



การเตรียมและผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม

โดย

นายอรุณ ภูกริงศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การเตรียมและผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม

โดย

นายอรุณ ภูกริ่งศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**PREPARATION AND EFFECT OF ADDITIVES ON PROPERTIES OF
SYNTHETIC RATTAN**

By

Arun Phukringsri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF ENGINEERING

Department of Materials Science and Engineering

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2011

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การเตรียมและผล
ของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม” เสนอโดย นายอรุณ ภูกริ่งศรี เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิ
เมอร์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปานใจ ธารทัศน์วงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์

คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. จันทน์ฉาย ทองปิ่น)

...../...../.....

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์)

...../...../.....

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ธัญญลักษณ์ ฉายสุวรรณ)

...../...../.....

52402241 : สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

คำสำคัญ : หวายสังเคราะห์/พอลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง/พอลิแลคติกแอซิด/สารประสานกลุ่ม
ควบ/สารช่วยฟู

อรุณ ภูกริ่งศรี : การเตรียมและผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์. 184 หน้า.

งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและวิเคราะห์อิทธิพลของสารประสานกลุ่มควบของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างHDPEกับยาง EPDM โดยทำการปรับสภาพผิวผงไม้สนด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 3 %โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของผงไม้ จากนั้นนำผงไม้ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วปริมาณ 1 , 2 และ 3 phr ผสมกับพอลิเมอร์ผสมระหว่างHDPEกับยาง EPDM เพื่อหาสูตรการผสมที่เหมาะสม จากผลการศึกษาพบว่าผงไม้สนที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ความเข้มข้น 2.5 %โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของผงไม้ปริมาณ 2 phr ให้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลที่ดีและทำให้เส้นหวายเทียมมีสีใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติ จากนั้นจึงนำอัตราส่วนที่ได้ไปผสมกับสารช่วยฟูที่ปริมาณ 0.5-2.0 phr จากผลการศึกษาพบว่าการเติมสารช่วยฟูสามารถลดน้ำหนักของเส้นหวายเทียมลงได้ 16 % เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู

ในส่วนที่สองทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและวิเคราะห์อิทธิพลของสารประสานกลุ่มควบของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างPLAกับPBAT โดยทำการปรับสภาพผิวผงไม้สนด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ความเข้มข้น 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของผงไม้ จากนั้นนำผงไม้ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วปริมาณ 3 , 5 และ 7 phr ผสมรวมกับเม็ด PLAและPBAT เพื่อหาสูตรการผสมที่เหมาะสม จากผลการศึกษาพบว่าผงไม้สนที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ความเข้มข้น 6 %โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของผงไม้ปริมาณ 5 phr ให้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลที่ดีและทำให้เส้นหวายเทียมมีสีใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติ จากนั้นจึงนำอัตราส่วนที่ได้ไปผสมกับสารช่วยฟูที่ปริมาณ 0.5-2.0 phr จากผลการศึกษาพบว่าการเติมสารช่วยฟูสามารถลดน้ำหนักของเส้นหวายเทียมลงได้ 40 % เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2554
ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

52402241 : MAJOR : POLYMER SCIENCE AND ENGINEERING

KEY WORDS : SYNTHETIC RATTAN/HIGH-DENSITY POLYETHYLENE/POLY
LACTIC ACID/COUPLING AGENT/FOAMING AGENT

ARUN PHUKRINGSRI : PREPARATION AND EFFECT OF ADDITIVES ON
PROPERTIES OF SYNTHETIC RATTAN. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.DR. NATTAKARN
HONGSRIPHAN. 184 pp.

This research was divided into 2 sections. The first section was aimed to determine the optimized conditions and effect of coupling agent on synthetic rattan made from polymer blend of HDPE and EPDM rubber. Composites were prepared by mixing wood flour of 1, 2 and 3phr treated with vinyltriethoxysilane (VTES) of 2.5 and 3 wt% (based on wood flour) with optimized HDPE/EPDM blend to determine the optimum formula. It is found that the optimized wood content was 2 phr with silane treatment of 2.5 wt% (respect to the fiber weight) giving desired mechanical properties and showing color closed to natural rattan. After mixing the optimized formula with Azodicarbonamide of 0.5-2.0 phr, the results show that adding Azodicarbonamide could reduce composite weight up to 16 % compared to non-added ones.

The second section was aimed to determine the optimized conditions and effect of coupling agent on synthetic rattan made from polymer blend of PLA and PBAT. Composites were prepared by mixing wood flour of 3, 5 and 7phr treated with 3-Aminopropyltriethoxy silane of 4 and 6 wt% (based on wood flour) with PLA/PBAT blends to determine the optimum formula. It is found that the optimized wood content was 5 phr with silane treatment of 6 wt% (respect to the fiber weight) giving desired mechanical properties and showing color closed to natural rattan. After mixing the optimized formula with Azodicarbonamide of 0.5-2.0 phr, the results show that adding Azodicarbonamide could reduce composite weight up to 40 % compared to non-added ones.

