



รายงานฉบับสมบูรณ์

ผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์
Effect of Plasticity Retention Index on Vulcanized Rubber

ศิริโรฒ บุญราศรี

มิถุนายน 2553

สัญญาเลขที่ RDG5150042

รายงานฉบับสมบูรณ์

ผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์ Effect of Plasticity Retention Index on Vulcanized Rubber

คณะผู้วิจัย สังกัด

ศิริโรตม บุญราศรี

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ ผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์
Effect of Plasticity Retention Index on Vulcanized Rubber

ชื่อหัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล ศิวโรฒ บุญราศรี
หน่วยงาน คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ที่อยู่ 63 หมู่ 4 ถนนเชียงใหม่-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย
จังหวัดเชียงใหม่ 50290
โทรศัพท์/โทรสาร 087-831 4777 / (053) 498902
E-mail : siwaroj@mju.ac.th, oproj@hotmail.com
นักศึกษา นายสุปัญญา อุปนันท์

ระยะเวลา การดำเนินงาน 1 ปี 11 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม 2551 ถึงวันที่ 14 มิถุนายน 2553

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

ดัชนีความอ่อนตัวของยางแสดงถึงความต้านทานของยางดิบต่อการแตกหักโมเลกุลที่อุณหภูมิสูง หรือต่อการออกซิเดชัน (Oxidation) ยางที่มีดัชนีความอ่อนตัวสูงแสดงว่ามีความต้านทานต่อการแตกหักโมเลกุลในยางดิบสูง แต่ยังไม่มีการกล่าวถึงมีผลกระทบต่อยางวัลคาไนซ์ว่ามีมากน้อยเพียงใด

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่ายางธรรมชาติมีส่วนประกอบที่เป็นพันธะคู่ที่ว่องไวในโมเลกุล เมื่ออบที่อุณหภูมิสูง ยางดิบจะถูกออกซิเดชันได้ง่าย นอกจากพันธะคู่ที่อยู่ในโมเลกุลตัวเองแล้ว อาจจะมีสาร Non-rubber components ที่อาจจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการออกซิเดชันได้ง่ายขึ้น งานวิจัยที่เกี่ยวกับผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์ยังไม่มีผู้ศึกษา ผู้วิจัยต้องการศึกษาเกี่ยวกับผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์ เช่น เวลา Cure time, Scorch time, สมบัติแรงดึงก่อน Aging และหลัง Aging เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนว่าควรมีการปรับปรุงค่า PRI ยางดิบให้ดีขึ้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีคุณภาพมากขึ้นด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

ผลการดำเนินงาน

สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางที่มีค่า PRI แตกต่างกัน

ดัชนีความอ่อนตัว (PRI) ของยางแสดงถึงความต้านทานของยางดิบต่อการแตกหักโมเลกุลที่อุณหภูมิสูง หรือต่อการออกซิเดชัน (Oxidation) ผู้ผลิตยางแท่ง STR ส่วนใหญ่มักจะผลิตให้ยางมีค่า PRI สูงกว่า 60 เนื่องจากต้องการผลิตยางที่มีคุณภาพ ปัจจัยที่มีผลทำให้ค่า PRI ต่ำมีหลายสาเหตุหนึ่งในหลายปัจจัยนั้นคือระยะเวลาการเก็บโดยค่า PRI ลดลงตามระยะเวลาการเก็บ ดังนั้นผู้ผลิตยางส่วนมากนิยมผลิตให้ยาง STR 20 มีค่า PRI อยู่ในช่วง 70 - 90 ทำให้ไม่มียาง STR 20 ที่มีค่า PRI ต่ำกว่า 60 ผู้วิจัยเองต้องเก็บยางไว้ในสภาวะบ่มเร่งเพื่อให้ได้ค่า PRI ของยาง STR 20 ลดลงเป็น 63.6, 50.6 และ 41.1

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาผลของสมบัติการวัลคาไนซ์ของยาง STR 20 ที่มีค่า PRI แตกต่างกันโดยใช้สูตรยาง Gum compound คือยางที่ผสมสารเคมีแต่ไม่มีการเติมสารตัวเติม และสูตรยาง Filled compound เป็นยางที่ผสมสารเคมีและเติมสารตัวเติมตามสูตรมาตรฐานได้กำหนดไว้ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้ ลักษณะ Cure curve ของสูตรยาง Gum compound และ สูตรยาง Filled rubber ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทำให้ได้ลักษณะเส้นกราฟแตกต่างกัน ในกรณีสูตรยาง Filled compound จะสังเกตเห็นการเกิด Reversion ได้ชัดเจนเมื่อค่า PRI ลดลง อาจเนื่องจากสูตรยาง Filled compound ใช้เวลาในการผสมนานกว่าสูตรยาง Gum compound ทำให้ยางทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่ายทำให้ค่า Torque ลดลง

ค่า PRI ที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อค่า Cure time, Scorch time ของสูตรยาง Gum compound และสูตรยาง Filled compound มากนัก

ค่า Maximum torque ของสูตรยาง Gum compound ต่ำกว่าสูตรยาง Filled compound เนื่องจากมีการเติมเขม่าดำในสูตรยาง Filled compound ซึ่งเขม่าดำมีผลให้ค่า Torque สูตรยาง Filled compound สูงขึ้น ค่า PRI ต่ำลงค่า Maximum torque ของยางก็ลดลงด้วย ส่วนค่า Minimum Torque ให้ค่าไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบสมบัติแรงดึงและสมบัติ Aging ของสูตรยาง Gum compound

หลังจากได้ค่า Cure time แล้วนำยางมาอัดเป็นแผ่น เพื่อนำไปทดสอบสมบัติของแรงดึง ก่อนบ่มแรง และหลังบ่มแรง (Aging) เพื่อศึกษาผลของค่า PRI ที่มีต่อสมบัติแรงดึง Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break ผลการทดลองพบว่าสูตรยาง Gum compound ที่มีค่า PRI แตกต่างกันทำให้มีค่า Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break แตกต่างกัน เมื่อค่า PRI เพิ่มขึ้นค่า Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break ก็เพิ่มขึ้นด้วย

สูตรยาง Gum compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันเมื่อนำยางไปบ่มแรง ยางที่มีค่า PRI ต่ำ ค่าสมบัติแรงดึงของยางลดลงมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง ดังนั้นยาง STR 20 ที่เหมาะสมที่จะทำผลิตภัณฑ์ได้ควรมีค่า PRI อย่างน้อย 60 ซึ่งถ้ามีค่าต่ำกว่านี้จะมีผลทำให้สมบัติยางบ่มแรงลดลงอย่างมากและยางจะเสื่อมคุณภาพเร็ว

ผลการทดสอบสมบัติแรงดึงและสมบัติ Aging ของสูตรยาง Filled compound

สูตรยาง Filled rubber ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทำให้มีค่า Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break แตกต่างกันโดยที่เมื่อค่า PRI เพิ่มขึ้นค่า Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break เพิ่มขึ้นด้วย

สูตรยาง Filled rubber ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันเมื่อนำยางไปบ่มแรง ยางที่มีค่า PRI ต่ำ ค่าสมบัติแรงดึงของยางลดลงมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง ดังนั้นยางที่เหมาะสมที่จะทำผลิตภัณฑ์ได้ควรมีค่า PRI อย่างน้อย 60 ซึ่งถ้ามีค่าต่ำกว่านี้จะมีผลทำให้สมบัติยางบ่มแรงลดลงอย่างมากและยางจะเสื่อมคุณภาพเร็ว แต่ทั้งนี้ในการทำผลิตภัณฑ์ยางจะใช้วัตถุดิบใดที่เหมาะสมขึ้นกับสมบัติของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ว่ามี specification แบบใด

สรุปผลกรวิจัย

1. ค่า PRI ของยาง STR 20 ลดลงจาก 63.6, 50.6 และ 41.1 ไม่มีผลต่อ Cure time, Scorch time และ Minimum Torque แต่จะมีผลต่อค่า Maximum torque ทั้งสูตรยางที่มีสารตัวเติมและสูตรยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม เมื่อค่า PRI ลดลงทำให้ได้ค่า Maximum Torque ลดลง นอกจากนี้ในกรณีของสูตรยางผสมสารตัวเติมจะเกิดการ reversion ได้ง่ายเมื่อยางมีค่า PRI ต่ำ

2. ค่า PRI ของยาง STR 20 มีผลต่อสมบัติแรงดึงของยาง เมื่อค่า PRI ลดลง ทำให้ค่า

Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break ลดลง ทั้งสูตรยางที่มีสารตัวเติมและสูตรยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม

3. ค่า PRI ของยาง STR 20 มีผลต่อสมบัติการบ่มเร่งเมื่อค่า PRI ต่ำ 50.6 และ 41.1 ทำให้ยางเสื่อมคุณภาพมากกว่า 15% (ในช่วง 15-30%) แต่ถ้าที่ค่า PRI เป็น 60 ทำให้ยางเสื่อมคุณภาพน้อยกว่า 10%

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

จากการทดลองเรื่องผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์ การนำผลการวิจัยไปใช้ สำหรับโรงงานผลิตยางแท่ง และ โรงงานทำผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติจะต้องคำนึงถึงค่า PRI ของยางดิบ โดยโรงงานผลิตยางแท่งต้องผลิตยางให้ได้ค่า PRI สูงกว่า 60 โดยเฉพาะยาง STR 20 ส่วนโรงงานทำผลิตภัณฑ์อาจจะต้องเลือกยางที่มีคุณภาพในการทำผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพ แต่ทั้งนี้ในการทำผลิตภัณฑ์ยางจะใช้วัตถุดิบใดที่เหมาะสมขึ้นกับ สมบัติของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ว่ามี specification แบบใด

ประเด็นวิจัยใหม่มีดังนี้

ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าดัชนีความอ่อนตัว

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

- การตีพิมพ์ภายในประเทศ

บทคัดย่อ

ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index, PRI) ของยางแสดงถึงความต้านทานของยางดิบต่อการแตกหักโมเลกุลที่อุณหภูมิสูง หรือต่อการออกซิเดชัน (Oxidation) ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของค่า PRI ของยาง STR 20 ลดลงเป็น 63.6, 50.6 และ 41.1 ต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์ พบว่าค่า PRI ที่ลดลงไม่มีผลต่อ Cure time และ Scorch time แต่ค่า PRI ของยาง STR 20 มีผลต่อสมบัติแรงดึงของยาง เมื่อค่า PRI ลดลงทำให้ค่า Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break ลดลงทั้งสูตรยางที่มีสารตัวเติมและสูตรยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม และค่า PRI ของยาง STR 20 มีผลต่อสมบัติการบ่มเร่งเมื่อค่า PRI ต่ำทำให้ยางเสื่อมคุณภาพมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง

ABSTRACT

The Plasticity Retention Index, PRI is a measure of the resistance of natural rubber to thermal oxidation. This research aims to study the effect of PRI value of Standard Thai Rubber grade 20 (STR 20) on properties of rubber vulcanisates. Raw STR 20 with 63.6, 50.6, 41.1 PRI value was used. It is found that PRI value does not affect cure time and scorch time of rubber compound but PRI affects mechanical properties. Tensile strength, 300% modulus and elongation at break of both gum vulcanisate and filled vulcanisate decrease when PRI decreases. Considering in aging properties, STR 20 with lower PRI value makes degradation of rubber more than higher PRI value.

