



การเปรียบเทียบสารตัวเติมจากตะกอนน้ำมันปาล์มและเขม่าดำในผลิตภัณฑ์ยาง ธเนศ รัตนวิไล^{a,*} สุกฤทธิรา รัตนวิไล^b และ วันทนีย์ สุขวนิช^a

The Comparison of Filler Palm Oil Sludge and Carbon Black in Rubber Product Thanate Ratanawilai^{a,*}, Sukritthira Ratanawilai^b and Wantanee Sukawanich^a

^aภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

^bภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

^aDepartment of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112

^bDepartment of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112

*Corresponding Author. E-mail address: thanate.r@psu.ac.th

Received 13 September 2011; accepted 2 February 2012

บทคัดย่อ

น้ำมันปาล์มนอกจากใช้เป็นน้ำมันพืชเพื่อการบริโภคแล้ว ยังใช้เป็นตัวเติมในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกหลายประเภท เช่น ไบโอดีเซล สบู่ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป นมข้นหวาน เนยเทียม เป็นต้น ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลากหลายชนิด รวมทั้งกากตะกอนน้ำมันปาล์มซึ่งมีน้ำมันหลงเหลืออยู่ทำให้มีแนวโน้มในการนำไปใช้เป็นพลาสติกไฮดรอกซีเพื่อให้น้ำมันนี้ไม่เกิดการปนเปื้อนกับสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำกากตะกอนน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นสารตัวเติมในผลิตภัณฑ์ยางแทนสารตัวเติมชนิดอื่น คือ เขม่าดำ ซึ่งเป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับกากตะกอนน้ำมันปาล์มอีกด้วย โดยทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปริมาณกากตะกอนน้ำมันปาล์มที่ 35, 45 และ 55 phr และร้อยละความชื้นของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม ที่ร้อยละ 1, 10 และ 20 แล้วทำการเปรียบเทียบต้นทุนของการใช้เขม่าดำและกากตะกอนน้ำมันปาล์ม ผลการวิจัยพบว่า เมื่อปริมาณกากตะกอนน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็ง ความต้านทานการสึกหรอและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ยางเพิ่มสูงขึ้นแต่ยังคงให้ค่าที่ต่ำกว่าการใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติม ในขณะที่ค่าความต้านแรงดึงกลับมีแนวโน้มให้ค่าลดลง ส่วนค่าความชื้นของกากตะกอนน้ำมันปาล์มไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความแข็ง ความต้านแรงดึง ความต้านทานการสึกหรอและความหนาแน่น ดังนั้น กากตะกอนน้ำมันปาล์มที่เติมลงไปในการผลิตยางจึงทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรงแต่จัดเป็นสารตัวเติมเพื่อลดต้นทุน

คำสำคัญ: ยาง สารตัวเติม เขม่าดำ กากตะกอนน้ำมันปาล์ม

Abstract

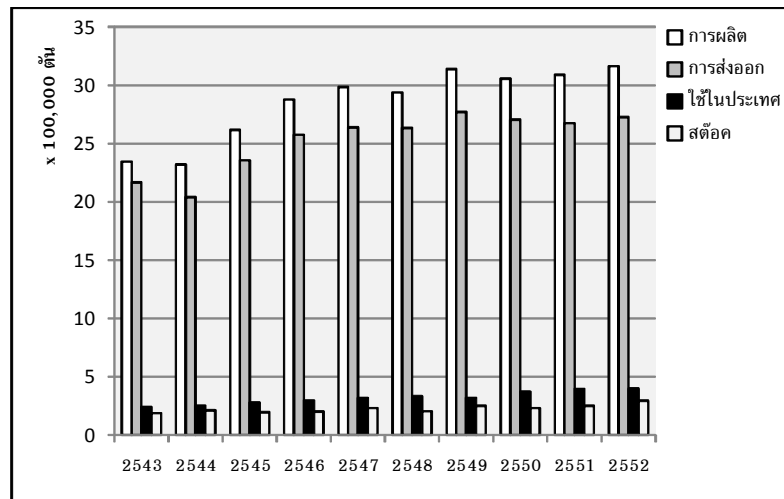
Not only does palm oil use as vegetable oil consumption, but it is also one of raw materials in many continuous process-industries, such as biodiesel, soap, instant noodle, condensed milk, margarine, and etc. In the process of crude palm oil extraction, many by-products that are waste matters were found including palm oil sludge. This research aims to add value to the palm oil sludge, used as filler instead of carbon black which is one of a chemical compound in rubber. The two factors were studied, the amount of palm oil sludge at 35, 45 and 55 phr, and the percentage of moisture at 1, 10, and 20. Cost of rubber product using carbon black and palm oil sludge was compared. The result shows that the increasing amount of palm oil sludge resulting higher values of hardness, abrasion resistance, and density but lower value of resistance to tensile strength. Thus, it concludes that palm oil sludge is utilized as filler in rubber compound to act as non-reinforcing filler, but is classified as a filler to reduce costs.

