

อิทธิพลของสารตัวเติมดินขาวและอลูมินาที่มีผลต่อการขึ้นรูปและสมบัติของยางพองจากยางธรรมชาติ

Influence of kaolin and alumina on preparation and properties of cellular rubber from natural rubber

สุรฤทธิ สมรรถไธ¹

นุชนภา ตั้งบริบูรณ์²

Surarit Samattai¹

Nuchnapa Tangboriboon²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของดินขาวและอลูมินา (kaolin and alumina) ที่มีผลต่อการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง (two roll mill) เนื่องจากแรงบิด (torque) ระยะเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปด้วยความร้อน (optimum cure time) อุณหภูมิการคงรูป 150 องศาเซลเซียส และศึกษาผลของการกระจายตัวของสารตัวเติมดินขาวและอลูมินาที่ 50 phr (parts per hundred of rubber) ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) ผลการทดลองพบการเพิ่มขึ้นของดินขาวและอลูมินาส่งผลกระทบต่อทำให้แรงบิดสูงสุดและต่ำสุดที่ใช้มีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งสามารถทำนายได้จากสมการเส้นตรง ระยะเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปด้วยความร้อนของดินขาวมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของปริมาณดินขาว ซึ่งตรงข้ามกับสารตัวเติมอลูมินาที่ส่งผลทำให้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปด้วยความร้อนลดต่ำลง การกระจายตัวของสารตัวเติมทั้งสองชนิดในยางมีกระจายตัวได้ดีจากการตรวจสอบด้วย เทคนิค XRF mapping

ABSTRACT

The objective of this research is to study the influence of kaolin and alumina. The rubber compounds were mixed in a two roll mill mixer due to torque stress. The optimum cure time of rubber compounds during mixing is 150 degree Celsius. The distribution of 50 phr (parts per hundred of rubber) of kaolin and alumina particles acted as filler in rubber matrix was analyzed by XRF X-ray Fluorescence (XRF). The obtained results of increasing fillers kaolin and alumina effect to increases torque during mixing according to predict by linear equations. The optimum cure time of rubber compounds increases when amount of kaolin increases whereas the optimum cure time of rubber compounds decrease when amount of alumina increases. Both fillers are good distribution within the natural rubber analyzed by XRF mapping.

Key Words : Kaolin, alumina filer, natural rubber

e-mail address : mesmerize13_@hotmail.com

นิสิตปริญญาโท¹ และ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Kasertsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900

คำนำ

ยางฟอง (cellular rubber) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน ทำให้มีน้ำหนักเบาและใช้เนื้อยางในปริมาณน้อยลง นิยมผลิตยางฟองจากยางสังเคราะห์และยางธรรมชาติ ฟองที่เกิดขึ้นในยางฟองเกิดจากการแทนที่ของแก๊สต่างๆหรืออากาศในเนื้อยาง โดยทั่วไปแก๊สเหล่านี้มักเกิดจากสารทำให้เกิดฟอง (blowing agent) โดยฟองจะเกิดในขั้นตอนของการทำให้ยางสุกด้วยสารเคมีและความร้อนหรือที่เรียกโดยทั่วไปว่าการวัลคาไนซ์ (vulcanization)

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักในการขึ้นรูปยางฟอง (cellular rubber) เพราะเหตุว่า ยางธรรมชาติ เป็นวัตถุดิบสำคัญที่ประเทศไทยสามารถผลิตได้เองและมีอยู่มากภายในประเทศไทย โดยข้อมูลจากสถาบันวิจัยยางบ่งชี้ว่า ในปีพุทธศักราช 2554 ประเทศไทยมีผลผลิตจากยางธรรมชาติมากถึง 3,569,033 เมตริกตัน ซึ่งเป็นที่น่าเสียดายว่ายางจำนวนมากจะถูกส่งออกไปโดยที่ยังไม่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จึงทำให้มูลค่าของสินค้าลดลง โดยทั่วไปแล้วยางธรรมชาติแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามการแปรรูปและสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในยาง แต่สมบัติโดยทั่วไปมีความคล้ายคลึงกัน ในงานวิจัยนี้ สนใจไปที่ยางแท่ง STR 5L (standard Thai rubber) เนื่องจากมีสิ่งเจือปนน้อยและมีราคามีราคาที่เหมาะสมแก่การทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางฟอง (cellular rubber)

