



ผลพลอยได้จากข้าวสู่สารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ

By-Products from Rice as Fillers in Natural Rubber

ดาริญา มุลชัย¹

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอองค์ความรู้และงานวิจัยเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้จากข้าว 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ ชี้เถ้า แกลบ และรำสกัดน้ำมันมาใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ แกลบคือส่วนที่เป็นเปลือกแข็งหุ้มเมล็ดข้าว เมื่อนำไปเผาจะได้เป็นชี้เถ้าแกลบ ส่วนรำสกัดน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากขั้นตอนการสกัดเอาน้ำมันรำข้าวออกจากรำดิบ ซึ่งได้จากการสีข้าวกลั่นให้เป็นข้าวขาว โดยกล่าวถึงผลของผลพลอยได้จากข้าวแต่ละชนิดต่อสมบัติของยางธรรมชาติ ซึ่งสมบัติความเข้ากันได้กับยาง ขนาดอนุภาค และพื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวเติมเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง นอกจากนี้มีการเปรียบเทียบสมบัติของยางระหว่างใช้ผลพลอยได้จากข้าวเป็นสารตัวเติมกับสารตัวเติมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม

ABSTRACT

This article presents knowledge and research on three by-products from rice as fillers in natural rubber, including rice husk, rice husk ash and defatted rice bran. Rice husk is the outer layer of rice grain which is removed during rice processing. Rice husk ash is a by-product from the burning of rice husk. Rice bran is a major by-product obtained from the polishing process that produces white rice. Rice bran oil is extracted from rice bran, leaving defatted rice bran as by-product. The discussion focuses on the effects of by-products from rice on the properties of natural rubber vulcanisates. The properties of natural rubber vulcanisates are affected by the rubber-filler interaction, particle size and specific surface area of the fillers. In addition, the properties of by-product from rice-filled vulcanisates are also compared with traditional filler-filled vulcanisates.

¹หลักสูตรเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

คำสำคัญ: แกลบ ขี้เถ้าแกลบ รำสกัดน้ำมัน สารตัวเติม ยางธรรมชาติ

Keywords: Rice husk, Rice husk ash, Defatted rice bran, Fillers, Natural rubber

บทนำ

ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ผสมกับยางธรรมชาติ เช่น การใช้แป้งเส้นใยจากธรรมชาติ และผงขี้เถ้า ทั้งมีจุดประสงค์เพื่อเสริมแรงปรับปรุงสมบัติเชิงกลหรือเพื่อลดต้นทุนแทนสารตัวเติมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เนื่องจากวัสดุจากธรรมชาติดังกล่าวเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้ง่ายทางธรรมชาติ หาได้ง่าย และยังมีราคาถูก ตัวอย่างการนำวัสดุธรรมชาติมาผสมกับยางธรรมชาติ ได้แก่ Puprasert and Poonsawat (2005) ศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติผสมแป้งมันสำปะหลังจากน้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 30 เปอร์เซนต์ และเจลดแป้งมันสำปะหลัง โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าอัตราส่วนของยางต่อแป้งต่อกลีเซอรอลที่เหมาะสมคือ 70:30:5 ซึ่งให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด Carvalho et al. (2003) ผสมแป้งข้าวโพดกับน้ำยางธรรมชาติโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ปริมาณน้ำยางที่ให้อยู่ในช่วงร้อยละ 2.5-20 และใช้กลีเซอรอลร้อยละ 20-40 พบว่ายางธรรมชาติจะกระจายตัวอยู่ในแป้งที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ปริมาณยางที่ผสมถูกจำกัดโดยการเกิดการแยกตัวของวัฏภาค และยิ่งขึ้นกับปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้ นอกจากกลีเซอรอลจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์แล้วยังสามารถช่วยทำหน้าที่เป็นสารช่วยประสานได้ด้วย

ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ (2548) ได้นำผงขี้เถ้ายางพารามาเป็นตัวเสริมแรงและสารเพิ่มเนื้อใช้ร่วมกับยางธรรมชาติเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ถุงหลังคา ยางพารา โดยพบว่าที่ปริมาณผงขี้เถ้ายางพารา 40-80 ส่วนต่อยางหนึ่งร้อยละ มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้โดยผลิตภัณฑ์ยางจะอยู่ในรูปของยางแข็ง การใช้ผงขี้เถ้า

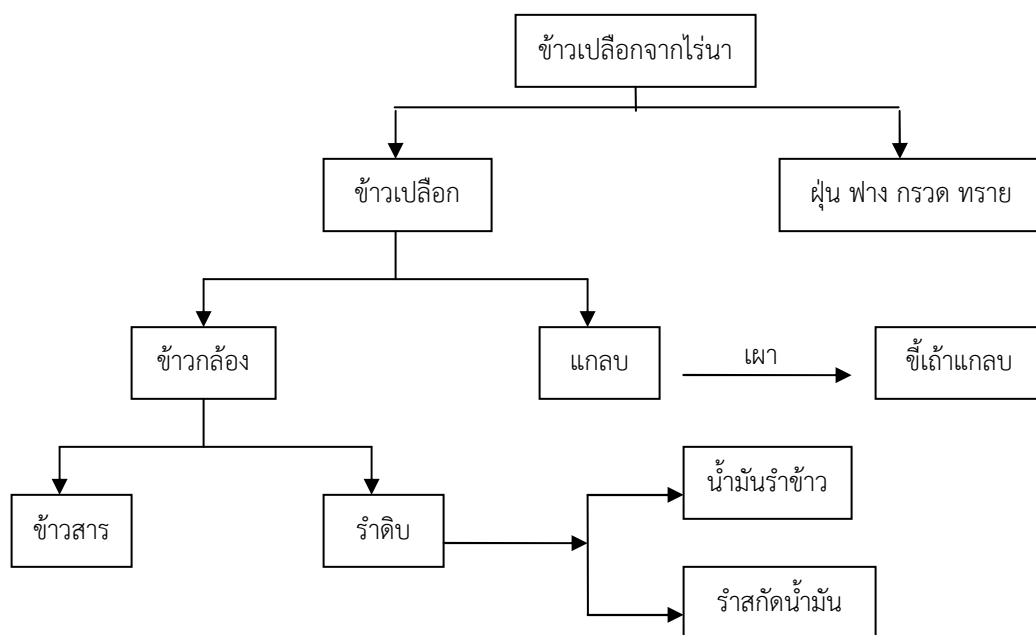
ไมยางพาราเป็นส่วนประกอบในหลังคา ยางพารา นอกจากจะลดต้นทุนแล้วยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งที่ผิวของผลิตภัณฑ์โดยรวม ผลิตภัณฑ์ยางผสมผงขี้เถ้าไมยางพาราที่ได้ยังมีสมบัติด้านความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่ากระเบื้องทั่วไป

