

ผลกระทบของปริมาณลิกนินที่มีต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบระหว่างยางธรรมชาติและลิกนิน

Effect of Lignin Content on the Properties of Natural Rubber/Lignin Composites

นางสาวศิวรี อ่อนอ่อน

อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.พรทิพย์ เล็กพิทยา

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: fengptk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการบ่มเร่งด้วยความร้อน และปริมาณลิกนินที่เหมาะสมในการทำวัสดุประกอบของลิกนินและยางธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อนให้ดีขึ้น เริ่มจากการเตรียมลิกนินโดยการตกตะกอนด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น ที่สภาวะความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 6 จากนั้นนำตะกอนลิกนินที่ได้มาอบให้ความร้อน เก็บผงลิกนินและนำมาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี เพื่อยืนยันโครงสร้างของลิกนินที่สกัดได้เทียบกับสเปกตรัมของลิกนินมาตรฐาน จากนั้นนำผงลิกนินไปทำเป็นวัสดุประกอบกับยางธรรมชาติเพื่อทดสอบสมบัติทางกล คือ ความต้านทานต่อแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น ผลปรากฏว่า เมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินมากขึ้น ค่าสมบัติทางกลจะลดลง แต่หากขึ้นงานตัวอย่างผ่านสภาวะการบ่มเร่งจากความร้อน จะทำให้ค่าสมบัติทางกลเหล่านั้นมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อน คือ ความต้านทานการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนด้วยเทคนิควิเคราะห์สมบัติทางความร้อน พบว่าการเติมลิกนินในชิ้นงานที่ผ่านการบ่มเร่งจากความร้อน หรือไม่ได้ผ่านการบ่มเร่งจากความร้อนก็ตาม อุณหภูมิการสลายตัวเนื่องจากความร้อนของวัสดุประกอบของลิกนินและยางธรรมชาติจะมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : ลิกนิน, ความต้านทานการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน, การบ่มเร่งด้วยความร้อน

Abstract

This research aimed to study an effect of aging and optimum lignin content to fabricate lignin/natural rubber composites. The study emphasized on improvement of mechanical and thermal properties. Lignin preparation was conducted by precipitating with concentrate sulfuric acid at pH 6. The precipitation was then dried into powder form and the powder was analyzed by FT-IR to confirm structure of lignin

powder. The powder was mixed with natural rubber to form a composite material and the composite was tested mechanically, tensile strength, % elongation and elastic modulus. The results showed that increasing of lignin content reduced mechanical properties. By the way, aging brought increasing of mechanical properties to the specimens. Besides, the thermal degradation resistance from TGA showed that adding lignin to rubber with or without aging increased temperature of degradation of lignin/natural rubber composite

Keywords : Lignin, Thermal degradation resistance, Aging

1. บทนำ

ลิกนินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่ไม่มีรูปผลึกจะเกาะกันอยู่ระหว่างเส้นใยสามารถสกัดลิกนินได้จากเปลือกไม้หรือสามารถสกัดได้จากของเสียในอุตสาหกรรมผลิตเอ็อกระดาษ ในการสกัดลิกนินจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตเอ็อกระดาษจะต้องอยู่ภายใต้สภาวะความเป็นกรด และปริมาณลิกนินที่สกัดได้ก็มีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ ในด้านการใช้ประโยชน์จากลิกนินนั้นสามารถใช้งานได้หลากหลาย เช่น การนำลิกนินไปใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมยาง ถึงแม้ว่ายางธรรมชาติจะมีจุดเด่นมากมาย เช่น มีความเหนียวดีทนดี ขึ้นรูปได้ง่าย ความร้อนสะสมในการใช้งานต่ำ ทนต่อแรงดึงได้สูง แต่ก็มีสมบัติบางประการที่เป็นข้อด้อย เช่น ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดดที่ต่ำ โดยยางธรรมชาติจะสามารถทำปฏิกิริยาได้ง่ายกับออกซิเจนและโอโซน ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย งานวิจัยนี้จึงพยายามที่จะนำลิกนินไปใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อช่วยพัฒนาสมบัติด้อยของยางธรรมชาติทั้งในด้านสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนให้ดียิ่งขึ้น นับได้ว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญทั้งในแง่การใช้ประโยชน์และการส่งออกชนิดหนึ่งของประเทศไทย

2. สารเคมีและวิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

- 2.1.1 น้ำคำจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเชื้อกระดาษ
- 2.1.2 น้ำดีไอ (Deionized Water, DI)
- 2.1.3 กรดซัลฟูริก 98 % (Sulfuric acid, H₂SO₄)
- 2.1.4 ยางธรรมชาติเกรด (NR STR 5 L)

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 หาร้อยละของน้ำหนักของแข็ง (% Dry solid) ของน้ำคำ โดยนำน้ำคำใส่ถาดแก้วประมาณ 2 กรัม และชั่งน้ำหนักก่อนทำการอบ จากนั้นนำไปอบในเตาที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามกำหนด นำออกจากเตาอบแล้วเก็บไว้ในตู้ควบคุมความชื้น จากนั้นนำไปทำการชั่งน้ำหนักหลังอบ

2.2.2 ตกตะกอนลิกนินโดยนำน้ำคำ จำนวน 200 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น จนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6 ทิ้งให้น้ำคำ ตกตะกอนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองตะกอนน้ำคำและล้าง ตะกอนด้วยน้ำดีไอ จนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 และนำตะกอนที่ ได้ไปอบไล่ไอน้ำ เมื่อแห้งสนิททำการบด แล้วเก็บเข้าสู่ถังความชื้น

2.2.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของลิกนินที่ได้ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6

1) หาค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของลิกนิน (% yield of lignin) โดยคำนวณเปรียบเทียบกับค่าร้อยละของน้ำหนักของแข็ง (% Dry solid) ที่ได้ จากข้อ 2.2.1

2) ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของลิกนิน โดยการใช้เครื่องฟูเรียร์ ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)

2.2.4 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของลิกนินในการผสมกับยางธรรมชาติ

นำลิกนินที่เตรียมได้มาผสมกับยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดผสมยาง (Two-roll mill) โดยแปรผันค่าน้ำหนักของลิกนิน เท่ากับ 0 5 10 15 และ 20 กรัมต่อยางธรรมชาติ 100 กรัม (phr) ซึ่งส่วนผสมต่างๆเป็นไปตามสูตรดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรคอมพาว์นของยางธรรมชาติและลิกนิน

Sample	NR (g)	ZnO (g)	Stearic acid (g)	Sulphur (g)	CBS (g)	Lignin (g)
A	100	5	2	2.5	1.25	0
B	100	5	2	2.5	1.25	5
C	100	5	2	2.5	1.25	10
D	100	5	2	2.5	1.25	15
E	100	5	2	2.5	1.25	20

2.2.5 ทำการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบระหว่างลิกนินและยางธรรมชาติ และเตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำยางธรรมชาติที่ผสมกับลิกนินเสร็จเรียบร้อยแล้ว มาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แรงดันอัด 75 ตัน และนำไปหาเวลาของการคงรูปของยางธรรมชาติด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ แบบค้ายเคลื่อนที่ (Moving Die Rheometer, MDR) ตามมาตรฐาน ASTM D5289 จากนั้นนำมาทำการตัดเป็นคัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D412 ด้วยเครื่องตัดด้วยคม

2.2.6 ทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบความต้านทานต่อการอัดหรือยุบตัว (Compression Set)

เพื่อทดสอบรูปร่างและมิติของยางที่ได้กลับคืนมาหลังจากนำแรงกดออกไป ซึ่งจะบอกถึงความสามารถของยางในการรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหลังจากยางได้รับแรงกดเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยคำนวณเป็นร้อยละของปริมาณที่ไม่สามารถกลับคืนรูปร่างเดิมได้ ตามมาตรฐาน ASTM D 395 Method B ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะไม่ได้ผ่านการบ่มเร่งจากความร้อน

2.2.7 ทำการบ่มเร่งชิ้นงานทดสอบด้วยความร้อน (Thermal Aging)

นำชิ้นงานที่ผ่านการอัดขึ้นรูปเข้าเตาอบ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 22 ชั่วโมงตามมาตรฐาน ASTM D572

2.2.8 ทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของชิ้นงานตัวอย่าง

1) ตัดชิ้นงานเป็นรูปทรงคัมเบลแล้วมาทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine) ตามมาตรฐาน ASTM D412

2) นำชิ้นงานตัวอย่างที่ต้องการทดสอบไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) โดยกำหนดอุณหภูมิทดสอบตั้งแต่ 25-800 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการขึ้นของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เพื่อศึกษาอุณหภูมิของการสลายตัว (Degradation temperature) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างยางธรรมชาติและลิกนิน