Department of Materials Science and Engineering Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2011

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ผู้คอยช่วยให้คำปรึกษารวมถึงชี้แนะวิธีการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทำการวิจัยมาโดยตลอด จนถึงการตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างละเอียดถี่ถ้วน

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.ธัญญลักษณ์ นายสุวรรณ อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิจากศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ฉาย ทองปิ่น อาจารย์จากภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ข้อเสนอแนะและสละเวลาสำหรับการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้จัดทำงานวิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้ทำงานวิจัยเรื่อง การเตรียมและผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติของเส้นหยาบเทียมรวมถึงอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทำการวิจัยครั้งนี้ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุที่เคยได้อบรม สั่งสอน รวมถึงให้ความรู้กับผู้ทำงานวิจัยจนสามารถทำงานวิจัยได้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคุณคุณพินิจ เจียนระลึก นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คุณไพโรจน์ ตั้งสุภะวัช นายช่างเทคนิคประจำภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ สำหรับการอำนวยความสะดวกเรื่องเครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ในการทำการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณพนักงานสำนักงานภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุทุกท่านที่ช่วยติดต่อประสานงานในเรื่องต่างๆ จนทำให้การทำการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอบคุณเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยทุนการศึกษาและทุนการนำเสนอผลงาน จากศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง และทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาโทบัณฑิต จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ขอขอบคุณ คุณสมฤดี คอยแก้วขาว ที่เป็นผู้ช่วยในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง นักศึกษาภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุสำหรับคำปรึกษาในเรื่องราวต่างๆ รวมถึงอัชชาชัยไมตรีและน้ำใจที่มีให้กันเสมอ

ขอขอบคุณ บิดา และ มารดา ที่ส่งเสริมเลี้ยงดูผู้ทำงานวิจัยมาเป็นอย่างดี ทำให้การศึกษาและการทำงานวิจัย ณ ที่แห่งนี้เป็นไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ต
 บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
วิธีดำเนินงานวิจัยพอสังเขป	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2 เอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
หวาย.....	8
วัสดุคอมพอสิต.....	9
เส้นใยธรรมชาติ.....	13
ไซเลน.....	16

บทที่	หน้า
พลาสติกโฟม.....	17
Foaming agent.....	18
Physical foaming agent (PFAs).....	19
Chemical foaming agent (CFAs).....	21
ทฤษฎีการเกิดโฟม.....	23
การบวนการเกิดฟองก๊าซ.....	23
กระบวนการเติบโตของฟองก๊าซ.....	24
กระบวนการเสถียรของฟองก๊าซ.....	25
สารลดแรงตึงผิว.....	26
ผลิตภัณฑ์ล้างจาน.....	28
ผงซักฟอก.....	28
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	40
วัตถุประสงค์.....	40
เครื่องมือ.....	44
วิธีการทดลอง.....	45
ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นหวายธรรมชาติ..	45

บทที่	หน้า
ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและอิทธิพลของสารประสานคู่ควบ ของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ.....	48
ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและอิทธิพลของสารประสานคู่ควบ ของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ตาม...	53
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	58
การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมและอิทธิพลของสารประสานคู่ควบ ของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ.....	58
การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมและอิทธิพลของสารประสานคู่ควบ ของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ตาม ธรรมชาติ.....	88
5 สรุปผลการทดลอง.....	116
สรุปผลการวิจัย.....	116
ข้อเสนอแนะ.....	117
บรรณานุกรม.....	118
ภาคผนวก.....	113
ภาคผนวก ก.....	123

ภาคผนวก ข.....	142
ภาคผนวก ค.....	161
ภาคผนวก ง.....	174
ประวัติผู้วิจัย.....	184

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงสมบัติของ PFAs ที่นิยมใช้กันทั่วไป.....	20
2	แสดงชนิดของสารประกอบเอโซ การสลายตัว และปริมาณแก๊สที่ได้.....	22
3	แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารเคมีที่นิยมใช้ในน้ำยาล้างจานและผงซักฟอก..	30
4	แสดงอัตราส่วนการผสมของวัสดุคอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีน/ยางEPDM เบลนด์กับเส้นใยอะรามิดขนาดสั้น.....	30
5	แสดงผลการทดสอบ Tensile test.....	31
6	แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง PLA กับ PBAT.....	36
7	แสดงสมบัติเชิงกลของ PLA บริสุทธิ์และPLA คอมพอสิต.....	36
8	แสดงองค์ประกอบทางเคมีหลักของน้ำยาล้างจาน.....	43
9	แสดงองค์ประกอบทางเคมีหลักของผงซักฟอก.....	44
10	แสดงรหัสตัวอย่างและอัตราส่วนของยาง EPDM.....	47
11	แสดงรหัสตัวอย่างและอัตราส่วนของผงไม้สนในส่วนที่ 2.....	50
12	แสดงรหัสตัวอย่างและอัตราส่วนของผงไม้สนในส่วนที่ 3	52
13	แสดงรหัสตัวอย่าง(อัตราส่วนที่เหมาะสมจากส่วนที่ 2)ผสมกับ CFA ที่ปริมาณ ต่าง ๆ.....	54
14	แสดงรหัสตัวอย่าง(อัตราส่วนที่เหมาะสมจากส่วนที่ 3)ผสมกับ CFA ที่ปริมาณ ต่าง ๆ.....	55
15	แสดงรายละเอียดผลจากการวิเคราะห์ Azodicarbonamide โดยเทคนิค TGA...	58

