



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาดีนและแอนทราซีนเพื่อให้
เป็นน้ำมันแปรรูปยาง

โดย รองศาสตราจารย์ดร.ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์และคณะ

พฤศจิกายน 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีนเพื่อใช้ เป็นน้ำมันแปรรูปยาง

คณะผู้วิจัย

- รองศาสตราจารย์ดร.ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์
- นางสาวหัตถิยา อับดุลเลาะอาห์ลี

สังกัด

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการ วิจัยแห่งชาติยางพารา (SPR)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ชื่อโครงการ น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนเพื่อใช้เป็นน้ำมันแปรรูปยาง
Palm Oil Modified with Naphthalene and Anthracene as Rubber Processing Oil

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อสกุล รองศาสตราจารย์ดร.ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์

หน่วยงาน ภาควิชาวิทยาศาสตร์
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ที่อยู่ อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000

โทรศัพท์/โทรสาร 073 313930-50 ต่อ 1845 E-mail kpairote@bunga.pn.psu.ac.th

ชื่อนักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย นางสาวหัตติยา อับดุลเลาะอาหลี

งบประมาณทั้งโครงการ 120,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 8 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 สิงหาคม 2552 ถึง 15 เมษายน 2553

ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ

ปกติในกระบวนการแปรรูปยางมีการใส่สารพลาสติกไซเซอร์เข้าไปในยาง เพื่อช่วยในการแปรรูป และช่วยให้การผสมสารเคมีเข้าไปในยางกระทำได้ง่ายขึ้น โดยจะใช้ในปริมาณไม่เกิน 5 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน สารดังกล่าวเรียกว่า Processing aids ในระยะแรกๆ ของการใช้พลาสติกไซเซอร์ในอุตสาหกรรมยาง ส่วนใหญ่เป็นพวกน้ำมันที่ได้มาจากพืช ภายหลังเมื่อมีน้ำมันปิโตรเลียม (ซึ่งราคาถูกกว่าน้ำมันพืช) ทำให้มีการเลือกใช้น้ำมันปิโตรเลียมมากขึ้น(พรพรรณ, 2528) ต่อมาในปี 1994 Swedish National Chemicals Inspectorate (KEMI) ได้ตีพิมพ์รายงานเกี่ยวกับการใช้ high aromatic extender oils ในยางล้อรถบรรทุก ซึ่งในน้ำมันมีองค์ประกอบของ polycyclic aromatic compounds (PCA) สูง ซึ่งเป็นตัวที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ดังนั้นสหภาพยุโรปได้ออกคำสั่ง 67/548/EEC ให้น้ำมันอยู่ในระดับ R45 ซึ่งหมายความว่าก่อให้เกิดมะเร็ง (Dasgupta *et al.*, 2007) งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีน เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันช่วยผสมยางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ (ตามที่ระบุในสัญญาฉบับวิจัย)

เพื่อเตรียมน้ำมันปาล์มดัดแปลงโมเลกุลด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีนเพื่อศึกษาภาพในการใช้น้ำมันแปรรูปยาง

ผลการดำเนินการ (เป็นวิธีการและผลการวิจัย วิเคราะห์ผล เฉพาะประเด็นที่เป็นสาระสำคัญ และแสดงให้เห็นความสอดคล้องของผลการวิจัยที่ได้รับกับวัตถุประสงค์ที่ได้รับตามที่เสนอไว้)

1. น้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำมันปาล์มทางการค้าชนิดปาล์มโอเลอินมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 61.30 mgI₂/g และค่าสะaponิฟิเคชันเท่ากับ 203.1 mgKOH/g ค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 4.57 meq.Kg⁻¹ และ ค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.54 mgKOH/g
2. การเตรียมน้ำมันปาล์มอีพอกซีไดซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซีเดชันของน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 105 นาทีแรก และหลังจากนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดเท่ากับ 87.9% ที่อุณหภูมิ 60°C เวลา 120 นาที
3. การศึกษาการดัดแปลงโมเลกุลของน้ำมันปาล์มด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีน โดยศึกษาปริมาณของแนฟทาลินที่มีผลต่อการดัดแปลงโมเลกุลของน้ำมันปาล์มอีพอกซีไดซ์ที่เวลาต่างๆ ณ อุณหภูมิ 120°C พบว่าระดับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มอีพอกซีไดซ์กับกรด 1-แนฟโทนิค เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10-12 ชั่วโมง และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และยังพบอีกว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง ปริมาณกรด 1-แนฟโทนิค 20% โมล แนฟทาลินสามารถเกาะติดบนน้ำมันปาล์มอีพอกซีไดซ์ได้มากที่สุด ส่วนแอนทราซีนศึกษาที่อุณหภูมิ 150°C พบว่าระดับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มอีพอกซีไดซ์กับกรด 9-แอนทราซีนคาร์บอกซิลิก ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และยังพบอีกว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง ปริมาณกรด 9-แอนทราซีนคาร์บอกซิลิก 20% โมล แอนทราซีนสามารถเกาะติดบนน้ำมันปาล์มอีพอกซีไดซ์ได้มากที่สุด
4. การศึกษาเบื้องต้นในการใช้น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีนเพื่อเป็นสารช่วยผสมยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับ Spindle oil ที่นิยมใช้กันทั่วไป ผลการศึกษาทางด้านสมบัติของคอมปาวด์ เมื่อใช้น้ำมัน 3 ชนิดปริมาณ 5 phr น้ำมันปาล์มดัดแปลง 2 ชนิดที่เตรียมได้ พบว่าเวลาสกอร์ช (Scorch time) มีแนวโน้มมากกว่า Spindle oil เล็กน้อย ส่วนระยะเวลาการวัลคาไนซ์ (Cure time) นั้น น้ำมันปาล์มดัดแปลงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเวลาการวัลคาไนซ์ได้เร็วใกล้เคียงกัน แต่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเร็วกว่า Spindle oil เล็กน้อย ส่วนผลการศึกษาสมบัติของยางวัลคาไนซ์ คือ ความต้านทานแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด มอดูลัสที่ระยะยืด 100% และ 300% และความแข็ง (Shore A) พบว่า เมื่อใช้น้ำมันทั้ง 3 ชนิด ปริมาณ 5 phr น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินทำให้ยางวัลคาไนซ์มีแนวโน้มทำให้ความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงสุด คือ ประมาณ 26 MPa ในขณะที่น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและ Spindle oil มีแนวโน้มต่ำกว่าและใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 22 MPa สำหรับค่าระยะยืด ณ จุดขาด พบว่าน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและ Spindle oil มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและสูงกว่าน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินเล็กน้อย ส่วนมอ

คูลล์ที่ระยะยัด 100% และ 300% นั้น พบว่าค่ามอดูลัสที่ระยะยัด 100% ของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนมีแนวโน้มสูงกว่า น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและ Spindle oil ตามลำดับ ส่วนค่ามอดูลัสที่ระยะยัด 300% พบว่าน้ำมันดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและแนฟทาลินมีแนวโน้มสูงสุดใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 7.3 MPa ในขณะที่ Spindle oil มีแนวโน้มต่ำกว่า คือประมาณ 5.2 MPa นอกจากนี้เมื่อศึกษาทางด้านความแข็งของยางวัลคาไนซ์พบว่า ค่าความแข็ง (Shore A) ของน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ มีค่าระหว่าง 51-53 กล่าวโดยสรุปน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีนโดยเฉพาะปริมาณ 5 phr มีแนวโน้มในการใช้เป็นสารช่วยในการผสมยางธรรมชาติได้ดีใกล้เคียงกับ Spindle oil ถึงแม้ว่าสมบัติต่างๆ ยังมีความแปรปรวนอยู่บ้าง

สรุปผลการวิจัย (การสรุปผลที่ได้จากการวิจัยที่มีศักยภาพโดยตรงหรือมีแนวโน้มต่อยอดเพื่อใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยมีข้อมูลบ่งชี้ หรือนำเชิงเศรษฐศาสตร์และการผลิตระดับอุตสาหกรรมด้วย)

น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีน เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพในการใช้เป็นสารช่วยในการผสมยางธรรมชาติได้ใกล้เคียงกับ Spindle oil โดยเฉพาะปริมาณ 5 phr ถึงแม้ว่าสมบัติต่างๆ ข้างต้นยังมีความแปรปรวนอยู่บ้าง อย่างไรก็ตามขั้นตอนการเตรียมน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซินดังกล่าวยังประกอบด้วยปฏิกิริยาเคมีหลายขั้นตอน อาจจะต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นบ้าง แต่ถ้าหากได้มีการปรับปรุงวิธีการและทำการวิจัยซ้ำอีกเพื่อยืนยันผลให้แน่นอน คาดว่าน่าจะเป็นแนวโน้มที่ดีในการได้สารช่วยในการผสมยางที่ได้จากน้ำมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นเพื่อทดแทนสารปัจจุบันที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติมและวิธีการต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม คือ ควรหาเทคนิคที่สะดวกในการหาปริมาณของหมู่แนฟทาลินและแอนทราซีนที่เกาะติดด้วยพันธะทางเคมีบนโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม และควรได้มีการศึกษาเพิ่มเติมสมบัติต่างๆ ของยางวัลคาไนซ์ที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดัดแปลงกับน้ำมันที่เตรียมได้โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันช่วยแปรรูปยางอื่นๆ นอกจาก spindle oil ส่วนวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริงนั้น เนื่องจากปัจจุบันในการเตรียมน้ำมันปาล์มดัดแปลงยังต้องผ่านขั้นตอนการอพอกซิเดชันของน้ำมันปาล์มก่อน แล้วตามด้วยการทำปฏิกิริยากับหมู่แนฟทาลินและแอนทราซีนซึ่งอยู่ในรูปกรด ทำให้ต้องเสียเวลาบ้างในช่วงแรก นอกจากนี้สารที่นำมาดัดแปลงทั้งสองชนิดค่อนข้างมีราคาแพง อย่างไรก็ตามเมื่อได้มีการศึกษาซ้ำเพื่อยืนยันผลแล้ว สามารถพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริงได้ในอนาคต

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการนำน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์อีกทางเลือกหนึ่ง โดยการดัดแปลงทางเคมีให้อยู่ในรูปอนุพันธ์ของแนฟทาลินและแอนทราซีนเพื่อให้มีโครงสร้างใกล้เคียงกับสารประกอบ polycyclic aromatic compound งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำน้ำมันปาล์มมาดัดแปลงทางเคมีโดยการเปลี่ยนให้เป็นน้ำมันปาล์มอพอกซิไดซ์ก่อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้

ง่ายต่อการทำปฏิกิริยากับกรด 1-แนฟโทนิค (1-Naphthoic acid) และกรด 9-แอนทราซีนคาร์บอกซิลิก (9-Anthracenecarboxylic acid) ทำให้เกิดน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยหมู่ฟังก์ชันแนฟทาลีนและแอนทราซีนตามลำดับ น้ำมันปาล์มดัดแปลงที่ได้ดังกล่าวมีส่วนที่เป็นอะโรมาติกเกาะอยู่ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้อยู่ตามปกติ การที่น้ำมันปาล์มดัดแปลงที่สูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกันเช่นนี้ทำให้น้ำมันปาล์มดัดแปลงที่ได้มีศักยภาพในการเป็นน้ำมันแปรรูปยางได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้คาดว่าจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจเนื่องน้ำมันปาล์มตั้งต้นที่ใช้เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ที่มีราคาถูก

บทคัดย่อ

กระบวนการแปรรูปยางธรรมชาติต้องเติมน้ำมันแปรรูปช่วยในการผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีผสมยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ น้ำมันแปรรูปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นสารที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งมีรายงานว่า เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันแปรรูปที่ใช้ในปัจจุบัน การทดลองเริ่มจากการศึกษาการเตรียมน้ำมันปาล์มออกซิไดซ์จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มกับกรดอะซิติกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าการเกิดออกซิเดชันได้มากที่สุดที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 120 นาที ศึกษาการเตรียมน้ำมันปาล์มดัดแปลงโมเลกุลด้วยเนฟทาลินที่อุณหภูมิ 120°C และแอนทราซีนที่อุณหภูมิ 150°C พบว่าเมื่อใช้ปริมาณของกรด 1-เนฟโทอิก 20%mol เนฟทาลินสามารถเกาะติดน้ำมันปาล์มออกซิไดซ์ได้มากที่สุดที่เวลา 12 ชั่วโมง และเมื่อใช้ปริมาณของกรด 9-แอนทราซีนคาร์บอกซิลิก 20%mol แอนทราซีนสามารถเกาะติดน้ำมันปาล์มออกซิไดซ์ได้มากที่สุดที่เวลา 16 ชั่วโมง