สมบัติโดยทั่วไปยางธรรมชาตินั้นถือว่ามีสมบัติที่ดีหลายประการด้วยกัน กล่าวคือยางธรรมชาติจัดเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีสมบัติทางกลที่ดีหลายประการเช่น มีสมบัติที่ดีในการทนต่อความต้านทานแรงดึงสูงมาก (high tensile strength) เมื่อเทียบกับยางด้วยกัน มีความยืดหยุ่นตัวสูง (elasticity) ทนต่อการสึกกร่อนสูง (wear resistant) นอกจากสมบัติทางกลแล้ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดี มีความร้อนภายใน (heat build-up) ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (tack properties) ที่ดี มีความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) สูง สมบัติความเป็นฉนวนความร้อน (thermal insulation property) และการเป็นฉนวนของเสียง (sound insulation property) ที่ดี สมบัติที่กล่าวมาข้างต้นนั้นกล่าวโดยรวมถึงยางธรรมชาติที่ปราศจากสารเสริมแรง หากมีสารเสริมแรงด้วยแล้วจะยิ่งส่งเสริมทำให้สมบัติบางประการของยางธรรมชาตินั้นดีขึ้นตามไปด้วย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาผงเขม่าดำคาร์บอนชนิดแบล็ค (carbon black) เป็นสารตัวเติมในการเสริมแรงที่สามารถเข้ากับยางได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ผงเขม่าดำคาร์บอนแบล็ค (carbon black) ยังเป็นสารเสริมแรงทางกลที่ดีมากที่สุดชนิดหนึ่ง โดยพบว่า การเติมผงเขม่าดำชนิดคาร์บอนแบล็ค (carbon black) ทำให้สมบัติทางกายภาพของยางฟองดีขึ้น (Eun-Kyoung Lee et al., 2007) แต่การใช้ผงเขม่าดำคาร์บอนแบล็ค (carbon black) เป็นสารตัวเติมในการเสริมแรงนั้นทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถกำหนดสีได้ เพราะเหตุว่าผงเขม่าดำคาร์บอนแบล็ค

(carbon black) มีสมบัติเฉพาะตัวในเรื่องของสีเป็นสีดำ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีสีอื่นได้ ตรงกันข้ามกับ ซิลิกา (silica/SiO₂) และอลูมินา (alumina/Al₂O₃) ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการใช้เป็นสารตัวเติมในการเสริมแรง เนื่องจาก ซิลิกา (silica/SiO₂) และอลูมินา (alumina/Al₂O₃) เป็นสารที่มีสีขาวจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นแล้วยังสามารถเสริมแรงได้เป็นอย่างดีอีกด้วย จึงทำให้มีงานวิจัยที่หลากหลายกล่าวสนับสนุนว่าซิลิกา (silica/SiO₂) และอลูมินา (alumina/Al₂O₃) สามารถใช้เป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงได้ แต่ด้วยราคาที่สูง จึงทำให้คณะผู้วิจัยสนใจไปยังดินขาวซึ่งมีราคาที่ถูกกว่า ทั้งยังมีส่วนประกอบของซิลิกา (silica/SiO₂) และอลูมินา (alumina/Al₂O₃) เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากสมบัติเชิงกลที่ดีแล้วมีงานวิจัยที่พบว่าการใช้ดินเป็นสารตัวเติมเสริมแรงนั้นยังสามารถชะลอการติดไฟและเป็นฉนวนความร้อนที่ดีอีกด้วย (ฉันททิพ คำนวนทพิพย์ และ คณะ,2008)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. ยางธรรมชาติ เกรด STR 5L (natural rubber Standard Thai Rubber 5L)
2. สารกระตุ้นกรดสเตียริก (Stearic acid) 2 phr
3. สารกระตุ้นซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) 5 phr
4. สารวัลคาไนซ์ซัลเฟอร์ (Sulfur) 1.8 phr
5. สารเร่งปฏิกิริยา (Mercaptobenzothiazyl disulphide, MBTS) 1.5 phr
6. สารเร่งปฏิกิริยา (Tetramethylene thiuram monosulphide, TMTM) 0.15 phr
7. สารป้องกันยางเสื่อม (Wingstay L, WSL) 1 phr
8. สารทำให้เกิดสีไททาเนียมไดออกไซด์ (Titaniumdioxide, TiO₂) 3 phr
9. สารป้องกันการลามไฟคลอรีเนเตดพอลิเอทิลีน (Chlorinated polyethylene) 0-20 phr
10. สารทำให้เกิดฟองโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) 5 phr
11. สารตัวเติมดินขาว (Kaolin) 0-50 phr
12. สารตัวเติมอลูมินา (Alumina, Al₂O₃) 0-50 phr