Potiyaraj et al. (2001) ศึกษาการใช้เส้นใยผักตบชวาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่ใส่เส้นใยผักตบชวาจะสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใส่เส้นใยผักตบชวา ค่ามอดูลัสจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณและขนาดของเส้นใย แต่ความต้านทานแรงดึงและความต้านทานการสึกหรอจะลดลงเมื่อปริมาณและขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้น รัตน และคณะ (2553) ศึกษาการนำเส้นใยจากกาบมะพร้าวและทะเลลายปาล์มน้ำมันมาผสมกับยางธรรมชาติ ซึ่งกาบมะพร้าวและทะเลลายปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งเซลลูโลสจากธรรมชาติ และเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศไทย โดยกาบมะพร้าวได้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันมะพร้าวและกะทิ ส่วนทะเลลายปาล์มน้ำมันได้หลังจากการสกัดน้ำมัน เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันเพื่อบริโภคและการผลิตไบโอดีเซลสำหรับเป็นเชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่า เส้นใยดังกล่าวส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของยาง ได้แก่ มีค่ามอดูลัสที่ร้อยละ 300 เปอร์เซนต์ และมีความแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่ความต้านทานแรงดึงและความต้านทานการฉีกขาดลดลง ยางที่ผสมเส้นใยจากกาบมะพร้าวและทะเลลายปาล์มน้ำมันนั้นใช้เวลาในการคงรูปน้อยลง ซึ่งเป็นสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตที่ลดเวลาในการผลิตให้สั้นลง นอกจากนี้ยังมี Mohanty et al. (2006) ศึกษาการนำกากถั่วเหลืองมาผสมกับยางธรรมชาติ โดยผสม

ในอัตราส่วนต่อน้ำหนักเท่ากับ 70:50 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ เมื่อนำมาผสมกับยางธรรมชาติที่มีปริมาณการคงรูปไม่สูงมากซึ่งมีพันธะคู่ที่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้จากออกซิเจนและโอโซน ทำให้ขนาดโมเลกุลของยางเล็กลง และจุลินทรีย์สามารถเข้าไปย่อยสลายโมเลกุลของยางได้

นอกจากวัสดุจากธรรมชาติที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีวัสดุจากธรรมชาติที่เป็นผลพลอยได้จากผลผลิต

ทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทยนั้นคือข้าว ซึ่งข้าวจากประเทศไทยเป็นที่ยอมรับและนิยมกันมากทำให้ในแต่ละปีประเทศไทยมีปริมาณข้าวส่งออกเป็นจำนวนมาก ผลผลิตรวมของข้าวทั้งนาปีและนาปรังของประเทศไทย ตั้งแต่ปีเพาะปลูก 2544/45 ถึงปีเพาะปลูก 2553/54 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อมีผลผลิตข้าวเพิ่มอย่างต่อเนื่อง ผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตข้าวก็จะมีปริมาณมากขึ้น ในการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสารนั้น ทำให้เกิดผลพลอยได้ คือ แกลบ และรำดิบ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์จากข้าวเปลือก (ที่มา: อรอนงค์, 2547)

แกลบคือส่วนเปลือกแข็งหุ้มเมล็ดข้าว ได้จากกระบวนการกะเทาะเปลือกข้าวเปลือกให้เป็นข้าวกล้อง ในขั้นตอนการสีข้าวเปลือกจะได้แกลบในปริมาณค่อนข้างมาก เฉลี่ยในแต่ละปีจะมีปริมาณแกลบเหลือใช้ถึงปีละกว่า 7 ล้านตัน (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2554) โดยแกลบสามารถถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายลักษณะ เช่น เป็นเชื้อเพลิงในการให้

ความร้อนหม้อต้มไอน้ำ เพื่อนำไอน้ำไปใช้ในโรงสกัดน้ำมันรำ เครื่องอบข้าวเปลือก และผลิตไฟฟ้า แต่ยังมีแกลบอีกจำนวนมากที่ต้องนำไปกำจัด ซึ่งปัจจุบันใช้วิธีฝังกลบ องค์ประกอบทางเคมีของแกลบส่วนใหญ่คือเส้นใยหยาบ และมีแร่ธาตุหลักคือซิลิกา ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีราคาและมูลค่าสูง (ตารางที่ 1) แกลบเมื่อนำมาเผาจะได้เป็นขี้เถ้ามีลักษณะเป็นสีดำ ในขี้เถ้าแกลบมี

สารประกอบซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 94 (Khalf and Ward, 2010) นับเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่นับวันจะมีมากขึ้น และมีวัฏจักรการผลิตที่สั้น ปัจจุบันมีการนำซีเถ้ากลับมาใช้ เช่น นำไปบำรุงดิน และทำอิฐก่อสร้าง เป็นต้น

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแกลบ (ที่มา: อรอนงค์, 2547)

องค์ประกอบทางเคมีของแกลบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	7.6-10.2
โปรตีน	1.9-3.7
ไขมัน	0.3-0.8
เส้นใยหยาบ	35.0-46.0
คาร์โบไฮเดรตที่ใช้ประโยชน์ได้	26.5-29.8
เถ้า	13.2-21.0
ซิลิกา	18.8-22.3