2. เนื้อหา

2.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ดัชนีความอ่อนตัวของยางแสดงถึงความต้านทานของยางดิบต่อการแตกหักโมเลกุลที่อุณหภูมิสูง หรือต่อการออกซิเดชัน (oxidation) ยางที่มีดัชนีความอ่อนตัวสูงแสดงว่ามีความต้านทานต่อการแตกหักโมเลกุลในยางดิบสูง แต่ยังไม่มีการกล่าวถึงมีผลกระทบต่อยางวัลคาไนซ์มากนักเพียงใด

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่ายางธรรมชาติมีส่วนประกอบที่เป็นพันธะคู่ที่ว่องไวในโมเลกุลเมื่ออบที่อุณหภูมิสูงยางดิบจะถูกออกซิเดชันได้ง่าย นอกจากพันธะคู่ที่อยู่ในโมเลกุลยางเองแล้ว อาจจะมีสาร non-rubber components ที่อาจจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการออกซิเดชันได้ง่ายขึ้น ยางดิบซึ่งผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ (*Hevea brasiliensis latex*) ประกอบด้วยส่วนของสารไฮโดรคาร์บอนและส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางประมาณ 3-5% ได้แก่ ไขมัน โปรตีน กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรตและสารอนินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางบางชนิดนี้มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางวัลคาไนซ์ การปั่นน้ำยางธรรมชาติด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถแยกส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางออกเพื่อเตรียมยางธรรมชาติบริสุทธิ์ (Purified natural rubber: PNR) นิตยา¹ ได้ศึกษายาง 2 ชนิด คือยางที่ไม่เอาส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางออก (Whole natural rubber : WNR) และยางที่เอาส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางออกหรือยางธรรมชาติบริสุทธิ์ (PNR) เพื่อที่จะศึกษาผลของส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ สมบัติที่จะศึกษาได้แก่ สมบัติต้านทานต่อแรงดึง (tensile properties) และการทนต่อการพับงอ (flex-cracking property) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ จิตต์ลัดดา² ได้ศึกษาเรื่อง “การศึกษาผลกระทบของ Non-Rubber Components ต่อความแปรปรวนของคุณภาพน้ำยางธรรมชาติ” ชูเดช³ ได้ศึกษาเรื่อง “การศึกษาผลขององค์ประกอบที่ไม่ใช่เนื้อยางในยางธรรมชาติต่อคุณสมบัติการรับแรงทางพลศาสตร์”

งานวิจัยที่เกี่ยวกับผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์ ยังไม่มีผู้ศึกษา ผู้วิจัยต้องการศึกษาเกี่ยวกับผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์ เช่น เวลา Cure time, Scorch time, การ reversion, T.S., และค่าโมดูลัส ก่อน Aging และหลัง Aging เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนว่าควรมีการปรับปรุงค่า PRI ยางดิบให้ดีขึ้น เมื่อเวลาน้ำยางดิบมาวัลคาไนซ์จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมากขึ้นด้วย

2.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

2.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ความหมายและความสำคัญของค่าความอ่อนตัว (Plasticity) ⁴

ค่าความอ่อนตัวของยางเป็นสมบัติของยางที่ยังไม่เข้ากระบวนการวัลคาไนซ์ อันได้แก่ยางดิบและยางที่ผสมสารเคมีแล้วแต่ยังไม่เอาไปอบ ค่า Plasticity ของยางบอกถึงว่านิ่มหรือแข็งยางที่มีค่า Plasticity สูง คือ ยางแข็ง ส่วนยางนิ่มจะมีค่า Plasticity ต่ำ ซึ่งค่าพลาสติกซีดีของยางมีความสำคัญต่อการแปรรูปยาง เช่น บ่งถึงพลังงานที่ต้องใช้ในการแปรรูปยาง ยางนิ่มจะใช้พลังงานน้อยและจะรับสารเคมีเข้าไปในยางได้รวดเร็ว เป็นต้น ส่วนค่าดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index, PRI) อัตราส่วนของค่าพลาสติกซีดีหลังจากการให้ความร้อนในตู้อบอากาศร้อนเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ต่อค่าพลาสติกซีดีก่อนการให้ความร้อนในตู้อบ ซึ่งค่านี้จะบอกถึงความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันของยางดิบ ยางแท่งคุณภาพดีจะต้องมีค่า P_0 เกิน 30 และจะต้องมีค่า PRI สูงเกิน 60 แต่เมื่อค่อยคุณภาพลงค่า PRI จะต่ำกว่านี้ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความอ่อนตัวของยาง แสดงดังภาพด้านล่างเป็นเครื่อง Wallace Rapid Plastimeter¹³ รุ่น Mk V- P14



2.3.2 การผลิตยางแท่ง⁵

ประเทศไทยเริ่มผลิตยางแท่งครั้งแรกเมื่อปี 2511 โดยมีชื่อเรียกว่ายางแท่ง ที ที อาร์ (TTR – Thai Tested Rubber) เพื่อให้สอดคล้องกับภาวะอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง และสอดคล้องกับการเรียกชื่อยางแท่งตามสากล สถาบันวิจัยยางจึงได้แก้ไขและปรับปรุงวิธีปฏิบัติของการบรรจุหีบห่อ การควบคุมคุณภาพพื้ดจำกัดของสมบัติยางแท่งบางประการ ได้จัดชั้นยางบางชั้น เพิ่มขึ้นยาง CV (Constant Viscosity) และเปลี่ยนชื่อเรียกเป็นยางแท่ง เอส ที อาร์ (STR - Standard Thai Rubber) เมื่อวันที่ 1 มกราคม 2539 โดยกำหนดให้ประกอบด้วยชั้นยาง 8 ชั้น ได้แก่ STR XL, STR 5L, STR 5, STR 5 CV, STR 10, STR 10 CV, STR 20 และ STR 20 CV

ตารางที่ 1 มาตรฐานยางแท่งไทยชนิดต่าง ๆ ในปัจจุบัน (ตั้งแต่ปี 2539)

Parameter	STR XL*	STR 5L	STR 5	STR 5 CV*	STR10	STR10 CV*	STR20	STR20 CV*
Drit on 44 μ ,max	0.02	0.04**	0.04**	0.04	0.08**	0.08	0.16**	0.16
Ash, % wt., max	0.40	0.40**	0.60	0.06	0.60**	0.60	0.80**	0.80
N ₂ , % wt., max	0.50	0.60	0.60	0.06	0.60	0.60	0.60	0.60
VM, % wt.. max	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
P _o , min	35	35**	30	-	30	-	30	-
PRI, %, min	60	60	60	60	50	50	40	40
Lovibond colour, max	4.0	6.0	-		-	-	-	-

*ชั้นยางที่กำหนดเพิ่ม

2.3.3 สมบัติการคงรูป (Vulcanization characteristics)⁶

การคงรูปยาง หมายถึง การเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างสายโมเลกุล (Crosslink) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อยางผสมสารเคมี (Compound rubber) ได้รับความร้อนหรือพลังงานในระยะเวลาที่เหมาะสม การทดสอบสมบัติการคงรูป กำหนดวิธีวัดสมบัติการคงรูปของยางโดยใช้เครื่องมือทดสอบหาเวลาและลักษณะการคงรูป (Rheometer) ตัวอย่างที่จะทดสอบเป็นยางผสมสารเคมี ซึ่งมีการผสมได้ 2 แบบ คือ สูตรที่ 1 ใช้สำหรับยางธรรมชาติที่ไม่ผสมสารตัวเติม สูตรที่ 2 ใช้สำหรับยางธรรมชาติที่ใส่ขี้เถ้าเป็นสารตัวเติม เครื่องมือที่ใช้บังคับเป็นเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง สารเคมีที่ใช้

ซึ่งคือออกไซด์ กำมะถัน กรดสเตียริก เขม่าดำ เอ็มบีที ทีบีบีเอส เตรียมยางผสมสารเคมีตามสูตรและวิธีการบดผสมที่กำหนดในมาตรฐาน ISO 1658-1973(E) หรือ ASTM D 3184-89 Rubber-Evaluation of NR

หลังจากผสมยางแล้วและหาเวลาในการวัลคาไนซ์ (Cure time, Scorch time) ของยาง แล้วนำยางไปอัดเบ้า ตัดเป็นรูปดัมเบลเพื่อใช้ทดสอบแรงดึง, และค่าโมดูลัส ก่อนบ่มเร่ง และหลังบ่มเร่ง (Aging)

2.3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิตยา¹ ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลและลักษณะการประลัยของยางธรรมชาติบริสุทธิ์ที่วัลคาไนซ์พบว่า ยางธรรมชาติซึ่งผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ (*Hevea brasiliensis latex*) ประกอบด้วยส่วนของสารไฮโดรคาร์บอนและส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางประมาณ 3-5% ได้แก่ ไขมัน โปรตีน กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรตและสารอนินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางบางชนิดนี้มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางวัลคาไนซ์ การปั่นน้ำยางธรรมชาติด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถแยกส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางออกเพื่อเตรียมยางธรรมชาติบริสุทธิ์ (purified natural rubber: PNR) ในการศึกษานี้จะเตรียมยาง 2 ชนิด คือยางที่ไม่ได้เอาส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางออก (whole natural rubber : WNR) และยางที่เอาส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางออกหรือยางธรรมชาติบริสุทธิ์ (PNR) เพื่อที่จะศึกษาผลของส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ สมบัติที่จะศึกษาได้แก่ สมบัติด้านทานต่อแรงดึง (tensile properties) และการทนต่อการฟุ้งงอ (flex-cracking property) พร้อมทั้งวิเคราะห์ลักษณะการประลัยในขณะทดสอบและภายหลังการทดสอบ ทั้งนี้เพื่อให้เข้าใจถึงความแตกต่างของลักษณะการประลัยของยางวัลคาไนซ์ทั้งสองชนิดขณะรับแรง ซึ่งจะเป็พื้นฐานไปสู่ความเข้าใจความไม่คงที่ของสมบัติยางธรรมชาติ