การศึกษาเบื้องต้นในการใช้น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนเพื่อเป็นสารช่วยผสมยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับ Spindle oil ที่นิยมใช้กันทั่วไป ผลการศึกษาทางด้านสมบัติของยางคอมปาวด์ พบว่า เมื่อใช้น้ำมันปริมาณ 5 phr น้ำมันปาล์มดัดแปลง 2 ชนิดที่เตรียมได้มีเวลาสกอร์ช (Scorch time) , มีแนวโน้มนานกว่า Spindle oil เล็กน้อย ส่วนระยะเวลาการวัลคาไนซ์ (Cure time) น้ำมันปาล์มดัดแปลงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มในการวัลคาไนซ์ได้เร็วใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มเกิดขึ้นได้เร็วกว่า Spindle oil เล็กน้อย ส่วนผลการศึกษาสมบัติของยางวัลคาไนซ์ คือ ความต้านทานแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด มอดูลัสที่ระยะยืด 100% และ 300% และความแข็ง (Shore A) พบว่า การใช้น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินทำให้ยางวัลคาไนซ์แนวโน้มทำให้ความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงสุด คือประมาณ 26 MPa ในขณะที่น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและ Spindle oil มีแนวโน้มต่ำกว่าและมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 22 MPa ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและ Spindle oil มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและสูงกว่าน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินเล็กน้อย ส่วนมอดูลัสที่ระยะยืด 100% และ 300% นั้น พบว่า ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100% ของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนมีแนวโน้มสูงกว่าน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและ Spindle oil ตามลำดับ ส่วนค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300% พบว่าค่าสูงสุดน้ำมันดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและเนฟทาลินมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือประมาณ 7.3 MPa ในขณะที่ Spindle oil มีแนวโน้มต่ำกว่า คือประมาณ 5.2 MPa นอกจากนี้ค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์จากการใช้น้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ มีค่าความแข็ง ระหว่าง 51-53 กล่าวโดยสรุปน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีน มีแนวโน้มในการใช้เป็นสารช่วยในการผสมยางธรรมชาติได้พอๆ กับ Spindle oil ถึงแม้ว่าสมบัติต่างๆ ยังมีความแปรปรวนอยู่บ้าง

Abstract

Processing oil is usually utilized as processing aid for blending of natural rubber and chemicals for making products. However, the currently processing oil has been obtained from petroleum product, which was reported to be carcinogen. Therefore, the objective was to prepare naphthalene and anthracene-modified palm oil as processing oil for replacing ordinary one. The experiment was firstly carried out by synthesis of epoxidized palm oil via the reaction of palm oil with acetic acid and hydrogen peroxide at 50, 60 and 70°C for 3 hrs. It was found that the maximum epoxidation level of 87.9% was achieved at 60°C for 120 min. The epoxidized palm oil was further modified with naphthalene and anthracene at 120 and 150°C, respectively. The reaction of epoxidized palm oil with 20%mol 1-naphthoic acid and 20%mol 9-anthracenecarboxylic acid yielded the highest naphthalene and anthracene grafted contents.

According to preliminary investigation on comparing the effect of palm oil modified naphthalene and anthracene as rubber processing aid and a conventional spindle oil on the rubber compound properties, it was found that the tendency of scorch time of the compound rubbers using 5 phr modified palm oil were slightly faster than that of the spindle oil. Cure times of the compounds containing both the modified palm oils was the same and they were slightly faster than that of spindle oil. As for their vulcanization properties such as tensile strength, elongation at break, 100% and 300% modulus and hardness (Shore A), it was shown that tendency of the palm oil modified with naphthalene gave vulcanized rubbers with highest tensile strength of 26 MPa, whereas palm oil modified using anthracene and spindle oil gave lower tensile strength with approximately the same value of 22 MPa. Elongation at break of the rubber added with palm oil modified by anthracene and spindle oil were similar and slightly higher than that of palm oil modified by naphthalene. The anthracene-modified palm oil showed higher 100% modulus when compared with naphthalene-modified and spindle oil. The 300% modulus of the sample with anthracene-modified and naphthalene-modified palm oil were approximately the same about 7.3 MPa, whereas that the sample with spindle oil was slightly lower with the level of 5.2 MPa. Furthermore, the tendency of hardness (Shore A) of the vulcanized rubbers using all oils were found to be comparable at about 51-53. It can be concluded that the palm oil modified with naphthalene and anthracene have potential to be used as rubber processing aid i.e. spindle oil eventhough variation in tensile properties was observed.

เนื้อหา

2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

กระบวนการแปรรูปยางมีการใส่สารพลาสติกไซเซอร์เข้าไปในยาง เพื่อช่วยในการแปรรูป และช่วยให้การผสมสารเคมีเข้าไปในยางกระทำได้ง่ายขึ้น โดยใช้ในปริมาณไม่เกิน 5 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน สารดังกล่าวเรียกว่า Processing aids ในระยะแรกๆ ของการใช้พลาสติกไซเซอร์ในอุตสาหกรรมยาง ส่วนใหญ่เป็นพวกน้ำมันที่ได้มาจากพืช ระยะหลังเมื่อมีน้ำมันปิโตรเลียม (ซึ่งราคาถูกกว่าน้ำมันพืช) ทำให้มีการเลือกใช้น้ำมันปิโตรเลียมมากขึ้น (พรพรรณ, 2528)

มีรายงานการศึกษาถึงลักษณะ processing aids ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมของยาง เนื่องจาก extender oils ส่วนใหญ่เป็นพวก polyaromatic hydrocarbon และได้ถูกห้ามนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยางและน้ำมันในเดือนธันวาคม 2009 ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของน้ำมันจากธรรมชาติ 10 ชนิดและจากปิโตรเลียมอีก 6 ชนิด และศึกษาผลของการ process oils ในยางธรรมชาติที่ใช้ทำยางล้อรถบรรทุก พบว่าน้ำมันจากธรรมชาติมีสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันจากปิโตรเลียม (Dasgupta *et al.*, 2007)

นอกจากนี้ได้ศึกษาถึงลักษณะของการ processing aids ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมของยาง ในรายงานของ KEMI ได้ระบุไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วย polycyclic aromatic compounds (PCA) มากกว่า 3% โดยน้ำหนักควรมีฉลากระบุไว้อย่างชัดเจนและได้ชี้ให้เห็นถึงการสึกกร่อนของวัสดุที่ใช้ทำยางล้อรถบรรทุกที่กระจายอยู่บนถนน ว่าทำให้มีปริมาณของ PCA กระจายสู่สิ่งแวดล้อมสูง ซึ่งจะส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ PCA จะมีมากใน extender oils และได้ถูกห้ามนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยางและน้ำมันในเดือนธันวาคม 2009 ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้น้ำมันจากธรรมชาติ 10 ชนิดและจากปิโตรเลียมอีก 6 ชนิด และศึกษาถึงลักษณะยางธรรมชาติที่ใช้ทำยางล้อรถบรรทุก พบว่าน้ำมันจากธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกลพลวัตดีกว่าน้ำมันจากปิโตรเลียม (Dasgupta *et al.*, 2008)

2.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเตรียมน้ำมันปาล์มดัดแปลงโมเลกุลด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนเพื่อศึกษาภาพในการใช้เป็นน้ำมันแปรรูปยาง

2.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปกติในกระบวนการแปรรูปยางมีการใส่สารพลาสติกไซเซอร์เข้าไปในยาง เพื่อช่วยในการแปรรูป และช่วยให้การผสมสารเคมีเข้าไปในยางกระทำได้ง่ายขึ้น โดยจะใช้ในปริมาณไม่เกิน 5 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน สารดังกล่าวเรียกว่า Processing aids ในระยะแรกๆ ของการใช้พลาสติกไซเซอร์ในอุตสาหกรรมยาง ส่วนใหญ่เป็นพวกน้ำมันที่ได้มาจากพืช ระยะหลังเมื่อมีน้ำมันปิโตรเลียม (ซึ่งราคาถูกกว่าน้ำมันพืช) ทำให้มีการเลือกใช้น้ำมันปิโตรเลียมมากขึ้น (พรพรรณ, 2528) ต่อมาในปี 1994 Swedish National Chemicals Inspectorate (KEMI) ได้ตีพิมพ์รายงานเกี่ยวกับการใช้ high aromatic extender oils ในยางล้อรถบรรทุก ซึ่ง

ในน้ำมันมีองค์ประกอบของ polycyclic aromatic compounds (PCA) สูง ซึ่งเป็นตัวที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ดังนั้นสหภาพยุโรปได้ออกคำสั่ง 67/548/EEC ให้น้ำมันอยู่ในระดับ R45 ซึ่งหมายความว่าก่อให้เกิดมะเร็ง (Dasgupta *et al.*, 2007)

Okieimen *et al.* (2002) ได้ศึกษาจลนศาสตร์การออกซิเดชันของน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วย peroxyacetic acid ที่เกิดโดย in situ จากการผสมกันระหว่างกรดอะซิติกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยศึกษาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าการออกซิเดชันของคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวเกือบจะสมบูรณ์และวง oxirane ได้เปิดออกเล็กน้อย ค่าคงที่อัตราของการออกซิเดชันของน้ำมันเมล็ดยางพาราเท่ากับ $10^{-6} \text{ l mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ และพลังงานก่อกัมมันต์ของการออกซิเดชันเท่ากับ $15.7 \text{ kcal mol}^{-1}$ enthalpy, entropy และ free energy activation มีค่าเท่ากับ 15.2, -31.94 และ $25.44 \text{ kcal mol}^{-1}$ ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลต่อจลนศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ของการออกซิเดชันทำให้อัตราของการออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

Dasgupta *et al.* (2007) ได้ศึกษาถึงลักษณะของการ processing aids ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมของยางเนื่องจาก extender oils ส่วนใหญ่เป็นพวก polyaromatic hydrocarbon และได้ถูกห้ามนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยางและน้ำมันในเดือนธันวาคม 2009 ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของน้ำมันจากธรรมชาติ 10 ชนิดและจากปิโตรเลียมอีก 6 ชนิด และศึกษาผลของการ process oils ในยางธรรมชาติที่ใช้ทำยางล้อรถบรรทุก พบว่าน้ำมันจากธรรมชาติมีสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันจากปิโตรเลียม

Dasgupta *et al.* (2008) ได้ศึกษาถึงลักษณะของการ processing aids ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมของยางในรายงานของ KEMI ได้ระบุไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วย polycyclic aromatic compounds (PCA) มากกว่า 3% โดยน้ำหนักควรมีฉลากระบุไว้อย่างชัดเจนและได้ชี้ให้เห็นถึงการสึกกร่อนของวัสดุที่ใช้ทำยางล้อรถบรรทุกที่กระจายอยู่บนถนน ว่าทำให้มีปริมาณของ PCA กระจายสู่สิ่งแวดล้อมสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ PCA จะมีมากใน extender oils และได้ถูกห้ามนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยางและน้ำมันในเดือนธันวาคม 2009 ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้น้ำมันจากธรรมชาติ 10 ชนิดและจากปิโตรเลียมอีก 6 ชนิด และศึกษาถึงลักษณะยางธรรมชาติที่ใช้ทำยางล้อรถบรรทุก พบว่าน้ำมันจากธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกลพลวัตดีกว่าน้ำมันจากปิโตรเลียม

Ismail and Anuar (2000) ได้ศึกษาผลของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มและความเข้มข้นของเขม่าดำต่อสมบัติพลวัต, ลักษณะการ curing, การกลับสู่สภาพและอายุการล้าของยางธรรมชาติ เวลาในการไหม้, t_2 และเวลาในการ curing, t_{90} สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น สำหรับสมบัติพลวัต, ความสามารถในการยืดหยุ่นสูงสุด เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามความสามารถในการยืดหยุ่นต่ำสุดก็จะลดลง จากผลการทดลองได้ชี้ให้เห็นถึงการลดลงของความหนืดหรือค่ามอดุลัสสูญเสียซึ่งจะแสดงสัญญาณเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น ทำนองเดียวกันความเข้มข้นของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม, ยางธรรมชาติที่มีเขม่าดำ 50 phr ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยืดหยุ่นสูงสุดและต่ำสุด, ความหนืด โดยที่มีองค์ประกอบของเขม่าดำ 30 และ 15 phr การกลับสู่สภาพก็จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของ

กรดไขมันในน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันอายุการล้าของยางก็จะเพิ่มขึ้น และเช่นกันที่ความเข้มข้นของกรด, ยางธรรมชาติที่มีเขม่าดำ 50 phr ได้แสดงให้เห็นว่าการกลับสู่สภาพและอายุการล้าของยางก็จะลดต่ำลง