Keywords: rubber, filler, carbon black, palm oil sludge

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพารากว่า 16 ล้านไร่ มีแนวโน้มการผลิตและปริมาณการส่งออกที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ.2552 สามารถผลิตน้ำยางธรรมชาติดิบ (หรือน้ำยางดิบ) 3,164,379 ตัน มีการส่งออกวัตถุดิบยางพาราในรูปของยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น ยางผสมและยางรูปแบบอื่นๆ ปริมาณสูงถึง 2,726,193 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 86% ของผลผลิตทั้งหมดหรือกว่า 146,263 ล้านบาท (ดังรูปที่ 1) โดยมีปริมาณการส่งออกไปยังประเทศต่างๆ ตามลำดับ ได้แก่ จีน มาเลเซีย ญี่ปุ่น สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกาและเกาหลีใต้ ในขณะที่มีการขึ้นรูปยางพาราเป็นผลิตภัณฑ์เพียง 399,415 ตันหรือ

ประมาณ 12% ของผลผลิตยางดิบทั้งหมด โดยขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ในรูปของยางยานพาหนะ ยางยืด ถุงมือ ยางยางรัดของ ยางรถจักรยานยนต์และอื่นๆ ตามลำดับ (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2552) จะเห็นได้ว่าการส่งออกยางพาราในปัจจุบันยังคงเป็นการส่งออกในรูปของวัตถุดิบจำพวกยางแผ่นรมควัน น้ำยางข้น เป็นหลัก แต่กลับต้องนำเข้าสินค้าผลิตภัณฑ์ยาง เช่น ยางสังเคราะห์ ยางรถยนต์ ท่อหรือข้อต่อ สายพานลำเลียงจากต่างประเทศ ถึงแม้ปัจจุบันมีการทำผลิตภัณฑ์จากยางพาราในประเทศไทยอยู่บ้างแล้ว เช่น ยางล้อรถยนต์ อุปกรณ์กีฬา ผลิตภัณฑ์เครื่องนอนและยางปูพื้นแต่ยังคงมีปริมาณน้อย จึงจำเป็นต้องเร่งพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางในประเทศให้มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 ปริมาณการผลิต ส่งออก การใช้ สต็อกและปริมาณนำเข้ายางของประเทศไทย (แสนตัน)

*ที่มา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร (2552)

ในการทำผลิตภัณฑ์ยางต้องใช้อย่างดิบเป็นหลัก แต่อย่างดิบมีสมบัติไม่เหมาะในการนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง จำเป็นต้องปรับปรุงสูตรด้วยการผสมยางดิบกับสารเคมีต่างๆ เพื่อปรับสมบัติของยางให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้ คือ ออกสูตรยางคอมปาวด์พื้นฐาน ประกอบด้วยสารกลุ่มต่างๆ ได้แก่ (1) ยางธรรมชาติ (2) สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agent) ทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในสถานะที่ยึดหยุ่นได้สูงหรือการคงรูป เช่น กำมะถันเปอร์ออกไซด์ (Sulphur Peroxide) หรือ โลหะออกไซด์ (3) สารป้องกันยางเสื่อม (Antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่มีผลมาจากสภาพแวดล้อม เช่น ไอโซน แสงแดดหรือออกซิเจน (4) สารตัวเติม (Filler) เพื่อช่วยเสริมแรง (Reinforcement) เช่น ผงเขม่าดำและผงเขม่าขาวหรือซิลิกา หรือเพื่อลดต้นทุนการผลิต เช่น การใส่ดินขาว (Clay) แป้ง แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น (5) สารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aids) เช่น ช่วยให้นิ่มในระหว่างการบดผสม ได้แก่ พวกน้ำมัน (Oils) และสารเคมีย่อยยาง (Peptizer) เช่น Pepton 22 และ (6) สารกลุ่มอื่นๆ (Miscellaneous ingredients) ที่จำเป็นต้องใช้ในบางกรณีที่ต้องการใหยางมีสมบัติพิเศษ เช่น การเติมสารหน่วง (Retarder) เพื่อช่วยชะลอไม่ให้ยางที่กำลังบดผสมคงรูป (Scorch) เสียก่อนหรือสารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent) เพื่อช่วยใหยางฟูสำหรับการทำยางฟองน้ำ เมื่อได้สูตรยางแล้วจะทำการบดผสมยางตามสูตรด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งแล้วนำไปเก็บไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องเพื่อใหยางคลายตัวจากการบดผสม จากนั้นจึงหาเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปยางและอัดขึ้นรูปยางตามเวลาการขึ้นรูปนำขึ้นงานออกและตัดแต่งขึ้นงานเพื่อนำไปใช้งานในลำดับต่อไป (วารสาร, 2549)

สารตัวเติมที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่อยู่ในรูปของแข็ง มีขนาดอนุภาคเล็ก สามารถเติมลงไปได้อย่างหรือนำเข้าได้

เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ หรือเพื่อลดต้นทุน นับเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งต่อขั้นตอนการผลิตของผลิตภัณฑ์ยาง เขม่าดำ (Carbon black) เป็นสารตัวเติมในสูตรยางปัจจุบันที่ได้มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม มีสีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 20-300 นาโนเมตร ในขณะที่ซิลิกาเป็นสารตัวเติมเสริมแรงอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยางนอกเหนือจากเขม่าดำ มีสีขาวและมีขนาดอนุภาคเล็กมาก เมื่อเติมลงไปยางจะทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลต่างๆ ดีขึ้น แต่เนื่องจากซิลิกามีราคาแพงกว่าเขม่าดำ จึงมักใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีสี เช่น พื้นรองเท้ากีฬา ดังนั้น การศึกษาเพื่อเลือกสารทดแทนเขม่าดำที่ใช้ในปัจจุบันนับเป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตหรือปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางให้ดีขึ้น โดยสำราญ และคณะ (2547) ได้ศึกษาการใช้หญ้าแฝกดอน (Vetiveria nemoralis) เป็นสารตัวเติมธรรมชาติ จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางพาราผสมหญ้าแฝกดอนด้วยตะแกรงเบอร์ 80 ที่มีการแปรปริมาณของหญ้าแฝกดอนและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของยางผสมหญ้าแฝกดอนกับยางพาราผสมซิลิกา เขม่าดำ และแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าเมื่อปริมาณหญ้าแฝกดอนในยางพาราเพิ่มขึ้น ทำให้เวลาในการคงรูป (Cure time) ลดลง ความต้านแรงดึง ความต้านทานต่อการยืด ความต้านทานการฉีกขาดทั้งก่อนและหลังบ่มแรงลดลง แต่เปอร์เซ็นต์โมดูลัส ความแข็งและการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดเพิ่มขึ้น ผงหญ้าแฝกดอนที่เติมลงไปในยางทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) นับเป็นเพียงสารตัวเติมเพื่อลดต้นทุนเท่านั้น ในขณะที่ Ismail et al. (2002) ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมบัติของ recycle rubber powder เขม่าดำ และแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางพารา โดยทำการศึกษาสารตัวเติมในปริมาณต่างๆ กัน ในช่วง 0-50 phr พบว่าเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าเวลาที่ยางเริ่มคงรูป (Scorch time, t_2) และเวลาที่ยางคงรูป

(Cure time, t_{90}) ลดลงและเมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำจะทำให้สมบัติต่างๆ ของยาง เช่น ความต้านแรงดึง (Tensile strength) ระยะยืดจนขาด (Elongation at break) และความแข็ง (Hardness) มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นกว่าการเติม recycle rubber powder และแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ Poh et al. (2002) ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติม ได้แก่ เขม่าดำ ซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนต ในปริมาณต่างๆ กัน ในช่วง 0-40 phr ว่ามีผลต่อสมบัติความต้านแรงดึงและความต้านทานการฉีกขาดของยางผสม SMR L กับยาง ENR 25 และยางผสม SMR L กับยาง SBR โดยใช้ระบบการคงรูปยางแบบเซมิอีวี (Semi-efficiently vulcanized) พบว่าค่าความต้านแรงดึง ความแข็งแรงที่ระยะยืด 300% และความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางผสมที่ใช้สารตัวเติม เขม่าดำและซิลิกา มีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมมากขึ้น ส่วนการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้นทำให้สมบัติข้างต้นลดลงจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้สารตัวเติมที่เหมาะสมจะมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง

กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (Palm oil sludge) เป็นของเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ โดยในกากตะกอนน้ำมันปาล์มมีน้ำมันหลงเหลืออยู่ ทำให้มีแนวโน้มในการนำไปใช้เป็นพลาสติกชีวเซอร์เพื่อให้ยางนุ่มในระหว่างการบดผสม เป็นการช่วยลดการเติมสารพลาสติกชีวเซอร์ เช่น paraffin oil หรือ wax เป็นต้น อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกากตะกอนน้ำมันปาล์มได้อีกด้วย สำหรับกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจนเหลือกากตะกอนน้ำมันปาล์ม เริ่มจากการนำผลปาล์มสดที่หนึ่งเสร็จแล้วล้างเลียงเข้าเครื่องแยกผลปาล์มและทะลายปาล์มเปล่าออกจากกัน ผลปาล์มที่แยกได้จะถูกส่งไปยังเครื่องย่อยหรือหม้อกวน เพื่อทำผลปาล์มให้ย่อย โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 80-90°C แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนการสกัดน้ำมันจากเนื้อปาล์มด้วยเครื่องหีบเกลียวอัด ส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งประกอบด้วยเมล็ด (Nut) และเส้นใย (Fiber) จะถูกแยกออกจะกันโดยใช้ระบบไซโคลนแยกด้วยลม หลังจากนั้นนำเมล็ดปาล์มที่แยกไปเข้าเครื่องกะเทาะเพื่อกะเทาะกะลา (Shell) ออกได้เป็นเมล็ดใน (Kemel) นำเมล็ดในและกะลาไปเข้าระบบแยกด้วยลมและความถ่วงจำเพาะเพื่อแยกเมล็ดในและกะลาออกจากกัน น้ำมันดิบที่ได้จะนำผ่านการกรองโดยน้ำมันปาล์มที่สกัดได้ผ่านตะแกรงเส้น เพื่อแยกกากเส้นใยและอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก เช่น เศษทราย ออกจากน้ำมันดิบแล้วนำมาแยกในถังตกจมโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงในการแยกน้ำมันและส่วนปนเปื้อนออกจากกันพร้อมให้ความร้อนด้วยไอน้ำผ่านโดยตรงหรือผ่านท่อปิดก็ได้ น้ำและอนุภาคของแข็งจะจมอยู่ทางด้านล่างของถังตกจม ส่วนน้ำมันที่ลอยอยู่ด้านบนของถังจะนำไปผ่านกรวยดักเก็บเพื่อทำให้บริสุทธิ์ต่อไป เนื่องจากน้ำที่แยกได้จากถังตกจมยังมีน้ำมันและอนุภาคของแข็งเจือปนอยู่ (เรียกส่วนผสมนี้ว่าน้ำสลัดจ์) จึงต้องนำไปผ่านเข้าเครื่องเหวี่ยงแยก 3 เฟส (Decantor)