หรรษา และคณะ³ ได้ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของยางแท่ง TTR 20 ที่ผลิตจากโรงงานต่าง ๆ 8 โรงงาน คือ บริษัทยางไทยปิคมัสได้ จำกัด สาขาสงขลา สาขายะลา สาขานราธิวาส สาขตรัง บริษัทสหยางภูเก็ต จำกัด สาขาภูเก็ต บริษัทยางไทยทวี จำกัด สาขาภูเก็ต บริษัทช่วยชวน จำกัด สาขาปัตตานี และบริษัทเต็กเล่ย์ TTR จำกัด สาขาสงขลา เริ่มการทดลองเดือนมกราคม 2528 ที่กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตยางดิบและทดสอบ ศูนย์วิจัยยางสงขลา เก็บตัวอย่างยางจากโรงงานดังกล่าวทุกเดือน เดือนละครั้ง ครั้งละไม่ต่ำกว่า 25 ชุด (Lot) ชุดละ 15/18 ตัวอย่าง นำมาทดสอบหาปริมาณสิ่งสกปรก (Dirt) ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณสารระเหย (VM) ปริมาณไนโตรเจน (N2) ความอ่อนตัวเริ่มแรก (P0) และดัชนีความอ่อนตัว (PRI) ของยางตามมาตรฐานการยางแท่ง TTR แสดงผลที่ได้

ด้วยตารางและแผนภูมิควบคุม X - R Chart ผลที่ได้ ปรากฏว่า คุณสมบัติต่าง ๆ ของยางแท่ง TTR 20 ของแต่ละโรงงานมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก และดัชนีความอ่อนตัวของยาง โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จากแต่ละโรงงานนั้น ส่วนใหญ่จะอยู่นอกเส้นควบคุม UCL, LCL ส่วนปริมาณพวงมีความแตกต่างกันบ้าง โดยมีค่าเฉลี่ยของบางโรงงานอยู่นอกเส้นควบคุม UCL, LCL สำหรับปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณไนโตรเจนนั้น ไม่มีความแตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยของทุกโรงงานอยู่ในเส้นควบคุม UCL, LCL เดียวกัน

กฤษณา และคณะ⁷ ได้ศึกษาคุณภาพยางที่จมน้ำ โดยงานวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษาสมบัติของยางแท่งเอสทีอาร์ 5 แอล ยางแท่งเอสทีอาร์ 20 และยางแผ่นรมควัน ซึ่งเกิดอุบัติเหตุทางน้ำระหว่างการขนส่ง จากผู้ผลิตถึงปลายทางหรือผู้บริโภค โดยจำลองการนำยางทั้ง 3 ชนิด มาแช่น้ำธรรมดาและน้ำทะเล ตามระยะเวลาต่าง ๆ แล้วนำมาทดสอบสมบัติพื้นฐานของยาง เช่น ความอ่อนตัวเริ่มแรก (P_0) ดัชนีอ่อนตัว (PRI) ปริมาณไนโตรเจน และสี ตลอดจนศึกษาสมบัติทางกายภาพของยาง เช่น ความต้านทานต่อแรงดึง (TS) ความแข็ง (Hardness) และค่าโมดูลัส (Modulus) และสมบัติต่าง ๆ หลังการบ่มเร่งพบว่า ยางแท่งเอสทีอาร์ 5 แอล มีค่า P_0 , PRI ในโตรเจน แตกต่างจากยางควบคุมเล็กน้อย ถึงแม้ว่าจะแช่ยาวนานถึง 30 วัน สำหรับยาง เอสทีอาร์ 20 แช่น้ำธรรมดา ค่า P_0 และ PRI แตกต่างจากยางควบคุม ยกเว้นแช่น้ำทะเล PRI มีความเปลี่ยนแปลงแต่ไม่ต่ำกว่าขีดมาตรฐาน ซึ่งค่ามาตรฐานของ PRI = 40 และยางแผ่นรมควันแช่น้ำทะเลจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าแช่น้ำธรรมดา แต่ไม่แตกต่างจากยางควบคุมมาก อุบัติภัยที่เกิดกับยาง เนื่องจากผิวของยางจะไม่โดนน้ำ การดูดซับน้ำของยางขึ้นกับลักษณะของยาง และระยะเวลาที่แช่ และขึ้นกับปริมาณของสารที่ไม่ใช่เนื้อยาง โดยทั่วไปน้ำธรรมดาคือดูดซับได้ดีกว่าน้ำทะเล และยางเป็นก้อนเล็ก ๆ หรือยางแผ่นจะดูดซับได้ดีกว่ายางในรูปก้อนใหญ่ ดังนั้นอุบัติเหตุทางน้ำที่เกิดกับยางแท่ง จะมีผลกระทบต่อคุณภาพของยางเพียงเล็กน้อย สำหรับยางแผ่นรมควันจะมีค่า P_0 และ PRI ต่ำ

Rabindra และคณะ⁸ ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์และระบบการวัลคาไนซ์ต่อโครงสร้างและสมบัติของยางธรรมชาติคงรูป พบว่าจากการแปรอุณหภูมิ 150°–180°C ใช้อัตราส่วนสารตัวเร่งต่อกำมะถันเป็น 2-(morpholinodithio)-benzothiazole: sulphur ratios (A, 0.6:2.4; B, 1.5:1.5; C, 2.4:0.6; D, 3.0:0.0) ที่ อุณหภูมิสูงขึ้น crosslink density ลดลงโดยเฉพาะการวัลคาไนซ์แบบ polysulphidic

Sumarno⁹ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PRI กับ ความต้านแรงดึงของยางธรรมชาติที่อบด้วย Geer-oven พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า PRI กับ ageing ในระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ปกติพบว่าเมื่อค่า PRI เพิ่มขึ้นทำให้ค่าทนความร้อนเพิ่มขึ้น และในสูตรยางเมื่อใช้ DPG แทน MBT ก็ให้แนวโน้มเช่นเดียวกัน (แต่ในงานไม่ได้บอกถึงสมบัติการวัลคาไนซ์)

Loo¹⁰ ได้ศึกษาการวัลคาไนซ์ยางที่อุณหภูมิสูง พบว่า ผลของอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ จาก 140-200°C และใช้ระบบวัลคาไนซ์ต่างกันโดยมีอัตราส่วน ระหว่าง CBS ต่อ กำมะถัน ดังนี้ A, 3-5:1-5; B, 6-0:0-4 CBS/S พบว่าอุณหภูมิสูงขึ้น crosslink density ลดลง และสมบัติดก

วิมล และคณะ¹¹ ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการรีเวอร์ชันของคอมเปาต์ยางธรรมชาติ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมรีเวอร์ชันของคอมเปาต์ยางธรรมชาติ ปัจจัยแรกที่มีความสำคัญที่จะทำการศึกษาคือ ชนิดและปริมาณของสารเคมีต่อพฤติกรรมรีเวอร์ชัน ได้แก่ สารตัวเร่ง 3 ชนิด คือ TMTD, MBTS, และ CBS กรดอินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ กรดสเตียริก กรดลอริก และกรดโอเลอิก และสารประกอบประเภทสบู่ที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ซิงค์สเตียเรต และ ซิงค์คาร์บอกซิเลต ปัจจัยที่สองที่ทำการศึกษาคือผลของอัตราส่วนการเบลนระหว่างยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ 4 ชนิด ได้แก่ ยางไอโซพรีน ยางเอสปีอาร์ ยางเอ็นบีอาร์ และยางพอลิบูทาไดอิน และสมบัติอื่น ๆ ที่จะศึกษาควบคู่ไปกับพฤติกรรมรีเวอร์ชัน ได้แก่ สมบัติความทนต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการบ่มเร่ง ความต้านทานต่อความล้า ชนิดและปริมาณการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยางวัลคาไนซ์

กฤษณา และคณะ¹² ได้ศึกษาทางธรรมชาติประเภทควบคุมคุณภาพมาตรฐาน (TSR) เมื่อเก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งแล้ว นำยางนั้นมาวัดค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (P_0) และวัดดัชนีความอ่อนตัว (PRI) ค่าเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเกิด Storage Hardening การเกิด Storage Hardening ของยางธรรมชาติก็เนื่องมาจากปฏิกิริยาการรวมตัวชนิด Condensation ระหว่างกลุ่มอะมีน (Amine Group) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง (Non Rubber) กับกลุ่มอัลดีไฮด์ (Aldehyde Group) ในระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลยางจะแห้งและแข็งตัวขึ้น ดังนั้น เมื่อนำมาวัดค่า P_0 ค่าของ P_0 จะเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลทำให้ค่า PRI เปลี่ยนแปลงด้วย ความเปลี่ยนแปลงความอ่อนตัวของยางระหว่างเก็บ เป็นงานวิจัยและศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความอ่อนตัว, ดัชนีความอ่อนตัว ของยางแท่ง TTR ชั้น 5 แอล, TTR 20 และ TTR 50 โดยนำตัวอย่างยางแท่งเหล่านี้จากบริษัทฯ เก็บไว้ระยะหนึ่ง ทำการทดสอบความอ่อนตัวเริ่มแรก และดัชนีความอ่อนตัวเริ่มทดสอบมาตั้งแต่ ปี 2528 จนถึงปี 2532 จากผลการทดสอบ พบว่า ค่าความอ่อนตัวเริ่มแรกของยาง (P_0) จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและในขณะเดียวกันดัชนีความอ่อนตัวของยางค่อย ๆ ลดลง ตามระยะเวลาความเปลี่ยนแปลง ความอ่อนตัวของยางในช่วงเก็บยางไว้ 5 ปี ของยางแท่งชนิดต่าง ๆ มีผลดังนี้ ยาง TTR 5 แอล ค่า P_0 เพิ่มขึ้น 11.8% ค่า PRI ลดลง 22.7% ยาง TTR 20 ค่า P_0 เพิ่มขึ้น 8.8% ค่า PRI ลดลง 26.5% ยาง TTR 50 ค่า P_0 เพิ่มขึ้น 12.2% ค่า PRI ลดลง 22.8% ในช่วงการเก็บรักษายางแท่งไว้ 5 ปี ค่า P_0 เปลี่ยนแปลงโดยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ดัชนีความอ่อนตัวเปลี่ยนแปลง โดยเปอร์เซ็นต์ความอ่อน

