compression set, compression stress ของฟองยางที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ 70 °C และ 90 °C มีค่าใกล้เคียงกันแต่การอบแห้งด้วยไมโครเวฟจะมีค่าสูงกว่า ความทนทานของฟองยางธรรมชาติโดยการทดสอบ pounding test พบว่าของฟองยางที่อบด้วยอากาศร้อนมีความทนทานสูงกว่าการอบไมโครเวฟเล็กน้อย

Abstract

There are several factors in industrial drying of natural rubber foam. Drying could be done by using hot air oven at various temperatures or microwave oven. Even though rubber foam was vulcanized completely prior drying process, post-vulcanized happened during drying may cause variation in final foam properties. From experiment, natural rubber foams were dried via hot air at 70°C, 90°C for 18 and 12 hours respectively and microwave for 1 hour. It was found that natural rubber foam hot air dried had higher tensile strength than by microwave dried. However if the natural rubber foam was heated at the same temperature after it had dried, tensile strength and elongation at break decreased due to natural rubber foam degraded. Effect of foam storage at room temperature were studied, it was found that tensile strength and elongation at break of natural rubber foam were quite stable. Compression set test of un-vulcanized natural rubber foam continuously reduced to the same level of vulcanized foam after several days. It showed that natural rubber foam could be vulcanized at the room temperature. Compression set and compression stress of foams drying via hot air oven at 70 °C and 90 °C show quite similar results. However compression set and compression stress were higher for foam dried via microwave oven. Moreover, durability of natural rubber foam using pounding test showed that hot air dried foam is slightly more durable than microwave dried foam..

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ฟองยางธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์น้ำยางที่สำคัญอีกผลิตภัณฑ์หนึ่ง เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ทำจากยางธรรมชาติ คุณสมบัติที่ได้จะขึ้นอยู่กับระดับการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลของยาง ซึ่งจะถูควบคุมด้วยปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ในปฏิกิริยาวัลคาไนสนั้นสิ่งที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือ การเชื่อมโยงของสายโซ่ และปฏิกิริยาย้อนกลับ หรือการเสื่อมสภาพของยาง จุดที่เหมาะสมในการอบสุกของผลิตภัณฑ์จึงเป็นจุดที่เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่มากที่สุดในขณะที่ปฏิกิริยาย้อนกลับยังไม่มีผลมากนัก ในฟองยางธรรมชาติถ้ายางไม่สุกจะเกิดการยุบตัวของฟองยางเมื่อใช้งาน ในขณะที่การสุกมากเกินไปจะทำให้ยางเสื่อมคุณภาพและนิ่มขาดได้ง่ายขณะแกะออกจากเบ้า [1]

ในผลิตภัณฑ์ฟองยางธรรมชาติปรากฏการณ์ดังกล่าวมิให้พบอย่างสม่ำเสมอในรูปแบบต่าง ๆ กัน ซึ่งโดยมากกลับกลายเป็นข้อจำกัดทางการผลิต หรือจัดจำหน่ายสินค้าประเภทดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่น ในขั้นตอนการอบแห้งของฟองยางถึงแม้ว่าฟองยางที่มีการวัลคาไนซ์โดยสมบูรณ์แล้วร่องรอยของการผิรุขระของฟองยางในขณะอบแห้ง เช่น รอยยับ รอยขั้วนาง จะปรากฏให้เห็นได้อย่างชัดเจน หรือในการตอนบรรจุภัณฑ์ที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ฟองยางธรรมชาติจะไม่สามารถบรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศได้เนื่องจากภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลานาน เช่น 3-6 เดือน เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการผิรุขระอย่างถาวรถึงแม้ว่าคุณสมบัติด้านการเซทของฟองยางจะมีค่าที่ดีมากก็ตาม

นอกจากนี้ การปรับปรุงสายการผลิตฟองยางธรรมชาติด้วยการเปลี่ยนระบบการอบแห้งจากระบบอากาศร้อนไปเป็นระบบไดอิเล็กตริก เช่น ไมโครเวฟ ทำให้ประสิทธิภาพผ่านความร้อนของฟองยาง มีความแตกต่างกันเป็นอย่างมากจากระบบอากาศร้อนที่จะผ่านอุณหภูมิ 70-75°C เป็นเวลา 40 ชั่วโมง สำหรับที่นอนฟองยางขนาดควีน หน้า 6 นิ้ว ในขณะที่การอบแห้งระบบไดอิเล็กตริกนั้นจะใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมง และฟองยางผ่านอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเพียง 60°C และมีการผ่านอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 90°C เป็นเวลาสั้น ณ บริเวณกึ่งกลางของฟองยาง ถึงแม้ว่าฟองยางดังกล่าวผ่านการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ในขั้นตอนก่อนอบแห้งมาแล้ว การวัลคาไนซ์อย่างต่อเนื่องภายหลังกระบวนการวัลคาไนซ์หลัก โดยเฉพาะในช่วงการอบแห้งนั้นส่งผลต่อคุณสมบัติฟองยางเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปฟองยางที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนจะมีความแข็งสูงกว่าและ tensile strength ที่สูงกว่าฟองยางที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ

ในขณะที่การปรับปรุงกระบวนการผลิตฟองยางธรรมชาติด้วยการเปลี่ยนระบบการอบแห้งไปเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและความเร็วสูง อย่างเช่นระบบไมโครเวฟนั้น จะทำให้ลดเวลาในการผลิตลงมากกว่า 95% ก็ตาม แต่บางครั้งคุณสมบัติกายภาพที่ตกลงอย่างเห็นได้ชัดนั้นทำให้เกิดปัญหาในการผลิตขั้นตอนต่อ ๆ ไป เช่น การตัดแต่ง ประกอบ หรือ การขนย้าย เป็นต้น

ดังนั้นการทำความเข้าใจปรากฏการณ์การวัลคาไนซ์อย่างต่อเนื่องภายหลังกระบวนการวัลคาไนซ์หลัก นั้นจะส่งผลให้การควบคุมการผลิตที่เหมาะสมทำได้ง่าย และถูกต้องมากขึ้น นอกเหนือจากคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะสม่ำเสมอมากขึ้นหลังจากทำการศึกษาย่างถี่ถ้วนแล้ว ความเข้าใจกระบวนการวัลคาไนซ์โดยสมบูรณ์นั้นยังอาจส่งผลให้สามารถเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตเช่นกระบวนการวัลคาไนซ์หลัก ไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมฟองยางธรรมชาติในรูปแบบก้าวกระโดดอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการวัดคาบในข้อต่อเนื่องภายหลังกระบวนการวัดคาบในข้อหลักต่อสมบัติทางกายภาพ
2. ศึกษาการวัดคาบในข้อต่อเนื่องโดยกระบวนการอบแห้งแบบอากาศร้อนและแบบไมโครเวฟ รวมทั้งการวัดคาบในข้อภายใต้กระบวนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

หลายกลุ่มวิจัยได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติภายหลังการวัดคาบในข้อของแผ่นยางที่มีความเปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัดภายหลังการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่าง ๆ รวมทั้ง ณ อุณหภูมิห้อง ถึงแม้ว่าระบบการวัดคาบในข้อดังกล่าวไม่ได้ใช้สารตัวเร่งที่น้ำจะก่อให้เกิดการวัดคาบในข้อได้ที่อุณหภูมิต่ำ Nasr และ Gomaa แสดงให้เห็นว่าสำหรับยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ ยาง SBR และยางบิวไทล์ ที่มีการวัดคาบในข้อที่อุณหภูมิ 143°C และบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 70°C อัตราการบวมพองของยางเบลนด์เปลี่ยนแปลงอย่างมากในระยะเวลาบ่มเร่ง 16 วัน [2] Ho และ Khew [3] ได้เสนอแนวความคิดของกลไกการเกิดการพริ้วคาบในข้อของยางที่เป็นไปในลักษณะของการแพร่ของสารวัดคาบในข้อจากภายนอกของอนุภาคยางเข้าสู่ภายใน และการวัดคาบในข้อของอนุภาคยางจะเกิดขึ้นจากภายนอกเข้าสู่ภายใน นอกจากนี้อุณหภูมิการวัดคาบในข้อจะส่งผลต่อคุณสมบัติภายนอกของอนุภาคยาง และส่งผลต่อไปถึงคุณสมบัติภายหลังการเก็บรักษาแผ่นยาง Amir-Hashim และ Morris [4] เสนอว่าการวัดคาบในข้อของแผ่นฟิล์มที่เตรียมขย้าน้ำยางนั้นเกิดขึ้นในช่วงที่เป็นน้ำขย้านในขณะที่ยังคงให้ความร้อนกับแผ่นฟิล์มนั้นเป็นเพียงขั้นตอนในการทำให้แห้งเท่านั้น ในขณะที่ผลการทดลองของ Claramma และ Mathew [5] ในการพริ้วคาบในข้อน้ำยางที่อุณหภูมิ 60-90°C ได้ผลสนับสนุนแนวความคิดของโมเดลการวัดคาบในข้อของ Ho และ Khew โดยทั้งหมดนี้ทำให้ความเป็นไปได้ในการเกิดการวัดคาบในข้อที่อุณหภูมิต่ำ และมีความต่อเนื่องส่งผลให้คุณสมบัติของยางเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากเนื่องจากการแพร่ของสารวัดคาบในข้อที่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างไม่มีที่สิ้นสุด

ในอุตสาหกรรมพองยางธรรมชาติในขณะนี้วิธีในการอบแห้งพองยางธรรมชาติที่นิยมกันแพร่หลายอยู่สองวิธีคือ การอบด้วยอากาศร้อน และการอบด้วยไดอิเล็กตริก อย่างไรก็ตามการอบด้วยอากาศร้อนยังเป็นที่นิยมากกว่าเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นวิธีพื้นฐาน ลงทุนต่ำ และง่ายต่อการเข้าใจ การอบด้วยไดอิเล็กตริกนั้นสามารถลดเวลาในการอบแห้งได้เป็นอย่างมาก ทำให้สามารถประหยัดเวลาในการผลิต และยังประหยัดพื้นที่ในการตั้งเตาอบแบบอากาศร้อนได้อย่างมากอีกด้วย ทำให้ในอนาคตอันใกล้การอบแห้งแบบไดอิเล็กตริกนี้น่าจะพัฒนามาเป็นวิธีหลักในการอบแห้งพองยางธรรมชาติ