สำหรับรำดิบนิยมนำไปสกัดเอาน้ำมันได้เป็นน้ำมันรำข้าว เนื่องจากน้ำมันรำข้าวเป็นที่นิยมนำมาบริโภค ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเสริม เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์สปา ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันรำข้าวเป็นแหล่งที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) สูงถึง 80-85 เปอร์เซ็นต์ (วิฑูรย์ และคณะ, 2545) และยังมีสารป้องกันการออกซิไดซ์ในปริมาณที่สูง จึงทำให้ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันจากรำข้าวได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งรำละเอียด 1,000 กิโลกรัม เมื่อนำมาสกัดน้ำมันจะได้น้ำมัน 135 กิโลกรัม ได้รำสกัดน้ำมัน 787 กิโลกรัม และสูญเสียไปในรูปของความชื้น 78 กิโลกรัม

ด้วยเหตุนี้ในกระบวนการสกัดน้ำมันจากรำข้าว จึงได้รำสกัดน้ำมันจำนวนมาก เมื่อปริมาณการใช้น้ำมันรำข้าวมากขึ้น ยิ่งทำให้มีปริมาณรำสกัดน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น ปัจจุบันมีการนำรำสกัดน้ำมันมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์แต่ไม่เป็นที่นิยมเท่าการใช้รำดิบ เนื่องจากรำสกัดน้ำมันให้ระดับพลังงาน (1,890 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) ต่ำกว่ารำดิบ (2,710 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) (วิฑูรย์ และคณะ, 2545) รำสกัดน้ำมันประกอบด้วยไขมันน้อยมาก ทำให้สามารถเก็บได้นาน ลดปัญหาการเหม็นหืน และมีเส้นใยอาหารในปริมาณค่อนข้างสูง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างรำข้าวเจ้าสกัดน้ำมัน (ที่มา: อรอนงค์, 2547)

องค์ประกอบทางเคมี/100 กรัม	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	9.29
โปรตีน	16.87
ไขมัน	0.44
เถ้า	12.33
เส้นใยอาหาร	36.74
คาร์โบไฮเดรต	23.7

ผลพลอยได้จากข้าวที่ได้กล่าวก้าวมาข้างต้นมีปริมาณมากและมีองค์ประกอบที่สามารถใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติได้ บทความนี้จะรวบรวมงานวิจัยที่นำแกลบ ขี้เถ้าแกลบ และรำสกัดน้ำมันมาใช้เป็นสารตัวเติมในยาง

สารตัวเติมสำหรับอุตสาหกรรมยาง

สารตัวเติมคือองค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เพื่อเสริมแรงให้ยางมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น เพื่อทำให้ยางคอมปาวด์มีสมบัติเฉพาะที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต หรือเพื่อลดต้นทุน เป็นต้น สารตัวเติมที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามประสิทธิภาพของการเสริมแรง คือสารตัวเติมเสริมแรง (reinforcing fillers) และสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรงหรือที่เรียกว่าสารตัวเติมเฉื่อย (non-reinforcing fillers) หรืออาจแบ่งตามสีของสารตัวเติมได้เป็น 2 กลุ่มเช่นกัน ได้แก่ ผงเขม่าดำ และสารตัวเติมสีอ่อน สารตัวเติมที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมยาง เช่น เขม่าดำ ซิลิกา ดินขาว และแคลเซียมคาร์บอเนต (พงษ์ธร, 2548)

เขม่าดำ (carbon black)

ผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติมเสริมแรงที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมยาง องค์ประกอบหลัก คือธาตุคาร์บอน โดยปกติ เขม่าดำที่มีขนาดอนุภาคเล็กหรือมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง แม้ว่าจะให้การเสริมแรงที่ดี แต่ก็จะทำให้ยางมีกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากเพราะความหนืดของยางคอมปาวด์จะสูงมาก ยางคงรูปที่ได้จะมีค่ามอดูลัสและความแข็งแรงสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึง หรือความต้านทานต่อการฉีกขาดมากนัก

ซิลิกา (silica)

ซิลิกาเป็นสารตัวเติมสีอ่อนที่สามารถใช้เสริมแรงในยางได้ดี เพราะมีขนาดอนุภาคเล็ก เมื่อเติม

ลงไปในยางจะทำให้ยางคงรูปมีความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความแข็งแรง และความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเขม่าดำที่มีพื้นที่ผิวเท่ากันแล้ว ซิลิกาจะให้ยางคงรูปที่มีสมบัติเชิงกลด้อยกว่าเขม่าดำโดยเฉพาะค่ามอดูลัส และค่าความต้านทานต่อการขัดถู อย่างไรก็ตามซิลิกาจะให้สมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีกว่าเขม่าดำเล็กน้อย เพราะซิลิกาจะไม่นำไฟฟ้าในขณะที่เขม่าดำนำไฟฟ้าได้ดี

ดินขาว (clay)

ดินขาวเป็นสารตัวเติมที่นิยมใช้กันมากที่สุดรองจากเขม่าดำ เพราะมีราคาถูก หาได้ง่าย มีคุณภาพค่อนข้างสม่ำเสมอ ให้การเสริมแรงในยางได้เล็กน้อยถึงปานกลาง และทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้ง่าย โดยเฉพาะในกระบวนการอัดผ่านด้าย และการรีดด้วยเครื่องคาลเลนเดอร์

แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

แคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางมีหลายเกรดและหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดอนุภาคใหญ่ที่ไม่เสริมแรงในยาง จนถึงเกรดที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่จัดเป็นสารตัวเติมกึ่งเสริมแรง การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตจะทำให้ความแข็งแรงของยางเพิ่มขึ้นปานกลาง ยางยังมีสมบัติการกระด้างกระดอนสูง แต่ทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง

การใช้แกลบเป็นสารตัวเติมในยาง

แกลบ (rice husk) มีส่วนประกอบของเส้นใยต่าง ๆ หลายชนิด ได้แก่ เซลลูโลส 35% เฮมิเซลลูโลส 25% ลิกนิน 20% เถ้า 17% ซึ่งในส่วนของเถ้านี้มีซิลิกายู่ถึง 94% และความชื้น 3% โดยน้ำหนัก (Khalf and Ward, 2010) ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้แกลบเป็นสารตัวเติมในยางเช่น Sarkawi and Aziz (2003)