เพื่อแยกเอาน้ำ น้ำมันและกากของแข็งออกจากกัน กากของแข็งที่ได้ คือ กากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นส่วนเหลือทิ้งที่ยังมีการนำไปใช้ประโยชน์น้อย เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (Hayyan et al., 2010) หรือผลิตเป็นสารเพื่อลดแรงตึงผิวทางชีวภาพ (Hassan et al., 2010) เป็นต้น เมื่อความต้องการน้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้น กากตะกอนน้ำมันปาล์มที่เกิดจากกระบวนการผลิตก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จึงนับว่าเป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำการคิดค้นเพื่อนำกากตะกอนน้ำมันปาล์มไปใช้ให้เกิดประโยชน์และมีมูลค่า งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการใช้สารตัวเติมในผลิตภัณฑ์ยางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มแทนการใช้เขม่าดำที่ปริมาณและร้อยละความชื้นของกากตะกอนน้ำมันปาล์มที่แตกต่างกัน แล้วทำการเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้กับเขม่าดำที่ใช้เป็นสารตัวเติมในการผลิตปัจจุบัน

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

วัสดุและสารเคมี

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเขม่าดำจากสูตรยางที่ใช้เป็นกรณีศึกษา (พรพรรณ และ Lee, 2535) โดยทดแทนเขม่าดำด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มที่ร้อยละความชื้น 1, 10 และ 20 แบ่งย่อยออกเป็น 12 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 1

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องบดผสมแบบเปิดชนิด 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill)
- เครื่องอัดยางคงรูป (Hydraulic press)
- เครื่องทดสอบหาเวลาและลักษณะการคงรูปของยางผสมสารเคมี (Oscillating disk rheometer)
- เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile tester)
- เครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer hardness)
- เครื่องทดสอบความทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasion tester)

วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ (1) ทหาระยะเวลาอบที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์มเพื่อให้ค่าความชื้นเริ่มต้นของการทดลองใกล้เคียงกับเขม่าดำ โดยเตรียมเขม่าดำและกากตะกอนน้ำมันปาล์มตัวอย่างละ 10 กรัม อบที่อุณหภูมิ 103°C จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ บันทึกเวลาที่ใช้เพื่อกำหนดเป็นระยะเวลาอบ (2) เตรียมกากตะกอนน้ำมันปาล์มตามระยะเวลาอบที่ได้ มาทำการอบที่อุณหภูมิ 103°C เพื่อให้ได้ความชื้นร้อยละ 1 ซึ่งเทียบเท่ากับค่าความชื้นของเขม่าดำที่อุณหภูมิห้อง และที่ร้อยละความชื้น 10 และ 20 เพื่อศึกษาผลกระทบของค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปของกากตะกอนน้ำมันปาล์มต่อผลิตภัณฑ์ยาง โดยใช้เวลา 120 90 และ 75 นาที ตามลำดับ นำกากตะกอนน้ำมันปาล์มที่ผ่านการอบมาบดและร่อนด้วยตะแกรงเบอร์

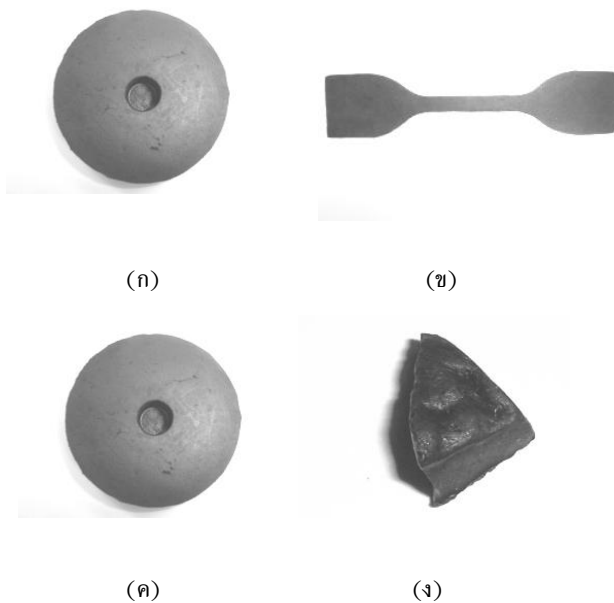
80 (3) บดผสมยางกับสารเคมี โดยใช้น้ำหนักสารต่างๆ ตามสูตรที่เตรียมไว้ด้วยเครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 5-10 นาที เพื่อให้ยางนิ่มทั้งยางที่ผสมไว้ 1 คืน นำมาหาเวลาที่ใช้ในการคงรูปแล้วขึ้นรูปโดยใช้แม่แบบและนำไปทดสอบสมบัติการคงรูปของยาง และ (4) ทดสอบสมบัติยางที่ผ่านการคงรูป ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ซึ่งเป็นการวัดความแข็งแบบ shore durometer โดยใช้