อย่างไรก็ตามพองยางธรรมชาติที่ได้จากระบบอบแห้งแบบไดอิเล็กตริกนั้นมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าพองยางธรรมชาติที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน เช่น ความแข็งที่ต่ำกว่า และ tensile strength ที่ต่ำกว่า เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องมาจากประวัติการผ่านความร้อนของพองยางทั้งสองประเภทมีความแตกต่างกันเป็นอย่างมาก ประกอบกับการวัดคาบในข้ออย่างต่อเนื่องที่เกิดขึ้นกับพองยางธรรมชาติที่ผ่านการอบอากาศร้อนเป็นเวลานาน ในขณะที่ระบบอบแห้งแบบไดอิเล็กตริกนั้นไม่ทำให้เกิดการวัดคาบในข้ออย่างต่อเนื่องได้มากเท่ากับแบบอากาศร้อน

ในการวิจัยนี้จึงต้องทำการศึกษาผลของการวัดคาบในข้ออย่างต่อเนื่องในขณะอบแห้งพองยางธรรมชาติด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกายภาพของพองยางธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงไป และเปรียบเทียบกับพองยางที่ผ่านการอบแห้งแบบไดอิเล็กตริก คุณสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการใช้พองยางธรรมชาติได้แก่ ความแข็ง คุณสมบัติเซท คุณสมบัติด้านการดึง และคุณสมบัติการฉีก (Pounding resistance test [6])

วิธีการ

การเตรียมชิ้นทดสอบ

1 เตรียมชิ้นทดสอบโดยนำเบ้าอะลูมิเนียมหนา x กว้าง x ยาว x ขนาด 2.5x5x5 นิ้ว ใส่ฟองยางปิดฝาแล้ว จึงนำไปทำการวัดคาบเวลาในชั่งหลักด้วยคูบไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2 นำชิ้นทดสอบที่ได้แกะออกจากเบ้าแล้วนำไปล้างและปั่นจนแห้งพอหมาด ๆ ด้วยเครื่องล้างฟองยาง

3 นำฟองยางไปอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 70 °C 18 hr, 90 °C 12 hr และใช้ ไมโครเวฟขนาด 80 kW เป็นเวลา 1 hr

ปริมาณการหดตัว

นำฟองน้ำได้จากเบ้าไปอบแห้ง แล้ววัดความสูง 3 ตำแหน่งนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณปริมาตรของยาง ฟองน้ำ สูตรการคำนวณปริมาตรการหดตัวแสดงดังสมการ

$$\text{ปริมาตรการหดตัว \%} = ((V_1 - V_2)/V_1) * 100$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรของเบ้า, (cm³)

V_2 = ปริมาตรของฟองน้ำหลังอบแห้ง, (cm³)

การทดสอบความหนาแน่น (Density)

การทดสอบดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM D 3574-95 โดยตัดชิ้นฟองน้ำที่ใช้ในการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด ยาว 50 ± 1 มิลลิเมตร กว้าง 50 ± 1 มิลลิเมตร และหนา 25 ± 1 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง มีสูตรในการคำนวณผลดังนี้

$$D = M/V \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

เมื่อ D = ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ, (g/cm³)

M = น้ำหนักชิ้นทดสอบ, (g)

V = ปริมาตรของชิ้นทดสอบ, (cm³)

การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set)

วัดความหนาของชิ้นทดสอบ (t_0)

ถ้าใช้ชิ้นทดสอบชิ้นเดียว จะวางชิ้นทดสอบไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นระนาบของเครื่องคอมเพรสชัน โดยมีแท่งเหล็กกล้า 2 แท่งวางขนานไว้ทั้งสองข้าง แต่ถ้าใช้ชิ้นทดสอบ 2 ชิ้น จะใช้แท่งเหล็กกล้า 3 แท่ง วางห่างกันพอสมควร เพื่อให้ชิ้นทดสอบมีเนื้อที่ที่จะขยายตัวเมื่อได้รับแรงอัด

เลื่อนแผ่นระนาบทั้งสองเข้าหากันจนกระทั่งสัมผัสกับแท่งเหล็กกล้า ขณะนี้ชิ้นทดสอบมีความหนา ลดลงร้อยละ 50 ของความหนาเดิม นำเข้าคูบที่อุณหภูมิ 70 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วนำออกจากคูบ และชิ้นทดสอบออกจากเครื่องคอมเพรสชัน วางไว้บนพื้นไม้เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงวัดความหนาของชิ้นทดสอบ (t_1)

วิธีคำนวณ

คำนวณการยุบตัวคิดเป็นร้อยละของระยะยุบตัวเดิมดังนี้

$$C_d = \frac{(t_0 - t_1)}{(t_0 - t_s)} \times 100$$

เมื่อ C_d คือ ระยะยุบตัวที่เปลี่ยนไปจากระยะยุบตัวเดิม (ครึ่งหนึ่งของความหนาเดิม) หลังจากผ่านแรงอัดแล้วคิดเป็นร้อยละ

t_0 คือ ความหนาเดิมของชั้นทดสอบ

t_1 คือ ความหนาของชั้นทดสอบ

t_s คือ ความสูงของแท่งเหล็กกล้า

1 การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (compression set) ของฟองยางธรรมชาติที่เกิดการวัลคาไนซ์เองภายใต้กระบวนการเก็บที่อุณหภูมิห้อง

1.1 เตรียมชั้นทดสอบโดยนำแบบพิมพ์ขนาดสูง 25 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ใส่ฟองยางแล้วปิดฝาตั้งเก็บไว้ ณ อุณหภูมิห้อง เมื่อฟองยางมีการคงรูปและชั้นทดสอบดังกล่าวออกจากเบ้าพิมพ์แล้วทำการทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดทุก ๆ 24 ชั่วโมง นำไปทดสอบซึ่งได้ดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM D 1055-90 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ± 1 มิลลิเมตร และหนา 25 ± 1 มิลลิเมตร

1.2 เลื่อนแผ่นระนาบทั้งสองเข้าหากันจนกระทั่งสัมผัสกับแท่งเหล็กกล้าขณะนั้นชั้นทดสอบมีความหนาลดลงร้อยละ 50 ของความหนาเดิม เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 22 ชั่วโมง และชั้นทดสอบออกจากเครื่องคอมเพรสชัน วางไว้บนพื้นไม้เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงวัดความหนาของชั้นทดสอบ (t_1)

*หมายเหตุ ทดสอบโดยไม่ได้นำเครื่องคอมเพรสชันเข้าในตู้อบบ่มแรง

2 การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (compression set) ของฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C, 90 °C และ ไมโครเวฟ

2.1 เตรียมชั้นทดสอบโดยนำเบ้าอะลูมิเนียมหนา x กว้าง x ยาว x ขนาด 2.5x5x5 นิ้ว ใส่ฟองยางปิดฝาแล้วจึงนำไปทำการวัลคาไนซ์หลักด้วยตู้อบไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำชั้นทดสอบที่ได้แกะออกจากเบ้าแล้วนำไปล้างและปั่นจนแห้งพอหมาด ๆ ด้วยเครื่องล้างฟองน้ำจากนั้นนำฟองยางไปอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน คือ 70 °C 18 hr, 90 °C 12 hr และใช้ไมโครเวฟ 1 hr. นำชั้นทดสอบที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 3 วิธีมาวัดตามมาตรฐาน ASTM D 395-69 ให้มีความหนาสม่ำเสมอ ยาว 50 ± 1 มิลลิเมตร กว้าง 50 ± 1 มิลลิเมตร และหนา 25 ± 1 มิลลิเมตร

2.2 เลื่อนแผ่นระนาบทั้งสองเข้าหากันจนกระทั่งสัมผัสกับแท่งเหล็กกล้าขณะนั้นชั้นทดสอบมีความหนาลดลงร้อยละ 50 ของความหนาเดิม นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 70 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้ และชั้นทดสอบออกจากเครื่องคอมเพรสชัน วางไว้บนพื้นไม้เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงวัดความหนาของชั้นทดสอบ (t_1)

3 เปรียบเทียบการทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (compression set) ของฟองยางธรรมชาติที่เกิดการวัลคาไนซ์เองภายใต้กระบวนการเก็บที่อุณหภูมิห้องกับกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อน

- 3.1 นำฟองยางธรรมชาติที่เกิดการวัลคาไนซ์เองภายใต้กระบวนการเก็บที่อุณหภูมิห้องดังข้อ 1.1 เป็นเวลา 30 วัน แล้วทดสอบดังข้อ 1.2
- 3.2 นำฟองยางที่ผ่านวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C 18 hr ดังข้อ 2.1 แล้วทดสอบดังข้อ 1.2

การวัดความเค้นกด

- 1 นำชิ้นทดสอบวางบนฐานรองรับ
- 2 เลื่อนแผ่นกดมาแตะไว้กับชิ้นทดสอบ แล้วใช้แรง (preload) 4.5 นิวตัน กดลงบนชิ้นทดสอบ วัดความหนาของชิ้นทดสอบ ให้ถือว่าความหนาที่วัดได้เป็นความหนาเดิมเพิ่มแรงกดต่อไปจนความหนาลดลงจากความหนาเดิมร้อยละ 25 บันทึกแรงกดทั้งหมดเป็นนิวตัน (ซึ่งรวมทั้งแรงกดเดิม 4.5 นิวตันนั้นด้วย)

ทดสอบอัดฟองยางแบบซ้ำ ๆ (Pounding test)

- 1 นำชิ้นทดสอบใส่เข้าไประหว่างแผ่นอัด
- 2 ปรับระยะของแผ่นกดด้านล่างให้มีระยะการกดชิ้นทดสอบเข้าไป 50 % ของความหนาเดิม เมื่อปรับระยะได้แล้ว ก็เริ่มเดินเครื่องทดสอบ 250000 รอบ (ขณะทดสอบชิ้นทดสอบจะต้องติดตั้งอยู่ทั้งแผ่นเหล็กบนและล่างเสมอ)
- 3 นำไปวัดการผิดรูประยะที่ยุบของฟองยางแล้วคำนวณหาการยุบตัวคิดเป็นร้อยละของความหนาเดิม ดังข้อ 2.1
- 4 นำไปวัดแรงกด

ความทนทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่เกิดการขาด (Tensile strength and extension at break)

Tensile strength ของ latex foam rubber ขึ้นอยู่กับปริมาณของการยืดของวัสดุและคุณสมบัติของส่วนแข็ง อย่างไรก็ตามในขั้นตอนแรกจะประมาณจากการยืดตัวของโฟม หลักในการทดสอบจะเกี่ยวข้องกับสมบัติของส่วนของแข็งในวัสดุ ซึ่งนำดัชนีการวัดคุณภาพไปใช้ประโยชน์โดยที่มันจะลดตามความหลากหลายของสารประกอบ เช่น สารตัวเติมที่ใช้ มันจะเป็นการลดคุณภาพของวัสดุที่ใช้ทดสอบ โดยจะทำการทดสอบความต้านทาน โดยการผิดรูปเป็นรอบๆ ง่ายกว่าการทดสอบสมบัติอื่น