ตารางที่		หน้า
16	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มแช่ใน ของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Young's modulus.....	86
17	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มแช่ใน ของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Tensile strength.....	87
18	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มแช่ใน ของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Strain at yield (%).....	87
19	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มแช่ใน ของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Young's modulus.....	113
20	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มแช่ใน ของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Ultimate tensile strength.....	114
21	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มแช่ใน ของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Strain at break (%).....	114
22	แสดงอิทธิพลของปริมาณยางEPDMต่อค่า Young's modulus ของเส้นหวายเทียม ที่ปราศจาก Foaming agent.....	123
23	แสดงอิทธิพลของปริมาณยางEPDMต่อค่า Tensile strength ของเส้นหวายเทียมที่ ปราศจาก Foaming agent.....	123
24	แสดงอิทธิพลของปริมาณยางEPDMต่อค่า Strain at yield ของเส้น หวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent.....	123

ตารางที่		หน้า
25	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้นุ่นที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพ ผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Young's modulus ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent.....	124
26	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้นุ่นที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิว ด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Tensile strength ของเส้น หวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent.....	124
27	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้นุ่นที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Strain at yield ของเส้นหวายเทียมที่ ปราศจาก Foaming agent.....	125
28	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Young's modulus ของเส้นหวายเทียม.....	125
29	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Tensile strength ของเส้นหวายเทียม.....	125
30	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Strain at yield ของเส้นหวายเทียม.....	126
31	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้นุ่นที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิว ด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความหนาแน่นของเส้นหวายเทียม ที่ปราศจาก Foaming agent.....	126

ตารางที่		หน้า
32	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความหนาแน่นของ เส้นหวายเทียม.....	127
33	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้นสนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเส้น หวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent.....	127
34	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การ ดูดซับน้ำของเส้นหวายเทียม.....	128
35	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้นสนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความสว่าง (*L) ของเส้นหวายเทียมที่ ปราศจาก Foaming agent.....	128
36	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้นสนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *a ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent.....	128
37	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้นสนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *b ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent.....	129
38	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความสว่าง (*L) ของเส้นหวายเทียม.....	129
39	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *a ของ	

	เส้นหาวเทียม.....	131
ตารางที่		หน้า
40	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *b ของ เส้นหาวเทียม.....	143
41	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Young's modulus ของ เส้นหาวเทียมที่ปราศจาก Foaming agent.....	143
42	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Ultimate tensile strength ของเส้นหาวเทียมที่ปราศจาก Foaming agent.....	143
43	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Strain at break ของ เส้นหาวเทียมที่ปราศจาก Foaming agent.....	135
44	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Young's modulus ของเส้นหาวเทียม.....	144
45	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Ultimate tensile stress ของเส้นหาวเทียม.....	144
46	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Strain at break ของเส้นหาวเทียม.....	145

ตารางที่	หน้า
47	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความหนาแน่นของเส้นหอยเทียมที่ปราศจาก Foaming agent..... 145
48	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความหนาแน่นของเส้นหอยเทียม..... 145
49	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเส้นหอยเทียมที่ปราศจาก Foaming agent..... 146
50	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเส้นหอยเทียม..... 146
51	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความสว่าง (*L) ของเส้นหอยเทียมที่ปราศจาก Foaming agent..... 147
52	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *a ของเส้นหอยเทียมที่ปราศจาก Foaming agent..... 147
53	แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *b ของเส้นหอยเทียมที่ปราศจาก Foaming agent..... 148

ตารางที่		หน้า
54	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความสว่าง (*L) ของเส้นหวายเทียม.....	148
55	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *a ของเส้นหวายเทียม.....	149
56	แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *b ของเส้นหวายเทียม.....	149

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงตะกร้าที่ทำจากหวายธรรมชาติ.....	9
2	กลไกการยึดเกาะของพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส.....	11
3	แสดงหน่วยซ้ำของเซลลูโลส.....	14
4	โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน.....	15
5	แสดงการ Hydrolysis ของไซเลนมอนอเมอร์.....	17
6	แสดงการเกิดปฏิกิริยา condensation ของ silanol group.....	17
7	แสดง Surface modification ผิวของเส้นใยธรรมชาติ.....	18
8	โครงสร้างของโฟม แบบเซลล์เปิด (a) และเซลล์ปิด (b).....	19
9	แสดงโครงสร้างของเซลล์ที่ขึ้นตอนการขยายตัวของฟองแก๊สต่างๆ.....	25
10	แสดงลักษณะโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว.....	26
11	แสดงลักษณะของ extrudate ที่เติม vinyltriethoxysilane ในปริมาณต่าง ๆ.....	33
12	แสดงค่า Tensile strength ของวัสดุคอมพอสิตที่ปริมาณสารประสานต่าง ๆ..	34
13	แสดงค่าการดูดซับน้ำของวัสดุคอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับผงไม้....	34
14	แสดงภาพ SEM ของวัสดุคอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับผงไม้.....	35
15	แสดงภาพSEMของวัสดุคอมพอสิตPLAผสมกับ (a)เส้นใยที่ไม่ผ่านการ ปรับสภาพผิว (b)เส้นใยที่มีผ่านการปรับสภาพผิวด้วยไซเลน.....	37
16	แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลล์โฟมพอลิแลคติกแอซิดที่ความเร็ว รอบสกรู 40 rpm ที่ปริมาณ Chemical foaming agent.....	38
17	แสดงสูตร โครงสร้างของพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง.....	40