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องบดผสมแบบเปิด Two-roll mill (Kodair seisakusho R11-3FF)
2. เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี X-ray Fluorescence (XRF) HORIBA X-ray analytical microscope รุ่น XGT-2000W
3. เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ Mooney viscometer (TECHPRO-visTECH 123103)
4. เครื่องวัดคุณสมบัติการคงรูป Rheometer : rotor type (TECHPRO-rheoTECH 121105)
5. เครื่องอัดขึ้นรูปยาง Compression molding (โรงงานชัยเจริญการช่าง รุ่น 20535)

3. ขั้นตอนการบดผสมยาง

นำยางธรรมชาติ (Natural rubber STR 5L) มาบดนิ่มด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้งแบบเปิดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาประมาณ 40 นาที ใช้อัตราเร็วของลูกกลิ้งชุดหน้าและชุดหลังเท่ากับ 1 ต่อ 1.25 จากนั้นทำการบดผสมยางโดยใช้สารเคมีเพื่อให้ได้ยางคอมปาวด์ (rubber compound) ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ยางคลายตัว เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบหาค่าความหนืด อุณหภูมิคงรูปของยางคอมปาวด์และสมบัติต่างๆของยางคอมปาวด์

4. การทดสอบสมบัติของยาง

4.1 การทดสอบหาค่าความหนืดของยางคอมปาวด์ก่อนการขึ้นรูปด้วยความร้อน (compound rubber) โดยใช้เครื่องทดสอบความหนืด Mooney viscometer ใช้อุณหภูมิในการทดสอบที่ 100 องศาเซลเซียส ยางคอมปาวด์ก่อนการขึ้นรูปด้วยความร้อนจะได้รับความร้อนเป็นเวลา 1 นาที ก่อนจนวนหมุนขนาดใหญ่จะเริ่มหมุน และอ่านค่าความหนืด ณ เวลา 4 นาที

4.2 การทดสอบหาค่าเวลาการคงรูปด้วยความร้อนของยางคอมปาวด์ใช้เครื่อง Monsanto oscillating disk rheometer (ODR) เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยความร้อน (optimum cure time) โดยใช้อุณหภูมิการทดสอบที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลาทั้งหมด 30 นาที เพื่อหาค่าเวลาในการคงรูป ที่ร้อยละ 90 (t_{90})

4.3 การทดสอบหาค่าปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในยางคอมปาวด์และการกระจายตัวของสารตัวเติม ใช้เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี X-ray Fluorescence (XRF) HORIBA X-ray analytical microscope

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

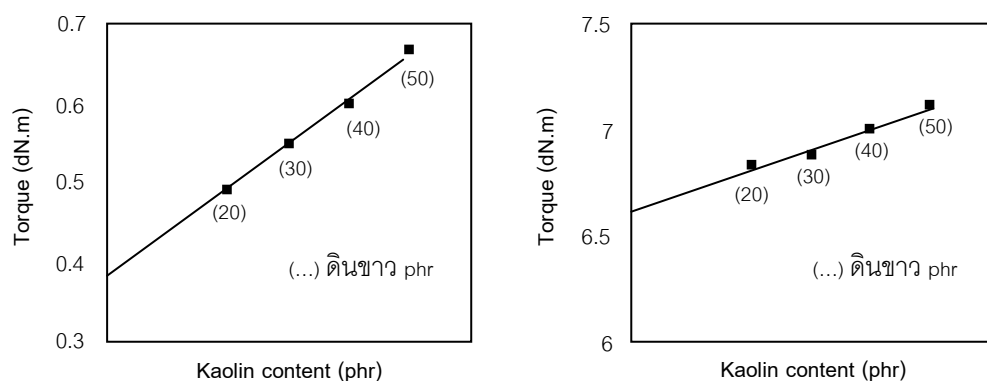
1. อิทธิพลของปริมาณสารตัวเติมดินขาวที่มีผลต่ออย่างฟอง