ตัวจะลดลง และลดลงในระดับค่อนข้างสูง ทั้งนี้เพราะยางเสื่อมสภาพ เนื่องจากการเกิด Storage Hardening

2.4 วิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine) ยี่ห้อ LLOYD
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP3202 S
- เครื่องทดสอบการบ่มเร่ง (Aging)
- เครื่องทดสอบความอ่อนตัวของยาง (Plastimeter)
- เครื่องหาเวลาและลักษณะในการทำให้ยางคงรูป (Rheometer)
- เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

สารเคมี

- ยางธรรมชาติ STR 20
- ซิงค์ออกไซด์
- กำมะถัน
- กรดสเตียริก
- เขม่าดำ
- เอ็มพีที
- ทีบีพีเอส

2.4.1 การผสมยางคอมปาวด์

1. นำยาง STR 20 ก้อนเดียวกันที่มีค่าค่า PRI สูงกว่า 60 แบ่งยางเป็นสามส่วนเท่า ๆ กัน แล้วตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปเก็บไว้ในสถานะที่มีแสงแดดมีออกซิเจนมาก ๆ แล้วสุมยางไปตรวจค่า PRI ค่า PRI ที่ได้จะลดลงตามระยะเวลาการเก็บยาง จนกระทั่งได้ค่า PRI ตามต้องการ คือ 60 50 และ 40

2. เตรียมยางผสมสารเคมีตามสูตร โดยสูตรที่ 1 เป็นสูตรยาง Gum compound คือ ยางผสมสารเคมีที่ไม่ได้ผสมสารตัวเติม (filler) ใช้ยาง STR 20 ที่มีค่า PRI 40 50 และ 60 และสูตรที่ 2 ใช้สูตรยาง Filled compound คือ ยางผสมสารเคมีและผสมสารตัวเติม (filler) โดยที่ยาง STR 20 มีค่า PRI ต่างกันเช่น 40 50 และ 60 รวมแล้วประมาณ 6 สูตร โดยสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 เป็นดังนี้

ส่วนผสม	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก, phr)	
	สูตร 1	สูตร 2
ยางธรรมชาติ	100.0	100.0
ซิงค์ออกไซด์	6.0	5.0
กำมะถัน	3.5	2.25
กรดสเตียริก	0.5	2.0
เขม่าดำ	-	35.0
เอ็มบีที	0.5	-
ทีบีพีเอส	-	0.7

วิธีการบดผสมเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐาน ISO 1658-1994(E) Natural Rubber (NR)-Evaluation procedure อุณหภูมิในการบด 70°C เก็บยางผสมสารเคมีไว้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง การบดผสมยางใช้เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งของสาขาวัสดุศาสตร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แสดงดังรูปด้านล่าง



3. ศึกษาผลค่า PRI ที่ลดลงของยาง STR 20 ต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ เวลาที่ใช้ในการวัลคา

ไนซ์ยาง (Cure time, tc_{90}), เวลาที่ย่างเริ่มวัลคาไนซ์ (Scorch time, ts_1), ค่าแรงบิดต่ำสุด (Minimum Torque, ML), ค่าแรงบิดสูงสุด (Maximum torque, MH) และการลดลงของสมบัติหลังจากสมบัติเพิ่มขึ้นสูงสุด (Reversion) ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าแรงบิดที่ลดลงในกราฟจากเครื่องทดสอบ ที่อุณหภูมิ 160°C สามารถทดสอบโดยใช้เครื่อง Rheometer ของสาขาวัสดุศาสตร์ คณะวิศวกรรม และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แสดงดังรูปด้านล่าง เป็นแบบ Rotorless Rheometer (Standard MDR Type)



4. ศึกษาผลค่า PRI ต่อสมบัติความทนทานต่อแรงดึง โดยนำยางที่ผสมสารเคมีแล้วไปอัด เบ้า แล้วตัดเป็นรูปดัมเบล แล้วนำไปทดสอบแรงดึงหาค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength, T.S.) เป็นความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดของยาง มีหน่วยเป็นเมกะพาสคาล (Mega Pascal, MPa หรือ N/mm^2) ค่าความสามารถในการยืดจนขาด (Elongation at break) เป็นระยะยืดของยาง ณ จุดขาดเมื่อเทียบกับความยาวเดิม ค่าโมดูลัส 300% (300% Modulus) เป็นความต้านทานแรงดึงที่ ระยะยางยืดได้ 3 เท่าของความยาวเดิม มีหน่วยเป็นเมกะพาสคาล (Mega Pascal, MPa หรือ N/mm^2) และทดสอบสมบัติการบ่มเร่ง (Aging) โดยมีการบ่มเร่งที่ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง

2.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

2.5.1 สมบัติการวัดคาไนซ์ของยางที่มีค่า PRI แตกต่างกัน

ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity retention index, PRI) ของยางแสดงถึงความต้านทานของยางดิบต่อการแตกหักโมเลกุลที่อุณหภูมิสูง หรือต่อการออกซิเดชัน (Oxidation) ผู้ผลิตยางแท่ง STR ส่วนใหญ่มักจะผลิตให้ยางมีค่า PRI สูงกว่า 60 เนื่องจากต้องการผลิตยางที่มีคุณภาพดีและจากการทดลองของกฤษณา¹² พบว่าค่า PRI ลดลงตามระยะเวลาการเก็บ ดังนั้นผู้ผลิตยางส่วนมากนิยมผลิตให้ยาง STR 20 ให้มีค่า PRI อยู่ในช่วง 70 - 90 ทำให้การซื้อยางที่มีค่า PRI ต่ำกว่า 60 ได้ค่อนข้างยากผู้วิจัยเองต้องเก็บยางไว้ในสภาวะบ่มเร่งเพื่อให้ได้ค่า PRI ลดลงต่ำกว่า 60

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาผลของสมบัติการวัดคาไนซ์ของยาง STR 20 ที่มีค่า PRI แตกต่างกันโดยยางที่ใช้เป็นสูตรยาง Gum compound คือยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม ส่วนสูตรยาง Filled compound เป็นยางที่มีสารตัวเติมเป็นซึ่งเป็นสูตรตามมาตรฐานได้กำหนดไว้ ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 1-3

ตารางที่ 2 สมบัติการวัดคาไนซ์ของสูตรยาง Gum compound และ Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกัน

ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)	41.1	50.6	63.6
ts1 of Filled compound	1.32	1.25	1.17
tc90 of Filled compound	6.01	5.44	5.14
ML of Filled compound	1.02	1.07	2.38
MH of Filled compound	17.07	18.30	20.20
ts1 of Gum compound	1.10	0.58	0.52
tc90 of Gum compound	5.57	5.32	5.28
ML of Gum compound	0.29	0.86	1.45
MH of Gum compound	7.90	8.22	9.25



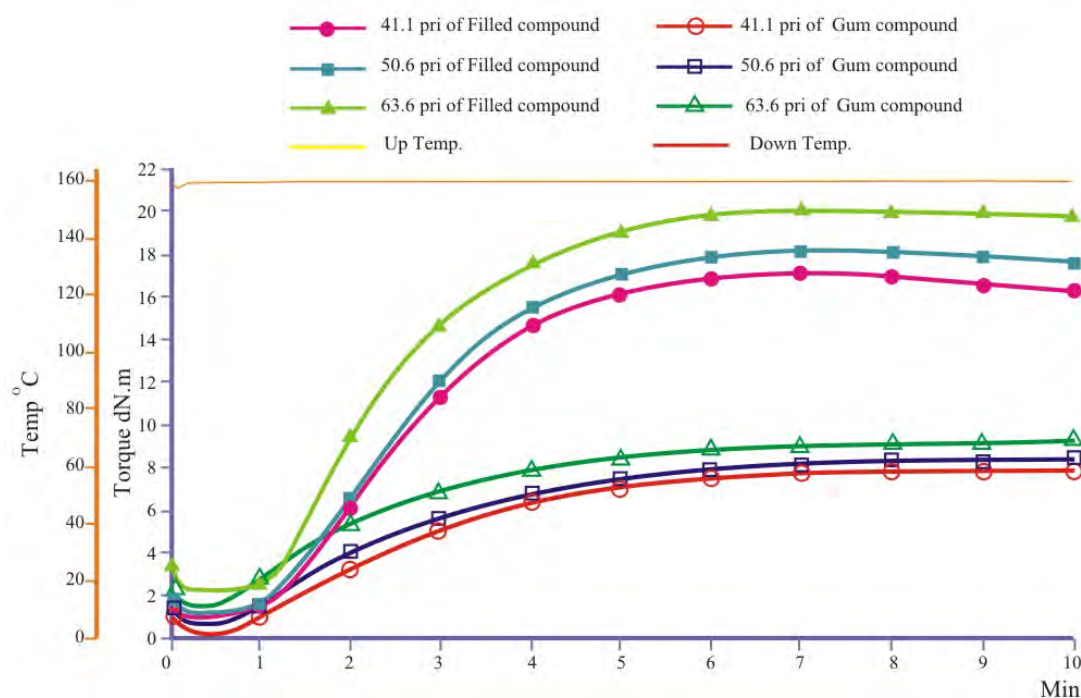
Integrated Batch and Curve Report

UR-2010 SD 80205

C:\U-CAN\SYS\R_TABLENR\95292015.DBF

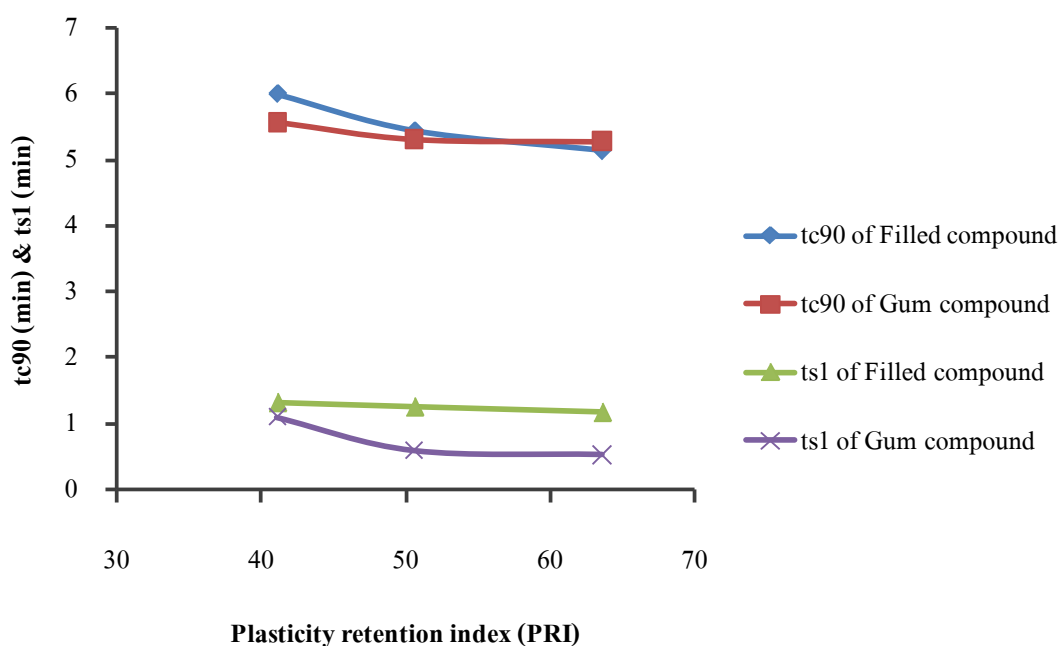
2009/05/29 22:01:46

Compound	pri trf	Prod.S/N	7	Test Temp.	160 °C	Torque Unit	dN.m
Lot No	7	Order No.	7	Test Time	10 Min	Press Unit	-
Record File	NR	Operator	Siwaroj	OSC Angle	0.5 °	Ambient	30 +/- 1.5 °C