ภาพที่		หน้า
18	แสดงโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุล poly(lactic acid).....	41
19	แสดงโครงสร้างทางเคมีของ PBAT.....	42
20	เครื่อง Universal Testing Machine.....	47
21	Scanning Electron Microscope ของบริษัท JEOL technics LTD.....	48
22	เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) ของบริษัท Mettler-Toledo Ltd.	49
23	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนอนคู่ (Twin screw-extruder).....	50
24	เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer) FTIR).....	51
25	แสดงตัวอย่างของชิ้นงาน โดย (a) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงยืด (b) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำและ (c) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบความหนาแน่น.....	53
26	แสดงพีค FTIR ของผงไม้สนทั้งที่ปรับและไม่ปรับปรุงผิวด้วย vinyltriethoxy Silane.....	59
27	แสดงพีค FTIR ของผงไม้สนทั้งที่ปรับและไม่ปรับปรุงผิวด้วย 3-Amino propyltriethoxy silane.....	59
28	แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมดังนี้ HDPE pure (a) , HDPE/EPDM ; 90/10 (b) , 80/20 (c) , 70/30 (d) และ 60/40 (e) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	61
29	แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหยาบเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่	

	ปริมาณของผงไม้ 1(a,b), 2 (c,d) และ 3 phr (e,f) ที่กำลังขยาย 350 เท่า(ซ้าย) และ 1,000 เท่า (ขวา).....	63
ภาพที่		หน้า
30	แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหวายเทียมที่มีการผสม ผงไม้สนผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ความเข้มข้น 2.5wt% ที่ ปริมาณของผงไม้ 1(g,h), 2 (i,j) และ 3 phr (k,l) ที่กำลังขยาย 350 เท่า(ซ้าย) และ 1,000 เท่า (ขวา).....	64
31	แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหวายเทียมที่มีการผสม ผงไม้สนผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ความเข้มข้น 3.0 wt% ที่ ปริมาณของผงไม้ 1(m,n), 2 (o,p) และ 3 phr (q,r) ที่กำลังขยาย 350 เท่า(ซ้าย) และ 1,000 เท่า (ขวา).....	66
32	แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหวายธรรมชาติ (a) และเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณ 0.5(b), 1.0 (c), 1.5 (d) และ 2.0 (e) phr ที่กำลังขยาย 35 เท่า	67
33	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับปริมาณยาง EPDM ที่ ปริมาณต่าง ๆ ที่เติมลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง.....	69
34	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับปริมาณยาง EPDM ที่ปริมาณต่าง ๆ ที่เติมลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง.....	69
35	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at yield(%) กับปริมาณยาง EPDM ที่ ปริมาณต่าง ๆ ที่เติมลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง.....	70

ภาพที่		หน้า
36	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับปริมาณของผงไม้สน ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ	71
37	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับปริมาณของผงไม้สนที่ผ่าน และไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ....	71
38	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at yield (%) กับปริมาณของผงไม้สนที่ผ่าน และไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ....	72
39	แสดงการเปรียบเทียบค่า Young's modulus ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับ เส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	73
40	แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific Young's modulus ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติ กับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	73
41	แสดงการเปรียบเทียบค่า Tensile strength ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับ เส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	74
42	แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific tensile strength ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับ เส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	74
43	แสดงการเปรียบเทียบค่า Strain at yield (%) ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับ เส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	75
44	แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific strain at yield (%) ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติ กับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	75
45	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณผงไม้ที่ผ่านและ ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	77

ภาพที่		หน้า
46	แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นระหว่างเส้นหยาขรรรชชาติกับ เส้นหยาขเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	78
47	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึบน้ำกับปริมาณผงไม้ที่ผ่าน และไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	79
48	แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึบน้ำระหว่างเส้นหยาขรรรชชาติ กับเส้นหยาขเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	80
49	แสดงการเปรียบเทียบค่าวัดสีระหว่างเส้นหยาขรรรชชาติกับเส้นหยาขเทียมที่ ผสมผงไม้ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ ปริมาณต่าง ๆ	82
50	แสดงการเปรียบเทียบค่าวัดสีระหว่างเส้นหยาขรรรชชาติกับเส้นหยาขเทียม ที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ	84
51	แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของพอลิเมอร์เบลดระหว่าง PLA กับ PBAT ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	89
52	แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหยาขเทียมที่มีการผสม ผงไม้สนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณ ของผงไม้ 3(a,b), 5 (c,d) และ 7 phr (e,f) ที่กำลังขยาย 100 เท่า(ซ้าย) และ 2,000 เท่า (ขวา).....	90
53	แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหยาขเทียมที่มีการผสม	