ได้ศึกษาการใช้แกลบที่ยังไม่เผามาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยผสมเข้ากับยางและสารเคมีในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) แกลบที่ใช้ถูกบดและร่อน มีขนาดเท่ากับ 180 ไมโครเมตร และทำการเปรียบเทียบสมบัติของยางที่ใช้แกลบเป็นสารตัวเติมกับยางที่ใช้สารตัวเติมเสริมแรงที่นิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม ได้แก่ ซิลิกา (ultrasil VN3) และเขม่าดำ (CB N330) จากการศึกษาพบว่าแกลบขนาด 180 ไมโครเมตร ให้ยางคงรูปที่มีสมบัติการกระด้างกระดอนและสมบัติการเสียรูปหลังการกดอัดดีกว่าซิลิกา (ตารางที่ 3) นอกจากนี้ยางที่ใช้แกลบเป็นสารตัวเติมมีความแข็งแรง และมีความยืดหยุ่นมากกว่ายางที่ใช้ซิลิกาเป็น

สารตัวเติม สังเกตได้จากค่าการกระด้างกระดอนที่ยางผสมแกลบมีค่ามากกว่า แต่อย่างไรก็ตามยางที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีสมบัติความต้านทานแรงดึง และความต้านทานการฉีกขาดดีกว่ายางที่ใช้แกลบเป็นสารตัวเติม เมื่อเปรียบเทียบกับเขม่าดำ พบว่าแกลบให้ยางคงรูปมีค่าการกระด้างกระดอนสูงกว่า และมีค่าการเสียรูปหลังการกดอัดพอ ๆ กับการใช้เขม่าดำ แต่เขม่าดำให้ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานการฉีกขาดที่ดีกว่า ข้อดีของการใช้แกลบเป็นสารตัวเติมคือ จะได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีความยืดหยุ่น และสามารถกลับสู่รูปร่างเดิมได้ดี ซึ่งแสดงจากค่าระยะยืดที่จุดขาด ค่าการกระด้างกระดอน และค่าการเสียรูปหลังการกดอัด

ตารางที่ 3 แสดงเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางคงรูปที่ใช้แกลบ (rice husk) 180 ไมโครเมตร ซิลิกา (silica) และเขม่าดำ (carbon black) เป็นสารตัวเติมที่ปริมาณ 50 ส่วนต่อยางหนึ่งร้อยส่วน (phr) (ที่มา: Sarkawi and Aziz, 2003)

สมบัติ	แกลบ (180 ไมโครเมตร)	ซิลิกา (Ultrasil VN3)	เขม่าดำ (CB N330)
ความต้านทานแรงดึง (เมกะปาสคาล)	10.1	12.9	24.8
ระยะยืดที่จุดขาด (เปอร์เซ็นต์)	650	560	460
ความต้านทานการฉีกขาด (นิวตันต่อมิลลิเมตร)	6	7	11
ความแข็ง (หน่วย IRHD [*])	64	79	76
การกระด้างกระดอน (เปอร์เซ็นต์)	74	55	56
ค่าการเสียรูปหลังการกดอัด (เปอร์เซ็นต์)	47	80	47

*IRHD = international rubber hardness degree

Srisuwan et al. (2012) ศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบจากยางธรรมชาติผสมแกลบที่มีขนาดระหว่าง 150-300 ไมโครเมตร โดยแปรปริมาณแกลบที่ 10 20 30 40 และ 50 ส่วนในยางหนึ่งร้อยส่วน (part per hundred of rubber, phr) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแกลบทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มีผลทำให้ระดับการเชื่อมขวาง (degree of crosslinking) ลดลงเนื่องจากในแกลบมีส่วนประกอบของซิลิกา

(ตารางที่ 1) ซึ่งบนพื้นผิวของซิลิกามีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่ พื้นผิวของซิลิกาจึงมีความว่องไวสูง สามารถดูดซับสารเร่งปฏิกิริยาครบได้ (พงษ์ธร, 2548) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแกลบจึงส่งผลให้สารตัวเร่งถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของซิลิกามากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการคงรูปลดลง ดังนั้นระดับการเชื่อมขวางจึงลดลง สำหรับผลทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าความต้านทานแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด และระยะยืดที่จุดขาดลดลง

จากผลการศึกษาี้แสดงว่าแกลบที่ใช้ไม่สามารถเสริมแรงให้กับยางธรรมชาติได้ เนื่องจากสมบัติส่วนใหญ่ของยางธรรมชาติผสมแกลบมีค่าลดลง เป็นผลมาจากแกลบที่ใช้มีขนาดอนุภาคไม่เล็กพอที่จะใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงได้ เนื่องจากขนาดอนุภาคเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเสริมแรงของสารตัวเติม ในงานวิจัยของ Sarkawi and Aziz (2003) นอกจากศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของยางที่ใช้แกลบเป็นสารตัวเติมกับยางที่ใช้สารตัวเติมเสริมแรง ได้แก่ ซิลิกา (ultrasil VN3) และเซมาต้า (CB N330) แล้วยังได้ศึกษาผลของขนาดอนุภาคแกลบต่อสมบัติของยางธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้แกลบขนาด 180 และ 300 ไมโครเมตร พบว่ายางธรรมชาติที่ผสมกับแกลบขนาด 180 ไมโครเมตร ให้สมบัติความต้านทานแรงดึง ระยะยืดที่จุดขาด และความต้านทานการสึกหรอดีกว่าเนื่องจากสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยของน้ำหนักสูง จึงทำให้พื้นที่ที่จะเกิดแรงกระทำระหว่างยางกับสารตัวเติมสูง (พงษ์ธร, 2548) โดยที่สารตัวเติมเสริมแรงที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ เซมาต้า และซิลิกา ส่วนมากจะมีขนาดอนุภาคอยู่ในระดับนาโนเมตร

การใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในยาง

ขี้เถ้าแกลบ (rice husk ash) นิยมนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางมากกว่าแกลบเนื่องมาจากขี้เถ้าแกลบได้จากการนำแกลบมาเผาทำให้ส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา ซึ่งสามารถเสริมแรงได้ดีกว่าตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาการใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในยาง เช่น Chuayjuljit et al. (2001) ได้ทดลองนำผงซิลิกาที่ได้จากการเผาแกลบไปใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบกับการใช้ซิลิกาทางการค้า (precipitated silica) โดยไม่มีการใช้สารเพิ่ม

อันตรายระหว่างยางกับซิลิกา ปริมาณซิลิกาที่ใช้อยู่ที่ 40 phr งานวิจัยนี้ได้นำแกลบที่ล้างด้วยน้ำแล้วไปทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.4 โมลาร์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จนได้เถ้าสีขาว ซึ่งมีซิลิกาสูงถึงร้อยละ 99.6 (ตารางที่ 4) จากนั้นนำเถ้าซิลิกาที่ได้ไปบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดแบบใช้กำลังลม เมื่อนำซิลิกาที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี พบว่านอกจากจะมีปริมาณซิลิกาและพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าซิลิกาทางการค้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางแล้วยังมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าด้วย เมื่อนำผงซิลิกาที่เตรียมจากการเผาแกลบไปผสมกับยางธรรมชาติและทดสอบสมบัติการคงรูปของยางด้วยเครื่องวัดการไหลแบบออสซิลเลตติงดิสก์ (oscillating disk rheometer) เทียบกับยางธรรมชาติสูตรที่ใช้ซิลิกาทางการค้าพบว่ายางธรรมชาติสูตรที่ใช้ซิลิกาจากการเผาแกลบใช้เวลาในการคงรูปสั้นกว่า Chuayjuljit et al. (2001) อธิบายว่าสาเหตุที่ซิลิกาจากการเผาแกลบให้เวลาในการคงรูปสั้นกว่าเนื่องจากซิลิกาทางการค้าที่ใช้เป็นชนิดฟริชฟิเทตซิลิกาซึ่งมีพื้นที่ผิวที่ว่องไวกว่า สามารถดูดซับสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปได้มากกว่า ส่งผลให้เกิดการหน่วงปฏิกิริยาการคงรูปขึ้น ทำให้ยางต้องใช้เวลาในการคงรูปนานกว่าการใช้ซิลิกาจากการเผาแกลบ นอกจากนี้จากตารางที่ 4 พบว่าซิลิกาทางการค้ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 7.50 ขณะที่ซิลิกาจากการเผาแกลบมีเพียงร้อยละ 0.60 ซึ่งปริมาณความชื้นในซิลิกาสูงจะส่งผลให้ซิลิกามีการแตกตัวและกระจายตัวในยางได้ยากขึ้นเล็กน้อย และเวลาที่ใช้ในการคงรูปยางด้วยระบบกัมมะถันจะยาวขึ้น เพราะซิลิกาที่อึดตัวด้วยน้ำจะหน่วงปฏิกิริยาการคงรูป (พงษ์ธร, 2548) สำหรับผลการทดสอบเชิงกลพบว่า ยางธรรมชาติสูตรที่ใช้ซิลิกาจากการเผาแกลบให้ค่าความต้านทานแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด ความ

ด้านทานการสึกหรอ การคืบตัว และการกระด้าง กระดองดีกว่า แต่มีความแข็งต่ำกว่าที่ใช้ซิลิกาทางการค้า สาเหตุที่ยางสูตรที่ใช้ซิลิกาจากการเผาเถ้าให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่ายางสูตรที่ใช้ซิลิกาทางการค้า

เนื่องจากซิลิกาที่ได้มาจากการเผาเถ้ามีพื้นที่ผิวจำเพาะที่มากกว่า (ตารางที่ 4) ซึ่งหมายถึงการมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า จึงมีผิวสัมผัสระหว่างยางและสารตัวเติมที่มากกว่าส่งผลให้มีการเสริมแรงที่ดีกว่าด้วย

ตารางที่ 4 สมบัติกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาจากการเผาเถ้าเปรียบเทียบกับซิลิกาทางการค้า (พรีซิพิเตตซิลิกา) (ที่มา: Chuayjuljit et al., 2001)

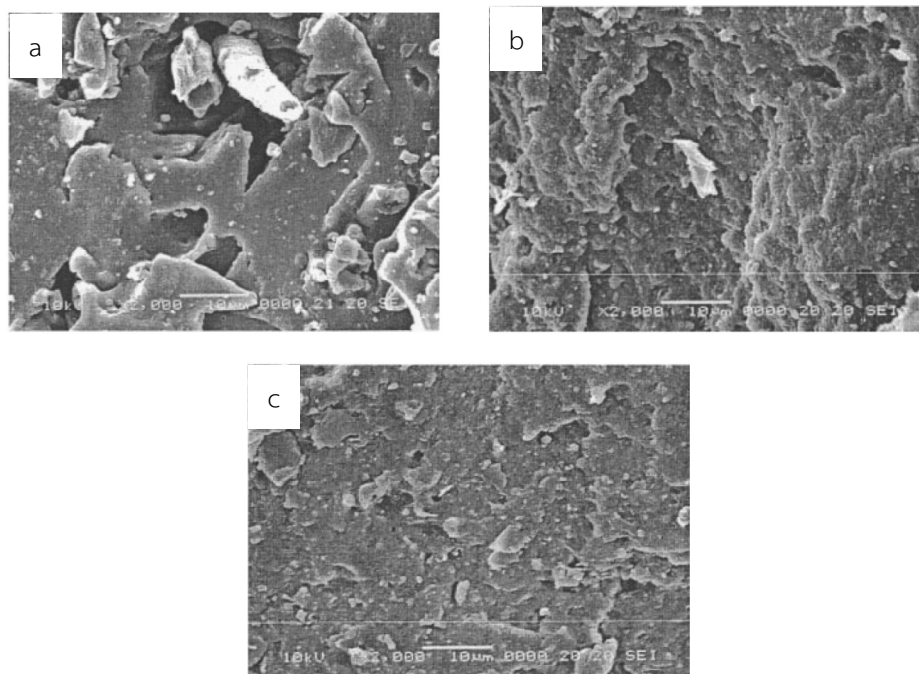
สมบัติ	พรีซิพิเตตซิลิกา	ซิลิกาจากการเผาเถ้า
สมบัติกายภาพ		
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางมิลลิเมตรต่อกรัม)	170	182
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	7.50	0.60
ความหนาแน่น (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)	1.95	2.20
การดูดซับน้ำมัน (กรัมต่อกรัม)	1.90	1.92
องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)		
SiO ₂	>88	99.6
Al ₂ O ₃	<0.5	0.05
Fe ₂ O ₃	<0.1	<0.001
Na ₂ O ₄	<2.0	-