รูปที่ 1 ผลของค่า PRI ต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ Cure time, Scorch time ที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 10 นาที ของสูตรยาง Gum compound และสูตรยาง Filled compound

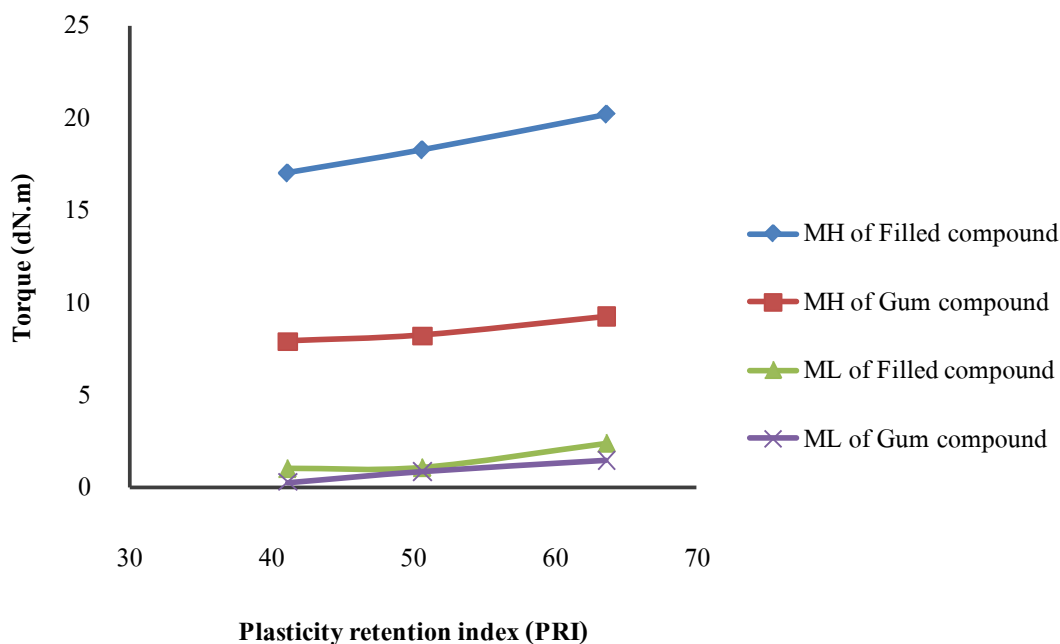
จากรูปที่ 1 จะเห็นลักษณะ Cure curve ของสูตรยาง Gum compound และสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทำให้ได้ลักษณะเส้นกราฟแตกต่างกัน ในกรณีสูตรยาง Filled compound จะสังเกตเห็นการเกิด reversion ได้อย่างชัดเจนเมื่อค่า PRI ลดลง อาจเนื่องจากสูตรยาง Filled compound ใช้เวลาในการผสมนานกว่าสูตรยาง Gum compound ทำให้ยางทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่ายเมื่อเวลาการวัลคาไนซ์นานขึ้นจึงทำให้ค่า Torque ลดลง



รูปที่ 2 ค่า Cure time (tc90), Scorch time (ts1) ของสูตรยาง Gum compound และสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกัน

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าค่า Scorch time และ Cure time ของสูตรยาง Gum compound ต่ำกว่าสูตรยาง Filled compound เนื่องจากสารตัวเร่งที่ใช้มีความเร็วในการวัลคาไนซ์แตกต่างกันโดยสาร MBT จะวัลคาไนซ์เร็วกว่า TBBS แต่ค่าแตกต่างกันไม่มากเนื่องจากในสูตรยางที่ใช้สารตัวเร่ง TBBS มีการเติมเขม่าดำซึ่งเขม่าดำมีผลให้ยาง Cure time สั้นลง

ค่า PRI ของยาง STR 20 ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า Cure time, Scorch time ของสูตรยาง Gum compound และสูตรยาง Filled compound มากนัก



รูปที่ 3 ค่า Minimum Torque (ML), Maximum torque (MH) ของสูตรยาง Gum compound และสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกัน

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าค่า Maximum torque ของสูตรยาง Gum compound ต่ำกว่าสูตรยาง Filled compound เนื่องจากการเติมเขม่าดำซึ่งเขม่าดำมีผลให้ค่า Maximum Torque สูตรยาง Filled compound สูงขึ้น ส่วนค่า Minimum Torque ให้ค่าไม่แตกต่างกัน

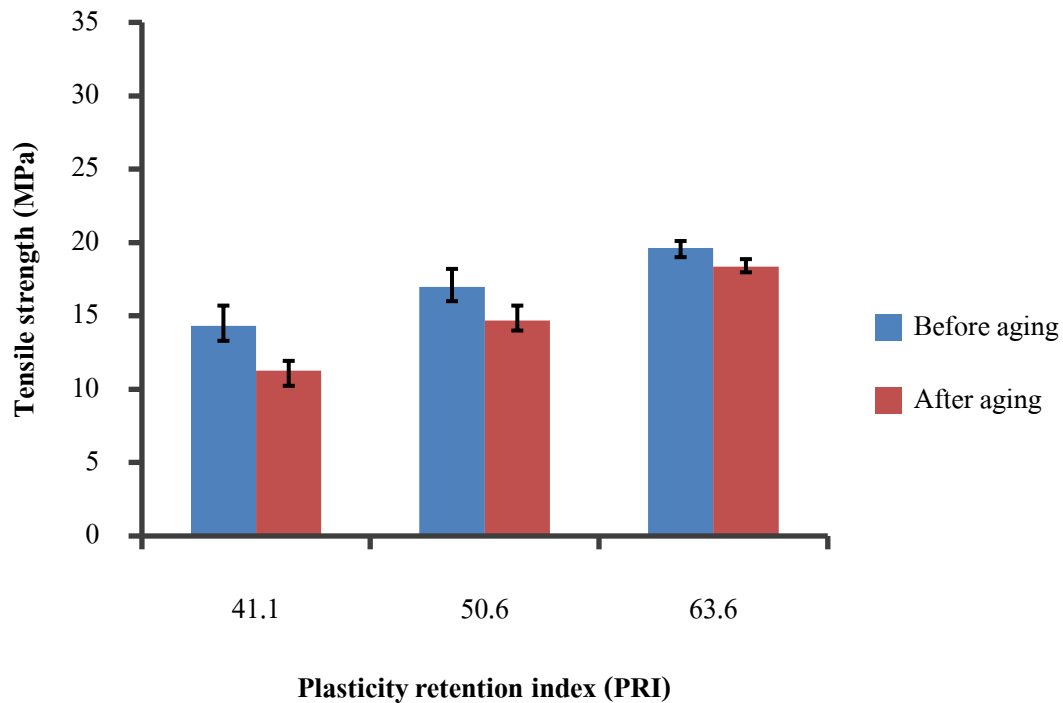
ค่า PRI ของยาง STR 20 ที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่า Maximum torque ของสูตรยาง Gum compound และสูตรยาง Filled compound โดยเมื่อค่า PRI ต่ำลงค่า Torque ของยางก็ลดลงด้วย ส่วนค่า Minimum Torque ให้ค่าไม่แตกต่างกัน

2.5.2 ผลการทดสอบสมบัติแรงดึงและสมบัติ Aging ของสูตรยาง Gum compound

หลังจากได้ค่า Cure time แล้วนำยางมาอัดเป็นแผ่น เพื่อนำไปทดสอบสมบัติของแรงดึง ก่อนบ่มแรง และหลังบ่มแรง (Aging) เพื่อศึกษาผลของค่า PRI ของยาง STR 20 ที่มีต่อสมบัติแรงดึง Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่

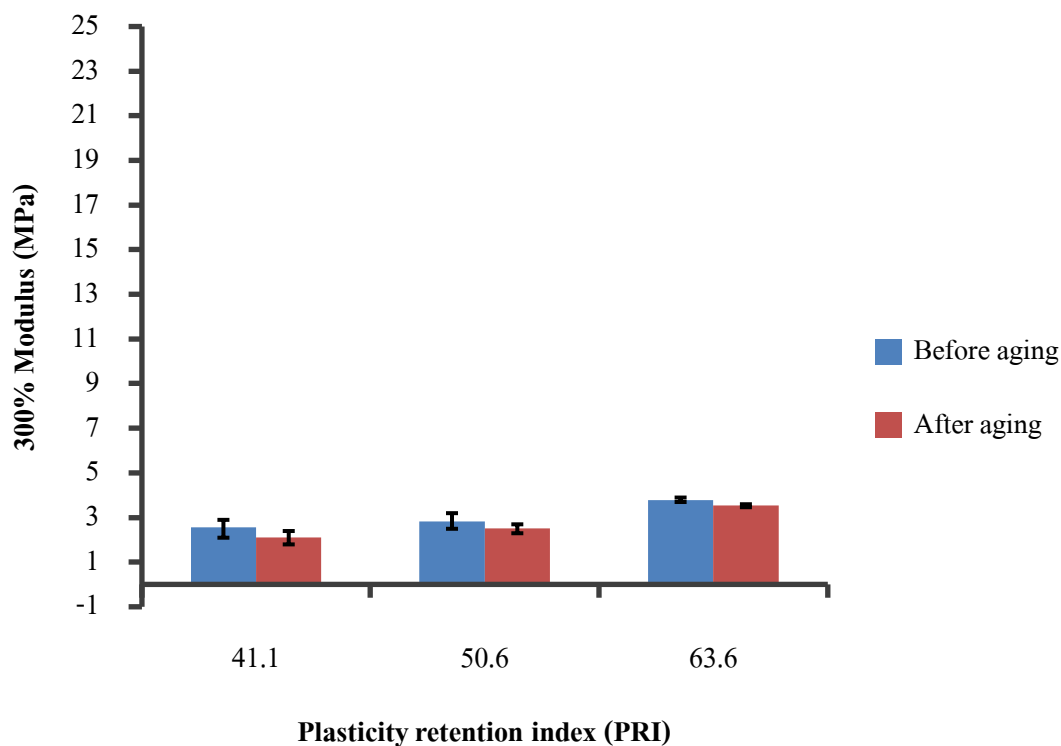
ตารางที่ 6 สมบัติแรงดึงของสูตรยาง Gum compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกัน

ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)	41.1	50.6	63.6
Before aging of Tensile strength (MPa)	14	17	20
After aging of Tensile strength (MPa)	11	15	18
%Change of Tensile strength	-21	-13	-6
Before aging of 300% Modulus (MPa)	2.6	2.8	3.8
After aging of 300% Modulus (MPa)	2.1	2.5	3.5
%Change of 300% Modulus	-18.2	-11.8	-6.2
Before aging of Elongation at break (%)	637	669	741
After aging of Elongation at break (%)	529	585	696
%Change of Elongation at break	-17	-13	-6



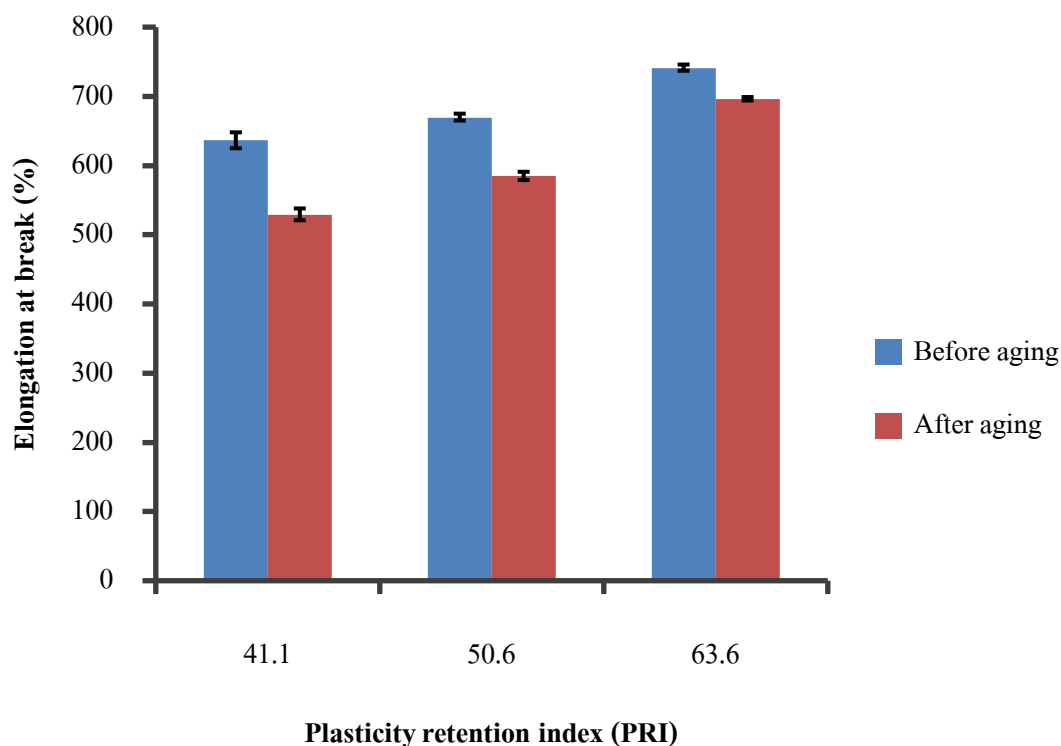
รูปที่ 4 ค่า Tensile strength ของสูตรยาง Gum compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทั้ง ก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรง

จากรูป 4 จะเห็นว่าสูตรยาง Gum compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทำให้มีค่า Tensile strength แตกต่างกัน โดยที่เมื่อค่า PRI ของยาง STR 20 เพิ่มขึ้นค่า Tensile strength ก็เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำยางไปบ่มแรง ยางที่มีค่า PRI ต่ำ ค่า Tensile strength ลดลงมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง



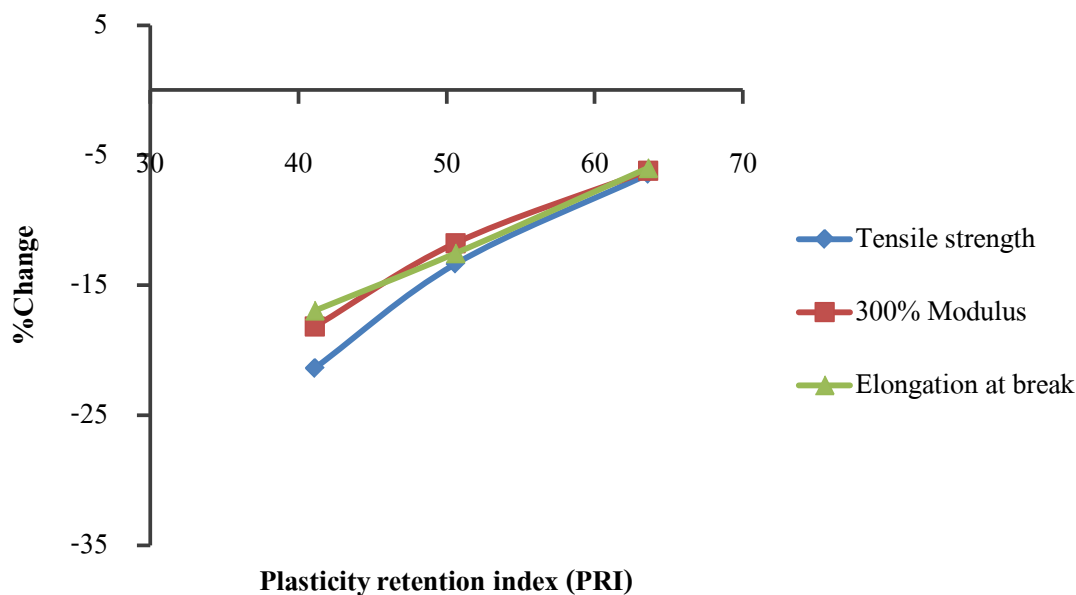
รูปที่ 5 ค่า 300% Modulus ของสูตรยาง Gum compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทั้ง ก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรง

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าสูตรยาง Gum compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทำให้มีค่า 300% Modulus แตกต่างกัน โดยที่เมื่อค่า PRI เพิ่มขึ้นค่า 300% Modulus ก็เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำยางไปบ่มแรง ยางที่มีค่า PRI ต่ำ ค่า 300% Modulus ลดลงมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง



รูปที่ 6 ค่า Elongation at break ของสูตรยาง Gum compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกัน
ทั้งก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่ง

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าสูตรยาง Gum compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทำให้มีค่า
Elongation at break แตกต่างกันโดยที่เมื่อค่า PRI เพิ่มขึ้นค่า Elongation at break ก็เพิ่มขึ้นด้วย
เมื่อนำยางไปบ่มเร่ง ยางที่มีค่า PRI ต่ำ ค่า Elongation at break ลดลงมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง



รูปที่ 7 ค่า %Change ของสมบัติแรงดึงของสูตรยาง Gum compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบสมบัติก่อนบ่มเร้งกับสมบัติหลังบ่มเร้ง

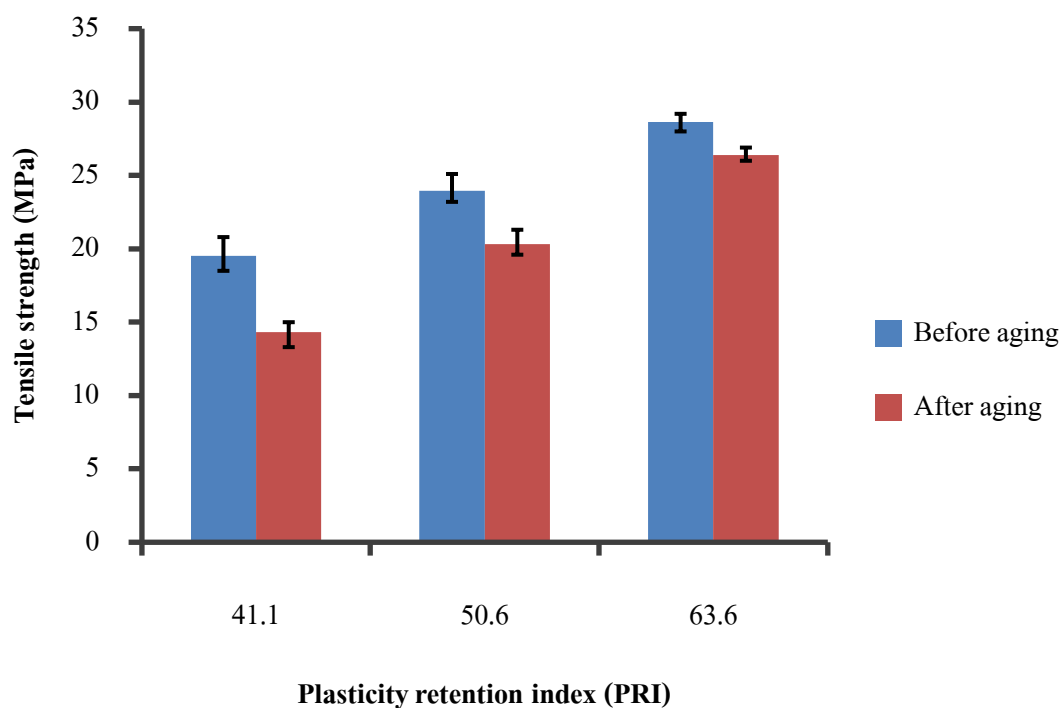
จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าสูตรยาง Gum compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันเมื่อนำยางไปบ่มเร้ง ยางที่มีค่า PRI ต่ำ ค่าสมบัติแรงดึงของยางลดลงมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง ดังนั้นยาง STR 20 ที่เหมาะสมที่จะทำผลิตภัณฑ์ได้ควรมีค่า PRI อย่างน้อย 60 ซึ่งถ้ามีค่าต่ำกว่านี้จะมีผลทำให้สมบัติยางบ่มเร้งลดลงอย่างมากและยางจะเสื่อมคุณภาพเร็ว