3. ผลการทดลองและการอภิปราย

3.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำคำที่ได้จากโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ

1) น้ำคำจากโรงงานผลิตเชื้อกระดาษที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีลักษณะเป็นของเหลวที่มีสีน้ำตาล ซึ่งมีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 11

2) ร้อยละของน้ำหนักของแข็ง (% Dry solid) เท่ากับ 18.21

% w/w ซึ่งหมายถึง น้ำค่าจำนวน 100 กรัม มีปริมาณตะกอนสารอินทรีย์ และลิกนินรวมกัน 18.21 กรัม

3.2 ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6 ต่อการตกตะกอนลิกนินจากน้ำค่าเพื่อหาค่าร้อยละผลผลิตลิกนิน

ค่าร้อยละผลผลิตลิกนินที่ได้ คือ 2.86 เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นจากงานวิจัยของคุณมนตรี[1] ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกลิกนิน ออกจากน้ำค่า จากกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากไม้ยูคาลิปตัส โดยร้อยละผลผลิตลิกนินที่มีค่ามากที่สุด มาจากการตกตะกอนในสภาวะ pH เท่ากับ 4 โดยเปรียบเทียบค่าร้อยละผลผลิตลิกนินที่ได้ อีกร่างงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้การตกตะกอนที่ pH เท่ากับ 6 เนื่องจากงานวิจัยต้องการเตรียมลิกนินในปริมาณที่มาก โดยการตกตะกอนที่ pH 6 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เป็นกลางทำให้ขั้นตอนในการล้างตะกอนลิกนินทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น อีกทั้งค่าร้อยละผลผลิตลิกนินที่ได้จากการตกตะกอน pH4 และ pH6 มีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยเหตุผลที่ต้องใช้กรดในการตกตะกอนลิกนิน เนื่องจากลิกนินเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายในตัวทำละลายส่วนใหญ่ แต่ลิกนินสามารถเสียสภาพได้ในกระบวนการทางเคมีโดยลิกนินสามารถละลายออกจากตัววัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติได้ในสภาวะที่ อุณหภูมิและความดันสูง ภายในระบบที่เป็นกรด ดังนั้นเราจึงนำน้ำค่าที่เป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษมาทำการเติมกรด เพื่อทำการตกตะกอนลิกนิน

3.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของลิกนินที่ทำการตกตะกอนได้ในค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier transformed infrared spectrophotometer ,FT-IR) เพื่อทำการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ของตะกอนลิกนินที่สกัดได้ โดยใช้โหมมดการส่องผ่าน (Transmittance) โดยใช้ผลลิกนินที่สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6 โดยทำการเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของลิกนินมาตรฐาน จึงสามารถยืนยันได้ว่าสารที่สกัดออกมาได้นั้นคือ ลิกนิน

3.4 ศึกษาปริมาณของลิกนินที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบของลิกนินและยางธรรมชาติเพื่อทดสอบสมบัติทางกล

ตารางที่ 2 สมบัติทางกลของยางธรรมชาติที่ปริมาณลิกนินต่างๆที่ไม่ผ่านการบ่มเร่งจากความร้อน

ปริมาณลิกนิน (phr)	Elastic Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
0	1.20 ± 0.000	21.00 ± 5.94	510.50 ± 54.45
5	1.12 ± 0.045	20.32 ± 0.91	536.20 ± 28.18
10	1.23 ± 0.050	18.10 ± 0.65	527.50 ± 20.14
15	1.25 ± 0.058	16.33 ± 0.78	506.50 ± 29.15
20	1.28 ± 0.045	14.46 ± 0.71	505.80 ± 15.61

ตารางที่ 3 สมบัติทางกลของยางธรรมชาติที่ปริมาณลิกนินต่างๆที่ไม่ผ่านการบ่มเร่งจากความร้อน(Thermal Aging)

ปริมาณลิกนิน (phr)	Elastic Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
0	1.10 ± 0.08	2.48 ± 0.21	249.75 ± 0.21
5	1.22 ± 0.08	2.60 ± 0.36	234.80 ± 15.88
10	1.26 ± 0.05	2.52 ± 0.33	234.60 ± 37.47
15	1.30 ± 0.00	10.23 ± 0.84	449.33 ± 4.04
20	1.30 ± 0.00	11.60 ± 1.80	463.67 ± 43.13