การยืดจนขาดสามารถทดสอบโดยใช้ตัวจับวัสดุมายึดจับ แล้วขีดเส้น 2 เส้นขนานกัน โดยระยะที่ขีดห่างกัน 2.54 เซนติเมตร เพื่อเป็นการระบุตำแหน่งของชิ้นทดสอบ นำชิ้นทดสอบมาจับด้วยตัวจับ ต่อจากนั้นแยกชิ้นทดสอบด้วยอัตรากำหนดจนชิ้นทดสอบขาด ตามระยะด้วย caliper ที่ระยะยืดจนขาด คำนวณการยืดที่แสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ต่อระยะเริ่มต้น ชิ้นทดสอบ tensile strength และ extension at break ชิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นรูป dumb-bell มีความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร โดยที่เส้นที่ขนานกันนั้นจะอยู่บริเวณส่วนแคบของชิ้นทดสอบ และชิ้นทดสอบนี้จะอยู่ระหว่างมือจับซึ่งจะแยกชิ้นทดสอบด้วยการดึงจนขาด การยืดจนขาดเป็นการคำนวณระยะทางระหว่างเส้นบอกตำแหน่งก่อนที่จะขาด และ tensile strength เป็นอัตราของแรงที่ทำให้ขาดกับพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ dumb-bell ตรงส่วนแคบของชิ้นทดสอบ

จากสูตร

$$\text{Tensile Strength (MPa หรือ N/mm}^2\text{)} = F/A$$

โดยที่

F = แรงที่ใช้ในการดึงชิ้นทดสอบจนขาด (นิวตัน)

$A =$ พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (ตารางมิลลิเมตร)

ส่วนการหา %Elongation at break หาโดยการทำการเครื่องหมายไว้เป็น sample ซึ่งมีขนาดประมาณ 2.54 เซนติเมตร แล้วดึงออกไปจนกระทั่งฟองน้ำขาด ซึ่งต้องจับระยะตลอดเวลาจนกระทั่งขาด จึงนำมาหา %Elongation at break โดยคิดจากเมื่อยืดออกไป 1 เท่าตัว = 100 %EB

$$\text{Elongation at break (\%)} = ((l-l_0)/l_0)*100$$

โดยที่ l_0 = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนชิ้นทดสอบเริ่มต้น (gauge length), (เซนติเมตร)

l = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนชิ้นทดสอบที่ยืดจนขาด (เซนติเมตร)

1 ความทนทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่เกิดการขาด (Tensile strength and extension at break) ของ
ฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำแล้วอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน

1.1 นำฟองยางที่วัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำแล้ว มาอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C 18 ชั่วโมง และ 19 °C 18 ชั่วโมง

1.2 ทดสอบความทนทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่เกิดการขาด (Tensile strength and extension at break)

2 ความทนทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่เกิดการขาด (Tensile strength and extension at break) ของ
ฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำแล้วอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่เวลาต่าง ๆ กับอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนที่เวลาต่าง ๆ

2.1 นำฟองยางที่วัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำแล้ว มาอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 3, 6, 9, 12, 15, 18, และ 21 นาที

2.2 นำฟองยางที่วัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำแล้ว มาอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 ชั่วโมง

2.3 ทดสอบความทนทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่เกิดการขาด (Tensile strength and extension at break)

3 ความทนทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่เกิดการขาด (Tensile strength and extension at break) ของ
ฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำและอบแห้งไมโครเวฟ 1 ชั่วโมง แล้วอบด้วยตู้อบอากาศร้อนที่เวลาต่าง ๆ

3.1 นำฟองยางที่วัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำแล้ว มาอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วอบด้วยตู้อบอากาศร้อนที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, และ 9 ชั่วโมง

3.2 ทดสอบความทนทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่เกิดการขาด (Tensile strength and extension at break)

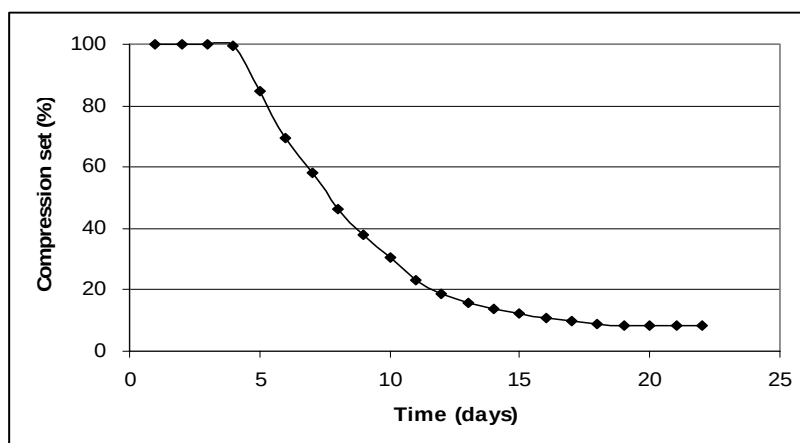
4 ความทนทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่เกิดการขาด (Tensile strength and extension at break) ของ
ฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำและอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 1 ชั่วโมง แล้วตั้งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาต่าง ๆ

4.1 นำฟองยางที่วัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำแล้ว มาอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วตั้งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนำมาทดสอบทุก ๆ 3 วัน จนครบ 10 ครั้ง

4.2 ทดสอบความทนทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่เกิดการขาด (Tensile strength and extension at break)

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล

การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (compression set) ของฟองยางธรรมชาติที่เกิดการวัลคาไนซ์ได้เองภายใต้กระบวนการเก็บที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Compression set (%) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 75 kg/m^3 เมื่อตั้งเก็บไว้ ณ อุณหภูมิห้องในเวลา (วัน) ต่าง ๆ

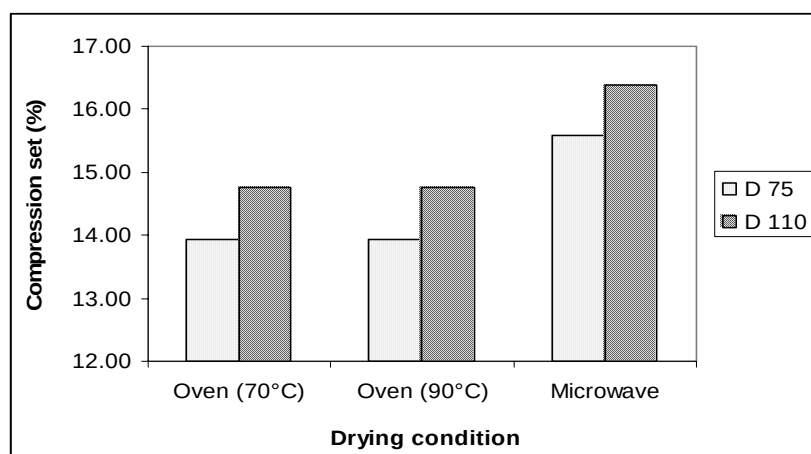
*หมายเหตุ ทดสอบโดยไม่ได้นำเครื่องคอมเพรสชันเข้าในตู้อบบ่มเร่ง

จากรูปที่ 1 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Compression set ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 75 kg/m^3 โดยนำแบบพิมพ์ขนาดสูง 25 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ใส่ฟองยางแล้วปิดฝาตั้งเก็บไว้ ณ อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิประมาณ 30-32 องศาเซลเซียสโดยเฉลี่ย) เมื่อฟองยางมีการคงรูปและขึ้นทดสอบดังกล่าวออกจากพิมพ์แล้วทำการทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดทุก ๆ 24 ชั่วโมง ซึ่งการทดสอบนี้ทำโดยตั้งเครื่องคอมเพรสชันไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 22 ชั่วโมง และขึ้นทดสอบออกวางบนพื้นไม้เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงวัดความหนาของขึ้นทดสอบ จะสามารถเห็นได้ว่าค่า Compression set (%) ของฟองยางธรรมชาติจะมีค่าลดน้อยลงเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น โดยกราฟจะมีค่าคงที่ในช่วง 4 วันแรก ซึ่งเมื่อทำการกดฟองยางธรรมชาติจะไม่สามารถคืนตัวเลย แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึง 5 วัน ค่า Compression set (%) ของฟองยางธรรมชาติจะมีค่าลดลงก็สามารถคืนตัวขึ้นมาเล็กน้อยและหลังจากนั้นค่า Compression set (%) ก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงประมาณ 10 วัน Compression set (%) ก็จะค่อย ๆ ลดต่ำลงไปอย่างช้า ๆ จนถึงประมาณ 16 วัน แล้วลดลงมากซึ่งพบว่าค่า Compression set (%) จะตกลงจนค่อนข้างที่จะคงที่ประมาณ 3.8 % สำหรับจากผลการทดลองดังกล่าว ฟองยางสามารถที่จะคืนตัวได้ดีขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อทำการวัดระยะการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด ซึ่งแสดงว่าฟองยางธรรมชาตินี้สามารถวัลคาไนซ์ได้ระดับหนึ่งที่อุณหภูมิห้องเมื่อฟองยางมีการคงรูป (setting) แล้วตั้งไว้

เนื่องจากค่า compression set เป็นสมบัติที่แสดงถึงสถานะของระดับการวัลคาไนซ์ของยาง [7, 8] โดยสมบัติการคืนรูปของยางเป็นสมบัติโดยตรงของพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้น

ได้มีการวิจัยที่บ่งบอกถึงปรากฏการณ์ที่แสดงถึงการวัลคาไนซ์อย่างช้า ๆ ของยางธรรมชาติ ณ อุณหภูมิห้องหลายครั้ง [9-12] ชินรัตน์และณัฐพงศ์ [13] แสดงให้เห็นถึงระดับการวัลคาไนซ์ของแผ่นยางธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นโดยการบ่มเรงน้ำยางคอมปอนด์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ รวมไปถึงที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) Ho and Khew [3] ได้เสนอแนวคิดของกลไกการเกิดพรีวัลคาไนซ์ที่เกิดขึ้น โดยปฏิกิริยาเป็นไปในลักษณะของการแพร่ของสารวัลคาไนซ์จากภายนอกของอนุภาคยางเข้าสู่ภายใน และการวัลคาไนซ์ของอนุภาคยางเกิดขึ้นจากภายนอกเข้าสู่ภายใน ซึ่งปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเกิดเร็วหรือช้าขึ้นกับอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา ในขณะที่เดียวกันความทั่วถึงของการวัลคาไนซ์ของอนุภาคยางจะขึ้นกับความสามารถในการแพร่ของสารวัลคาไนซ์เข้าสู่ภายในอนุภาคยางและอัตราการวัลคาไนซ์ โดยบริเวณที่สารวัลคาไนซ์แพร่เข้ามาถึงจะเกิดการวัลคาไนซ์ในขณะที่ผลของการวัลคาไนซ์จะหน่วงความสามารถในการแพร่ของสารเข้าสู่ภายในลำดับต่อไป

การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set) ของฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำ แล้วอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C, 90 °C และ ไมโครเวฟ

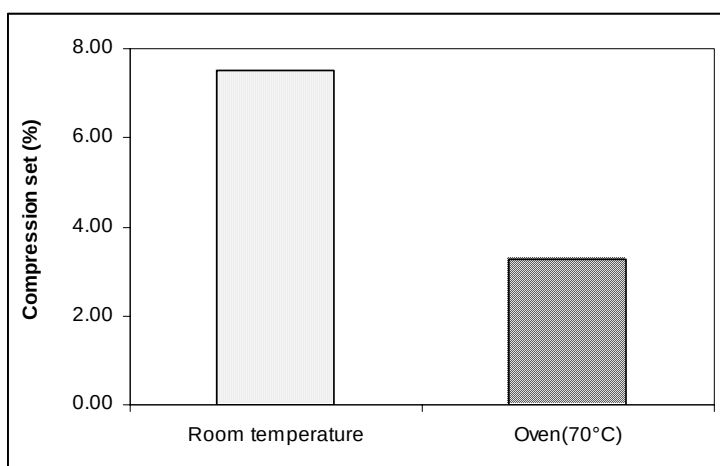


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Compression set (%) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 75 และ 110 kg/m³ ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำ 1 ชั่วโมง โดยอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อน 70 °C 18 hr, 90 °C 12 hr และ microwave 1 hr

กระบวนการอบแห้งที่เกิดขึ้นภายหลังกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำมีเป้าหมายเพื่อให้ฟองยางธรรมชาติที่เตรียมได้มีระดับความชื้นที่ต่ำ พร้อมทั้งจะทำการบรรจุหีบห่อ และสามารถทำการจัดเก็บได้เป็นระยะเวลานานโดยไม่มีความเสียหายเนื่องจากความชื้น เช่น เชื้อรา เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงแปรเวลาในการอบแห้งที่แตกต่างกันไปตามระบบวิธีในการอบแห้ง โดยมีเป้าหมายเดียวกันคืออบจนกระทั่งฟองยางธรรมชาติแห้งสนิท โดยการอบอากาศร้อนที่ 70 °C และ 90 °C จะใช้เวลาประมาณ 18 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ ในขณะที่ไมโครเวฟจะใช้เวลา 1 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ฟองยางที่ความหนาแน่นต่ำจะแห้งได้เร็วกว่า ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีความต้องการจำลองสภาวะจริงที่อาจเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมที่ในหลายครั้งมีความจำเป็นที่จะต้อง

มีการอบแห้งฟองยางต่างความหนาแน่นร่วมกัน จากรูปที่ 2 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า Compression set (%) ของฟองยางธรรมชาติ ความหนาแน่น 75 และ 110 kg/m³ ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยตู้อบไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วอบแห้งโดยใช้ตู้อบอากาศร้อนที่ 70 °C 18 hr, 90 °C 12 hr และใช้ microwave 1 hr นำขึ้นทดสอบที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 3 วิธีไปทดสอบ Compression set (%) ของฟองยางธรรมชาติ ซึ่งการทดสอบนี้ทำโดยนำเครื่องคอมเพรสชันเข้าในตู้อบบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง และขึ้นทดสอบออกวางไว้บนพื้นไม้เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงวัดความหนาของขึ้นทดสอบเห็นได้ว่าค่า Compression set (%) ของฟองยางธรรมชาติหลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C จะมีค่าต่ำกว่า 90 °C เล็กน้อย โดยความหนาแน่น 75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นั้นมีค่า Compression set (%) ต่ำกว่าความหนาแน่น 110 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนที่ 70 °C และ 90 °C กับการอบแห้งโดยใช้ microwave แล้วพบว่าค่า % Compression set ของฟองยางธรรมชาติที่ทำการอบแห้ง โดยใช้ microwave จะมีค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนซึ่งที่ความหนาแน่น 110 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีค่า % Compression set สูงกว่าที่ความหนาแน่น 75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เช่นเดียวกับที่อบด้วยตู้อบอากาศร้อน 70 °C และ 90 °C ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นในระบบการอบแห้งด้วยความร้อน เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟจะเกิดการวัลคาไนซ์ในช่วงการอบแห้งน้อยกว่า เนื่องจากตัวอย่างฟองยางธรรมชาติก่อนการอบแห้งผ่านการวัลคาไนซ์ในระดับที่เท่ากัน เมื่อผ่านการอบด้วยอากาศร้อนจะมีการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นจนอยู่ในระดับที่มีค่า compression set ที่ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟนั่นเอง

เปรียบเทียบการทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (compression set) ของฟองยางธรรมชาติที่เกิดการวัลคาไนซ์ได้เองภายใต้กระบวนการเก็บที่อุณหภูมิห้องกับกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำแล้วอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อน

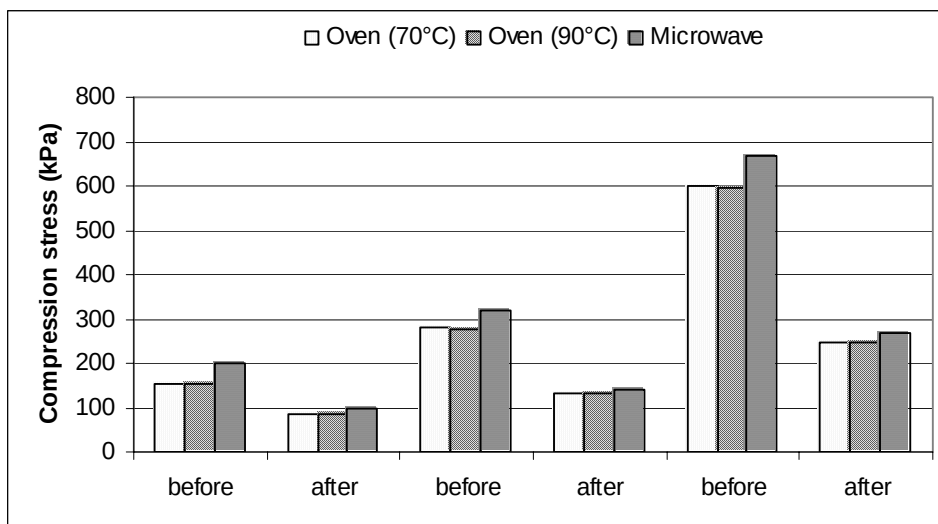


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Compression set (%) ของฟองยางธรรมชาติที่ความหนาแน่น 75 kg/m³ ในการเก็บฟองยางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 วัน กับฟองยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำ 1 ชั่วโมง แล้วอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อน 70 °C 18 ชั่วโมง

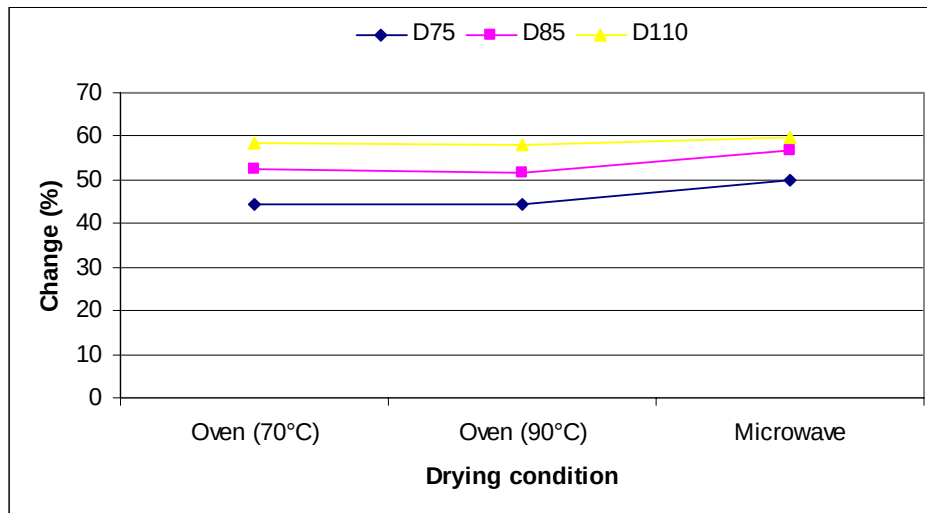
*หมายเหตุ ทดสอบโดยไม่ได้นำเครื่องคอมเพรสชันเข้าในตู้อบบ่มแรง

จากรูปที่ 3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า Compression set (%) ของฟองยางธรรมชาติที่ความหนาแน่น 75 kg/m^3 ที่วัลคาไนซ์ได้เองภายใต้กระบวนการเก็บฟองยางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 วัน กับฟองยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำ 1 ชั่วโมง แล้วอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อน 70°C 18 ชั่วโมง ซึ่งการทดสอบทำโดยตั้งเครื่องคอมเพรสชันไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 22 ชั่วโมง และขึ้นทดสอบออกวางไว้บนพื้นไม้เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงวัดความหนาของขึ้นทดสอบจะเห็นได้ว่าค่า Compression set (%) ของฟองยางธรรมชาติที่มีการคงรูป (setting) แล้วเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้นเองภายใต้กระบวนการเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 วัน กับฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำ 1 ชั่วโมง แล้วอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อน 70°C 18 ชั่วโมง เมื่อเทียบกันแล้วเห็นได้ชัดว่าฟองยางธรรมชาติที่เกิดการวัลคาไนซ์เองเมื่อทำการเก็บที่อุณหภูมิห้องจะมีค่า Compression set (%) ที่สูงกว่าฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักแล้วอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เนื่องจากการเก็บฟองยางไว้ ณ อุณหภูมิห้อง สารเคมีต่าง ๆ จำพวกสารวัลคาไนซ์ สารกระตุ้น สารตัวเร่ง ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เท่าเทียมกับการผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำก่อน ซึ่งความร้อนจะทำให้สารเคมีต่าง ๆ ไปทำปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ที่สายโซ่โมเลกุลของเกิดการเชื่อมโยงได้อย่างมีประสิทธิภาพรวดเร็วกว่าฟองยางธรรมชาติที่เกิดการวัลคาไนซ์ขึ้นเองภายใต้กระบวนการเก็บ ณ อุณหภูมิห้อง 20 วันเป็นผลให้ฟองยางธรรมชาติที่เกิดการวัลคาไนซ์ขึ้นเองภายใต้กระบวนการเก็บที่อุณหภูมิห้องมีความสามารถในการคืนตัวได้น้อยกว่าฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักแล้วอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C

การวัดน้ำหนักกดก่อนและหลังทดสอบ Durability 250,000 รอบ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกด (kPa) ที่ระยะกด 25% ของขึ้น โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70°C 18 hr, 90°C 12 hr และ microwave 1 hr ก่อนและหลังการทดสอบ Durability 250,000 รอบ