Arayapranee et al. (2005) ศึกษาการใช้ซีเถ้าเถ้าเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมยาง โดยศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยางที่ใช้

ซีเถ้าเถ้าเป็นสารตัวเติม เปรียบเทียบกับยางที่ใช้ซิลิกาทางการค้า และเขม่าดำเป็นสารตัวเติม แปรปริมาณสารตัวเติมในช่วง 0-40 phr

ตารางที่ 5 แสดงสมบัติทางกายภาพของซีเถ้าเถ้า ซิลิกาและเขม่าดำ (ที่มา: Arayapranee et al., 2005)

สารตัวเติม	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางมิลลิเมตรต่อกรัม)
ซีเถ้าเถ้า	36.6	68
ซิลิกา	18	165
เขม่าดำ	20.2	84



รูปที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสม (a) ชี้เล้าแกลบ (b) ซิลิกา (c) เขม่าดำ ที่ปริมาณสารตัวเติม 20 phr (ที่มา: Arayapranee et al., 2005)

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่าชี้เล้าแกลบที่ใช้มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับสารตัวเติมตัวอื่น และมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยที่สุด จึงส่งผลให้การกระจายตัวในยางไม่ดี มีการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน และเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างเฟสของยางกับชี้เล้าแกลบ แสดงถึงความเข้ากันได้น้อยระหว่างยางกับชี้เล้าแกลบ (รูปที่ 2) เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าการใช้ชี้เล้าแกลบเป็นสารตัวเติมทำให้ยางแข็งขึ้น แต่ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานการฉีกขาดลดลง ส่วนค่ามอดูลัสและค่าการสึกหรอไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ซิลิกาและเขม่าดำ พบว่าซิลิกาและเขม่าดำให้สมบัติเชิงกลส่วนใหญ่มากกว่า (ขนาดอนุภาคเล็กกว่า) แต่อย่างไรก็ตามชี้เล้าแกลบกลับให้ค่าการกระด้างกระดองดีกว่าการใช้ซิลิกาและเขม่าดำ เนื่องจากสารตัวเติมที่มีขนาดใหญ่มักจะให้

ค่าการกระด้างกระดองดีกว่าสารตัวเติมขนาดเล็ก (บุญธรรม และคณะ, 2530) ดังนั้นจากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่ายางผสมชี้เล้าแกลบเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติการกระด้างกระดองที่ดี แต่ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติอื่น เช่น ความต้านทานแรงดึง และความต้านทานการฉีกขาด เป็นต้น

จากรายงานการวิจัยที่ใช้ชี้เล้าแกลบเป็นสารตัวเติมในยางดังได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าความสามารถในการปรับปรุงสมบัติ หรือความสามารถในการเสริมแรงให้กับยางขึ้นอยู่กับสมบัติกายภาพของชี้เล้าแกลบ ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ และขนาดอนุภาค ถ้าสามารถเตรียมชี้เล้าแกลบพื้นที่ผิวจำเพาะสูง หรือขนาดเล็ก ดังเช่นงานวิจัยของ Chuayjuljit et al. (2001) ก็สามารถปรับปรุงสมบัติของยางได้ และยังให้สมบัติที่ดีกว่าการใช้ซิลิกาทางการค้าอีกด้วย

การใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในยาง

ปริญญา และคณะ (2552) ศึกษาการใช้รำสกัดน้ำมัน (defatted rice bran) เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติโดยนำรำสกัดน้ำมันมาผ่านตะแกรงขนาด 150 เมช (100-106 ไมโครเมตร) และอบจนแห้งก่อนนำไปผสมในยางธรรมชาติที่ปริมาณ 50 phr และ

เปรียบเทียบกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และดินขาว (clay) เป็นสารตัวเติม ผลการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวเติมทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 6 พบว่าดินขาวมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด ส่วนรำสกัดน้ำมันมีพื้นที่ผิวจำเพาะใกล้เคียงกับแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 6 พื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวเติมต่าง ๆ (ที่มา: ปริญญา และคณะ, 2552)

สารตัวเติม	พื้นที่ผิวจำเพาะ
	(ตารางมิลลิเมตรต่อกรัม)
รำสกัดน้ำมัน	4.63
ดินขาว	5.83
แคลเซียมคาร์บอเนต	4.46

ตารางที่ 7 สมบัติของยางธรรมชาติผสมสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณการผสม 50 phr (ที่มา: ปริญญา และคณะ, 2552)