หลังจากที่บิดผสมยางคอมปาวด์แล้วทดสอบด้วยเครื่อง Monsanto oscillating disk rheometer (ODR) จะสังเกตได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของสารตัวเติมดินขาวในยางคอมปาวด์ จะส่งผลให้ค่าแรงบิด (torque) ที่วัดได้ต่ำสุดและสูงสุดจากเครื่อง ODR มีค่าสูงขึ้นอันเนื่องมาจากดินขาวมีสมบัติในการเป็นสารตัวเติมเพื่อเสริมแรงได้ เมื่อพิจารณาผลของแรงบิดแล้วพบว่าค่าที่เพิ่มเป็นไปตามแสดงรูปที่ 1 โดยค่าที่เพิ่มขึ้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถผลิตขึ้นรูปร่างได้โดยไม่มีผลกระทบต่อเวลาการบดผสมมากนัก อันเนื่องมาจากการกระจายตัวของสารตัวเติมดินขาวนั้นยังกระจายตัวในสารเนื้อพื้ยางได้ดีอยู่ ไม่มีการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (agglomerate) และยังสามารถทำนายค่าแรงบิดสูงสุดและต่ำสุดได้จากสมการ $y_L = 0.005x + 0.385$ และ $y_H = 0.009x + 6.629$ โดยเป็นสมการค่าของแรงบิดต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R Square มากถึง 0.997 และ 0.974ตามลำดับ ค่าความหมายของตัวแปรในสมการแสดง ดังตารางที่ 1

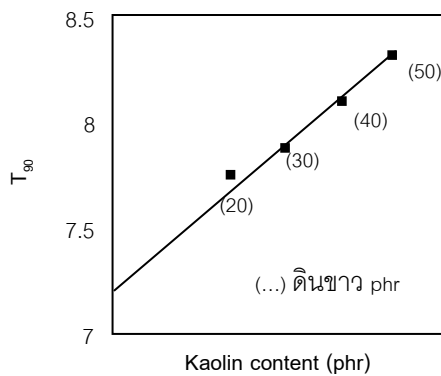
ตารางที่ 1 : ตารางแสดงค่าความหมายของตัวแปรสำหรับสารตัวเติมดินขาว

ตัวแปร	ความหมาย
y_H	ค่าแรงบิดสูงสุด
y_L	ค่าแรงบิดต่ำสุด
x	ปริมาณดินขาว (phr)
y_{190}	ค่าเวลาการคงรูป

หลังจากนั้นหากพิจารณาค่าเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปด้วยความร้อน (optimum cure time) แล้วจะพบว่าค่าที่ได้ จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงคล้ายกับค่าของแรงบิด โดยการใส่สารตัวเติมดินขาวเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ (optimum cure time) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 2 สามารถทำนายได้จากสมการ $y_{190} = 0.022x + 7.228$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R Square มากถึง 0.969 ค่าความหมายของตัวแปรแสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 : กราฟแสดงแนวโน้มของค่าแรงบิดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารตัวเติมดินขาว



รูปที่ 2 : กราฟแสดงแนวโน้มเวลาที่เหมาะในการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่มีสารตัวเติมดินขาว