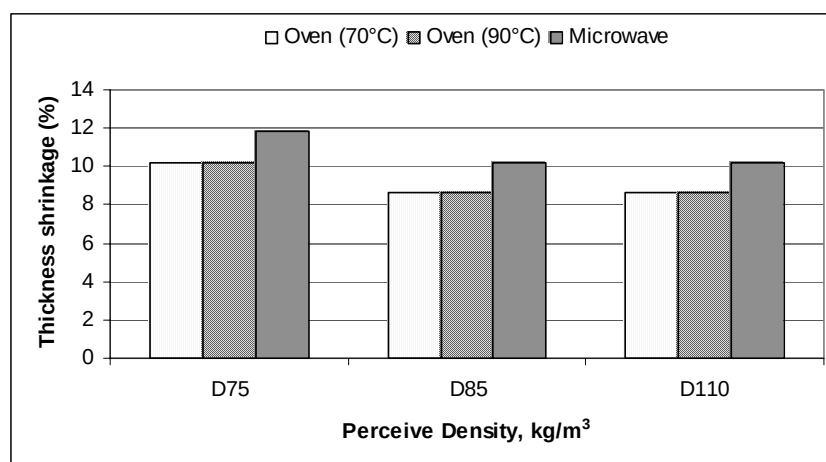
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง (%) ของความเค้นกดก่อนและหลังการทดสอบ Durability 250,000 รอบ ของชิ้นทดสอบ โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70°C 18 hr, 90°C 12 hr และ microwave 1 hr ก่อนและหลังการทดสอบ Durability 250,000 รอบ

จากรูปที่ 4 เห็นได้ว่าค่าความเค้นกด (kPa) ที่ระยะกด 25% ก่อนทดสอบ Durability 250,000 รอบ ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 70, 85 และ 110 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C และ 90°C มีค่าต่ำกว่าที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากกลไกในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟทำให้มีการหดตัวของฟองยางธรรมชาติมากกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนซึ่งเมื่อวัดความเค้นกดที่ระยะ 25% แล้วจึงใช้ความเค้นกดมากกว่าฟองยางธรรมชาติที่อบด้วยตู้อบอากาศร้อน หลังการทดสอบ Durability 250,000 รอบ แล้ววัดความเค้นกดโดยที่ค่าน้ำหนักกดหลังการทดสอบจะมีค่าที่น้อยลงกว่าค่าความเค้นกดก่อนที่จะนำฟองยางธรรมชาติมาทดสอบ เนื่องจากเมื่อโครงสร้างเซลล์ของฟองยางถูกกระทำโดยการกดแบบซ้ำ ๆ ที่ระยะการกด 50% ของความหนาเดิมของชิ้นทดสอบเป็นจำนวน 250,000 รอบ ซึ่งทำให้โครงสร้างเซลล์ถูกทำลายความสามารถในการต้านความเค้นกดของเซลล์ลดลง

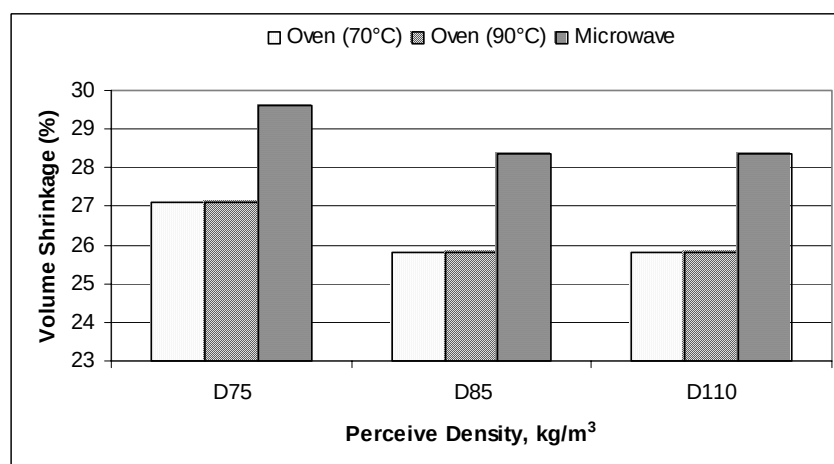
จากรูปที่ 5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความเค้นกดก่อนและหลังการทดสอบ Durability 250,000 รอบ ของชิ้นทดสอบ เห็นได้ว่าค่าความเค้นกด (kPa) ที่ระยะกด 25% ก่อนทดสอบ Durability 250,000 รอบ โดยการเปลี่ยนแปลงของฟองยางธรรมชาติก่อนทดสอบและหลังทดสอบ Durability ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของฟองยางธรรมชาติที่อบด้วยตู้อบอากาศร้อน 70°C และ 90°C มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ฟองยางที่มีความหนาแน่นสูงจะต้องใช้ความเค้นกดให้เกิดการผิครูปมากกว่าฟองยางที่มีความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากฟองยางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะมีโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันโดยฟองยางที่มีความหนาแน่นสูงในโครงสร้างจะมีความเป็นรูพรุนต่ำหรือมีปริมาณเนื้อยางสูงทำให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักสูงกว่าฟองยางความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีความเป็นรูพรุนสูง เมื่อทำการทดสอบ Durability แล้วฟองยางมีความเค้นกดลดลงจากก่อนทดสอบ ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลง (%) ซึ่งฟองยางที่มีความหนาแน่นสูงคือ 110 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด รองลงมาคือ 85 และ 75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เพราะว่าฟองยางที่มีโครงสร้างสูงทำให้เมื่อถูกกดซ้ำ ๆ เซลล์จะถูกทำลายมากกว่าฟองยางที่มีโครงสร้างต่ำจึงทำให้ค่าความเค้นกดของฟองยางที่มีความหนาแน่นสูงเปลี่ยนไปจากเดิมมากกว่าค่าความ

เส้นกดฟองยางความหนาแน่นต่ำ ส่วนในการอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อน 70°C และ 90°C มีค่าใกล้เคียงกัน เพราะกระบวนการอบแห้งเหมือนกันส่วนฟองยางที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบการอบแห้งเปลี่ยนไปจะมีเปอร์เซ็นต์ค่าการเปลี่ยนแปลงสูง เพราะก่อนทดสอบ Durability ค่าความเส้นกดของฟองยางธรรมชาติมีค่าสูงกว่าที่อบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อน แต่หลังจากทดสอบ Durability แล้วค่าความเส้นกดของฟองยางมีค่าใกล้เคียงกันเพราะฟองยางถูกทำลายเหมือนกันทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสูงกว่าฟองยางที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน 70°C และ 90°C

ปริมาณการหดตัว



รูปที่ 7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของความหนาฟองยาง

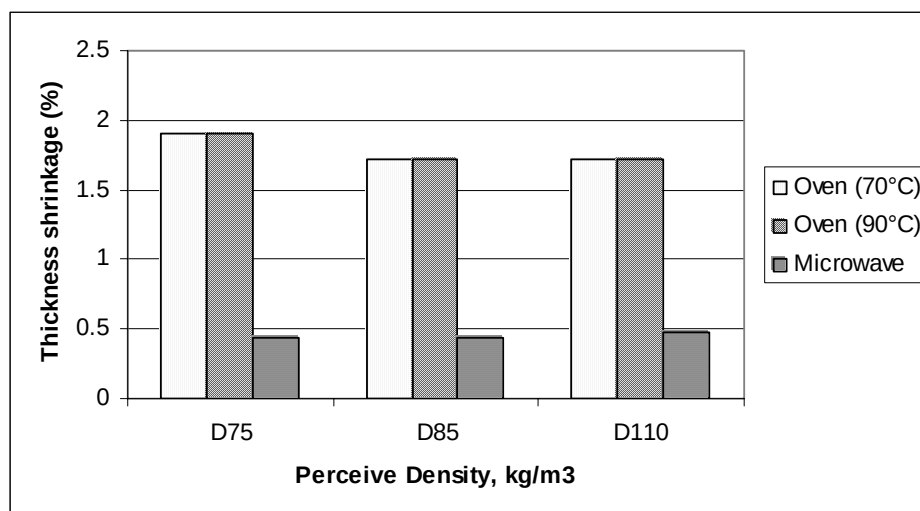


รูปที่ 7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาตรการหดตัวของฟองยาง

จากรูปที่ 6-7 เห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ที่อุณหภูมิ 70 °C และ 90 °C เปอร์เซ็นต์ปริมาตรการหดตัวจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ความหนาแน่น 75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีเปอร์เซ็นต์ปริมาตรการหดตัว สูงกว่าที่ความหนาแน่น 85 และ 110 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เล็กน้อยเนื่องจากผลความ

หนาแน่นสูงในโครงสร้างจะมีความเป็นรูพรุนต่ำหรือมีปริมาณเนื้อยางสูงทำให้มีการหดตัวต่ำกว่าฟองยางที่ความหนาแน่นต่ำซึ่งมีความเป็นรูพรุนสูง ซึ่งการอบแห้งด้วยไมโครเวฟจะมีเปอร์เซ็นต์ปริมาตรการหดตัวที่สูงกว่าการอบด้วยอากาศร้อน

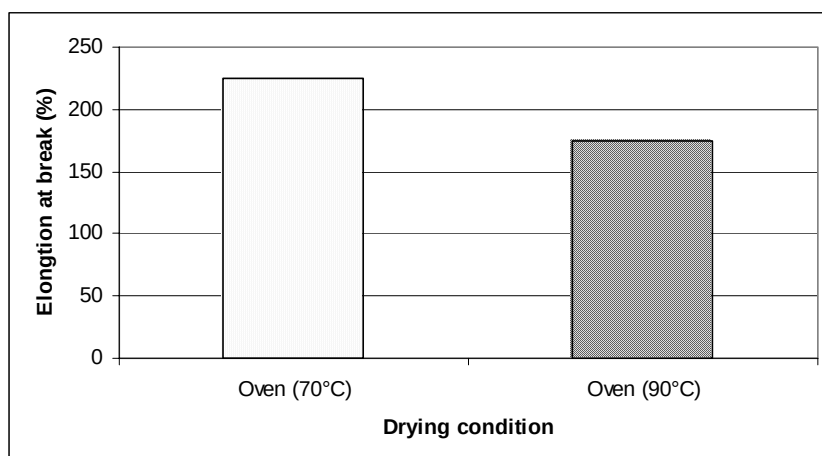
การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของฟองยางความหนาแน่น 75, 85 และ 110 kg/m³ หลังจากทดสอบ Durability 250,000 รอบ