พบว่าค่าการเติมลิกนินมีแนวโน้มเพิ่มสมบัติทางกลให้ดีขึ้นเมื่อได้รับอิทธิพลจากการบ่มเร่งทางความร้อน เนื่องจากค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินในยางธรรมชาติมากขึ้น แต่เมื่อเทียบกับการผสมลิกนินในยางธรรมชาติในสภาวะที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการบ่มเร่งจากความร้อนที่มีแนวโน้มต่ำลง ซึ่งอาจเกิดจากการใส่ปริมาณลิกนินที่มากขึ้น ทำให้ลิกนินเกิดการรวมกลุ่มกันของอนุภาคส่งผลให้การเสริมแรงมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากการกระจายตัวของลิกนินในยางธรรมชาติไม่สม่ำเสมอ หรืออนุภาคของลิกนินไม่ละเอียดพอ แต่ค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำที่สุดพบว่ายังมีค่ามากกว่าค่าต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุดในสภาวะที่ได้รับอิทธิพลจากการบ่มเร่งจากความร้อนหรือกล่าวได้ว่าลิกนินไม่ได้มีส่วนช่วยในการเพิ่มสมบัติทางกลให้แก่ยางธรรมชาติแต่ลิกนินสามารถช่วยเพิ่มสมบัติการต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนให้แก่ยางธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น

3.5 ศึกษาค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression Set)

ตารางที่ 4 ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด(Compression Set)

ปริมาณลิกนิน (phr)	ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด(%)
0	9.1
5	8.7
10	12.5
15	13.4
20	12.7

จากตารางที่ 4 พบว่าค่าการยุบตัวมีแนวโน้ม(%)เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทดสอบที่ไม่มีการเติมลิกนิน โดยมีค่าการยุบตัวมากที่สุดที่ปริมาณการเติมลิกนินลงในยางธรรมชาติ เท่ากับ 15 phr เนื่องจากสูตรยางธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบการใช้ซัลเฟอร์เป็นตัวทำให้ยางคงรูป ที่มีการใช้ปริมาณซัลเฟอร์ในอัตราส่วนที่มากกว่าสารตัวเร่ง หรือเรียกว่า ระบบธรรมดา (Conventional system, CV) เมื่อยางคงรูปเต็มที่ จะเกิดพันธะเคมีส่วนใหญ่เป็นแบบ Polysulphide ซึ่ง

พันธะเคมีแบบนี้จะทำให้ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด(Compression Set) มีค่าสูง อันเนื่องมาจากมีการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเกิดขึ้นระหว่างพันธะเคมีแบบ Polysulphide ถ้าลักษณะการเชื่อมโยงโมเลกุลมีความเสถียรต่อการเสื่อมสภาพได้ค้ำค่างานนั้นก็จะมีความสมบัติด้าน การคืนรูปร่าง(set) ลดลงหรือมีค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมาก

สรุปได้ว่าลิกนินช่วยให้มีความเสถียรต่อการเสื่อมสภาพในยางธรรมชาติได้ดีขึ้น โดยการเพิ่มปริมาณลิกนินลงไปในยางธรรมชาติยิ่งทำให้ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมากขึ้นเพราะการเชื่อมโยงโมเลกุลภายในยางธรรมชาติมีความเสถียรต่อการเสื่อมสภาพเพิ่มขึ้น

3.6 ศึกษาปริมาณของลิกนินที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบของลิกนินและยางธรรมชาติเพื่อทดสอบสมบัติทางความร้อน

จากการทดสอบค่าสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)

ตารางที่ 5 คุณสมบัติการสลายตัวของยางธรรมชาติที่ปริมาณลิกนินต่างๆที่ผ่านการบ่มแรงจากความร้อนและไม่ผ่านการบ่มแรงจากความร้อน

การสลายตัว (%)	อุณหภูมิการสลายตัว(องศาเซลเซียส)					
	ไม่มีการบ่มแรง (No aging)			มีการบ่มแรง(Aging)		
	0 phr	5 phr	20 phr	0 phr	5 phr	20 phr
10	332.244	334.375	322.512	336.917	332.249	322.836
20	351.935	353.172	348.224	353.892	351.648	348.948
30	362.724	363.921	361.692	364.011	362.360	361.356
50	379.011	382.353	383.060	379.422	379.812	381.518
75	409.456	417.372	450.150	406.503	413.329	461.419