2.5.3 ผลการทดสอบสมบัติแรงดึงและสมบัติ Aging ของสูตรยาง Filled compound

หลังจากได้ค่า Cure time ของสูตรยาง Filled compound แล้วนำยางมาอัดเป็นแผ่น เพื่อนำไปทดสอบสมบัติของแรงดึงก่อนบ่มเร้ง และหลังบ่มเร้ง (Aging) เพื่อศึกษาผลของค่า PRI ของยาง STR 20 ที่มีต่อสมบัติแรงดึง Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 และรูปที่ 8-11

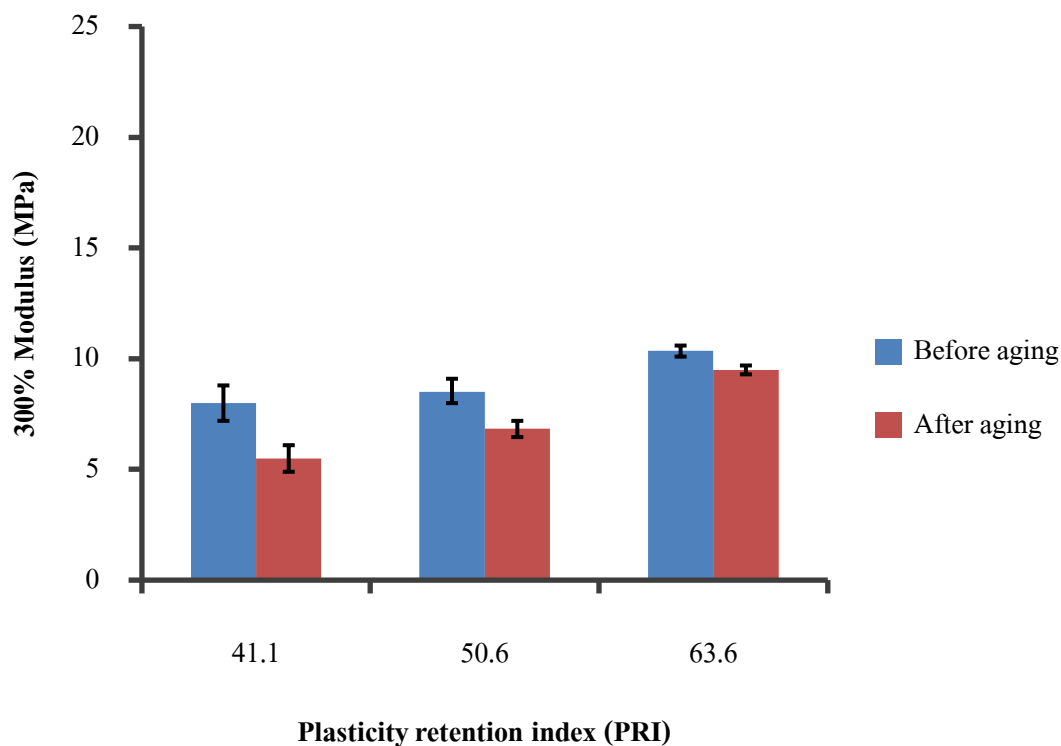
ตารางที่ 4 สมบัติแรงดึงของสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกัน

ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)	41.1	50.6	63.6
Before aging of Tensile strength (MPa)	20	24	29
After aging of Tensile strength (MPa)	14	20	26
%Change of Tensile strength	-26	-15	-8
Before aging of 300% Modulus (MPa)	8.0	8.5	10.4
After aging of 300% Modulus (MPa)	5.5	6.8	9.5
%Change of 300% Modulus	-31.3	-19.6	-8.4
Before aging of Elongation at break (%)	513	546	576
After aging of Elongation at break (%)	421	477	558
%Change of Elongation at break	-18	-13	-3



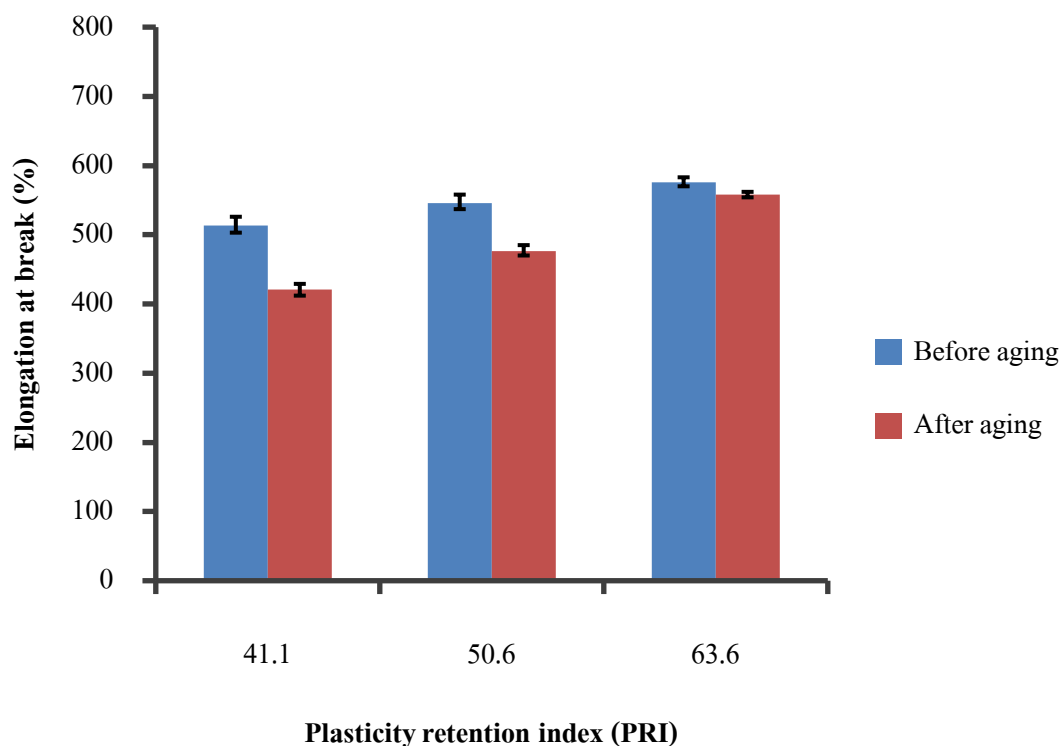
รูปที่ 8 ค่า Tensile strength ของสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกัน
ทั้งก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรง

จากรูปที่ 8 จะเห็นว่าสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทำให้มีค่า Tensile strength แตกต่างกันโดยที่เมื่อค่า PRI เพิ่มขึ้นค่า Tensile strength ก็เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำยางไปบ่มแรง ยางที่มีค่า PRI ต่ำ ค่า Tensile strength ลดลงมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง



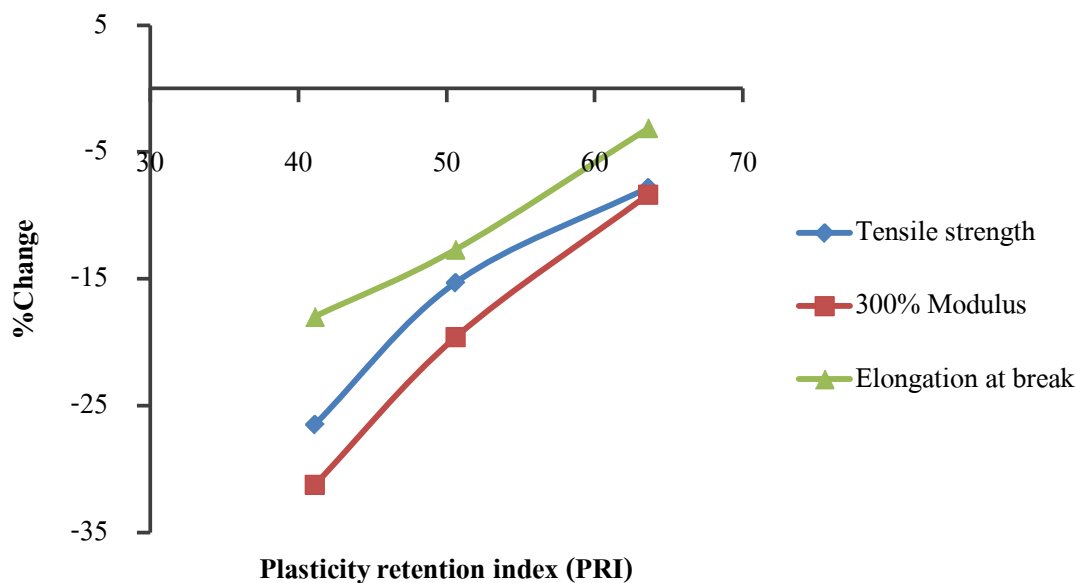
รูปที่ 9 ค่า 300% Modulus ของสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทั้งก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรง

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทำให้มีค่า 300% Modulus แตกต่างกันโดยที่เมื่อค่า PRI เพิ่มขึ้นค่า 300% Modulus ก็เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำยางไปบ่มแรง ยางที่มีค่า PRI ต่ำ ค่า 300% Modulus ลดลงมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง



รูปที่ 10 ค่า Elongation at break ของสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกัน
ทั้งก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่ง

จากรูปที่ 10 จะเห็นว่าสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันทำให้มี
ค่า Elongation at break แตกต่างกัน โดยที่เมื่อค่า PRI เพิ่มขึ้นค่า Elongation at break ก็เพิ่มขึ้นด้วย
เมื่อนำยางไปบ่มเร่ง ยางที่มีค่า PRI ต่ำ ค่า Elongation at break ลดลงมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง



รูปที่ 11 ค่า %Change ของสมบัติแรงดึงของสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติก่อนบ่มเร่งกับสมบัติหลังบ่มเร่ง