2.4 วิธีการทดลอง

2.4.1 ศึกษาสมบัติของน้ำมันปาล์ม

2.4.1.1 การหาค่าไอโอดีน (Iodine value) โดย Wijs Method ตามวิธี AOAC

Official Method 993.20

ชั่งน้ำหนักน้ำมัน 8.46-10.58 g ใส่ใน flask ขนาด 500 mL เติมน้ำตาลละลายไอโอดีนไฮดรอกไซด์ 15 mL เขย่าสารจนกระทั่งสารละลายเข้ากัน เติมน้ำ 25 mL เขย่าเบาๆ ให้สารละลายผสมกันเก็บในที่มืด เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเติมน้ำ 15% w/v KI 20 mL เขย่าแล้วเติมน้ำ 150 mL จากนั้นไทเทรตด้วย 0.1 M โซเดียมไทโอซัลเฟตเขย่าจนสีเหลืองหายไปเกือบหมด เติมน้ำเปล่าลงไป 1-2 mL ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี เตรียมแบลนด์แต่เปลี่ยนจากน้ำมันเป็นน้ำกลั่น

หาค่าไอโอดีนได้ดังนี้

$$\text{Iodine value (IV)} = \frac{(B - S) \times M \times 12.96}{\text{wt of oil}}$$

เมื่อ B = ปริมาณของ 0.1 M โซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้กับแบลนด์

S = ปริมาณของ 0.1 M โซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้กับน้ำมัน

M = ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต (โมลาร์)

2.4.1.2 การหาค่าสaponification value (Saponification value) ตามวิธี AOAC

Official Method 920.160

ชั่งน้ำมัน 5 g ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 250 mL ไปเปิดสารละลาย alcoholic potassium hydroxide 50 mL ใส่ลงในขวดก้นกลมที่มีน้ำมัน รีฟลักซ์สารผสมประมาณ 30 นาที หลังจากนั้นทำให้เย็น แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 M โดยใช้ฟีนอล์ฟทาเลิน เป็นอินดิเคเตอร์ ทำแบลนด์เปรียบเทียบ

หาค่าสaponification value ดังนี้

$$\text{Saponification number (mg KOH/g oil)} = \frac{28.05 \times (B - S)}{\text{g oil}}$$

เมื่อ B = จำนวนมิลลิลิตรของ สารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 M ที่ใช้กับแบลนด์

S = จำนวนมิลลิลิตรของ สารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 M ที่ใช้กับน้ำมัน

2.4.1.3 การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ตามวิธี AOAC Official Method 965.33

ชั่งน้ำหนักน้ำมันประมาณ 5.00 ± 0.05 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมสารละลาย กรดอะซิติก-คลอโรฟอร์ม 30 mL เขย่าให้น้ำมันละลาย เติมสารละลายอิมัลชันตัวโพดัสเซียมไอโอไดค์ ปริมาตร 0.5 mL ตั้งทิ้งไว้ พร้อมเขย่าเป็นครั้งคราวนาน 1 นาที เติมน้ำกลั่น 30 mL ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 M เขย่าจนสีเหลืองหายไปเกือบหมด เติมน้ำเป้งเข้มข้นร้อยละ 1 ประมาณ 0.5 mL เขย่าอย่างแรง เพื่อให้ไอโอดีนหลุดออกจากชั้นของคลอโรฟอร์มให้หมด ไทเทรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป ทำแบบลงค์เปรียบเทียบ

หาค่าเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ดังนี้

$$\text{Peroxide value (milliequivalent peroxide/kg oil)} = \frac{S \times M \times 1000}{g \text{ sample}}$$

เมื่อ S = จำนวนมิลลิลิตรของ สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้
โดยลบกับแบลนด์แล้ว

M = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (โมลาร์)

2.4.1.4 การหาค่ากรดไขมัน (Acid value) ตามวิธี AOAC Official Method 940.28

ชั่งน้ำหนักน้ำมันประมาณ 7.05 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติม 95% Ethanol 50 mL หลังจากนั้นนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 60-65°C เติมฟีนอล์ฟทาลิน 2 mLไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M จนถึงจุดยุติได้สารละลายสีชมพูคงที่นาน 10-20 วินาที

หาค่ากรดไขมันนี้

$$\text{Acid value} = \frac{V \times M \times 56.1}{\text{g sample}}$$

เมื่อ $V =$ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานไฮเดียมไฮดรอกไซด์

M = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ (M)

2.4.2 ศึกษาการอพยพชนิดชั้นของน้ำมันปาล์ม

2.4.2.1 การเตรียมน้ำมันปาตัมอิพอกซิไดซ์

ชั่งน้ำหนักน้ำมันปาล์ม 100 g ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 250 mL ใส่ Magnetic bar ลงไป
นำไปวางในอ่างน้ำมันที่วางอยู่บน Hotplate & Stirrer เปิดปุ่มกวนพร้อมกับให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิ
50 °C เติมกรดซัลฟูริก 0.5 mL กรดอะซิติก 1.450 g ค่อยๆหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในสารผสม
ประมาณ 3.969 จากนั้นเก็บตัวอย่างของสารละลายผสมทุกๆ 15 นาที ครั้งละ 10 mL นำสารละลายผสมที่
เก็บมาใส่ในกรวยแยก เติมน้ำขึ้นในปริมาณมากเกินไป เขย่าแล้วไขขันน้ำออก แล้วล้างด้วยน้ำอุ่นจนกระทั่ง
ไม่เหลือความเป็นกรด นำสารละลายผสมที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณอิพอกไซด์

ทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 50°C เป็น 60 และ 70°C

หมายเหตุ สัดส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการทดลองคำนวณ โดยใช้ปริมาณสารสัมพันธ์และ Iodine value

2.4.2.2 การหา % mol epoxide ในน้ำมัน

ชั่งน้ำมันตัวอย่างประมาณ 0.3 g ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL เติม chloroform 20 mL เขย่าให้เข้ากัน หยด 0.1% crystal violet ประมาณ 5 หยด เขย่าให้เข้ากัน นำไปไทเทรตกับ 0.1M HBr in Acetic acid เตรียมแบลนด์ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกันแต่ไม่ใช้น้ำมัน นำผลที่ได้ไปคำนวณหา % mol epoxide

2.4.3 ดัดแปลงโมเลกุลของน้ำมันปาล์มด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีน

ชั่งน้ำหนักน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์ (Epoxidized Palm oil) 8.31 g ลงในขวดกันกลมขนาด 250 mL ใส่ Magnetic bar ลงไป นำไปวางในอ่างน้ำมันที่วางอยู่บน Hotplate & Stirrer เปิดปุ่มกวนพร้อมกับให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ที่ 120°C หลังจากนั้นเติมกรด 1-แนฟโทนิค 10% โมล ลงไปใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง ทดลองซ้ำโดยจะเปลี่ยนปริมาณกรด 1-แนฟโทนิค เป็น 20% โมล ทดลองซ้ำโดยใช้กรด 9-แอนทราซีนคาร์บอกซิลิก แทน กรด 1-แนฟโทนิค

2.4.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม, น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลิน

และแอนทราซีน

วิเคราะห์หาความหนืด (Viscosity : ASTM-D445) การวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity : ASTM-D1298) ของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลิน และแอนทราซีน

2.4.5 ศึกษาผลของน้ำมันดัดแปลงต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

2.4.5.1 ศึกษาผลของชนิดของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลิน และแอนทราซีนต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

ศึกษาเบื้องต้นผลของชนิดของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลิน (Palm oil modified naphthalene หรือ PO modified naphthalene) และน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีน (Palm oil modified anthracene หรือ PO modified anthracene) ต่อสมบัติของยางวัลคาไนซ์โดยแปรปริมาณของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีน โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้ทั่วไป คือ Spindle oil สูตรที่ใช้ในการผสมยางในเครื่องบราวนเดอร์และเวลาที่ใช้ในการผสมยาง (ตารางที่ 1) หลังจากนั้นนำยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติในหัวข้อ 2.4.5.2 และ 2.4.5.3

ตารางที่ 1 สูตรการใช้สารเคมีในยางคอมปาวด์เมื่อแปรชนิดและปริมาณของน้ำมัน 3 ชนิด คือน้ำมันปาล์ม
ดัดแปลงด้วยเนฟทาซีน น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราและ Spindle oil

Ingredients	Quantity (g)			Mixing time (min)
RSS	100	100	100	3.00
Stearic acid	1	1	1	1.00
ZnO	5	5	5	1.00
TBBS	1	1	1	1.00
TMQ	1	1	1	1.00
Spindle oil or PO modified anthracene or PO modified naphthalene	5	10	20	3.00
HAF	35	35	35	1.00
S	2.5	2.5	2.5	1.00

2.4.5.2 สมบัติของยางคอมปาวด์

ทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ของของยาง โดยใช้เครื่อง Oscillating Disk Rheometer 2000 ทำโดยนำยางคอมปาวด์ที่วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสประมาณ 10 กรัม แล้วนำไปวางบนโรเตอร์ที่ผ่านการตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 160°C แล้วเปิดเครื่องให้ทำงาน โรเตอร์หมุนทำงานไปมา 1 องศา หลังจากครบเวลาที่ตั้งไว้ เครื่องอ่านค่าออกมาในรูปของกราฟที่สามารถบันทึกค่าต่างๆ ดังนี้ ระยะเวลาที่ยางเกิดการแข็งตัว (Scorch time, t_s) เวลาเป็นนาทีจากจุดเริ่มต้นที่ทำให้แรงบิดสูงขึ้น 1 lbf.in ระยะเวลาที่ยางเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน (Cure time, t_{95})

2.4.5.3 สมบัติของยางวัลคาไนซ์ โดยทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

2.4.5.3.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

ทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D412(2000) โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลขนาดความยาว 115 มิลลิเมตร กว้าง 6 ± 0.4 มิลลิเมตร นำไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensile testing machine โดยใช้อัตราการเคลื่อนที่ของที่จับขึ้นทดสอบ 500 มิลลิเมตร/นาที แล้วบันทึกค่าแรงที่ระยะยืด 100% และ 300% แรงที่ดึงจนขาดและระยะยืดที่ดึงจนขาด โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$100\% \text{ Modulus} = F/A \text{ (MPa)}$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงที่ระยะ 100% จากระยะเดิม(นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (ซม³)

$$300\% \text{ Modulus} = F/A \text{ (MPa)}$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงที่ระยะ 100% จากระยะเดิม(นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (ซม³)

$$\text{Tensile strength} = F/A \text{ (MPa)}$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการยืดชิ้นทดสอบจนขาด(นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (ซม³)

$$\text{Elongation at break} = 100 \times (L - L_0) / L_0 \text{ (\%)}$$

เมื่อ L_0 คือ ระยะยืดยั้งที่ชิ้นทดสอบขาด (ซม.)

L คือ ระยะกำหนดเริ่มต้นก่อนดึง (ซม.)

2.5 ผลการวิจัย

2.5.1 สมบัติของน้ำมันปาล์ม

จากผลการศึกษาสมบัติต่างๆของน้ำมันปาล์มด้านค่าไอโอดีน (Iodine number) ค่าสะaponิฟิเคชัน (Saponification number), ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide number) และ ค่าความเป็นกรด Acid value) แสดงผลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การศึกษาสมบัติต่างๆของน้ำมันปาล์ม

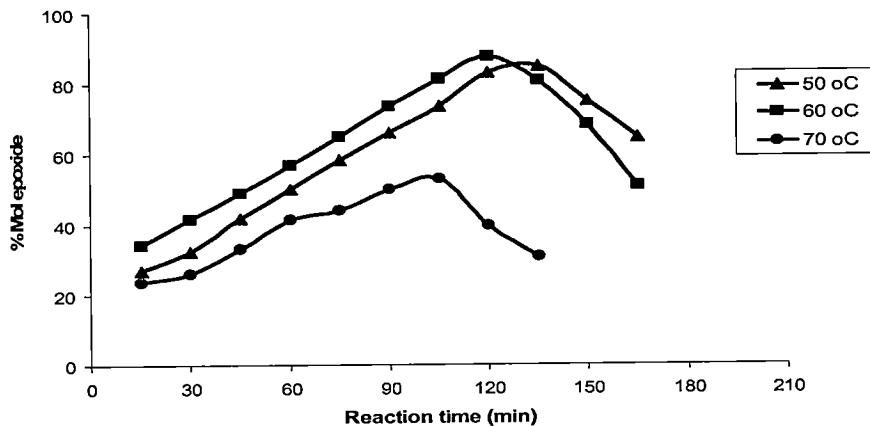
Properties	Value
Iodine value (mgI ₂ /g)	61.30
Saponification number (mgKOH/g)	203.1
Peroxide value (meq.Kg ⁻¹)	4.57
Acid value (mgKOH/g)	0.54

ค่าที่ได้เป็นค่าที่ใกล้เคียงและแตกต่างกับงานวิจัยอื่นๆ อยู่บ้าง เนื่องจากน้ำมันปาล์มที่ศึกษาแต่ละแห่งมีความแปรปรวนหลายประการ ได้แก่ แหล่งกำเนิดและกระบวนการแปรรูปน้ำมัน เป็นต้น