ชั้นทดสอบดังรูปที่ 2(ก) การทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile strength) ใช้ชั้นทดสอบรูปดัมเบลขนาด Die C ดังรูปที่ 2(ข) ตามมาตรฐาน ASTM D412 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ (Abrasion resistance) ใช้ชั้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2(ค) ตามมาตรฐาน BS 903 และการทดสอบความหนาแน่น โดยใช้ชั้นงานดังรูปที่ 2(ง) ทำซ้ำ 5 ครั้งของแต่ละการทดสอบ

ตารางที่ 1 สูตรยางที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบ	ปริมาณที่ใช้ในสูตรต่าง ๆ (phr)											
	cb	cb	cb	pos	pos	pos	pos	pos	pos	pos	pos	pos
	35	45	55	1_35	1_45	1_55	10_35	10_45	10_55	20_35	20_45	20_55
ยางแผ่นรมควันชั้น 3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
เขม่าดำ (cb)	35	45	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HAFN330												
กากตะกอน	1	-	-	35	45	55	-	-	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม	10	-	-	-	-	-	35	45	55	-	-	-
(pos) ที่ร้อยละความชื้น	20	-	-	-	-	-	-	-	-	35	45	55
น้ำมันอะโรมาติก	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ซิงค์ออกไซด์	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
กรดสเตียริก	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
TMTD	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ซีฟ้างแอนติโอไซด์	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
กำมะถัน	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

ผลการทดลองและวิเคราะห์



รูปที่ 2 ชั้นงานทดสอบสมบัติยาง 2(ก) ความแข็ง 2(ข) ความต้านแรงดึง 2(ค) ความต้านทานการสึกหรอ และ 2(ง) ความหนาแน่น

จากการหาระยะเวลาอบที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์มเพื่อให้ได้ค่าความชื้นสำหรับเปรียบเทียบกับการใช้เขม่าดำ พบว่าต้องใช้ระยะเวลาในการอบกากตะกอนน้ำมันปาล์ม 120 นาที ที่อุณหภูมิ 103°C เพื่อให้มีความชื้นร้อยละ 1 ซึ่งเทียบเท่ากับค่าความชื้นของเขม่าดำที่อุณหภูมิห้องและพบว่าหากต้องการให้กากตะกอนน้ำมันปาล์มมีค่าความชื้นร้อยละ 10 และ 20 ต้องใช้ระยะเวลาอบนาน 90 และ 75 นาที ตามลำดับ การตะกอนน้ำมันปาล์มที่ได้ถูกนำไปใช้ในสูตรผสมต่างๆ และทดสอบสมบัติของยางที่ได้ ดังนี้

สมบัติของยางที่ผ่านการคงรูป

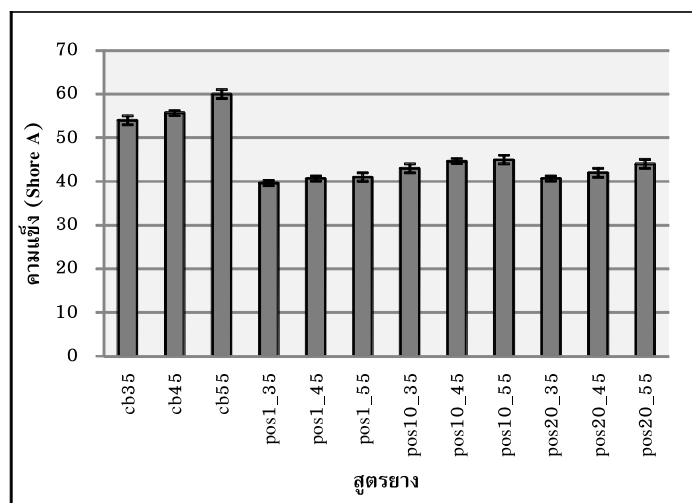
ความแข็ง (Hardness)

ผลของความแข็งของยางโดยใช้เขม่าดำและกากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นสารตัวเติมแสดงดังรูปที่ 3 พบว่าสูตรยาง bs35 ถึง 55 ซึ่งใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมมีค่าความแข็งสูงขึ้นตามปริมาณเขม่าดำที่เพิ่มมากขึ้น 35 45 และ 55 phr ตามลำดับ โดยให้ความแข็งสูงสุด 60 shore A ที่ปริมาณเขม่าดำ 55 phr ในขณะที่สูตร pos1_35 ถึง 55 ซึ่งใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มที่ร้อยละความชื้น 1 สูตร