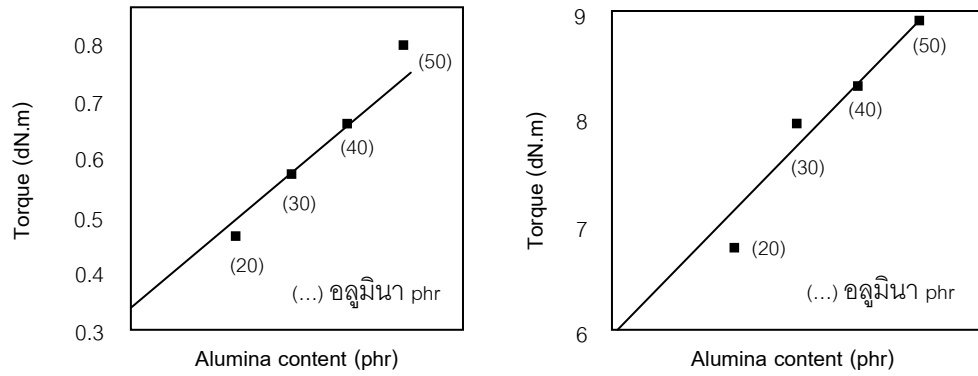
2. อิทธิพลของปริมาณสารตัวเติมอลูมินาที่มีผลต่อยางพอง

พิจารณาค่าแรงบิดของยางคอมปาวด์ที่มีสารตัวเติมเสริมแรงอลูมินา พบว่าค่าแรงบิด (torque) ที่วัดได้ต่ำสุดและสูงสุดจากเครื่อง ODR มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณสารเสริมแรงอลูมินา เนื่องจากอลูมินาเป็นสารเสริมแรงเช่นเดียวกับดินขาว แนวโน้มค่าแรงบิด (torque) ที่ได้แสดงดังรูปที่ 3 โดยค่าที่เพิ่มขึ้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถผลิตขึ้นรูปร่างได้โดยไม่มีผลกระทบต่อเวลาการบดผสมมากนัก อันเนื่องมาจากการกระจายตัวของสารตัวเติมดินขาวนั้นยังกระจายตัวในสารเนื้อพื้นยางได้ดีอยู่ ไม่มีการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (agglomerate) และยังสามารถทำนายค่าแรงบิดสูงสุดและต่ำสุดได้จากสมการ $y_{Al,L} = 0.008x + 0.343$ และ $y_{Al,H} = 0.059x + 5.966$ โดยเป็นสมการค่าของแรงบิดต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R Square มากถึง 0.919 และ 0.959 ตามลำดับ ค่าความหมายของตัวแปรในสมการแสดง ดังตารางที่ 2

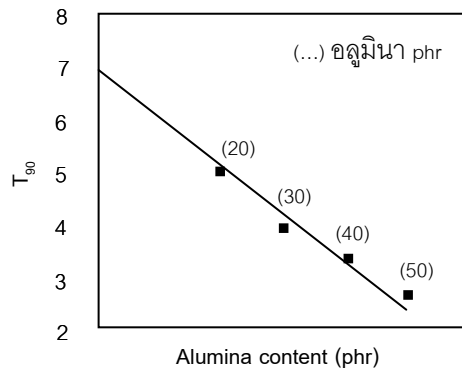
ตารางที่ 2 : ตารางแสดงค่าความหมายของตัวแปรสำหรับสารตัวเติมอลูมินา

ตัวแปร	ความหมาย
$y_{Al,H}$	ค่าแรงบิดสูงสุด
$y_{Al,L}$	ค่าแรงบิดต่ำสุด
x	ปริมาณอลูมินา (phr)
y_{t90}	ค่าเวลาการคงรูป

หลังจากนั้นหากพิจารณาค่าเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปด้วยความร้อน (optimum cure time) แล้วจะพบว่าค่าที่ได้ จะมีค่าที่ลดลงตรงข้ามกับการเติมดินขาว โดยการใส่สารตัวเติมอลูมินาเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ (optimum cure time) มีค่าลดลงโดยค่าแนวโน้มการลดลงแสดงดังรูปที่ 3 สามารถทำนายได้จากสมการ $y = -0.089x + 6.933$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R Square มากถึง 0.977 ค่าความหมายของตัวแปรแสดงดังตารางที่ 2