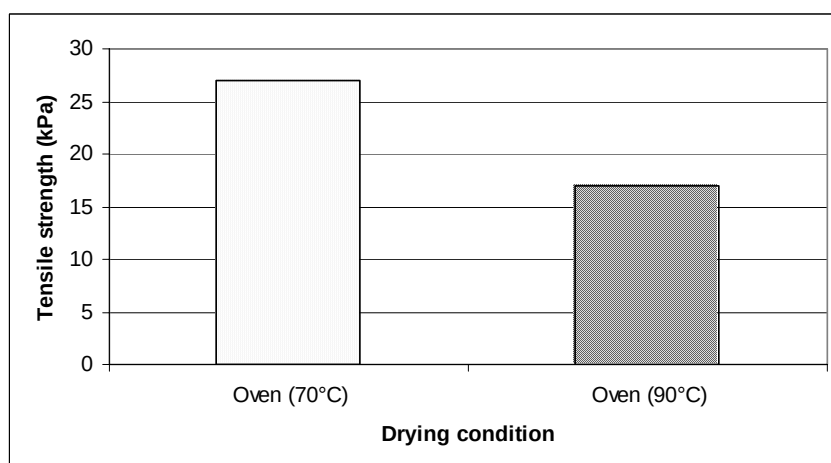
จากรูปที่ 8 เป็นการวัดขนาดของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 75, 85 และ 110 kg/m³ หลังจากทดสอบ Durability 250,000 รอบ ซึ่งฟองยางจะเกิดการยุบตัวลง โดยฟองยางธรรมชาติที่ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C และ 90 °C จะมีค่า % การยุบตัวค่อนข้างใกล้เคียงกันคือที่ความหนาแน่น 75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีเปอร์เซ็นต์การยุบตัวมากกว่าที่ความหนาแน่น 85 และ 110 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากฟองยางที่มีความหนาแน่นสูงในโครงสร้างจะมีความเป็นรูพรุนต่ำหรือมีปริมาณเนื้อยางสูงทำให้มีเปอร์เซ็นต์การยุบตัวต่ำกว่าฟองยางที่ความหนาแน่นต่ำซึ่งมีความเป็นรูพรุนสูง ส่วนเปอร์เซ็นต์การยุบตัวที่อบโดยใช้ microwave จะมีค่าต่ำกว่าการอบด้วยอากาศร้อนเนื่องจากได้เปลี่ยนระบบการอบแห้งไป ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาตรการหดตัวที่มีมากแล้ว ระยะการยุบตัวจึงเกิดได้น้อยกว่า

ความทนต่อแรงดึงและระยะยืดจนขาด (Tensile strength and Elongation at break)



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติที่ความหนาแน่น 75 kg/m^3 โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70°C 18 hr, 90°C 18 hr

*หมายเหตุ อบฟองยาง 70°C แห้งสนิทที่ 18 ชั่วโมง แต่อบฟองยาง 90°C แห้งสนิทที่ 12 ชั่วโมง



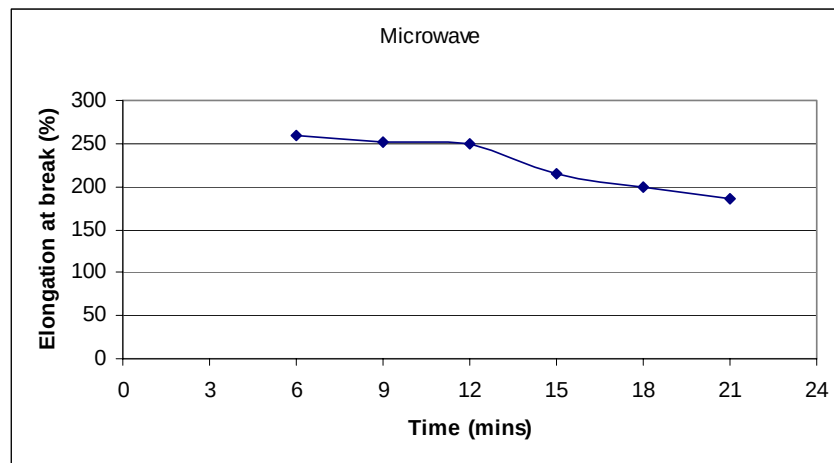
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength (kPa) ของฟองยางธรรมชาติที่ความหนาแน่น 75 kg/m^3 โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70°C 18 hr, 90°C 18 hr

*หมายเหตุ อบฟองยาง 70°C แห้งสนิทที่ 18 ชั่วโมง แต่อบฟองยาง 90°C แห้งสนิทที่ 12 ชั่วโมง

จากรูปที่ 9 เห็นได้ว่าการอบแห้งโดยใช้ตู้อบอากาศร้อน 18 ชั่วโมงเหมือนกันค่า Elongation at break (%) ของฟองยางที่อบโดยใช้อุณหภูมิ 70°C จะมีค่าสูงกว่าเนื่องจากเป็นเวลาที่ฟองยางแห้งสนิท เพราะที่อุณหภูมิ 90°C ฟองยางจะเกิดการแห้งที่ 12 ชั่วโมงก่อนแล้วเมื่อทำการอบต่อไปฟองน้ำจะไปทำให้ฟองยางเสื่อมลง คือ แห้ง เปราะ จึงทำให้มีค่าการดึงให้ยืดออกน้อยลง

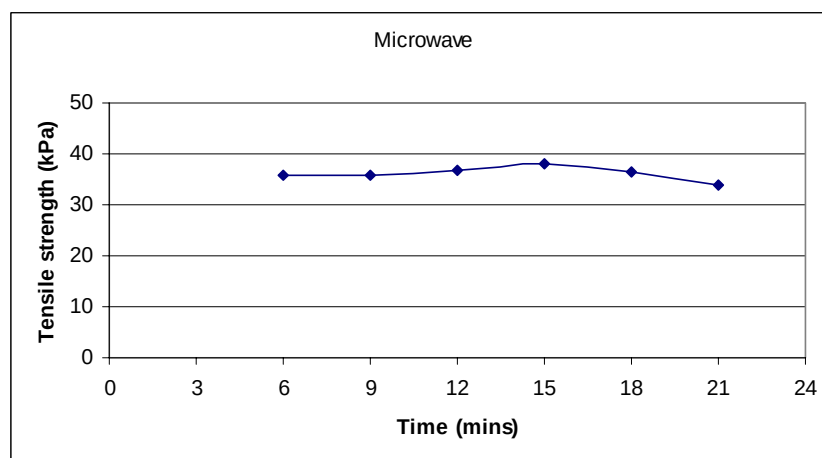
จากรูปที่ 10 เห็นได้ว่าที่เวลาการอบแห้งโดยใช้ตู้อบอากาศร้อน 18 ชั่วโมงเหมือนกันค่า Tensile strength (kPa) ของฟองยางที่อบโดยใช้อุณหภูมิ 70°C จะมีค่าสูงกว่าเนื่องจากเป็นเวลาที่ฟองยางแห้งสนิท

เพราะที่อุณหภูมิ 90 °C ฟองยางจะเกิดการแห้งที่ 12 ชั่วโมงก่อนแล้วเมื่อทำการอบต่อไปฟองน้ำจะไปทำให้ฟองยางเสื่อมลง คือ แห้ง เปราะ จึงทำให้มีค่าแรงดึงน้อยลง



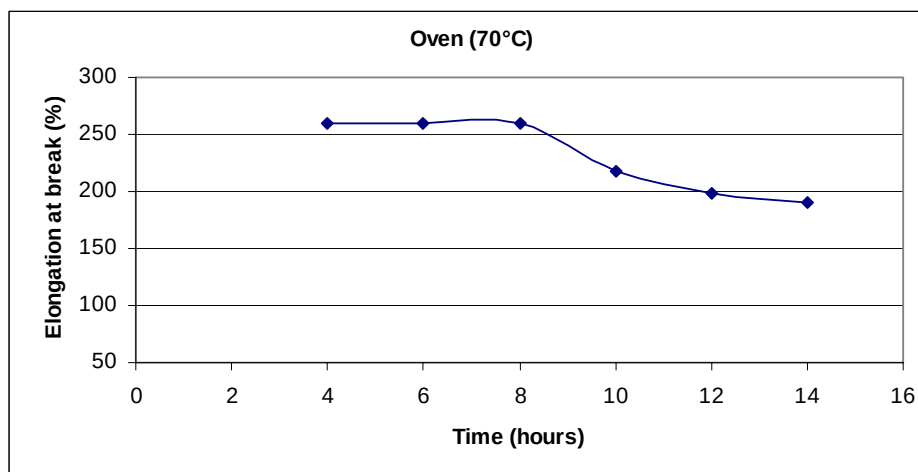
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 90 kg/m³ โดยใช้ไมโครเวฟอบแห้งที่เวลาต่าง ๆ กัน

*หมายเหตุ ฟองยางเริ่มแห้งสนิทที่เวลา 15 นาที เมื่ออบ 25 นาทีข้างในฟองยางจะเกิดการไหม้



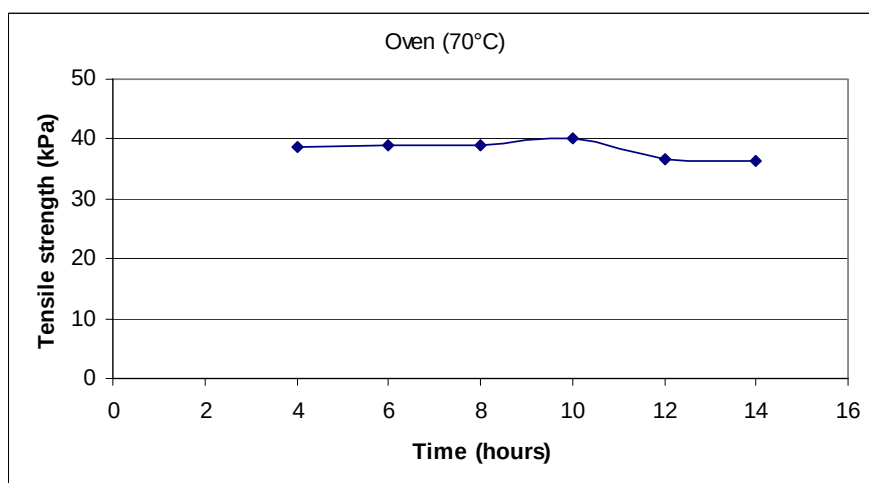
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength (kPa) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 90 kg/m³ โดยใช้ไมโครเวฟอบแห้งที่เวลาต่าง ๆ กัน

*หมายเหตุ ฟองยางเริ่มแห้งสนิทที่เวลา 15 นาที เมื่ออบ 25 นาทีข้างในฟองยางจะเกิดการไหม้



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 90 kg/m^3 โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ที่เวลาต่าง ๆ กัน