	ผงไม้สนผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ความเข้มข้น 4 wt% ที่ปริมาณของผงไม้ 3(g,h), 5 (i,j) และ 7 phr (k,l) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ซ้าย) และ 2,000 เท่า (ขวา).....	92
ภาพที่		หน้า
54	แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหวายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ความเข้มข้น 6 wt% ที่ปริมาณของผงไม้ 3(m,n), 5 (o,p) และ 7 phr (q,r) ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ซ้าย) และ 2,000 เท่า (ขวา).....	93
55	แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหวายธรรมชาติ (a) ที่กำลังขยาย 35 เท่า และเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณ 0.5(b), 1.0 (c), 1.5 (d) และ 2.0 (e) phr ที่กำลังขยาย 20 เท่า.....	95
56	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับปริมาณของผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	97
57	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Ultimate tensile strength กับปริมาณของผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	97
58	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at break(%) กับปริมาณของผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	98

ภาพที่		หน้า
59	แสดงการเปรียบเทียบค่า Young's modulus ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับ เส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ	99
60	แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific Young's modulus ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติ กับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ	99
61	แสดงการเปรียบเทียบค่า Ultimate tensile strength ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติ กับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	100
62	แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific ultimate tensile strength ระหว่างเส้นหวาย ธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	100
63	แสดงการเปรียบเทียบค่า Strain at break(%) ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับ เส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	101
64	แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific strain at break(%) ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติ กับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	101
65	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณผงไม้ที่ผ่านและ ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ	103
66	แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับ เส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	104
67	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับปริมาณผงไม้ที่ผ่าน และไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณ ต่าง ๆ	106

ภาพที่		หน้า
68	แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	107
69	แสดงการเปรียบเทียบค่าวัดสีระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้อัดที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ	109
70	แสดงการเปรียบเทียบค่าวัดสีระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ.....	111

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หอยเป็นผลิตภัณฑ์หัตถกรรมที่มีการทำกันมาตั้งแต่ดั้งเดิมเดิมภายในประเทศ ทั้งในรูปของเครื่องจักสานหอย เช่น ตะกร้า กระบุง ถาดใส่ผลไม้ เป็นต้น และในรูปของเครื่องเรือนหอย เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ชั้นวางของ ชุดรับแขก เป็นต้น หอยที่มีอยู่ในประเทศไทยมีหลายชนิด ส่วนใหญ่จะมีถิ่นกำเนิดทางภาคใต้ของประเทศ โดยปัจจุบันผลิตภัณฑ์หอยของไทยกำลังเป็นที่นิยมของตลาดต่างประเทศ และทำรายได้ให้แก่ประเทศ ปีละนับร้อยล้านบาท จากสถิติมูลค่าการส่งออกของกรมศุลกากร ตั้งแต่ปี 2513 – 2520 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของมูลค่าการส่งออก เฉลี่ยร้อยละ 132 ต่อปี อย่างไรก็ตามจากการขยายตลาดของผลิตภัณฑ์หอยในปัจจุบัน ทำให้เกิดภาวะการขาดแคลนวัตถุดิบหอยที่จะนำมาใช้ในการผลิต รวมทั้งมีการแข่งขันในด้านการตลาดจากประเทศต่างๆ เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นวัตถุดิบหอยจึงมีราคาที่สูง [1] เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการคิดค้นหอยเทียมขึ้นซึ่งมีความทนทาน มีสีสันใกล้เคียงกับหอยธรรมชาติและมีน้ำหนักที่เบา

จากความตื่นตัวของผู้บริโภคที่มีต่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นผลมาจากขยะจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ ผู้บริโภคจึงมีแนวโน้มที่จะใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ (recyclable plastics) หรือเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (biodegradable plastics) แทนการใช้พอลิเมอร์จากปิโตรเลียม หนึ่งในบรรดาพอลิเมอร์ชีวภาพย่อยสลายได้ คือ พอลิแลคติกแอซิด (poly(lactic acid), PLA) ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต PLA จะได้มาจากพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งถือว่าเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ (renewable resource) เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง โดยที่ PLA สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เช่นเดียวกับเม็ดพลาสติกจากปิโตรเลียม ซึ่ง PLA ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดิน การพัฒนาเทคนิคการผลิตใหม่ๆ ในปัจจุบันทำให้สามารถผลิต PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงมีราคาต่ำลงมามากจึงทำให้การนำไป PLA ไปใช้ประโยชน์ไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการใช้ในทางการแพทย์