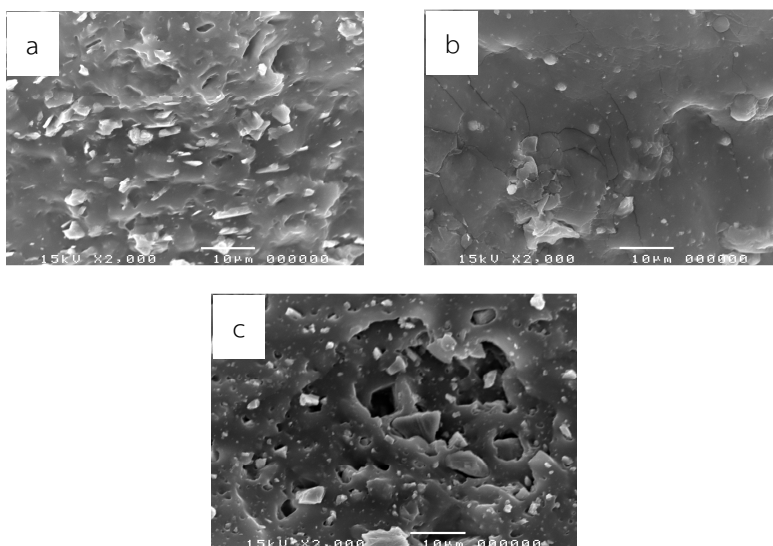
สมบัติเชิงกล	สารตัวเติม			
	No filler	รำสกัดน้ำมัน	ดินขาว	แคลเซียมคาร์บอเนต
ความต้านทานแรงดึง (เมกกะปาสคาล)	20.09±1.29	7.09±0.13	17.50±0.53	4.39±0.72
ระยะยืดที่จุดขาด (เปอร์เซ็นต์)	559±71	500±28	594±1	360±29
100% มอดูลัส (เมกกะปาสคาล)	0.97±0.07	1.85±0.14	1.80±0.53	1.44±0.15
ความแข็ง (ชอร์เอ)	41.30±3.73	54.97±0.91	48.39±1.23	51.25±2.84
ความต้านทานการฉีกขาด (นิวตันต่อมิลลิเมตร)	39.97±1.17	28.44±3.59	32.25±0.64	23.83±3.01
ปริมาตรที่หายไป (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)	66.27±12.08	38.05±5.35	51.08±4.95	50.92±5.07
การกระด้างกระดอน (เปอร์เซ็นต์)	78.77±2.64	69.15±2.19	71.85±2.33	76.50±1.41
ค่าการเสียรูปหลังการกดอัด (เปอร์เซ็นต์)	6.02±0.90	7.44±0.49	22.48±1.60	14.49±1.82

ตารางที่ 7 แสดงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติผสมรำสกัดน้ำมันเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติผสมดินขาว และแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าการเติมสารตัวเติมทั้ง 3 ในยางทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง โดยยางที่ผสมดินขาวจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาดดีที่สุด รองลงมา

คือยางผสมรำสกัดน้ำมัน และแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากดินขาวมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด ทำให้มีพื้นที่ที่เกิดแรงกระทำระหว่างยางกับสารตัวเติมสูงกว่าการใช้สารตัวเติมชนิดอื่น ส่วนยางที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าระยะยืดที่จุดขาดลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าแคลเซียมคาร์บอเนต

มีขนาดอนุภาคใหญ่ และจากโครงสร้างพื้นฐานของยางธรรมชาติผสมสารตัวเติมต่าง ๆ (รูปที่ 3) จะเห็นว่าแคลเซียมคาร์บอเนตเข้ากับยางได้ดี เกิดเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างเฟสของยางธรรมชาติกับสารตัวเติม จึงเป็นสาเหตุทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาดของยางต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างพื้นฐานของยางธรรมชาติผสมร่าสกัตน้ำมัน กับยางธรรมชาติผสมดินขาว พบว่าการกระจายตัวของร่าสกัต

น้ำมันในยางธรรมชาติไม่ดีเท่ากับการใช้ดินขาว เนื่องจากยังพบการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของร่าสกัตน้ำมัน ขณะที่การกระจายตัวของดินขาวในยางธรรมชาติเกิดได้ดีกว่า แสดงว่าดินขาวมีความเข้ากับยางธรรมชาติได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงที่พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้ดินขาวเป็นสารตัวเติมมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าการใช้สารตัวเติมชนิดอื่น



รูปที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสม (a) ร่าสกัตน้ำมัน (b) ดินขาว (c) แคลเซียมคาร์บอเนต ที่ปริมาณสารตัวเติม 50 phr (ที่มา: ดริญญา และคณะ, 2552)

สำหรับผลของชนิดสารตัวเติมต่อค่ามอดูลัสและความแข็ง (ตารางที่ 7) พบว่าการเติมสารตัวเติมทำให้ยางผสมมีค่าทั้งสองเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ยางผสมร่าสกัตน้ำมันให้ค่ามอดูลัสและความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือยางผสมแคลเซียมคาร์บอเนต และดินขาวตามลำดับ ในขณะที่การเติมสารตัวเติมมีผลทำให้ยางมีค่าความต้านทานการฉีกขาดลดลง โดยที่ยางผสมดินขาวจะให้ค่าความต้านทานการฉีกขาดมากที่สุด รองลงมาคือยางผสมร่าสกัตน้ำมัน และแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ในทางกลับกันการเติมสารตัวเติมทั้งสามชนิดมีผลทำให้

ความต้านทานการสึกหรอของยางธรรมชาติดีขึ้นสังเกตจากค่าการสึกหรอซึ่งแสดงเป็นปริมาตรที่สูญหายไปในการทดสอบการสึกหรอ (ตารางที่ 7) มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมสารตัวเติม โดยที่ยางผสมร่าสกัตน้ำมันมีปริมาตรที่หายไปน้อยที่สุด หรือกล่าวได้ว่า ยางผสมร่าสกัตน้ำมันมีค่าความต้านทานการสึกหรอดีที่สุด ส่วนผลของสารตัวเติมต่อการกระด้างกระดอนพบว่าการเติมสารตัวเติมส่งผลให้ค่าการกระด้างกระดอนของยางลดลง โดยที่ยางผสมแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าการกระด้างกระดอนตัวดีที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปสารตัวเติมที่มี

ขนาดใหญ่จะให้ค่าการกระเด็นกระดอนตัวสูงกว่าการใช้สารตัวเติมที่มีอนุภาคเล็ก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองดังกล่าว เนื่องมาจากผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะในตารางที่ 6 ที่แสดงว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด และผลของสารตัวเติมต่อค่าการเสีรูลงหลังจากการกดอัดพบว่า ยางผสมดินขาวมีค่าการเสีรูลงหลังจากการกดอัดมากที่สุดรองลงมา คือ รำสกัดน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับยางธรรมชาติที่ไม่ผสมสารตัวเติม แสดงว่ายางผสมรำสกัดน้ำมันสามารถรักษาสสมบัติการคืนตัวหลังการกดอัดไว้ได้ดีกว่าการใช้ดินขาว และแคลเซียมคาร์บอเนต