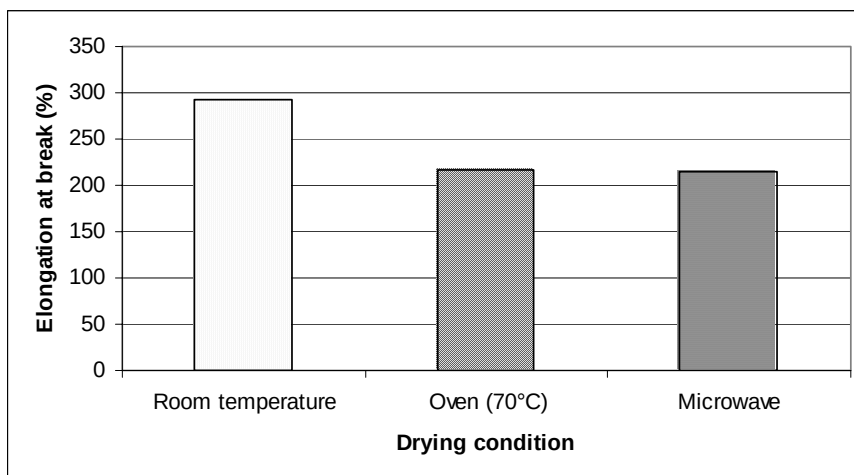
*หมายเหตุ ฟองยางเริ่มแห้งสนิทที่เวลา 10 ชั่วโมง



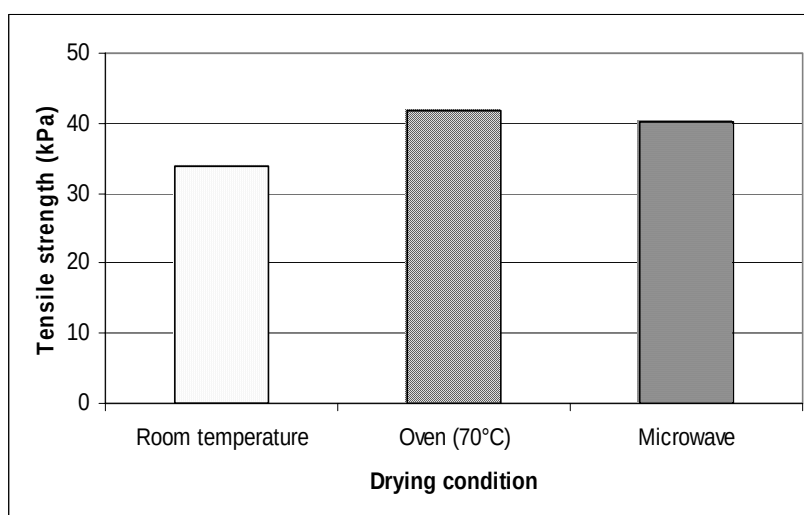
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength (kPa) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 90 kg/m^3 โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ที่เวลาต่าง ๆ กัน

*หมายเหตุ ฟองยางเริ่มแห้งสนิทที่เวลา 10 ชั่วโมง

จากรูปที่ 11 เป็นค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 90 kg/m^3 โดยใช้ไมโครเวฟอบแห้งที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 6, 9, 12, 15, 18 และ 21 นาที โดยนำฟองยางที่วัดค่าในหลักด้วยคูบไอน้ำ 1 ชั่วโมงทำการปั่นล้างพอหมาด ๆ นำมาอบแห้งโดยช่วงแรกฟองยางจะสามารถยืดได้มากเพราะยังไม่แห้งแต่เมื่อเริ่มแห้งสนิทที่ 15 นาที ฟองยางจะยืดได้น้อยลงตามเวลาที่ฟองยางได้รับความร้อนทำให้ฟองยางจะแห้ง เพราะ ความยืดหยุ่นน้อยลง อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 12 ค่า Tensile strength (kPa) ไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ในขณะที่ในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ 70°C ให้ผลคล้ายคลึงกันดังรูปที่ 13-14



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 90 kg/m^3 โดยใช้ชิ้นทดสอบที่วัลคาไนซ์ได้เองภายใต้กระบวนการเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน และใช้ชิ้นทดสอบที่วัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำ 1 ชั่วโมงก่อนอบแห้งด้วยอากาศร้อน 70°C 10 ชั่วโมง กับ microwave 15 นาที

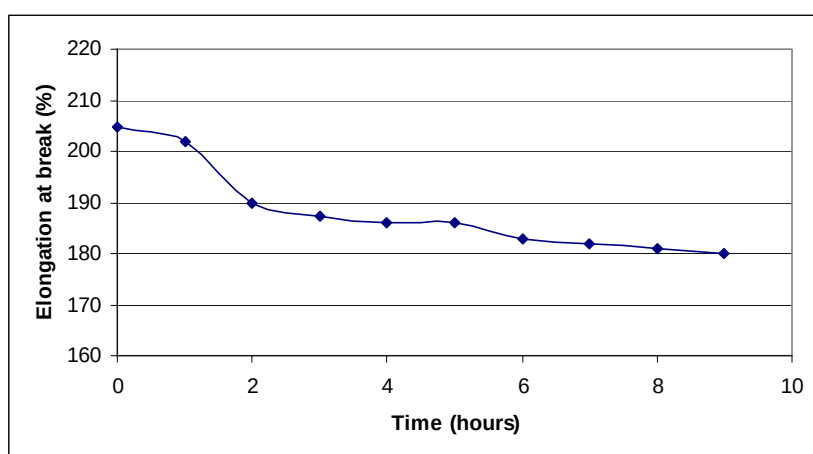


รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength (kPa) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 90 kg/m^3 โดยใช้ชิ้นทดสอบที่วัลคาไนซ์ได้เองภายใต้กระบวนการเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน และใช้ชิ้นทดสอบที่วัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำ 1 ชั่วโมงก่อนอบแห้งด้วยอากาศร้อน 70°C 10 ชั่วโมง กับ microwave 15 นาที

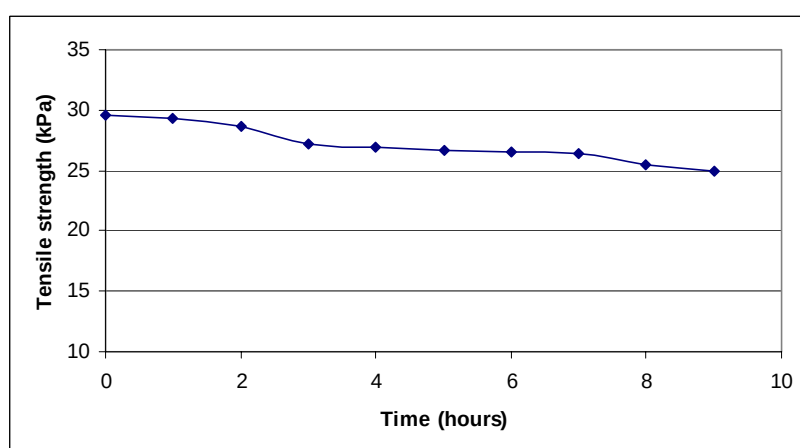
จากรูปที่ 15 เป็น Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติที่มีความหนาแน่น 90 kg/m^3 โดยใช้ชิ้นทดสอบที่เกิดการวัลคาไนซ์ได้เองเมื่อตั้งเก็บไว้ ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน และใช้ชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และฟองยางออกจากเบ้านำไปปั่นล้างเอสารเคมีที่ตกค้างออกก่อนแล้วทำการอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง กับการอบแห้งโดยใช้เครื่องไมโครเวฟเป็นเวลา 15 นาที จะเห็นได้ว่าค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติที่เกิดการวัลคาไนซ์ได้เองเมื่อตั้งเก็บไว้ ณ อุณหภูมิห้อง 30 วัน จะมีค่าสูงกว่าฟองยางธรรมชาติที่ผ่าน

กระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำก่อนอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อน 70°C กับการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟ ส่วนค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติที่ทำการอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนกับการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟนั้นมีค่าไม่ต่างกันมากนัก

จากรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่าค่า Tensile strength ของฟองยางธรรมชาติที่เกิดการวัลคาไนซ์ได้เองเมื่อตั้งเก็บไว้ ณ อุณหภูมิห้อง 30 วัน จะมีค่าต่ำกว่าฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำก่อนอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อน 70°C กับการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟ ส่วนค่า Tensile strength ของฟองยางธรรมชาติที่ทำการอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนกับการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟนั้นมีค่าไม่ต่างกันมากนักโดยที่อบด้วยอากาศร้อนมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย

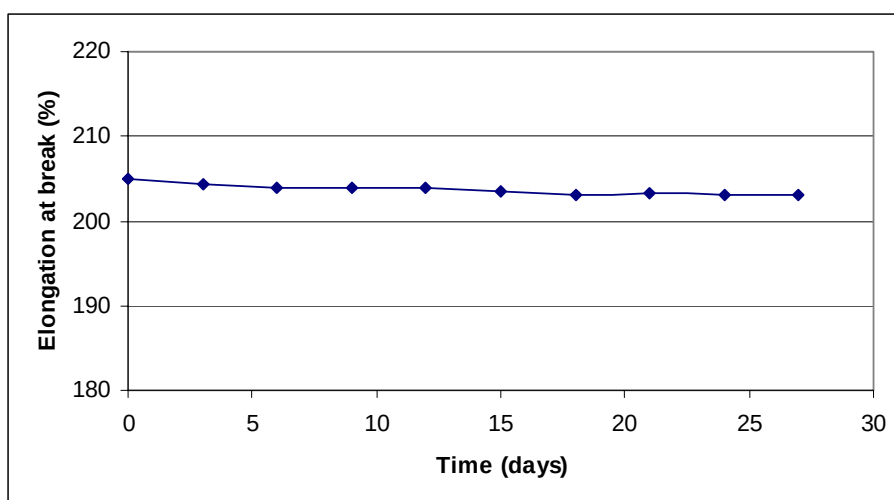


รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 85 kg/m^3 ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำและอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 1 ชั่วโมง แล้วอบด้วยตู้อบอากาศร้อนที่เวลาต่าง ๆ กัน