2.5.2 ศึกษาการอีพอกซิเดชันของน้ำมันปาล์ม

2.5.2.1 ผลของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

จากการศึกษาการอีพอกซิไดส์ของน้ำมันปาล์มที่ 50, 60 และ 70°C คำนวณระดับการเกิดปฏิกิริยาเป็นเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์แสดงในรูปที่ 2.1



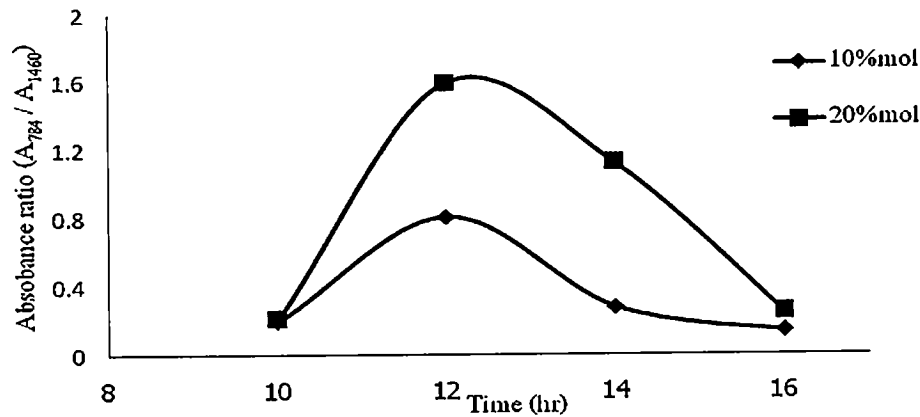
รูปที่ 2.1 %Mol epoxide กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C

จากรูปที่ 2.1 พบว่าระดับการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 105 นาทีแรก และมีแนวโน้มแปรผันตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นระดับการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และพบว่าที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 120 นาทีเกิดอีพอกไซด์มากที่สุด รองลงมาคืออุณหภูมิ 50 °C เวลา 135 นาที และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าต่ำสุดโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 105 นาที การที่ได้อีพอกไซด์ได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 60 °C คาดว่าเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้โมเลกุลของน้ำมันปาล์มชนกับกับกรดเปอร์ฟอร์มิกได้ดีเกิดเป็นน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (70 °C) ประกอบกับเกิดกรดอะซิติกเป็น by product ซึ่งทำให้วงแหวนอีพอกไซด์แตกออกได้ง่าย จึงเป็นเหตุให้อีพอกไซด์ลดลง

2.5.3 ศึกษาการดัดแปลงโมเลกุลของน้ำมันปาล์มด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีน

2.5.3.1 ศึกษาปริมาณ 1-Naphthoic acid ที่เวลาต่างๆ ณ อุณหภูมิ 120°C

จากการศึกษาปริมาณของแนฟทาลินที่มีผลต่อการดัดแปลงโมเลกุลของน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์ที่เวลาต่างๆ ณ อุณหภูมิ 120°C เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยหาจาก Absorbance ratio ที่ความยาวคลื่น 784 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะของ -CH ของอนุกรมของวงแนฟทาลิน ต่อความยาวคลื่น 1460 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะของ CH_2 ของสายโซ่ไตรกลีเซอไรด์ ความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance ratio กับ เวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์กับ 1-Naphthoic acid แสดงในรูปที่ 2.2

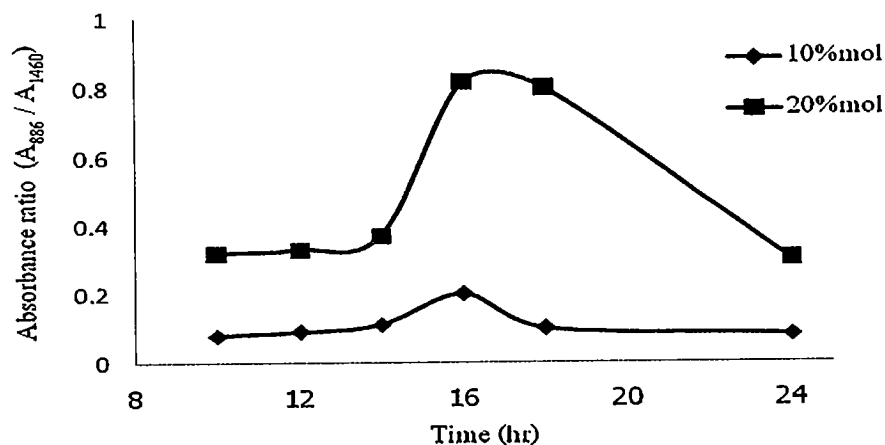


รูปที่ 2.2 Absorbance ratio กับเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มอโฟกซีไคซ์ กับ 1-Naphthoic acid ที่อุณหภูมิ 120°C

จากรูปที่ 2.2 พบว่าระดับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มอโฟกซีไคซ์กับ 1-Naphthoic acid เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10-12 ชั่วโมง และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป อาจเป็นเพราะว่าวงแหวนอโฟกซีไคซ์ถูกใช้ไปหมดแล้วจึงไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ 1-Naphthoic acid ได้อีก และพบว่าเมื่อใช้ปริมาณ 1-Naphthoic acid 20%mol เนฟทาดีนสามารถเกาะติดบนน้ำมันปาล์มอโฟกซีไคซ์ได้มากที่สุดที่เวลา 12 ชั่วโมง

2.5.3.2 ศึกษาปริมาณ 9-Anthracene carboxylic acid ที่เวลาต่างๆ ณ อุณหภูมิ 150°C

จากการศึกษาปริมาณของแอนทราซีนที่มีผลต่อการดัดแปลงโมเลกุลของน้ำมันปาล์มอโฟกซีไคซ์ที่เวลาต่างๆ ณ อุณหภูมิ 150°C เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยหาจาก Absorbance ratio ที่ความยาวคลื่น 886 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะของ -CH ของอนุกรมของวงแอนทราซีนต่อความยาวคลื่น 1460 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะของ CH_2 ของสายโซ่ไดรกลีเซอไรด์ ความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance ratio กับ เวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มอโฟกซีไคซ์กับ 9-Anthracenecarboxylic acid แสดงในรูปที่ 2.2

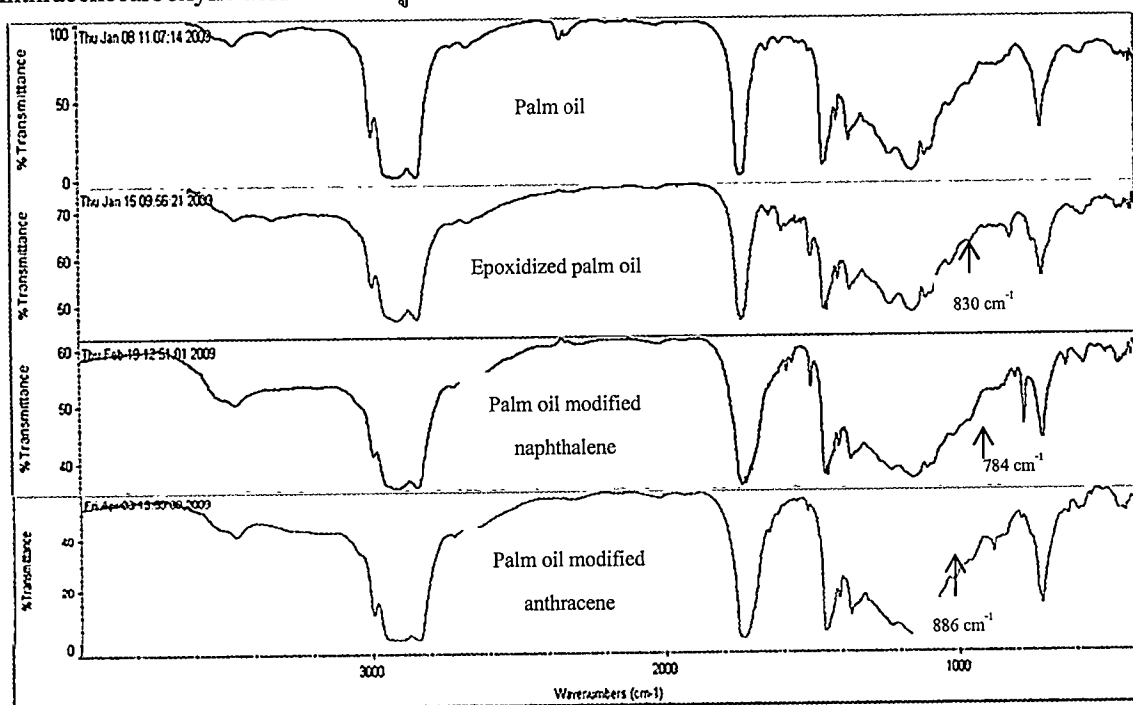


รูปที่ 2.3 Absorbance ratio กับเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มอโฟกซีไคซ์ กับ 9-Anthracenecarboxylic acid ที่อุณหภูมิ 150°C

จากรูปที่ 2.3 พบว่าระดับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์กับ 9-Anthracene carboxylic acid ค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อเวลาผ่านไปอาจเนื่องมาจากสถานะที่เป็นกรดและอุณหภูมิสูงทำให้วงอีพอกไซด์แตกออกส่งผลให้สารเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ลดลง และพบว่าแอนทราซีนสามารถเกาะติดบนน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์ได้มากที่สุด เมื่อใช้ปริมาณ 9-Anthracenecarboxylic acid 20%mol ที่เวลา 16 ชั่วโมง

2.5.4 ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีนด้วยเทคนิค FTIR

ผลจากการพิสูจน์โครงสร้างด้วยเทคนิค FTIR ของโครงสร้างของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลิน และด้วยแอนทราที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์กับ 1-Naphthoic acid และ 9-Anthracenecarboxylic acid แสดงในรูปที่ 2.4

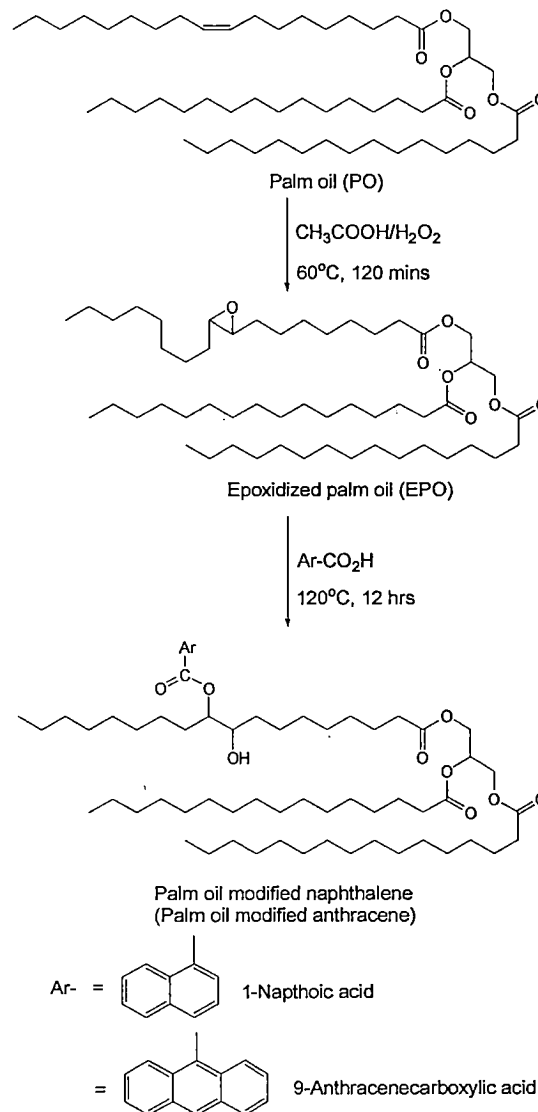


รูปที่ 2.4 FT-IR spectra ของน้ำมันปาล์ม, น้ำมันปาล์มอีพอกไซด์, น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีน

จากรูปที่ 2.4 ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มอีพอกไซด์ น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีน พบว่าที่เลขคลื่น 2853-2924, 1747 และ 1460 cm^{-1} เป็นลักษณะของ $-\text{CH}$ ยึด, $\text{C}=\text{O}$ ยึดและ $-\text{CH}_2$ งอตามลำดับ น้ำมันทั้ง 4 ชนิด มีพีกที่เลขคลื่นดังกล่าวทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์พบว่าน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์เกิดพีกที่เลขคลื่น 830 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะของอีพอกไซด์ส่วนน้ำมันปาล์มไม่มีพีกที่ตำแหน่งดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์กับน้ำมันปาล์มดัดแปลงโมเลกุลด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีนพบว่าน้ำมันปาล์มดัดแปลงโมเลกุลด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีนเกิดพีกที่เลขคลื่น $3100-3400\text{ cm}^{-1}$ ซึ่ง