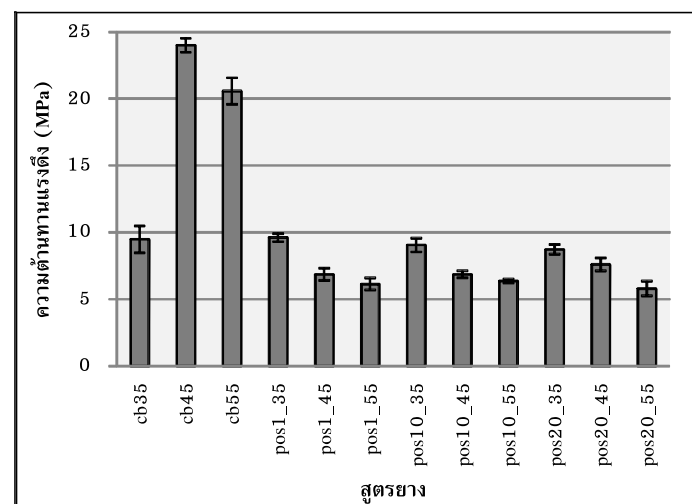
pos10_35 ถึง 55 ใช้ที่ร้อยละความชื้น 10 และสูตร pos 20_35 ถึง 55 ใช้ที่ร้อยละความชื้น 20 พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับการใช้เซมาดำซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสำราญและคณะ (2547) ที่ใช้หญ้าแฝกตอนเป็นสารตัวเติมในปริมาณเพิ่มมากขึ้นแล้วพบว่าทำให้ค่าความแข็งของยางพาราผสมหญ้าแฝกตอนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามที่ร้อยละความชื้น 10 ของกากตะกอนน้ำมันปาล์มปริมาณ 55 phr ให้ค่าความแข็งสูงที่สุด 45 shore A แต่ยังคงมีค่าต่ำกว่าการใช้เซมาดำเป็นส่วนผสม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเซมาดำสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อยางได้ดีกว่า ทำให้ยางมีความยืดหยุ่นลดลงและส่งผลให้มีค่าความแข็งสูงขึ้น

ความต้านแรงดึง (Tensile strength)

ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อความสามารถการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทำได้ดีขึ้น (Nourbakhsh et al., 2010) ในขณะที่ผลการทดลองในรูปที่ 4 พบว่าเมื่อใส่กากตะกอนน้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านแรงดึงกลับลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสำราญและคณะ (2547) ในกรณีที่ร้อยละความชื้นต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าความต้านแรงดึง แสดงให้เห็นว่าปริมาณกากตะกอนน้ำมันปาล์มที่ปริมาณมากขึ้นจะไปทำลายความสามารถในการยึดเหนี่ยวระหว่างเนื้อยาง ส่วนการใช้เซมาดำเป็นสารตัวเติมพบว่าการใช้ที่ปริมาณ 45 phr ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 24 MPa อย่างไรก็ตามหากปริมาณเซมาดำสูงเกินกว่า 45 phr ทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเช่นกัน



รูปที่ 3 ค่าความแข็งของยางสูตรต่างๆ



รูปที่ 4 ค่าความต้านแรงดึงของยางสูตรต่างๆ

ความต้านทานการสึกหรอ (Abrasion resistance)

ผลของความต้านทานการสึกหรอของยางโดยใช้เซมาดำและกากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นสารตัวเติมแสดงดังรูปที่ 5 พบว่าเมื่อปริมาณกากตะกอนน้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานการสึกหรอมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบความต้านทานการสึกหรอระหว่างการใช้เซมาดำ

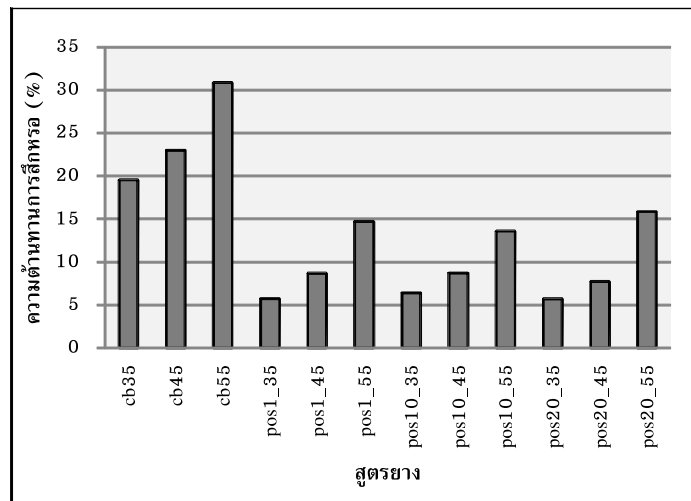
ดำเป็นสารตัวเติมกับการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นสารตัวเติมพบว่าความต้านทานการสึกหรอของเซมาดำมีค่า 30.9% ที่ 55 phr ในขณะที่ค่าของกากตะกอนน้ำมันปาล์มมีค่าสูงสุด 15.9% ที่ 55 phr และร้อยละความชื้น 20 สังเกตเห็นว่าค่าความต้านทานการสึกหรอมีความผันแปรไปตามค่าความแข็ง นั่นคือเมื่อค่าความแข็งมีค่ามาก

ค่าความต้านทานการสึกหรอก็จะมากขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนค่าร้อยละความชื้นของกากตะกอนน้ำมันปาล์มมีผลต่อค่าความต้านทานการสึกหรอเพียงเล็กน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าไม่มีผลต่อความต้านทานการสึกหรอ