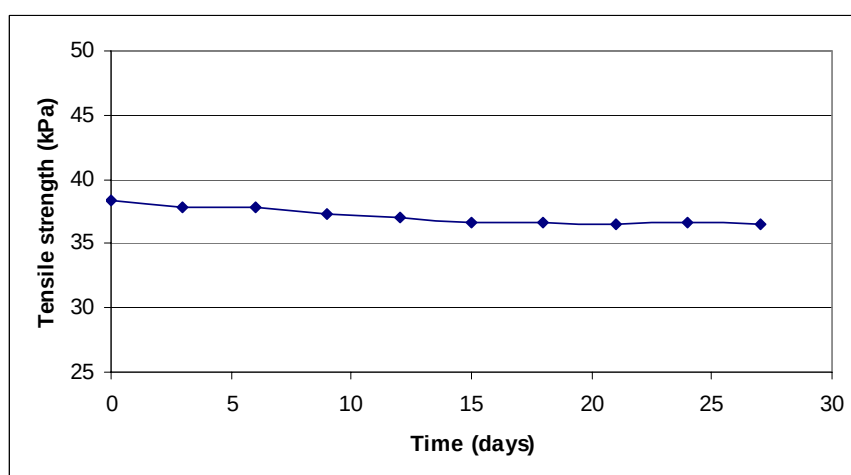


รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength (kPa) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 85 kg/m^3 ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำและอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 1 ชั่วโมง แล้วอบด้วยตู้อบอากาศร้อนที่เวลาต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำและอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 1 ชั่วโมง แล้วอบด้วยตู้อบอากาศร้อนที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ชั่วโมง เห็นได้ว่าค่า Elongation at break (%) ของฟองยางมีค่าลดลง เนื่องจากฟองยางได้มีการวัลคาไนซ์และอบแห้งเรียบร้อยแล้วเมื่อนำมาอบต่อเป็นการทำให้โครงสร้างเซลล์ของฟองยางเกิดการเสื่อมลง คือ แห้ง เปราะ ขาดง่ายขึ้นระยะในการยืดจนขาดจึงต่ำลงไป ในขณะเดียวกันค่า Tensile strength (kPa) ของฟองยางมีค่าลดลงด้วยดังรูปที่ 18



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 85 kg/m^3 ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำและอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 1 ชั่วโมง แล้วตั้งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนำมาทดสอบทุก ๆ 3 วัน จนครบ 10 ครั้ง



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength (kPa) ของฟองยางธรรมชาติความหนาแน่น 85 kg/m^3 ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำและอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 1 ชั่วโมง แล้วตั้งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนำมาทดสอบทุก ๆ 3 วัน จนครบ 10 ครั้ง

จากรูปที่ 19 เป็นค่า Elongation at break (%) ของฟองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำและอบแห้งด้วยไมโครเวฟ 1 ชั่วโมง แล้วดึงเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนำมาทดสอบทุก ๆ 3 วัน จนครบ 10 ครั้ง เห็นได้ว่าฟองยางมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและค่อนข้างคงที่เนื่องจากการดึงเก็บไว้ ณ สภาพะอุณหภูมิห้องนี้เซลล์ฟองยางไม่ได้ถูกกระทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปมากเหมือนกับการอบบ่มแรงด้วยตู้อบอากาศร้อน เช่นเดียวกันกับค่า Tensile strength (kPa) รูปที่ 20

สรุปผล

จากผลการวิจัยพบว่า ฟองยางธรรมชาติสามารถเกิดการวัลคาไนซ์ได้ในระดับหนึ่งที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามภายหลังจากวัลคาไนซ์หลักด้วยไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ฟองยางธรรมชาติเกิดการวัลคาไนซ์เกือบสมบูรณ์ ซึ่งการทำโพสวัลคาไนซ์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการอบแห้งนั้น ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในสมบัติด้าน tensile strength หรือ elongation at break ไม่ว่าจะเป็นการอบแห้งวิธีใด ๆ ก็ตาม แต่ทว่าสมบัติด้าน compression set และ durability test จะยังสามารถส่งผลให้เห็นความแตกต่างได้ โดยวิธีการอบแห้งแบบไมโครเวฟจะได้ฟองยางที่มีสมบัติดีกว่าเล็กน้อย สมบัติที่เปลี่ยนไปด้าน compression set ในระหว่างการอบแห้งนี้มีความสำคัญต่อรูปร่างภายนอกของฟองยางธรรมชาติขั้นสุดท้ายหลังจากการอบแห้งเป็นอย่างมาก

เมื่อทดสอบสมบัติขณะการจัดเก็บไม่พบว่ามีสมบัติเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามก็ตีพิมพ์การอบแห้งเกินระยะเวลาที่ฟองยางธรรมชาติแห้งสนิทจะทำให้สมบัติทางกายภาพของฟองยางตกลงอย่างมาก ดังนั้นการควบคุมเวลาในการอบแห้งฟองยางธรรมชาติจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ

ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าจะพบว่าฟองยางธรรมชาติจะสามารถวัลคาไนซ์ได้ในระดับหนึ่งในอุณหภูมิห้อง การวัลคาไนซ์แทบจะสิ้นสุดภายหลังจากวัลคาไนซ์หลัก มีเพียงสมบัติด้าน compression set และ durability test เท่านั้น ที่จะยังเกิดความแตกต่างเมื่อใช้ระบบอบแห้งที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามสมบัติ compression set นี้ น่าจะส่งผลโดยตรงต่อการเสียรูปในลักษณะการเกิดริ้วรอย หรือ เสียรูปทรงของฟองยางธรรมชาติในขั้นตอนอบแห้ง ซึ่งพบมาในอุตสาหกรรมในรูปของ รอยแครงตากฟองยาง เป็นต้น ดังนั้น การทำการวิจัยโดยเน้นการคงรูปหรือผิวดูของฟองยางธรรมชาติในขั้นตอนการอบแห้งจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการทำวิจัยขั้นตอนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Blackley, D.C.: "*Polymer Latices Science and Technology* ", 2nd ed. Vol. Vol. 3: Applications of latices. Chapman & Hall, Madras (1997).
- [2] Nasr, G.M. and A.S. Gomaa: "*The influence of physical ageing on the electrical and swelling behaviour of ternary rubber vulcanizates*", Polymer Degradation and Stability, 50:(1995), p. 249.
- [3] Ho, C.C. and M.C. Khew: "*Surface Morphology of Prevulcanized Natural Rubber Latex Films by Atomic Force Microscopy: New Insight into the Prevulcanization Mechanism*", Langmuir, 15:(1999), p. 6208.

- [4] Amir-Hashim, M.Y. and M.D. Morris: "*NR Latex Vulcanisation - Prevulcanisation and Post-vulcanisation of Dipped NR Latex Films*", *Journal of Rubber Research*, 2(2):(1999), p. 78.
- [5] Claramma, N.M. and N.M. Mathew: "*Effect of Temperature on Sulfur Prevulcanization of Natural Rubber Latex*":(1997), p.
- [6] Madge, E.W.: "*Latex Foam Rubber*". Maclaren & Son Ltd., London (1962).
- [7] Brown, R.: "*Physical Testing of Rubber*", 3rd ed., Chapman & Hall, Shrewsbury (1996).
- [8] บุญธรรม นิธิอุทัย: "การทดสอบยางและผลิตภัณฑ์". คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปัตตานี (2534).
- [9] เกียรติศักดิ์ สังข์แก้ว, สมบัติการยืดติดของกาวยางสกินเกรป, in ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. 2549, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: ปัตตานี.
- [10] นิตยา ไชยะ, วัสดุเจลยางธรรมชาติสำหรับหมอนรองศีรษะป้องกันแผลกดทับจากการผ่าตัด: การวัลคาไนซ์เจลยางที่อุณหภูมิต่ำ, in ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. 2549, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: ปัตตานี.
- [11] สมวงศ์ โสระโร, วัสดุเจลยางธรรมชาติสำหรับหมอนรองศีรษะป้องกันแผลกดทับจากการผ่าตัด, in ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. 2548, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: ปัตตานี.
- [12] อาปีตะ น้อยเอียด, การหาเวลาสุกของฟองยางธรรมชาติ, in ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. 2548, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: ปัตตานี.
- [13] Chaowanich, C. and N. Nithi-Uthai. *Effect of Maturation on Properties of Latex Compounds*. in *4th Thailand Materials Science and Technology Conference 2006*. 2006. Bangkok, Thailand.

ภาคผนวก

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

1. ควรใส่หมายเลขหน้าในรายงาน และตรวจสอบความถูกต้องการพิมพ์
2. ในบทคัดย่อควรมีความชัดเจนพอสมควร เช่นสรุป condition ของการอบแห้ง (องศา, เวลา, ...) ของ microwave, save ระยะเวลาเท่าไร, การใช้พลังงานประหยัดอย่างไร เป็นต้น อนึ่ง ควรจะมีเหตุผลอธิบาย “จากการทดสอบ compression set พบว่าฟองยาง NR สามารถวัลคาไนซ์ได้ที่อุณหภูมิห้อง” และ อุณหภูมิห้องนั้นได้มีการบันทึกหรือไม่ ควรจะระบุไว้ด้วย
3. รูปที่ 2 ที่ refer มาใช้ประกอบการอธิบายผลการทดลองเกี่ยวกับ compression set นั้น ไม่น่าจะไปกันได้ ควรหาเหตุผลที่เกี่ยวข้องจริง ๆ มาสนับสนุนผลการวิจัย
4. เนื่องจาก condition ของการอบฟองยางด้วย microwave นั้น เข้าใจว่าใช้ระยะเวลาเดียวคือ 1 ชั่วโมง (ซึ่งน่าจะมีการ vary ระยะเวลา) ดังนั้นการสรุปการอบด้วย microwave เพียง 1 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลานาน (18,12 ชั่วโมง) ต่าง ๆ กัน จึงไม่น่าเหมาะสม ควรมีเหตุผลสรุปการเปรียบเทียบในเรื่อง condition ต่างกันด้วย

คำชี้แจงต่อข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

1. แก้ไขเรียบร้อยแล้ว
2. แก้ไขเรียบร้อยแล้ว
3. แก้ไขเรียบร้อยแล้ว
4. กระบวนการอบแห้งที่เกิดขึ้นภายหลังกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำมีเป้าหมายเพื่อให้ฟองยางธรรมชาติที่เตรียมได้มีระดับความชื้นที่ต่ำ พร้อมทั้งจะทำการบรรจุหีบห่อ และสามารถทำการจัดเก็บได้เป็นระยะเวลานานโดยไม่มีความเสี่ยงเนื่องจากความชื้น เช่น เชื้อรา เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงแปรเวลาในการอบแห้งที่แตกต่างกันไปตามระบบวิธีในการอบแห้ง โดยมีเป้าหมายเดียวกันคืออบจนกระทั่งฟองยางธรรมชาติแห้งสนิท โดยการอบอากาศร้อนที่ 70 °C และ 90 °C จะใช้เวลาประมาณ 18 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ ในขณะที่ไมโครเวฟใช้เวลา 1 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ฟองยางที่ความหนาแน่นต่ำจะแห้งได้เร็วกว่า ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีความต้องการจำลองสภาวะจริงที่อาจเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม ที่ในหลายครั้งมีความจำเป็นที่จะต้องมีการอบแห้งฟองยางต่างความหนาแน่นร่วมกัน (เพิ่มเติมเหตุผลในเนื้อหาแล้ว)