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการเตรียมเส้นหวายเทียมที่เตรียมจากพอลิเมอร์สองประเภท คือ พอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียม และพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ สำหรับการเตรียมหวายเทียมจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ได้จากปิโตรเลียมจะเตรียมด้วยการผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ขาง EPDM และผงไม้สน ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะทำให้เส้นหวายเทียมมีความเหนียวและสีใกล้เคียงกับหวายธรรมชาติ แล้วจึงปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นด้วยการใช้สารประสานและปรับปรุงให้มีน้ำหนักที่เบาขึ้นด้วยการเติมสารช่วยฟู (chemical foaming agent) สำหรับการเตรียมหวายเทียมจากพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางธรรมชาติจะเตรียมด้วยการผสมพอลิแลคติกแอซิด (PLA) พอลิบิวทีรีน อะดิเพท เทเรฟทาเรต (PBAT) และผงไม้สน ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะทำให้เส้นหวายเทียมมีความเหนียวและสีใกล้เคียงหวายธรรมชาติ แล้วจึงปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นด้วยการใช้สารประสานและปรับปรุงให้มีน้ำหนักที่เบาขึ้นด้วยการเติมสารช่วยฟูเช่นกัน ซึ่งคาดว่าจะได้เส้นหวายเทียมที่มีสมบัติที่ดี น้ำหนักเบา และมีสีที่ใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในระดับอุตสาหกรรม ทั้งนี้ เส้นหวายเทียมที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ทั้งสองประเภทจะนำไปศึกษาเปรียบเทียบผลของสัดส่วนการผสมและการใช้สารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยา (morphology) นอกจากนี้ จะศึกษาผลของสารเคมีในครัวเรือนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นหวายเทียมที่เตรียมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมในการผลิตเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของสารประสานที่มีต่อสมบัติของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของสารช่วยฟูที่มีต่อสมบัติของเส้นหอยเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ผสมกับยาง EPDM และพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ผสมกับพอลิบิวทีรีน อะดิเพท เทเรฟทาเรต (PBAT) โดยทั้งสองระบบจะเติมสารเสริมแรงคือผงไม้สนขนาด 200 mesh และใช้สารประสานกู่ควบ คือ Vinyltriethoxysilane (VTES) ในระบบของ HDPE และใช้ 3-Aminopropyl triethoxysilane (APS) ในระบบของ PLA

1.3.2 ทำการปรับสภาพผิวของผงไม้ด้วย Vinyltriethoxysilane (VTES) เพื่อผสมกับของผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับยาง EPDM และทำการปรับสภาพผิวของผงไม้ด้วย 3-Aminopropyltriethoxysilane (APS) เพื่อผสมกับของผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) กับพอลิบิวทีรีน อะดิเพท เทเรฟทาเรต (PBAT)

1.3.3 สารช่วยฟู (Chemical foaming agent, CFA) ซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างแบบโฟมที่ใช้คือ Azodicarbonamide ปริมาณที่ใช้คือ 0.5-2.0 phr

1.3.4 ของผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับยาง EPDM จะถูกผสมในเครื่อง Twin-screw extruder และตัดเป็นเม็ด จากนั้นจึงนำของผสมที่ได้ไปผสมกับผงไม้ที่ทำกรปรับสภาพผิวของผงไม้ด้วย Vinyltriethoxysilane (VTES) และสารช่วยฟู CFA ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder เพื่ออัดรีดเป็นเส้นหอยเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

1.3.5 ของผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด(PLA) พอลิบิวทีรีน อะดิเพท เทเรฟทาเรต (PBAT) ผงไม้ที่ทำกรปรับสภาพผิวของผงไม้ด้วย 3-Aminopropyltriethoxysilane (APS) และ CFA จะถูกผสมในเครื่อง Twin-screw extruder เพื่ออัดรีดเป็นเส้นหอยเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

1.3.6 นำเส้นหาวเทียมที่ได้จากทั้ง 2 ส่วนรวมถึงเส้นหาวธรรมชาติไปทดสอบสมบัติด้านต่างๆ

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป

1.4.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบวิธีการทดลองและวางแผนการดำเนินงานวิจัย

1.4.3 ดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน

1.4.3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นหาวธรรมชาติ

1.4.3.2 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและผลของสารประสานที่มีต่อการผลิตเส้นหาวเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

1.4.3.2.1 นำผงไม้นที่มีขนาด 200 mesh ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะชั่งน้ำหนักของผงไม้ที่อบเพื่อติดตามการลดลงของความชื้นในผงไม้จนกระทั่งน้ำหนักของผงไม้อบมีค่าคงที่

1.4.3.2.2 นำสาร Chemical foaming agent (azodicarbonamide) ไปตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน ด้วยเทคนิค Thermal gravimetric analysis (TGA) ซึ่งอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบนี้จะนำไปใช้เพื่อกำหนดอุณหภูมิในการผสมและขึ้นรูปต่อไป

1.4.3.2.3 นำผงไม้นที่อบแล้วไปทำการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane (VTES) ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 3.0 wt% (เทียบกับน้ำหนักของผงไม้) เพื่อผสมกับของผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับยาง EPDM และนำผงไม้ที่ได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

1.4.3.2.4 ผสม HDPE กับยาง EPDM ที่อัตราส่วน 10-40 wt% ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder เพื่ออัดรีดของผสมออกเป็นเส้นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตรในทุกอัตราส่วน จากนั้นจึงนำเส้นของผสมที่ได้ไปทดสอบ Tensile test ตามมาตรฐาน ASTM D-2256 เพื่อเลือกอัตราส่วนของยาง EPDM ที่เหมาะสม

1.4.3.2.5 ผสมเม็ด HDPE กับยาง EPDM ที่อัตราส่วนที่เหมาะสม (จากผลการทดสอบ Tensile Test) ด้วยเครื่องTwin-screw extruder ตัดให้เป็นเม็ดเล็กๆ นำไปอบที่อุณหภูมิ80

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำของผสมที่อบแล้วไปผสมกับผงไม้สนทั้งที่ปรับและไม่ปรับสภาพผิวที่ปริมาณ 1 , 2 และ 3 phr และ Dicumyl Peroxide 0.5 wt% (เทียบกับน้ำหนักของผงไม้) ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder ทำการอัดรีดเป็นเส้นหวายเทียม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตรในทุกอัตราส่วนเพื่อนำไปทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ต่อไป