เป็นลักษณะของ -OH ส่วนที่เลขคลื่น 784 cm^{-1} เป็นลักษณะของ -CH งอนอกระนาบของวงแนฟทาลินซึ่งพบพีกนี้ในน้ำมันปาล์มดัดแปลงโมเลกุลด้วยแนฟทาลินและที่เลขคลื่น 886 cm^{-1} เป็นลักษณะของ -CH งอนอกระนาบของวงแอนทราซีนซึ่งพบพีกนี้ในน้ำมันปาล์มดัดแปลงโมเลกุลด้วยแอนทราซีน โดยหมู่ฟังก์ชันของอีพอกไซด์ที่เลขคลื่น 830 cm^{-1} ได้หายไปทำให้สามารถยืนยันว่าสามารถดัดแปลงโครงสร้างของน้ำมันปาล์มด้วยหมู่แนฟทาลินและแอนทราซีนแล้ว

ขั้นตอนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่กล่าวว่าเป็นไปได้และ โครงสร้างของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีนเป็นดังนี้

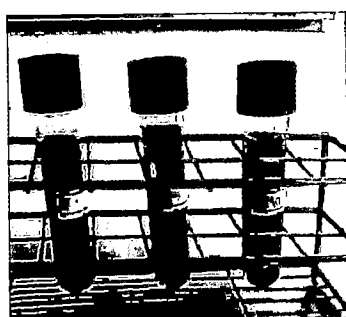


2.5.5 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีน

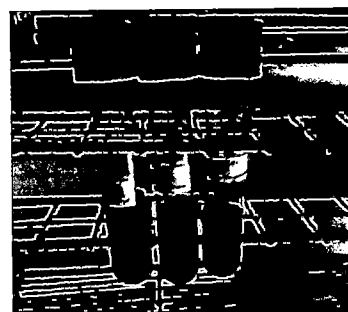
จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนสรุปในตารางที่ 3 และลักษณะน้ำมันดัดแปลงที่ได้แสดงในรูปที่ 2.5

ตารางที่ 3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม, น้ำมันปาล์มเนฟทาลินและแอนทราซีน

Properties	Samples		
	Palm oil	Palm oil modified naphthalene	Palm oil modified anthracene
Viscosity @ 40°C (cSt)	42.99	61.99	65.11
Specific gravity @ 60°F	0.91	0.93	0.95



รูป A



รูป B

รูปที่ 2.5 ลักษณะของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลิน (A) และน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีน (B)

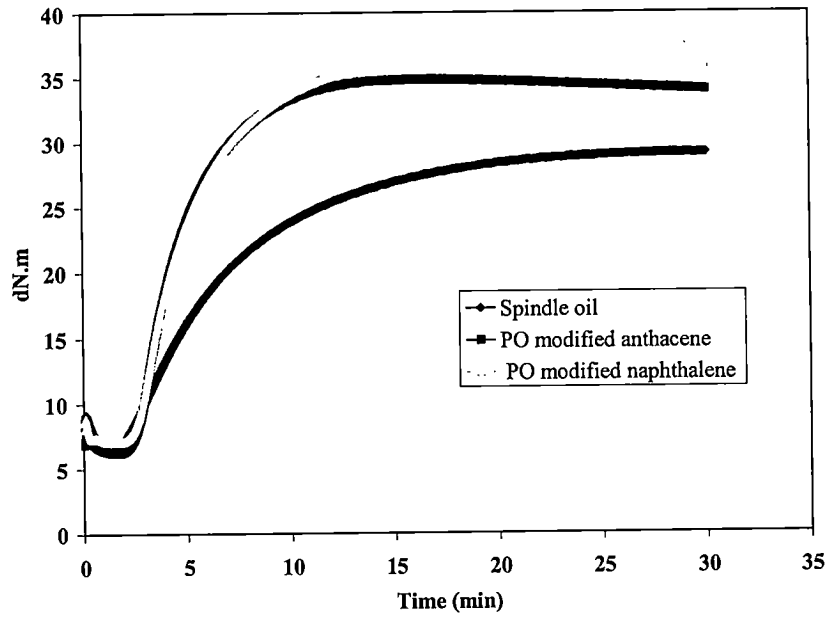
สำหรับ processing oil ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมยางมี 3 ชนิดคือ ชนิดอะโรมาติก, ชนิดเนฟทีนิก และชนิดพาราฟีนิก ในการทดลองนี้น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและ แอนทราซีนมีความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C เท่ากับ 61.99 และ 65.11 cSt และมีความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 60°F เท่ากับ 0.93 และ 0.95 ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มพบว่าน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนมีความหนืดและความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเนื่องจากโมเลกุลของน้ำมันปาล์มถูกดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนแล้ว และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ processing oil ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันโดยใช้ชื่อทางการค้า Delmol 460 จากประเทศจีนซึ่งมีความหนืดและความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิเดียวกันเท่ากับ 68 cSt และ 0.88 ตามลำดับ พบว่าน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนมีค่าความหนืดและความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน ดังนั้นน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทน processing oil จากปิโตรเลียมได้

2.5.6 สมบัติยางคอมปาวด์

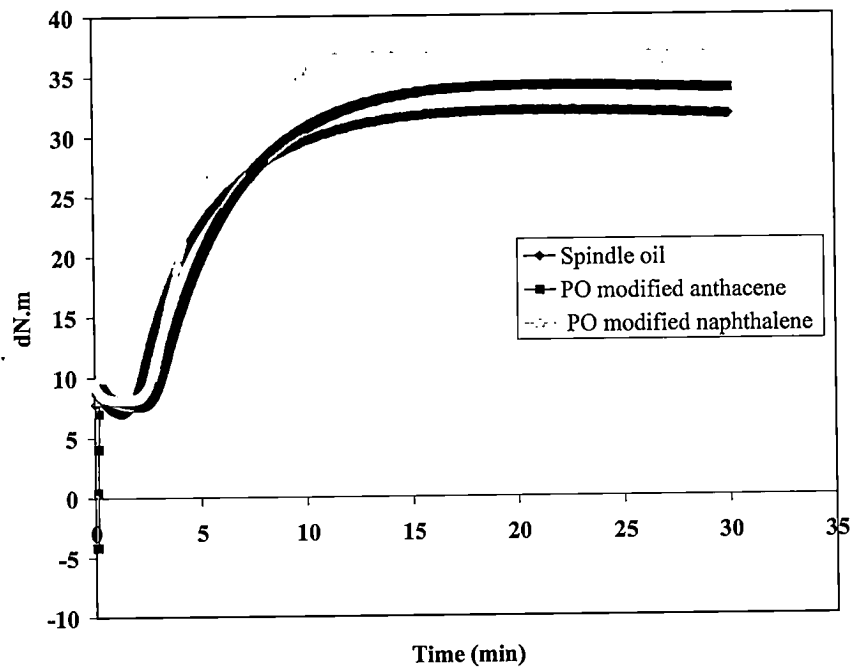
จากการศึกษาเบื้องต้นเพื่อทดสอบผลของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลิน น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีน ในการใช้เป็นน้ำมันแปรรูปยางเมื่อเปรียบเทียบกับ Spindle oil ที่ใช้กันทั่วไปโดยแสดงเฉพาะค่า Scorch time (ts), Cure time (t95) ตารางที่ 4 และรูปที่ 2.6

ตารางที่ 4 ค่า Scorch time (Ts), Cure time (T95), Cure rate index (CRI) ของ Spindle oil, PO modified anthracene, PO modified naphthalene

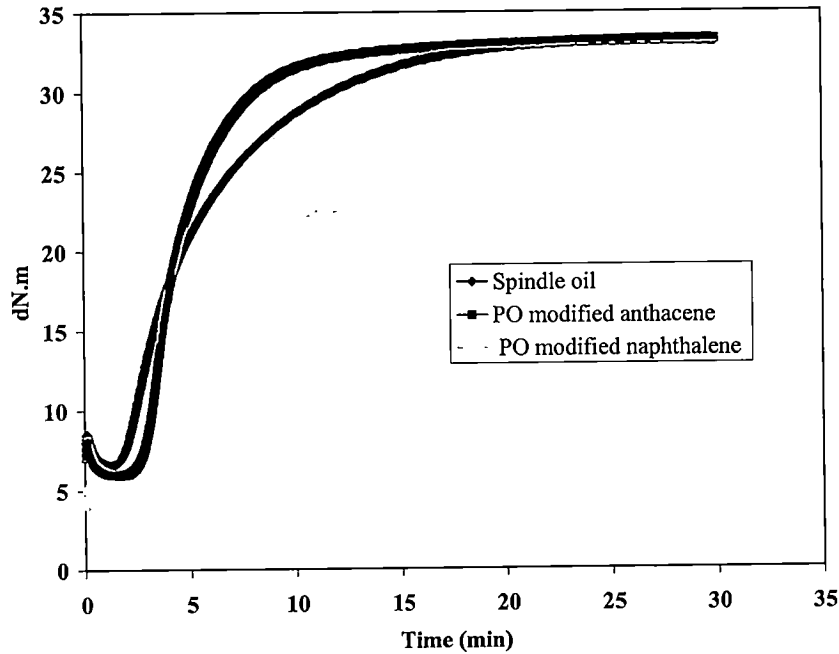
Compound Rubber	Scorch time (Ts)	Cure time (T95)	CRI(S ⁻¹)
Spindle oil 5 phr	2.06	14.53	8.02
Spindle oil 10 phr	1.52	9.57	12.42
Spindle oil 20 phr	1.54	12.40	9.21
PO modified anthracene 5 phr	2.22	8.32	16.39
PO modified anthracene 10 phr	0.08	10.20	9.88
PO modified anthracene 20 phr	2.37	8.38	16.63
PO modified naphthalene 5 phr	2.24	9.52	13.73
PO modified naphthalene 10 phr	2.33	9.52	13.90
PO modified naphthalene 20 phr	2.45	10.18	12.93



รูปที่ 2.6 ลักษณะการวัดคาบไวนซ์ของยางธรรมชาติปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ 5 phr



รูปที่ 2.7 ลักษณะการวัดคาบไวนซ์ของยางธรรมชาติปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ 10 phr



รูปที่ 2.8 ลักษณะการวัดคาบไชนซ์ของยางธรรมชาติปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ 20 phr

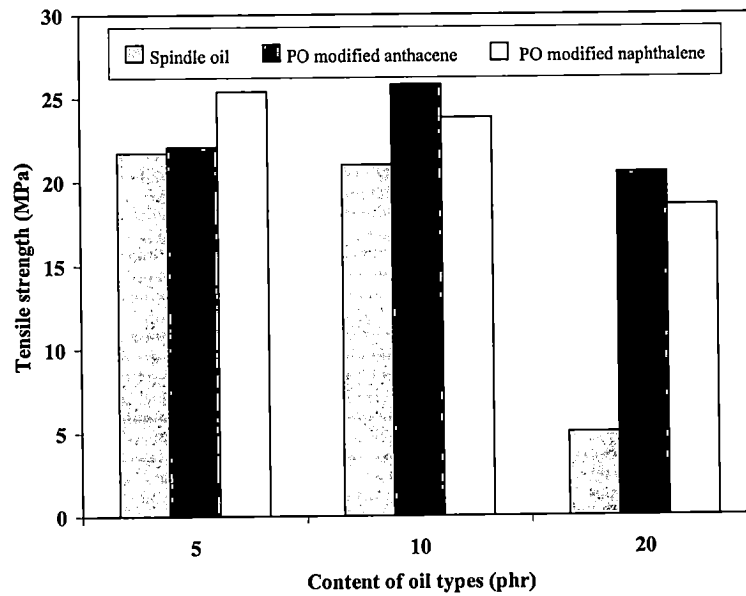
จากรูปที่ 2.6-2.8 แสดงผลของลักษณะการวัดคาบไชนซ์ของยางธรรมชาติ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและด้วยแอนทราซีน เปรียบเทียบกับ Spindle oil ในปริมาณ 5, 10 และ 20 phr พบว่ากรณีที่ใช้น้ำมันทั้ง 3 ชนิดปริมาณ 5 phr เวลาการสกอซ (Scorch time) เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและด้วยแอนทราซีนมีแนวโน้มมากกว่า Spindle oil เล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมัน 3 ชนิดเป็น 10 และ 20 phr พบว่าเวลาสกอซของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและด้วยแอนทราซีนยังคงมีใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มมากกว่า Spindle oil คือ ประมาณ 1.5 เท่า อย่างไรก็ตามเมื่อใช้น้ำมัน 3 ชนิดปริมาณ 5 phr พบว่าเวลาการวัดคาบไชนซ์ (Cure time) น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและด้วยแอนทราซีนมีแนวโน้มใกล้เคียงกันและน้ำมันดัดแปลงทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มเร็วกว่า Spindle oil