สรุป

จากงานวิจัยที่ได้อ้างถึงในบทความนี้พบว่า แกลบสามารถใช้เป็นสารตัวเติมในยางได้ ในกรณีไม่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการเสริมแรง สังเกตจากค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานการฉีกขาด ที่มีค่าต่ำ สำหรับซีเมนต์แกลบเป็นได้ทั้งสารตัวเติมเสริมแรงและไม่เสริมแรงขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค ถ้ามีขนาดอนุภาคเล็กก็สามารถเสริมแรงได้ดีกว่าสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ส่วนรำสกัดน้ำมันสามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรงในยางธรรมชาติ เมื่อนำรำสกัดน้ำมันไปเปรียบเทียบกับดินขาว และแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารตัวเติมลดต้นทุนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง พบว่ายางผสมรำสกัดน้ำมันมีสมบัติความต้านทานการสึกหรอ ความแข็ง และมอดูลัสดีกว่า นอกจากนี้ยังมีการเสีรูลงหลังจากการกดอัดน้อยกว่าด้วย ผลพลอยได้จากข้าวที่เป็นอาหารหลักของคนไทย และเป็นสินค้าเกษตรที่ส่งออกมากเป็นอันดับหนึ่งของไทย อันได้แก่ แกลบ ซีเมนต์แกลบ และรำสกัดน้ำมันสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารตัวเติมในยางได้ แต่ในการเลือกใช้ต้องคำนึงถึงสมบัติของยางที่

ต้องการด้วยเพราะการใช้สารตัวเติมดังกล่าวส่งผลให้สมบัติบางอย่างของยางด้อยลงได้ การนำวัสดุทั้งสามมาใช้ผสมกับยางสามารถลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางได้ และสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุดังกล่าวด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ผู้เขียนใช้ผลงานอ้างอิงในการเขียนบทความนี้ และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนผู้เขียนในการทำวิจัยในส่วนของ การใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในยาง

เอกสารอ้างอิง

- ปริญญา มูลชัย ญัฐพงษ์ หมอยาดี และ นิพนธ์ ภูสวดแสง. (2552). การศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติผสมรำสกัดน้ำมัน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ชุดโครงการ โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ จักริน พรหมจิรสุข เสกสรร อินทร์ฤทธิ์ เอกชัย วิมลมาลา และ ชัชวาลย์ กันทะลา. (2548). การผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์หลังคายางธรรมชาติและไม้พืชีชาผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา. เอกสารประกอบการนำเสนอบทความวิชาการผลงานวิจัยยางพารา การประชุมวิชาการ “พืชายไทยให้ยั่งยืน” โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). 53-60.
- บุญธรรม นิธิอุทัย พรพรรณ นิธิอุทัย และ ปรีชา ป้องภัย. (2530). สารเคมีสำหรับยาง และเทคนิคการออกสูตรยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 62.
- พงษ์ธร แซ่ฮุย. (2548). สารเคมียาง. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). 71-72.
- รัตนา ดันตเทติธรรม วุฒินันท์ คงทัด และ กล้านรงค์ ศรีรอด. (2553). การศึกษาการเตรียมและสมบัติของวัสดุคอม

- โพลีเอทิลีนของยางธรรมชาติกับเส้นใยจากมะพร้าวและ
ปาล์มน้ำมัน. เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: สาขาอุตสาหกรรม
เกษตร. ครั้งที่ 48. 523-529.
- วิฑูรย์ โมฬี เณิมชัย หอมตา และ เมธา ทองสุก. (2545). ผล
ของการใช้รำสกัดน้ำมันในอาหารต่อสมรรถภาพการ
ผลิตของไก่เนื้อ. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 9: 190-
196.
- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. (2554). แกลบ
วัสดุเหลือใช้ที่ไม่ไร้ประโยชน์. เข้าถึงได้จาก
[http://wqm.pcd.go.th/km/images/stories/agri-
culture/chaff.pdf](http://wqm.pcd.go.th/km/images/stories/agriculture/chaff.pdf).
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
312-323.
- Arayaprane, W., Na-Ranong, N. and Rempel, G.L.
(2005). Application of rice husk ash as fillers
in the natural rubber industry. J. Appl.
Polym. Sci. 98: 34-41.
- Carvalho, A.J.F., Job, A.E., Alves, N., Curvelo, A.A.S. and
Gandini, A. (2003). Thermoplastic starch/natural
rubber blends. Carbohydr. Polym. 53: 95-99.
- Chuayjuljit, S., Eiumnoh, S. and Potiyaraj, P. (2001).
Using silica from rice husk as a reinforcing
filler in natural rubber. J. Sci. Res. Chula.
Univ. 26 (2): 127-138.
- Khalf, A.I. and Ward, A.A. (2010). Use of rice husks as
potential filler in styrene butadiene
rubber/linear low density polyethylene
blends in the presence of maleic anhydride.
Mater. Design. 31: 2414-2421.
- Mohanty, A.K., Wu, Q. and Selke, S. (2005). Novel
'green' materials from soy meal and natural
rubber blends. US Patent 2006/0041036 A1.
- Potiyaraj, P., Panchaichech, P. and Chuayjuljit, S. (2001).
Using water-hyacinth fiber as a filler in
natural rubber. J. Sci. Res. Chula. Univ. 26
(1): 17-19.
- Puprasert, C. and Poonsawat, C. (2005). Physical and
mechanical properties polymer blends of
natural rubber and cassava starch. 31st
Congress on Science and Technology of
Thailand, Suranaree University of
Technology, Thailand.
- Sarkawi, S.S. and Aziz, Y. (2003). Ground rice husk as
filler in rubber compounding. Jurnal
teknologi. 39(A): 135-148.
- Srisuwan, L., Jarukumjorn, K. and Suppakarn, N. (2012).
Physical properties of rice husk fiber/natural
rubber composites. Adv. Mat. Res. 410: 90-
93.