1.4.3.2.6 ศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นหวายเทียม ด้วยเครื่อง Universal testing machine (Instron 5965, Series dual column table frames) ตามมาตรฐาน ASTM D-2256 ศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเส้นหวายเทียมด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นหวายเทียม จากการวัดค่าความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM D-1622 ทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำ ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐานทดสอบ ASTM D-570-99 และวัดค่าสีตามระบบ Lab ด้วยเครื่องอ่านสี (Color reader) และศึกษาความทนทานต่อสารทำความสะอาดของเส้นหวายเทียมด้วยการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มในน้ำยาล้างจานและผงซักฟอก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 2 wt% จากนั้นนำตัวอย่างเช็ดน้ำส่วนเกินออกด้วยผ้านุ่มแล้วทดสอบสมบัติเชิงกลทันที ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D-2256 ด้วยเครื่อง Universal testing machine

1.4.3.3 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและผลของสารประสานที่มีต่อการผลิตเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

1.4.3.3.1 นำผงไม้สนที่มีขนาด 200 mesh ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะชั่งน้ำหนักของผงไม้ที่อบเพื่อติดตามการลดลงของความชื้นในผงไม้จนกระทั่งน้ำหนักของผงไม้อบมีค่าคงที่

1.4.3.3.2 ทำการปรับสภาพผิวผงไม้สนที่อบแล้วด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane (APS) ที่ความเข้มข้น 4.0 และ 6.0 wt% (เทียบกับน้ำหนักของผงไม้) เพื่อผสมกับของผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) กับพอลิบิวทีรีน อะดิเพต เทเรฟทาเรต (PBAT) และนำผงไม้ที่ได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

1.4.3.3.3 อบเม็ด PLA กับ PBAT ด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมเม็ด PLA กับ PBAT ที่อบแล้ว อัตราส่วน 70/30 wt% ผสมกับผงไม้

สนทั้งที่ปรับและไม่ปรับสภาพผิวที่ปริมาณ 3 , 5 และ 7 phr ด้วยเครื่องTwin-screw extruder ทำการอัดรีดเป็นเส้นหาวเทียม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตรในทุกอัตราส่วนเพื่อนำไปทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ต่อไป

1.4.3.3.4 ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 1.4.3.2.6

1.4.3.4 ศึกษาผลของสารช่วยฟูที่มีต่อสมบัติของเส้นหาวเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

1.4.3.4.1 เลือกอัตราส่วนที่ได้เส้นหาวเทียมที่มีสีใกล้เคียงกับเส้นหาวธรรมชาติและมีสมบัติเชิงกลที่ดี (จากส่วนที่ 2) ผสมกับ Chemical foaming agent ปริมาณ 0.5 , 1.0 , 1.5 และ 2.0 phr ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder ทำการอัดรีดเป็นเส้นหาวเทียม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตรในทุกอัตราส่วนเพื่อนำไปทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ต่อไป

1.4.3.4.2 เลือกอัตราส่วนที่ได้เส้นหาวเทียมที่มีสีใกล้เคียงกับเส้นหาวธรรมชาติและมีสมบัติเชิงกลที่ดี (จากส่วนที่ 3) ผสมกับ Chemical foaming agent ปริมาณ 0.5 , 1.0 , 1.5 และ 2.0 phr ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder ทำการอัดรีดเป็นเส้นหาวเทียม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตรในทุกอัตราส่วนเพื่อนำไปทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ต่อไป

1.4.3.4.3 ทั้งข้อ 1.4.3.4.1 และ 1.4.3.4.2 ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 1.4.3.2.6

1.4.4 วิเคราะห์ผลการวิจัย

1.4.5 สรุปผลการวิจัย

1.4.6 รายงานผลงานวิจัย

1.4.6.1 เสนอผลงานวิจัยในรูปแบบรายงาน

1.4.6.2 เผยแพร่ผลงานวิจัยในรูปแบบโปสเตอร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถผลิตเส้นหวายเทียมที่ได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ โดยมีลักษณะทางกายภาพเหมือนหวายธรรมชาติ

1.5.2 สามารถอธิบายถึงอิทธิพลของสารช่วยฟูที่มีต่อต้นทุนวิทยาและสมบัติเชิงกลของเส้นหวายเทียมได้ โดยสามารถทำให้มีน้ำหนักของเส้นหวายเทียมที่เบาขึ้นได้

บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หวาย (rattan)[2]