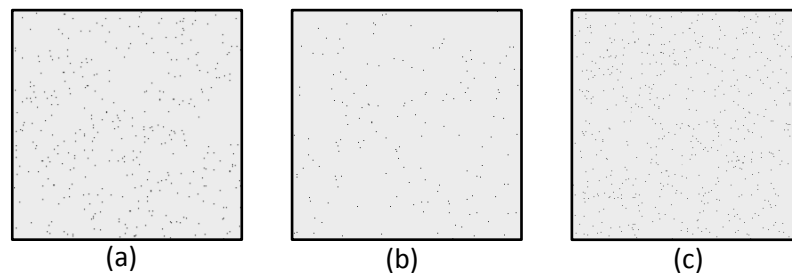
รูปที่ 3 : กราฟแสดงแนวโน้มของค่าแรงบิดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารตัวเติมอลูมินา



รูปที่ 4 : กราฟแสดงแนวโน้มเวลาที่เหมาะในการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่มีสารตัวเติมอลูมินา

2. การกระจายตัวของสารตัวเติมดินขาวและอลูมินา

การกระจายตัวของสารตัวเติมดินขาวและอลูมินา ที่ 50 phr ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF พบว่าการกระจายตัวของสารตัวเติมดินขาวและอลูมินาในยางมีกระจายตัวที่ดี ไม่มีการเกาะกลุ่ม ดังแสดงรูปที่ 5



รูปที่ 5 : (a) แสดงการกระจายตัวของอลูมินาในยางพอง (b)และ(c)เป็นรูปแสดงการกระจายตัวของดินขาว โดย (b) เป็นการกระจายตัวของอลูมินา (c) เป็นการกระจายตัวของซิลิกา ซึ่งอลูมินาและซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักของดินขาว

สรุปผลการทดลอง

การเติมสารตัวเติมดินขาวและอลูมินาส่งผลทำให้ใช้พลังงานในการบดผสมยางคอมปาวด์เพิ่มขึ้น โดยสามารถทำนายได้จากสมการเส้นตรง การเพิ่มสารตัวเติมดินขาวและอลูมินาทำให้แรงบิดเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มสารตัวเติมดินขาวส่งผลทำให้ใช้เวลาเพิ่มมากขึ้นในการคงรูป การเพิ่มสารตัวเติมอลูมินาส่งผลทำให้เวลาในการคงรูปลดลง โดยสัดส่วนของสารตัวเติมอลูมินา 50 phr จะทำให้ลดเวลาในการคงรูปได้มากที่สุด จึงส่งผลทำให้ยางสุกได้อย่างรวดเร็ว ทั้งอลูมินาและดินขาวสามารถกระจายตัวกันได้ดีถึงแม้จะใส่ลงไปเป็นปริมาณมากถึง 50 phr โดยผลการตรวจสอบการกระจายตัวได้จาก XRF mapping

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องในงานวิจัยทั้งหมด ทั้งภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันวิจัยยาง อาจารย์ผู้ให้คำปรึกษา และผู้ที่ไม่ได้กล่าวถึงแต่สนับสนุนงานวิจัยเป็นอย่างดีเรื่อยมา

เอกสารอ้างอิง

พงษ์ธร แซ่ฮุย.2458. **สารเคมียาง**.พิมพ์ครั้งที่ 1.ปทุมธานี:ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

พงษ์ธร แซ่ฮุย และ ชาคกริต สิริสิงห.2550.**กระบวนการผลิตและการทดสอบ**.พิมพ์ครั้งที่ 1.ปทุมธานี:

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

วรารภรณ์ ขจรไชยกุล.2552.**ผลิตภัณฑ์ยาง:กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี**.กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

Bao Sheng Zhang, Xiu Feng, Zhen Xiu Zhang, Yang Liu, Jin Kuk Kimb and Zhen Xiang Xin.

2010. Effect of carbon black content on microcellular structure and physical properties of chlorinated polyethylene rubber foams. **Materials and Design** 31 : 3106–3110

Eun-Kyoung Lee and Sei-Young Choi. 2007. Preparation and characterization of natural rubber foams: Effects of foaming temperature and carbon black content. **Korean journal of chemical engineering** Volume 24, Number 6 : 1070-1075

J. Zhao, X.-M. Wang, J.M. Chang, Y. Yao and Q. Cui 2010. Sound insulation property of wood–waste tire rubber composite. **Composites Science and Technology** 70 : 2033–2038

Lojareonrat Wisit. 2006. Production of thermal insulation from rice straw fiber and natural rubber latex. **Kasetsart Engineering Journal**