จากรูปที่ 11 จะเห็นว่าสูตรยาง Filled compound ที่ใช้ยาง STR 20 มีค่า PRI แตกต่างกันเมื่อนำยางไปบ่มเร่ง ยางที่มีค่า PRI ต่ำ ค่าสมบัติแรงดึงของยางลดลงมากกว่ายางที่มีค่า PRI สูง ดังนั้นยางที่เหมาะสมที่จะทำผลิตภัณฑ์ได้ควรมีค่า PRI อย่างน้อย 60 ซึ่งถ้ามีค่าต่ำกว่านี้จะมีผลทำให้สมบัติยางบ่มเร่งลดลงอย่างมากและยางจะเสื่อมคุณภาพเร็ว แต่ทั้งนี้ในการทำผลิตภัณฑ์ยางจะใช้วัตถุดิบใดที่เหมาะสมขึ้นกับ สมบัติของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ว่ามี specification แบบใด

2.6 สรุปผล

2.6.1 ค่า PRI ของยาง STR 20 ลดลงเป็น 63.6, 50.6 และ 41.1 ไม่มีผลต่อ Cure time, Scorch time และ Minimum Torque แต่จะมีผลต่อค่า Maximum torque ทั้งสูตรยางที่มีสารตัวเติมและสูตรยางที่ไม่ใส่สารตัวเติมทำให้ได้ค่า Maximum Torque ลดลงเมื่อค่า PRI ลดลง นอกจากนี้ในกรณีของยางผสมสารตัวเติมจะเกิดการ reversion ได้ง่ายเมื่อยางมีค่า PRI ต่ำ

2.6.2 ค่า PRI ของยาง STR 20 มีผลต่อสมบัติแรงดึงของยาง เมื่อค่า PRI ลดลง ทำให้ค่า Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break ลดลงทั้งสูตรยางที่มีสารตัวเติมและสูตรยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม

2.6.3 ค่า PRI ของยาง STR 20 มีผลต่อสมบัติการบ่มเร่งเมื่อค่า PRI ต่ำ 50.6 และ 41.1 ทำให้ยางเสื่อมคุณภาพมากกว่า 15% (ในช่วง 15-30%) แต่ถ้าที่ค่า PRI เป็น 60 ทำให้ยางเสื่อมคุณภาพน้อยกว่า 10%

2.7 ข้อเสนอแนะ

2.7.1 การนำผลวิจัยไปใช้

จากการทดลองเรื่องผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์ การนำผลการวิจัยไปใช้สำหรับโรงงานผลิตยางแท่ง และ โรงงานทำผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติจะต้องคำนึงถึงค่า PRI ของยางดิบ โดยโรงงานผลิตยางแท่งต้องผลิตยางให้ได้ค่า PRI สูงกว่า 60 โดยเฉพาะยาง STR 20 ส่วนโรงงานทำผลิตภัณฑ์อาจจะต้องเลือกยางที่มีคุณภาพในการทำผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพ

2.7.2 ประเด็นวิจัยใหม่

- ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าดัชนีความอ่อนตัว

2.8 เอกสารอ้างอิง

1. นิตยา รัตนโสม. 2545. สมบัติเชิงกลและลักษณะการประลัยของยางธรรมชาติบริสุทธิ์ที่วัลคาไนซ์. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยมหิดล.
2. จิตต์ลัดดา สักดาภิพาณิชย์. 2546. การศึกษาผลกระทบของ Non-Rubber Components ต่อความแปรปรวนของคุณภาพน้ำยางธรรมชาติ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). มหาวิทยาลัยมหิดล.
3. ھرรษา เอนกชัย กุลทิวา รัตนเวคินรักษ์ นุชนาฏ ณ ระนอง และเกษม อินทรสกุล. 2527. คุณสมบัติพื้นฐานยางแท่ง TTR. รายงานผลการค้นคว้าทดลองและวิจัย. ศูนย์วิจัยยางสงขลา. 24 หน้า.

- 4.บุญธรรม นิธิอุทัย และ ปรีชา ป้องภัย. 2534. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง 1. คณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : ปัตตานี.
5. เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2547. การผลิตยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : ปัตตานี.
6. เอกสารวิชาการ. 2546. การทดสอบตามมาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์. สถาบันวิจัยยาง กรม
วิชาการเกษตร.
7. กฤษณา คงศิลป์ จักรี เลื่อนราม หรรษา เอนกชัยพรรษา อุดุลยธรรม ปรีดีเปรม ทศนกุล และ จุรี
จันทนา. 2547. คุณภาพยางที่จมน้ำ. ศูนย์วิจัยยางสงขลา/กลุ่มวิจัยการแปรรูปและ
ทดสอบยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
8. Rabindra, M., Sadhan, K. De. and Chakraborty, S. N. Effect of vulcanization
temperature and vulcanization systems on the structure and properties of natural
rubber vulcanizates. Polymer, 1977, 18, 1243-1249.
9. Sumarno K., Correlation between PRI and tensile strength retention of natural
rubber after Geer-oven ageing. Polymer, 1980, 21, 1217-1219.
- 10 Loo, C. T., High temperature vulcanization of elastomers. Polymer, 1974, 15, 729-737.
11. วิมล อินทอง และเจริญ นาคะสรรัศ. 2546. ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการรีเวอร์ชันของคอมปาด์
ยางธรรมชาติ. หน่วยงานวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี,
ผู้ให้ทุน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีแห่งชาติ.
12. กฤษณา คงศิลป์ จักรี เลื่อนราม และ จุรี จันทนา. 2532. ความเปลี่ยนแปลงความอ่อนตัวของยาง
ระหว่างเก็บ. รายงานผลการค้นคว้าทดลองและวิจัย. ศูนย์วิจัยยางสงขลา.
13. เครื่อง Wallace Rapid Plastimeter. 2553. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:
<http://www.wallaceinstruments.co.uk>

ภาคผนวก

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

“ผลของค่าดัชนีความอ่อนตัวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์” สัญญาเลขที่ RDG5150042

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial) 1. ขอให้ทบทวนการใช้ศัพท์เทคนิคบาง เช่น ยางคอมปาวด์ที่ไม่เติมสารตัวเติม (filler) ควรเรียก Gum compound (ไม่ใช่ rubber) ส่วนคอมปาวด์ที่เติมสารตัวเติม ควรเรียก Filled compound - จาก Gum compound เมื่อ cure แล้วมักเรียก Gum vulcanisate - จาก Filled compound เมื่อ cure แล้วมักเรียก Filled vulcanisate 2. แก้ไขคำว่า “เขม่าดำ” ไม่ใช่ “เขม่าดำ” ทุกจุดในรายงาน 3. ความอ่อนตัวเริ่มแรกใช้สัญลักษณ์ P_0 ไม่ใช่ P_o 4. ตรวจสอบการพิมพ์ มีผิดพลาดที่ เช่น บทสรุปผู้บริหาร หน้า 4-6 หน้า 8-10 เป็นต้น และตรวจสอบการแบ่งวรรคตอนด้วย เช่น หน้า 15-20 ควรแบ่งวรรคตอนของประโยคให้ถูกต้อง เป็น “เมื่อนำยางไปบ่มแรง ยางที่มีค่า...” 5. ปริมาณขี้เถ้า (Ash) ควรแก้เป็น “ปริมาณเถ้า” 6. หน้า 4 ย่อหน้าที่ 2 บรรทัดที่ 12 ที่กล่าวว่า “ส่วนปริมาณผมมีความแตกต่างกันบ้าง” ควรปรับแก้เป็น “ส่วนปริมาณสิ่งสกปรกมีความแตกต่างกันบ้าง”	1. ได้เปลี่ยนศัพท์เทคนิคทางบางตามที่คุณผู้ทรงคุณวุฒิเสนอ 2. ได้แก้ไขโดยใช้คำว่า “เขม่าดำ” ถูกต้องทุกจุดในรายงาน 3. ได้เปลี่ยนสัญลักษณ์ตามที่คุณผู้ทรงคุณวุฒิเสนอ 4. ได้มีการตรวจสอบการพิมพ์ และการแบ่งวรรคตอน ตามที่คุณผู้ทรงคุณวุฒิเสนอ 5. ได้แก้ไข “ปริมาณขี้เถ้า (Ash)” เป็น “ปริมาณเถ้า” หน้า 4 6. ได้แก้ไขตามที่คุณผู้ทรงคุณวุฒิเสนอ

7. หน้า 7 ควรเพิ่มเติมเครื่องมือที่จำเป็นในการทดสอบ ได้แก่ เครื่องทดสอบความอ่อนตัวของยาง (Plastimeter) เครื่องหาเวลาและลักษณะในการทำให้ยางคงรูป (Rheometer) เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) 8. สมบัติ ที่ทดสอบหรือคำที่เป็นภาษาอังกฤษ ช่วงแรกที่ถูกกล่าวถึงควรเป็นภาษาไทย แล้ววงเล็บเป็นภาษาอังกฤษกำกับไว้ และอธิบายความหมายของศัพท์นั้น ๆ ด้วย	7. หน้า 7 ได้เพิ่มเติมเครื่องมือที่จำเป็นในการทดสอบ ได้แก่ เครื่อง ทดสอบความอ่อนตัวของยาง (Plastimeter) เครื่องหาเวลาและลักษณะในการทำใหยางคงรูป (Rheometer) เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) 8. สมบัติ ที่ทดสอบหรือคำที่เป็นภาษาอังกฤษ ช่วงแรกที่ถูกกล่าวถึงใช้เป็นภาษาไทย แล้ววงเล็บเป็นภาษาอังกฤษกำกับ และได้อธิบายความหมายของศัพท์นั้น ในหน้า 9
ความเห็นด้านวิชาการ (Technical) 1. ผลการศึกษาที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี ยังไม่ได้อธิบายความรู้ใหม่ 2. ค่ามาตรฐาน STR20 ค่า PRI ไม่ต่ำกว่า 40 ซึ่งไม่ได้หมายความว่า ยางที่มีค่า PRI 40 จะไม่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ยาง ในการทำผลิตภัณฑ์ยางจะใช้วัตถุดิบใดที่เหมาะสมขึ้นกับ สมบัติของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ว่ามี specification แบบใด 3. ถ้าผู้วิจัยจะคิดหัวข้อวิจัยต่อไป น่าจะต้องคำนึงถึงหลักการและเหตุผล ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับและความคุ้มค่าประกอบด้วย	1. เป็นการยืนยันทฤษฎีเดิม 2. เห็นด้วยตามที่คุณวุฒิเสนอ หน้า 21 3. เห็นด้วยตามที่คุณวุฒิเสนอ