2.5.7 สมบัติของยางวัดคาบไชนซ์

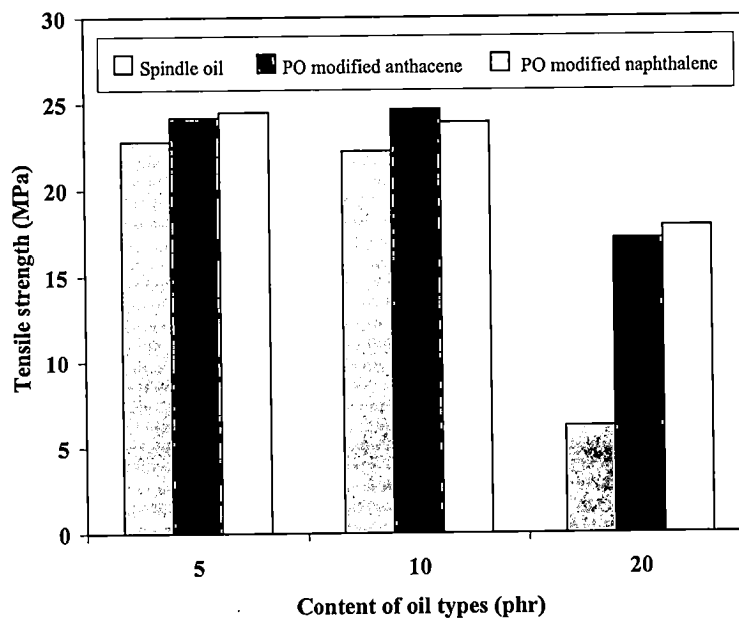
จากการศึกษาผลของชนิดของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลิน น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและ Spindle oil ต่อสมบัติของยางวัดคาบไชนซ์โดยทดสอบสมบัติต่างๆ คือ tensile strength, elongation at break, 100%Modulus, 300%Modulus และ Hardness ดังนี้

2.5.7.1 ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) และระยะยืดที่จุดขาด (Elongation at break)

ผลของชนิดของน้ำมัน 3 ชนิดในยางต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาดของยางวัดคาบไชนซ์ก่อนและหลังอบ (72 ชั่วโมง) แสดงในรูปที่ 2.9-2.12



รูปที่ 2.9 ค่าความต้านทานแรงดึงของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติแปรปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ

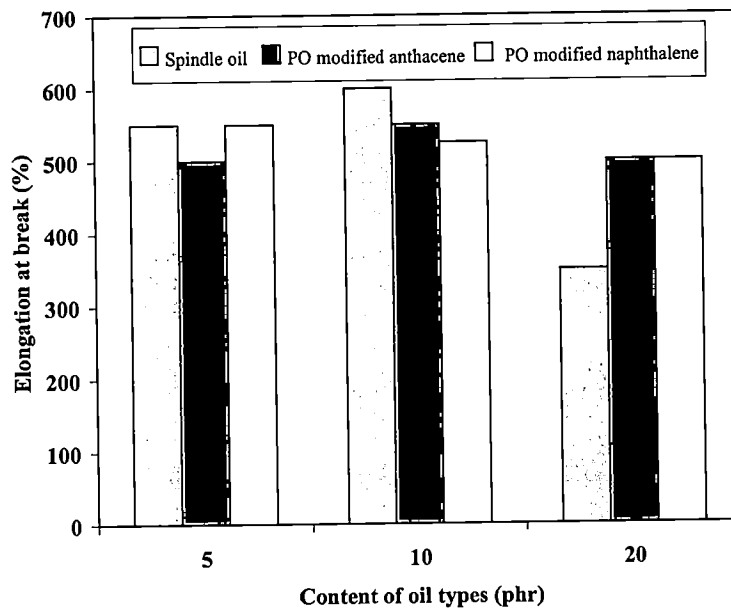


รูปที่ 2.10 ค่าความต้านทานแรงดึงของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติแปรปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ
หลังอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง

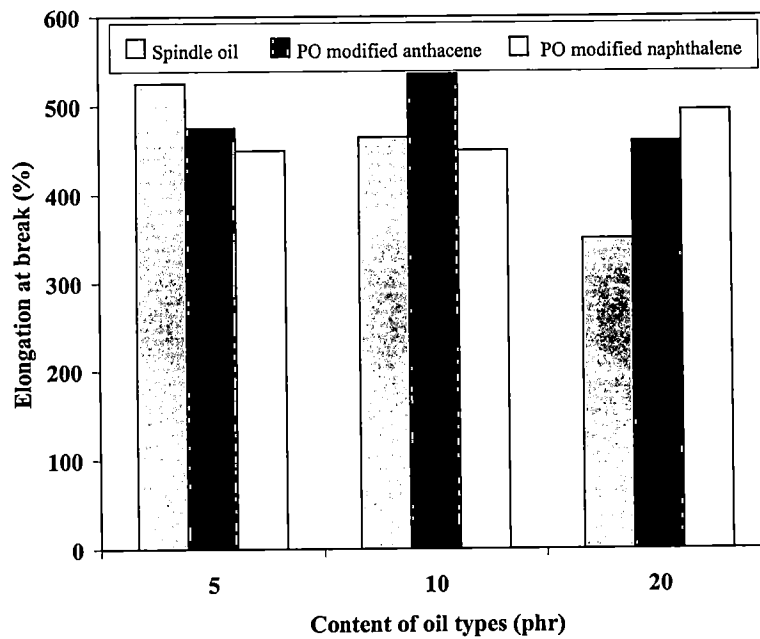
จากรูปที่ 2.9 จากผลการศึกษาความต้านทานแรงดึง เมื่อใช้น้ำมัน 3 ชนิดปริมาณ 5 phr พบว่า น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนฟทาซีน มีแนวโน้มสูงสุด คือ ประมาณ 26 MPa ในขณะที่น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีน และ Spindle oil มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 22 MPa แต่เมื่อเพิ่มน้ำมันทั้ง 3 ชนิดเป็น 10 phr พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของยางวัลคาไนซ์มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ค่า

ความต้านทานแรงดึงของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนมีแนวโน้มสูงสุด ในขณะที่น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและ Spindle oil มีแนวโน้มต่ำกว่าตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำมันทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ผสมในปริมาณ 20 phr พบว่ามีค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มต่ำและต่ำมาก โดยเฉพาะในกรณี Spindle oil จึงถือว่าปริมาณมากเกินไปในการใช้เป็นสารช่วยผสมยางเพราะทำให้สมบัติดังกล่าวมีแนวโน้มต่ำลงมาก ปริมาณดังกล่าวจึงไม่น่าจะเหมาะสม

เมื่อนำยางวัลคาไนซ์ดังกล่าวไปบ่มแรงที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (รูปที่ 2.10) กรณีที่ใช้ไขมัน 3 ชนิดดังกล่าวในยางวัลคาไนซ์ปริมาณ 5 และ 10 phr พบว่า เมื่อใช้ Spindle oil ความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการบ่มแรง ในขณะที่เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณ 5 phr และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณ 10 phr ส่วนน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณ 5 phr และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณ 10 phr



รูปที่ 2.11 ค่าระยะยืดสูงสุด ณ จุดขาดของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติแปรปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ



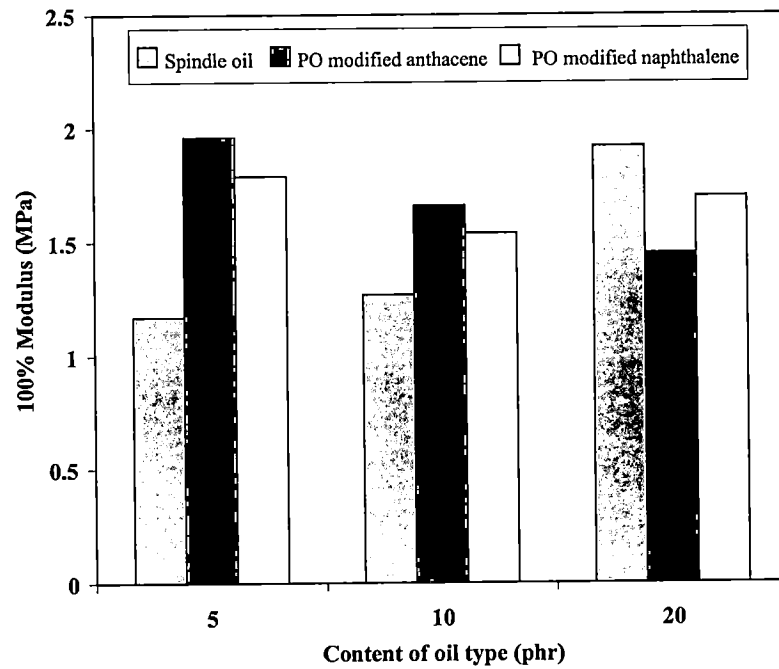
รูปที่ 2.12 ค่าระยะยืดสูงสุด ณ จุดขาดของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติแปรปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ หลังอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง

จากรูปที่ 2.11 เป็นผลการศึกษาอิทธิพลของน้ำมัน 3 ชนิดต่อระยะยืด ณ จุดขาดของยางวัลคาไนซ์ (ก่อนการบ่มเร่ง) พบว่าเมื่อใช้ Spindle oil และน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนปริมาณ 5 phr ระยะยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือประมาณ 550% ในขณะที่น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินมีแนวโน้มต่ำกว่า คือ ประมาณ 500% และเมื่อใช้ปริมาณ 10 phr พบว่า Spindle oil มีค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่าน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีน และน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินคือ มีค่าเท่ากับ 600, 550 และ 525% ตามลำดับ

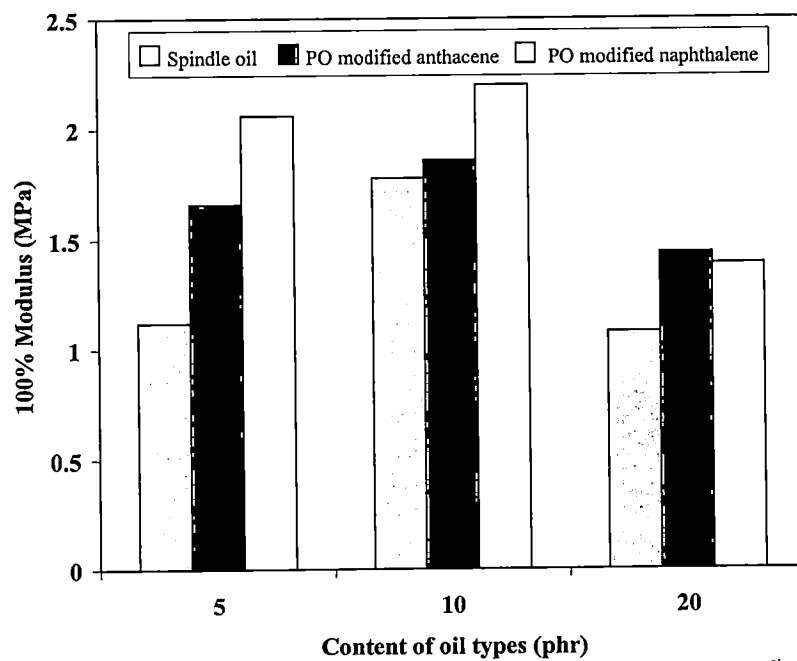
สำหรับการบ่มเร่ง (รูปที่ 2.12) พบว่า เมื่อใช้น้ำมัน 5 phr ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของยางวัลคาไนซ์มีแนวโน้มต่ำกว่าก่อนการบ่มเร่ง คือมีค่าเท่ากับ 525, 475 และ 450% ในขณะที่เมื่อใช้ปริมาณ 10 phr มีค่า 465, 535 และ 450% สำหรับ Spindle oil น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินตามลำดับ

2.5.7.2 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100% และ 300%

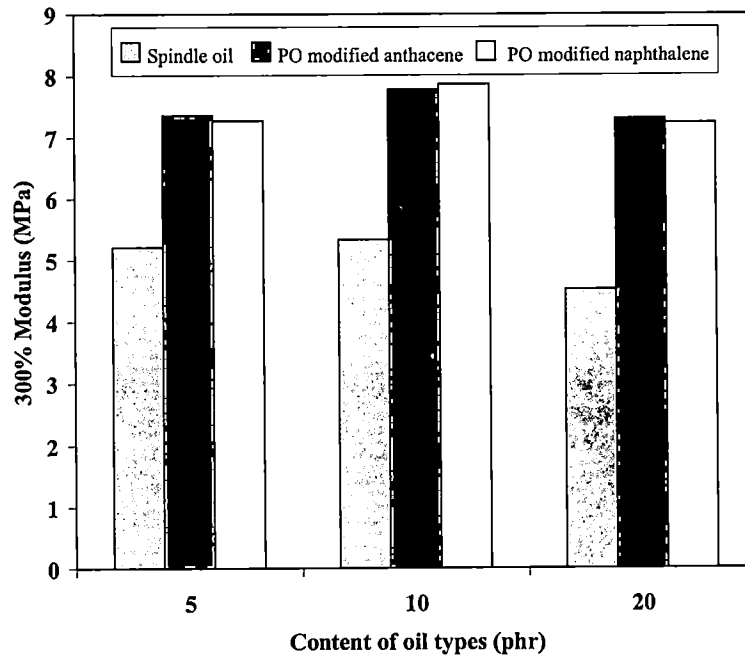
จากการศึกษาผลของยางวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดและปริมาณน้ำมัน 3 ชนิด โดยรูปที่ 2.13 และ 2.14 เป็นค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100% ก่อนและหลังการบ่มเร่ง ในทำนองเดียวกัน รูปที่ 2.15 และ 2.16 เป็นค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300% ก่อนและหลังการบ่มเร่ง