จากตารางที่ 5 เป็นการสรุปค่าการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบ ณ เปอร์เซนต์การสลายตัวต่างๆ โดยจะพิจารณาค่าอุณหภูมิการสลายตัวที่ 50 % พบว่าค่าความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนของวัสดุทั้งที่ผ่านการบ่มแรงและไม่ผ่านการบ่มแรงจากความร้อน อุณหภูมิที่ใช้สลายตัวเพื่อให้เหลือตัวอย่าง 50%โดยน้ำหนักมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณลิกนินที่ใส่ลงไป และที่ปริมาณลิกนิน 20 phr จะทำให้ค่าความต้านทานต่อการสลายตัวทางความร้อนสูงสุด ดังนั้นการบ่มแรงมีอิทธิพลต่อค่าอุณหภูมิการสลายตัวโดยช่วยให้แนวโน้มของค่าอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการผสมของลิกนินมากขึ้นที่ค่าเปอร์เซนต์การสลายตัวที่เท่ากัน คือ 50%

4. สรุปผลการทดลอง

- 1 สมบัติทางกายภาพของน้ำค้ำ พบว่ามีค่า pH เริ่มต้น เท่ากับ 11
- 2 ร้อยละของน้ำหนักของแข็ง (% Dry solid, w/w) ของน้ำค้ำมีค่า

เท่ากับ 18.21

4.3 สภาวะที่ใช้ตกตะกอนลิกนินจากน้ำค้ำ คือ pH = 6 และให้ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของลิกนิน (% yield of lignin) มีค่าเท่ากับ 2.86

4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของลิกนินที่ได้จากการตกตะกอนที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 พบว่าสารที่สกัดได้นั้นคือลิกนิน ซึ่งปรากฏพิทที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3372.75, 2929.08, 2833.90, 1509.51, 1453.77, 1319.87,1208.85,822.74 cm^{-1}

4.5 ลิกนินเมื่อทำการผสมกับยางธรรมชาติและไม่ผ่านการบ่มแรงจากความร้อน เมื่อทำการทดสอบความต้านทานแรงดึงพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงจะมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากลิกนินเกิดการรวมกลุ่มกันของอนุภาค การกระจายตัวของลิกนินในยางธรรมชาติไม่สม่ำเสมอ หรืออนุภาคของลิกนินไม่ละเอียดพอส่งผลให้การเสริมแรงมีประสิทธิผลต่ำ

4.6 ปริมาณลิกนินที่เหมาะสมในการทำวัสดุเชิงประกอบกับยางธรรมชาติเมื่อผ่านการบ่มแรงจากความร้อน คือ 20 phr และแสดงให้ทราบว่าลิกนินมีส่วนช่วยเพิ่มสมบัติทางกลให้ดีขึ้นหลังจากได้รับอิทธิพลทางความร้อน เนื่องจากค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินในยางธรรมชาติมากขึ้น

4.7 เปอร์เซนต์ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ลิกนินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นโดยมีค่าการยุบตัวสูงที่สุดที่ปริมาณการใส่ลิกนินเท่ากับ 15 phr และมีค่าการยุบตัวเท่ากับ13.4%

4.8 วัสดุทั้งที่ผ่านการบ่มแรงและไม่ผ่านการบ่มแรงจากความร้อน อุณหภูมิที่ใช้สลายตัวเพื่อให้เหลือตัวอย่าง 50%โดยน้ำหนักมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณลิกนิน และที่ปริมาณลิกนิน 20 phr จะทำให้ค่าความต้านทานต่อการสลายตัวทางความร้อนสูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยครั้งนี้ อ.พรทิพย์ เล็กพิทยา อาจารย์ที่ปรึกษา สำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัย ที่ๆ นื่องๆและบุคลากร ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือ และคำแนะนำสำหรับงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และ ขอขอบคุณครอบครัว สำหรับกำลังใจและการสนับสนุนเสมอมา

6. การอ้างอิงและเอกสารอ้างอิง

[1] Monnapat Thainthongdee (2009).”Preparation of Kraft Lignin and Their Application in Natural Rubber Composite.”
 [2] B.Kosikova(2006).”Role of Lignin Filler in Stabilization of Natural Rubber-Based Composites.” Journal of Applied Polymer Science:1226-1231