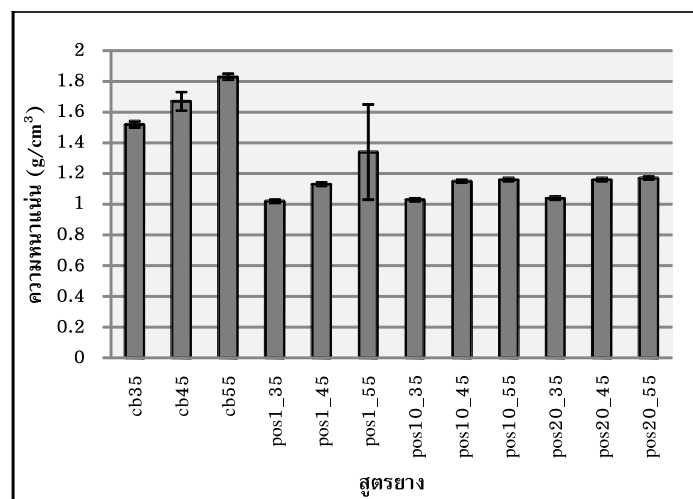
ความหนาแน่น (Density)

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของยางจากการใช้เขม่าดำและกากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นสารตัวเติมแสดงในรูปที่ 6 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณเขม่าดำหรือกากตะกอนน้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้นค่าความหนาแน่นก็มีค่าสูงขึ้น

อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของยางที่ใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมที่ 55 phr มีค่าสูงสุด คือ 1.8 กรัม/ตร.ซม. ขณะที่การใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มที่ 55 phr และร้อยละความชื้น 1 มีค่าสูงสุดคือ 1.3 กรัม/ตร.ซม. ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการกระจายตัวของเขม่าดำที่ทำได้ดีกว่าของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม เมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำมากขึ้นก็ทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความชื้นของกากตะกอนน้ำมันปาล์มไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่น



รูปที่ 5 ค่าความต้านทานการสึกหรอของยางสูตรต่างๆ



รูปที่ 6 ค่าความหนาแน่นของยางสูตรต่างๆ

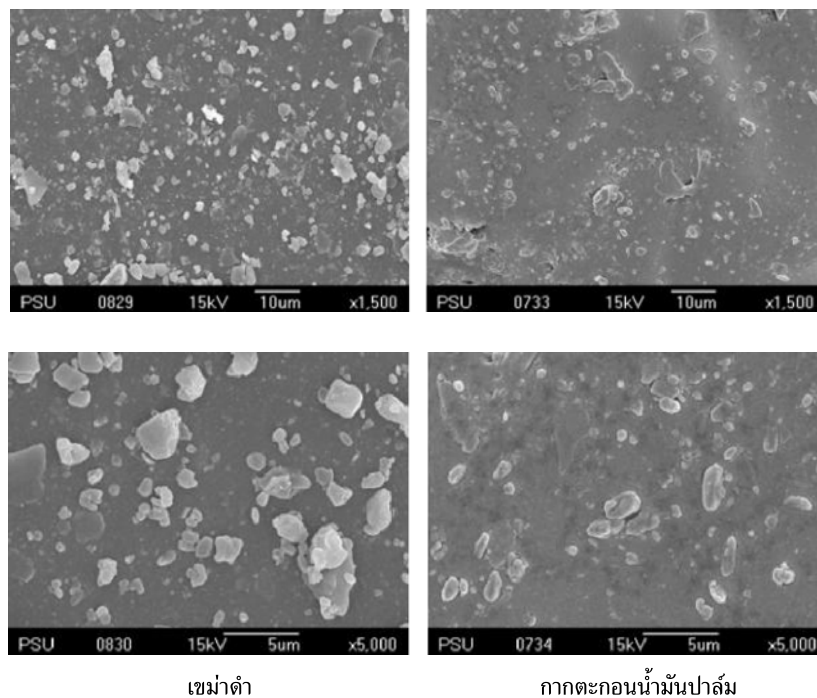
จากผลการทดสอบสมบัติทั้ง 4 ประเภทของยางที่ผ่านการครูปซึ่งได้แก่ ความแข็ง ความต้านแรงดึง ความต้านทานการสึกหรอและความหนาแน่น จะเห็นได้ว่าการใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมให้การทดสอบสูงกว่าการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเขม่าดำสามารถกระจายตัวเข้าไปในเนื้อยางได้ดีกว่าการใช้เขม่าดำ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ส่งผลให้มีความสามารถ

ในการยึดเกาะตัวได้ดีกว่าและเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน อย่างไรก็ตามทั้งค่าความแข็ง ความต้านทานการสึกหรอและความหนาแน่นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณกากตะกอนน้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าความต้านแรงดึงให้ผลในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งการนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้ตรงกับความต้องการจะช่วยให้เกิดศักยภาพของการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มให้สูงขึ้นได้

ต้นทุนการผลิต

การคำนวณต้นทุนการผลิตจะครอบคลุมเฉพาะในส่วนของสารเคมีที่ใช้เท่านั้น โดยจะไม่รวมถึงราคาเครื่องมือและพลังงานที่ใช้ในการผลิต โดยเลือกสูตรที่ใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นสารตัวเติมปริมาณ 55 phr เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากให้ค่าความแข็ง ความต้านทานการสึกหรอและความหนาแน่นสูงกว่าค่าที่ใช้สารตัวเติมที่ปริมาณอื่นๆ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าการใช้กาก

ตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นสารตัวเติมมีราคาต้นทุนต่อปริมาตร 0.07 บาท/ลบ.ซม. ซึ่งต่ำกว่าการใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมซึ่งมีราคา 0.10 บาท/ลบ.ซม. อย่างไรก็ตามสมบัติเชิงกลที่ทำการตรวจสอบพบว่าโดยส่วนใหญ่การใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มให้ค่าต่ำกว่าการใช้เขม่าดำ แต่การใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มอาจช่วยเป็นสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรงเพื่อลดต้นทุนการผลิตได้



รูปที่ 7 ภาพถ่าย SEM ของชิ้นยางตัวอย่างที่มีเขม่าดำหรือกากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นส่วนผสมที่กำลังขยาย 1,500 และ 5,000 เท่าตามลำดับ

ตารางที่ 2 การคิดต้นทุนการผลิตที่ใช้เขม่าดำและกากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นสารตัวเติมปริมาณ 55 phr

สารเคมี	ราคา (บาท/กก.)	สูตรยางที่ใช้ เขม่าดำ 55 phr		สูตรยางที่ใช้ Sludge Cake Decantor 55 phr	
		น้ำหนัก (กก.)	ราคา (บาท)	น้ำหนัก (กก.)	ราคา (บาท)
ยางแผ่นรมควันชั้น 3	75	0.1	7.50	0.1	7.50
เขม่าดำ N330	33	0.055	1.82	-	-
Palm oil sludge	0	-	-	0.055	0
น้ำมันอะโรมาติก	40	0.005	0.20	0.005	0.20
ซิงค์ออกไซด์	150	0.005	0.75	0.005	0.75
กรดสเตียริก	28	0.002	0.06	0.002	0.06
TMTD	110	0.002	0.22	0.002	0.22
ซีฟ้างแอนติโอโซนเนสท์	65	0.001	0.07	0.001	0.07
กำมะถัน	16	0.0015	0.02	0.0015	0.02
รวม		0.1715	10.63	0.1715	8.82
ต้นทุนต่อน้ำหนัก (บาท/กก.)			61.98	-	51.40
ความหนาแน่นของยางผสม (กรัม/ลบ.ซม.)			1.52	-	1.34
ต้นทุนต่อปริมาตร (บาท/ลบ.ซม.)			0.10	-	0.07

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นสารตัวเติมในผลิตภัณฑ์ยาง โดยศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปริมาณกากตะกอนน้ำมันปาล์มเริ่มจาก 35 45 และ 55 phr และร้อยละความชื้นของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม เริ่มจากร้อยละ 1 10 และ 20 แล้วทำการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณเพิ่มมากขึ้นให้ค่าความแข็งแรง ความต้านทานการสึกหรอและความหนาแน่นสูงขึ้น แต่มีแนวโน้มค่าความต้านทานแรงดึงลดลง ในขณะที่ผลของความชื้นไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลเนื่องจากให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามค่าสมบัติเชิงกลที่วัดได้ยังคงมีค่าต่ำกว่าการใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติม แต่เนื่องจากต้นทุนการใช้วัตถุดิบโดยใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มมีค่าต่ำกว่าการใช้เขม่าดำ จึงกล่าวได้ว่ากากตะกอนน้ำมันปาล์มสามารถใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อลดต้นทุนการผลิตประเภทไม่เสริมแรง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนการใช้เครื่องมือและสถานที่ และขอขอบคุณบริษัท นามหงส์น้ำมันปาล์ม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบและเครื่องทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

พรพรรณ นิธิอุทัย และ Lee, K.S. (2535). *เทคนิคการออกสูตรยาง*. ปัตตานี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. (2549). *ยางธรรมชาติ การผลิตและการใช้งาน*. กรุงเทพฯ: ซีโนติโซน.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2552). สถิติยาง. ค้นเมื่อ 29 พฤศจิกายน 2553, จาก http://www.rubberthai.com/statistic/stat_index.htm

สำราญ สมจิตต์ อุไร จำเริญ มานะ ขาวเมฆ วิชา เศรษฐกนิษฐ์ และวรรณ อุ่นจิตติชัย. (2547). ศึกษาหญ้าแฝกตอน *Vetiveria nemoralis* เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ. ค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2553, จาก <http://www.forest.go.th>

Hayyan, A., Alam, M. Z., Mirghani, M. E., Kabbashi, N. A., Hakimi, N. I., Siran, Y. M., & Tahiruddin, S. (2010). Sludge palm oil as a renewable raw material for biodiesel production by two-step processes. *Bioresource Technology*, 101, 7804–7811.

Ismail, H., Nordin, R., & Noor, A. M. (2002). The comparison properties of recycle rubber powder, carbon black, and calcium carbonate filled natural rubber compounds. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 41(5), 847–862.

Nourbakhsh, A., Ashori, A., Ziaei, T. H., & Rezaei, F. (2010). Mechanical and thermo-chemical properties of wood-flour/polypropylene blends. *Polymer Bulletin*, 65, 691–700.

Poh, B. T., Ismail H., & Tan, K. S. (2002). Effect of filler loading on tensile and tear properties of SMR L/ENR 25 and SMR L/SBR blends cured via a semi-efficient vulcanization system. *Polymer Testing*, 21, 801–806.

Wan, N. W., Jamal, P., & Alam, M. Z. (2010). Utilization of sludge palm oil as a novel substrate for biosurfactant production. *Bioresource Technology*, 101, 9241–9247.