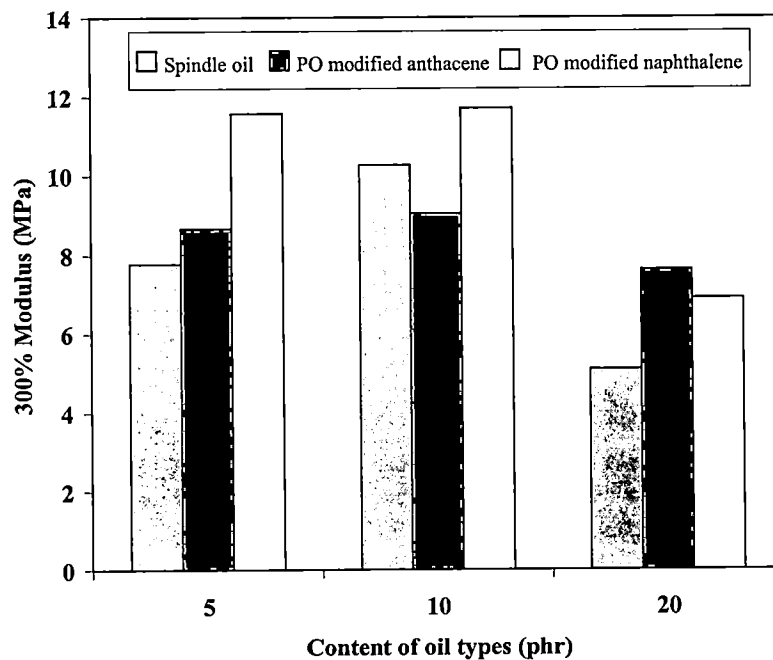
รูปที่ 2.13 ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 100% ของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติแปรปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.14 ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 100% ของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติแปรปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ
หลังอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง



รูปที่ 2.15 ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 300% ของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติแปรปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.16 ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 300% ของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติแปรปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ หลังอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง

จากรูปที่ 2.13 เป็นผลการศึกษาค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100% (100%Modulus) ของยางวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดและปริมาณของน้ำมัน 3 ชนิดดังกล่าว พบว่า เมื่อใช้น้ำมันปริมาณ 5 phr (ก่อนการบ่มเร่ง) มอดูลัสที่ระยะยืด 100% ของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนมีแนวโน้มสูงกว่าน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟ

ทาตึนและ Spindle oil ตามลําดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณนํ้ามันเป็น 10 phr พบว่า มอดูลัสที่ระยะยัด 100% สําหรับ Spindle oil มีแนวโนม้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (1.17 เป็น 1.27 MPa) แต่มีแนวโนม้ลดลงเล็กน้อยสําหรับ กรณีนํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีน (1.96 เป็น 1.66 MPa) และนํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทา ลิน (1.79 เป็น 1.54 MPa)

สําหรับคํามอดูลัสที่ระยะยัด 100% (100%Modulus) ของยางวัลคาไนซ้หลังการบ่มเร่ง (รูปที่ 2.14) พบว่า เมื่อใช้นํ้ามันปริมาณ 5 phr มอดูลัสที่ระยะยัด 100% ของ Spindle oil และนํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วย แอนทราซีนลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการบ่มเร่ง ในขณะที่นํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทา ลิน มีแนวโนม้เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณนํ้ามันเป็น 10 phr พบว่านํ้ามันทั้ง 3 ชนิด คํามอดูลัสที่ระยะยัด 100% มีแนวโนม้เพิ่มขึ้น (เปรียบเทียบกับก่อนการบ่มเร่ง) โดยนํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทา ลินมีแนวโนม้ สูงสุด

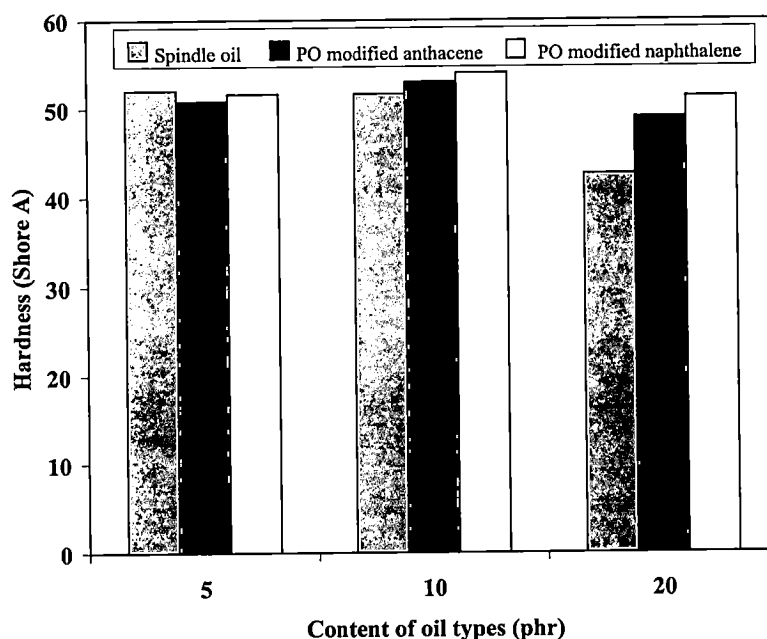
รูปที่ 2.15 เป็นผลของคํามอดูลัสที่ระยะยัด 300% (300%Modulus) ของยางวัลคาไนซ้ พบว่า เมื่อใช้ นํ้ามัน 3 ชนิดปริมาณ 5 phr ก่อนการบ่มเร่งนํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและนํ้ามันปาล์มดัดแปลง ด้วยเนฟทา ลินมีแนวโนม้สูงสุดใกล้เคียงกัน คือประมาณ 7.3 MPa ในขณะที่ Spindle oil มีค่า 5.2 MPa ในขณะที่หลังการบ่มเร่ง (รูปที่ 2.16) มีแนวโนม้เพิ่มขึ้นเป็น 11.57, 8.66 และ 7.70 สําหรับนํ้ามันปาล์ม ดัดแปลงด้วยเนฟทา ลิน นํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีน และ Spindle oil ตามลําดับ

เมื่อเพิ่มปริมาณนํ้ามันทั้ง 3 ชนิดเป็น 10 phr พบว่า ก่อนการบ่มเร่งนํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยแอน ทราซีนและ นํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทา ลินมีแนวโนม้สูงสุดและมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 7.7 MPa ในขณะที่ Spindle oil มีแนวโนม้ต่ำกว่า คือประมาณ 5.2 MPa ภายหลังการบ่มเร่ง พบว่า กรณีนํ้ามันของ Spindle oil คํามอดูลัสที่ระยะยัด 300% มีแนวโนม้เพิ่มขึ้นมากเป็น 10.3 Mpa ในขณะที่ นํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยแอน ทราซีนและนํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทา ลิน มีแนวโนม้เพิ่มขึ้นเป็น 9.0 และ 11.7 MPa ตามลําดับ

ถึงแม้ว่าในกรณีทีเพิ่มปริมาณนํ้ามันทั้ง 3 ชนิดเป็น 20 phr ทำให้มอดูลัสที่ระยะยัด 100 และ 300% สูงในระดับที่น่าพอใจ แต่หลังจากการบ่มเร่งแล้วมีค่าลดลงอย่างมาก จึงเป็นการยืนยันได้อีกเช่นกันว่า ปริมาณดังกล่าวไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นนํ้ามันช่วยผสมยางเพราะทำให้สมบัติของยางวัลคาไนซ้ลดลงอย่าง มากเช่นกัน

2.5.7.3 ค่า Hardness (Shore A)

จากการศึกษาผลของนํ้ามัน 3 ชนิดข้างต้นต่อความแข็ง (Shore A) ของยางวัลคาไนซ้ พบว่า เมื่อใช้ ปริมาณนํ้ามัน 5 และ 10 phr ค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ้มีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ มีค่า Shore A ระหว่าง 51-53 อาจจะเป็นเพราะว่าทั้งนํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีน นํ้ามันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทา ลิน และ Spindle oil ต่างก็มีส่วนของโมเลกุลเป็นอะโรมาติกจึงส่งผลให้ความแข็งของยางวัลคาไนซ้ที่ได้จากการ ใช้นํ้ามันดังกล่าวช่วยในการผสมจึงมีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 2.17)



รูปที่ 2.17 ค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติแปรปริมาณน้ำมันชนิดต่างๆ

2.6 วิจารณ์ผล

น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีน เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพในการใช้เป็นสารช่วยแปรรูปยาง (rubber processing aid) นอกจากน้ำมันพืชหลายชนิดที่ได้มีการศึกษากันมาก่อนหน้านี้ (Dasgupta *et al.*, 2008., Dasgupta *et al.*, 2009., Jayewardhana *et al.*, 2009) เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น spindle oil, aromatic oil, naphthenic oil ซึ่งเป็นน้ำมันที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีส่วนประกอบเป็น polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ที่เชื่อว่าเป็น carcinogenic extender oil

2.7 สรุปผล

1. น้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำมันปาล์มทางการค้าชนิดปาล์มโอเลอินมีค่าไอโอไดนเท่ากับ 61.30 mgI₂/g ค่าสะaponนิฟิเคชันเท่ากับ 203.1 mgKOH/g ค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 4.57 meq.Kg⁻¹ และ ค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.54 mgKOH/g

2. การเตรียมน้ำมันปาล์มออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ภายในเวลา 3 ชั่วโมงพบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 105 นาทีแรก และเกิดออกซิเดชันได้มากที่สุดที่อุณหภูมิ 60°C เวลา 120 นาที

3. การดัดแปลงโมเลกุลของน้ำมันปาล์มด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีน โดยศึกษาปริมาณของแนฟทาลินที่มีผลต่อการดัดแปลงโมเลกุลของน้ำมันปาล์มออกซิไดซ์ที่เวลาต่างๆ ณ อุณหภูมิ 120°C พบว่าระดับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มออกซิไดซ์กับ 1-Naphthoic acid เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10-12 ชั่วโมง และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และยังพบอีกว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง, ปริมาณ 1-

Naphthoic acid 20%mol แนนพทาลินสามารถเกาะติดบนน้ำมันปาล์มอิมพอกซีไดซ์ได้มากที่สุด และศึกษาเกี่ยวกับแอนทราซีนที่อุณหภูมิ 150°C พบว่า ระดับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มอิมพอกซีไดซ์กับ

9-Anthracenecarboxylic acid ค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และยังพบว่า ปริมาณ 9-Anthracenecarboxylic acid 20%mol แนนทราซีนสามารถเกาะติดบนน้ำมันปาล์มอิมพอกซีไดซ์ได้มากที่สุด ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง

4. การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนนพทาลินและแอนทราซีนพบว่าเกิดที่พิกที่เลขคลื่น 784 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะของ $-\text{CH}$ จอนอกระนาบของวงแนนพทาลินและพิกที่เลขคลื่น 886 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะของ $-\text{CH}$ จอนอกระนาบของวงแอนทราซีนตามลำดับ โดยหมู่ฟังก์ชันของอิมพอกซีไดซ์ที่เลขคลื่น 830 cm^{-1} ได้หายไป ทำให้ทราบว่าสามารถดัดแปลงโครงสร้างของน้ำมันปาล์มได้แล้ว

5. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม, น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนนพทาลินและแอนทราซีน โดยจะศึกษาค่าความหนืดและค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่ามีความหนืดเท่ากับ 42.99, 61.99 และ 65.11 cSt และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.91, 0.93 และ 0.952 ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนนพทาลินและแอนทราซีนมีความหนืดและความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเนื่องจากโมเลกุลของน้ำมันปาล์มถูกดัดแปลงด้วยแนนพทาลินและแอนทราซีนแล้ว

6. การศึกษาเบื้องต้นการใช้ น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนนพทาลินและแอนทราซีนเพื่อเป็นสารช่วยผสมยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับ Spindle oil ที่นิยมใช้กันทั่วไป ผลการศึกษาทางด้านสมบัติของคอมเปาวด์พบว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำมันทั้ง 3 ชนิดปริมาณ 5 phr น้ำมันปาล์มดัดแปลง 2 ชนิดที่เตรียมได้มีแนวโน้มในการใช้เวลาเวลาสกอซ (Scorch time) นานกว่า Spindle oil เล็กน้อย ส่วนระยะเวลาการวัลคาไนซ์ (Cure time) นั้น น้ำมันปาล์มดัดแปลงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการใช้เวลาการวัลคาไนซ์ได้เร็วใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มเกิดขึ้นได้เร็วกว่า Spindle oil เล็กน้อย ส่วนผลการศึกษาสมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่ศึกษา คือ ความต้านทานแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด มอดูลัสที่ระยะยืด 100% และ 300% และความแข็ง (Shore A) พบว่า เมื่อใช้น้ำมันทั้ง 3 ชนิดปริมาณ 5 phr น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนนพทาลินมีแนวโน้มทำให้ยางวัลคาไนซ์มีความต้านทานแรงดึงสูงสุด คือ ประมาณ 26 MPa ในขณะที่น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและ Spindle oil มีแนวโน้มต่ำกว่าและใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 22 MPa เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันทั้ง 3 ชนิดเป็น 10 phr ความต้านทานแรงดึงของยางวัลคาไนซ์เมื่อใช้น้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและ Spindle oil มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและสูงกว่าน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนนพทาลินเล็กน้อย ส่วนมอดูลัสที่ระยะยืด 100% และ 300% นั้นค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100% ของน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีนมีแนวโน้มสูงกว่า น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนนพทาลินและ Spindle oil ตามลำดับและเมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 10 phr พบว่าค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100% ของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300% เมื่อใช้น้ำมัน 5 phr พบว่าน้ำมันดัดแปลงด้วยแอนทราซีนและแนนพทาลินมีแนวโน้มสูงสุดใกล้เคียงกัน คือประมาณ 7.3 MPa ในขณะที่ Spindle oil มีแนวโน้มต่ำกว่า คือประมาณ 5.2 MPa นอกจากนี้เมื่อศึกษาทางด้านความแข็งของยางวัลคาไนซ์ พบว่าค่าความแข็งน้ำมัน

ทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ มีค่าความแข็ง (Shore A) ระหว่าง 51-53 กล่าวโดยสรุป น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนโดยเฉพาะปริมาณ 5 phr มีแนวโน้มในการใช้เป็นสารช่วยในการผสมยางธรรมชาติได้ดีใกล้เคียงกับ Spindle oil ถึงแม้ว่าสมบัติต่างๆ ยังมีความแปรปรวนอยู่บ้าง

2.8 ข้อเสนอแนะ

- 1) งานวิจัยควรมีการศึกษายืนยันอีกหลายครั้งก่อนที่จะนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์
- 2) ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยเนฟทาลินและแอนทราซีนประกอบด้วยปฏิกิริยาหลายขั้นตอน อาจจะต้องใช้เวลามากในการเตรียมสารเพื่อนำไปใช้จริง

2.9 เอกสารอ้างอิง

พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. สารเคมีสำหรับยาง, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official Methods of Analysis.

Volume 1. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc.

Annual Book of ASTM Standards. 1998. Standard Method for Density, Relative density

(Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method D1298-85. 05.01. 461-464. United States of America.,

Annual Book of ASTM. 1998. Standards Standard method for Kinematic Viscosity of

Transparent and Liquid (Calculation of Dynamic Viscosity) D445-96. 05.01. United States of America, 172-179.

Dasgupta, S., Agrawal, S.L., Bandyopadhyay, S., Chakraborty, S., Mukhopadhyay, R.,

Malkani, R.K. and Ameta, S.C. 2007. Characterization of eco-friendly processing acids for rubber compound. Polymer Testing, 26: 489-500.

Dasgupta, S., Agrawal, S.L., Bandyopadhyay, S., Chakraborty, S., Mukhopadhyay, R.,

Malkani, R.K. and Ameta, S.C. 2008. Characterization of eco-friendly processing acids for rubber compound: Part II. Polymer Testing, 27: 277-283.

Guidotti, M., Ravasio, N., Psaro, R., Gianotti, E., Coluccia, S. and Marches, L. 2006. Epoxidation

of unsaturated FAMES obtained from vegetable source over Ti(IV)-grafted silica catalyst: A comparison between ordered and non-ordered mesoporous materials. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 250: 218-225.

- Ismail, H. and Anuar, H. Palm oil fatty acid as an activator in carbon black filled natural rubber compounds: dynamic properties, curing characteristics, reversion and fatigue studies. *Polymer Testing*, 2000, 19: 349-359.
- Jayewardhana, W.G.D., Perera, G.M., Edirisinghe, D.G. and Karunanayake, L. 2009. Study on natural oils as alternative processing aids and activators in carbon black filled natural rubber. *J. Natn. Sci. Foundation Sri Lanka*, 37(3):187-193.
- Okieimen, F.E., Bakare, O.I. and Okieimen, C.O. 2002. Study on the epoxidation of rubber seed oil. *Industrial Crops and Products*, 15: 139-144.

ภาคผนวก

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ
“น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีนเพื่อใช้เป็นน้ำมันแปรรูปยาง” สัญญาเลขที่ RDG5250026

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
<u>ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial)</u> 1. ควรทบทวนคำผิด พบมีคำพิมพ์ผิดหลายแห่ง เช่น หน้า 12 หัวข้อ 1.3.5.1, หน้า 13 ตารางที่ 2, หน้า 14 ย่อหน้าข้อ 2.5.1 2. ผลสรุปหน้า 3 การเขียนเป็นร้อยแก้ว ทำให้ผลที่จบลงแล้ว อ่านไม่กระชับ ถ้าเป็นไปได้น่าจะสรุปเป็นข้อๆ เพื่อเน้นให้เห็นถึงสมบัติที่ดีของน้ำมันปาล์มที่ดัดแปลงโดยแนฟทาลิน เมื่อเปรียบเทียบกับกรดดัดแปลงโดยแอนทราซีน และน้ำมัน Spindle oil โดยเฉพาะด้านสมบัติทางกายภาพ สามารถเปรียบเทียบให้เห็นเด่นชัดกว่าการอ่านเป็นร้อยแก้ว 3. หน้า 3 ย่อหน้าสุดท้าย บรรทัดที่ 3 เมื่อใช้น้ำมันปริมาณ 5 phr ควรบอกรายละเอียดของน้ำมันว่าเป็นน้ำมันอะไร 4. หน้า 4 หัวข้อสรุปผลการวิจัย ควรปรับการเขียนประโยคใหม่ “น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแนฟทาลินและแอนทราซีนโดยเฉพาะปริมาณ 5 phr เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง....” ควรนำคำว่า “โดยเฉพาะปริมาณ 5 phr “ ไปไว้หลังประโยค “ ที่มีศักยภาพในการใช้เป็นสารช่วยในการผสมกับยางธรรมชาติได้พอๆ กับ spindle oil โดยเฉพาะใช้ในปริมาณ 5 phr” จะทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น 5. ในส่วนของหัวข้อต่างๆ ควรจะพิมพ์ให้เด่นชัด หรืออาจเป็นตัวหนังสือใหญ่ขึ้นหรือเป็นตัวหนาขึ้น 6. หน้า 12 ข้อ 2.4.3 ควรระบุอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาด้วย 7. หน้า 13 ข้อ 2.4.5.3.1 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ที่ถูกต้องควรใช้การทดสอบความต้านทานแรงดึง และเช่นเดียวกัน ในหัวข้อ 2.5.7.1 และอื่นๆ ด้วย	1. แก้ไขทั้งหมดแล้ว 2. แก้ไขผลการดำเนินเป็นข้อๆ แล้ว 3. แก้ไขแล้ว เป็นน้ำมันทั้ง 3 ชนิด 4. แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว 5. แก้ไขหัวข้อต่างๆ เป็นตัวหนาแล้ว 6. แก้ไขโดยเพิ่มคำว่า อุณหภูมิคงที่ที่ 120 °C 7. แก้ไขเป็น ความต้านทานแรงดึง ทั้งหมดแล้ว

8. หน้า 20-21 การศึกษาการ curing ของยาง ควรมีตารางแสดงค่า t_c และ t_{95} เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบ เพราะเส้นกราฟรูปที่ 2.6-2.8 ดูค่าดังกล่าวยาก ไม่ชัดเจน 9. หน้า 28 ย่อหน้าที่ 3 บรรทัดสุดท้าย ที่กล่าวว่า “และยังพบอีกกว่าที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 120 นาที” ประโยคยังไม่จบ	8. แก้ไขโดยเพิ่มตารางที่ 1 แล้ว (หน้า 13) 9. แก้ไขประโยคใหม่ให้สมบูรณ์แล้ว (หน้า 29)
<u>ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)</u> 1. บทคัดย่อ ย่อหน้าที่ 2 บรรทัดที่ “ยาวกว่า spindle oil เล็กน้อย” คำว่าเล็กน้อย ควรจะบอกในรูปสถิติ ว่าค่าต่างกันอย่างไรมีนัยสำคัญหรือไม่ คำอื่นๆ เช่น ใกล้เคียงกัน ใกล้เคียงพอๆ กัน ก็เช่นกัน ควรบอกในรูปของสถิติว่าใกล้เคียงขนาดใด ใกล้เคียงจนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และเช่นกันในบรรทัดที่ 8 ที่กล่าวว่า “ในขณะที่น้ำมันปาล์มดัดแปลงด้วยแอนทราซีน และ spindle oil มีค่าต่ำกว่าและใกล้เคียงพอๆ กัน” นั้น ต่ำกว่าอะไร ละอะไรที่ใกล้เคียงพอๆ กัน 2. หน้า 13 ข้อ 2.4.5.3.1 ควรบอกว่าตามมาตรฐานอะไร เพราะบรรทัดแรกให้ตัดขึ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลขนาด Die Type C ต้องบอกมาตรฐานในหัวข้อการทดสอบ จะได้ทราบว่า Type C ตามมาตรฐานอะไร 3. หน้า 15 ข้อ 2.5.2.1 ควรให้เหตุผลอธิบายว่า ทำไมที่อุณหภูมิ 60°C เกิดอิพอกไซด์ดีกว่า 50 °C และ 70°C ตามลำดับ 4. หน้า 16 ย่อหน้า 1 ทำไมเมื่อเวลานานขึ้น ระดับปฏิกิริยาลดลง 5. ในการสรุปผลข้อ 2.7 เช่นเดียวกับในบทคัดย่อ ควรเปลี่ยนแปลงคำว่าเล็กน้อย ใกล้เคียงกัน โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบโดยใช้หลักสถิติว่า ที่สรุปว่าใกล้เคียงนั้น เมื่อใช้สถิติแล้วต่างกันอย่างไรมีนัยสำคัญหรือไม่ และที่กล่าวว่าสมบัติต่าง ยังมีความแปรปรวนอยู่บ้าง แสดงว่าผลการทดสอบมีความแตกต่าง สรุปในตอนท้ายว่า “แต่มองโดยภาพรวมถือว่าแตกต่างกันไม่มากนัก” ไม่น่าจะเป็นข้อสรุปที่ดี เพราะไม่มีการนำเสนอตัวเลขและไม่มีอะไรบ่งบอกว่าแตกต่างกันมากน้อยนั้น อย่างไร ดูแล้วไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นควรใช้การเปรียบเทียบทางสถิติจะเหมาะสมกว่า	1. ได้เพิ่มเติมคำว่า แนวน้ำมัน นำหน้าคำต่างๆ ทุกแห่งแล้ว เช่น “มีแนวน้ำมันมากกว่า spindle oil เล็กน้อย” “มีแนวน้ำมันเกิดขึ้นได้เร็วกว่า spindle oil เล็กน้อย” และที่อื่นๆ ไม่สามารถบอกในรูปสถิติได้เนื่องจากเป็นความบกพร่องของผู้วิจัยที่จำนวนซ้ำการทดลองไม่เพียงพอที่จะนำสถิติไปใช้ได้ 2. แก้ไขแล้วตามมาตรฐาน ASTM D412(2000) 3. แก้ไขเพิ่มเติมคำอธิบายแล้ว 4. แก้ไขเพิ่มเติมคำอธิบายแล้ว 5. ดำเนินการแก้ไขและอธิบายเหตุผลดังข้อ 1

<u>ข้อเสนอแนะ</u> 1. งานวิจัยเรื่องนี้ น่าจะมีข้อมูลยืนยันหลายครั้งแล้ว และควรขอความร่วมมือภาคอุตสาหกรรมให้นำไปใช้แทน processing oil ในผลิตภัณฑ์จริง เพื่อศึกษาทางกายภาพว่าเด่นและดีมากอย่างไร เพราะการเตรียมนี้เสียค่าใช้จ่ายมาก	1. จากการค้นคว้าไม่พบว่าม้งานวิจัยอื่นเหมือนกันงานวิจัยนี้ (ดูปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นที่ผู้วิจัยเสนอในหน้า 18) ส่วนการขอความร่วมมือกับอุตสาหกรรมคิดว่าขอให้ได้มีการ confirm สมบัติต่างๆ ให้มากกว่านี้จึงจะให้อุตสาหกรรมทดสอบเพื่อใช้แทน processing oil ได้
---	--