หวายเป็นพันธุ์ไม้เลื้อยที่จัดอยู่ในจำพวกปาล์มชนิดหนึ่งที่ขึ้นเองตามธรรมชาติ และชอบเลื้อยหรือไต่พันต้นไม้ใหญ่ ลำต้นของหวายตามปกติมีรูปเป็นทรงกระบอกโตสม่ำเสมอ มีก้านใบเป็นหนามหุ้มอยู่รอบ ๆ มากบ้างน้อยบ้าง ใจกลางเป็นรูพรุนเล็กๆ ทั่วไปมีความยืดหยุ่นและแข็งแรง สามารถตัดได้ง่าย ผิวนอกของหวาย แข็ง ลื่น เป็นมัน ลำต้นเป็นข้อๆ คล้ายต้นอ้อย เมื่อแก่จัดจะมีสีเหลืองอ่อน ความยาวระหว่างปล้องจะมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 10 เซนติเมตร จนถึง 40 เซนติเมตร หวายที่มีอยู่ในประเทศไทย มีประมาณ 40 ชนิด บางชนิดจะขึ้นเป็นกอๆ โดยทั่วไปกอหนึ่ง ๆ จะมี 7 – 8 ลำ แต่ก็มีอาจมีได้ถึง 20 ลำ โดยหวายจะขึ้นแพร่หลายทั่วไปในแถบเมืองร้อน เช่น ประเทศไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย พม่า เป็นต้น โดยเฉพาะในบริเวณที่มีความชื้นสูง มีฝนตกชุก หรือในเขตมรสุม และชอบขึ้นในดินที่เป็นดินร่วนปนทราย โดยมากมักจะพบหวายขึ้นในป่าดงดิบ แต่หวายอีกหลายชนิดชอบขึ้นในที่ลุ่มน้ำขัง หรือที่เรียกว่าป่าพรุ ความยาวของหวายโดยทั่วไปจะเป็น 200 – 600 ฟุต หวายที่ยาวที่สุดเท่าที่ปรากฏยาวถึง 2,000 ฟุต อยู่บนเกาะบอร์เนียว ส่วนขนาดโตของหวายจะมีขนาดวัดโดยรอบตั้งแต่ 1/8 นิ้ว จนถึงเท่าลำแขนมนุษย์ การตัดหวายมาใช้จะทำได้บ้างหลังจากหวายมีอายุได้ 3 – 4 ปี ขึ้นไป โดยหวายขนาดเล็กสามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 7-10 ปี ส่วนหวายขนาดใหญ่เก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 10-15 ปีขึ้นไป แต่หวายที่นิยมนำมาใช้ทำเครื่องเรือน จะมีอายุไม่ต่ำกว่า 8 ปี โดยทั่วไปหวายที่มีอายุ 10 – 15 ปี จะให้หวายยาวประมาณ 30 – 40 เมตร ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของหวายและความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยทั่วไปหวายจะมีความเหนียวและมีความทนทานมาก อย่างไรก็ตามความทนทานของหวาย จะขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของหวายด้วย กล่าวคือ หวายแก่จะมีความเหนียวและความทนทานมากกว่าหวายอ่อน โดยรูปตัวอย่างเครื่องจักสานจะแสดงอยู่ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงตะกร้าที่ทำจากหวายธรรมชาติ [3]

2.2 หวายเทียม [1]

หวายเทียมเป็นวัสดุที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนเส้นหวายจากธรรมชาติ ทำมาจากพลาสติกในกลุ่มพอลิโอฟีน ซึ่งมีคุณสมบัติหลากหลายกว่าหวายธรรมชาติ เหมาะจะนำมาทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ในรูปแบบต่างๆ รวมถึงเครื่องจักสานโดยมีสีสน และขนาดที่ใกล้เคียงกับหวายธรรมชาติมาก คงทน ต่อรังสียูวีและการสึกกร่อน รวมถึงสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลง สามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร แต่หวายเทียมที่ผลิตจากพลาสติกในกลุ่มพอลิโอฟีนนี้จะไม่ทนทานต่อสารเคมีที่มีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรง รวมถึงการเลือกน้ำยามาทำความสะอาดก็ต้องระมัดระวังเช่นกัน ส่วนราคาจะสูงกว่าหวายธรรมชาติประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เพราะเป็นนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนหวายธรรมชาติ

2.3 วัสดุคอมโพสิต (Composite) [4]

คำว่า “คอมโพสิต” โดยความหมายทางเทคนิคหมายถึง การรวมกันขององค์ประกอบตั้งแต่สององค์ประกอบขึ้นไป โดยในแต่ละองค์ประกอบจะมีพื้นผิวสัมผัสระหว่างกันของแต่ละองค์ประกอบ หากจะกล่าวถึงความหมายของวัสดุซึ่งประกอบไปด้วยเส้นใยหรืออนุภาคที่ใช้เสริมแรงซึ่งจะมีการกระจายตัวอยู่ในเฟสเมทริกซ์ของวัสดุ เฟสที่มีลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous phase) ซึ่งได้แก่เส้นใยหรืออนุภาคที่ใช้เสริมแรงนั้น โดยปกติจะมีความแข็งและความแข็งแรงมากกว่าเฟสที่มีลักษณะต่อเนื่อง (Continuous phase) หรือเมทริกซ์ ทำให้สามารถที่จะเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุโดยรวมได้ วัสดุคอมโพสิตนั้นจึงมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเติมสารเสริมแรงลงไป

2.3.1 วัสดุคอมพอสิตที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ [8]

วัสดุคอมพอสิตที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ ส่วนมากจะเป็นระบบที่พอลิเมอร์มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย ซึ่งเมทริกซ์ที่ใช้สามารถเป็นได้ทั้งเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก โดยพอลิเมอร์เมทริกซ์นั้นจะทำหน้าที่ดังนี้

- 1) ทำให้เส้นใยมีรูปทรงตามต้องการ
- 2) ป้องกันเส้นใยจากสิ่งแวดล้อมและการเสียดสีกัน
- 3) รับแรงไว้ส่วนหนึ่งก่อนที่วัสดุจะเกิดการแตกหัก

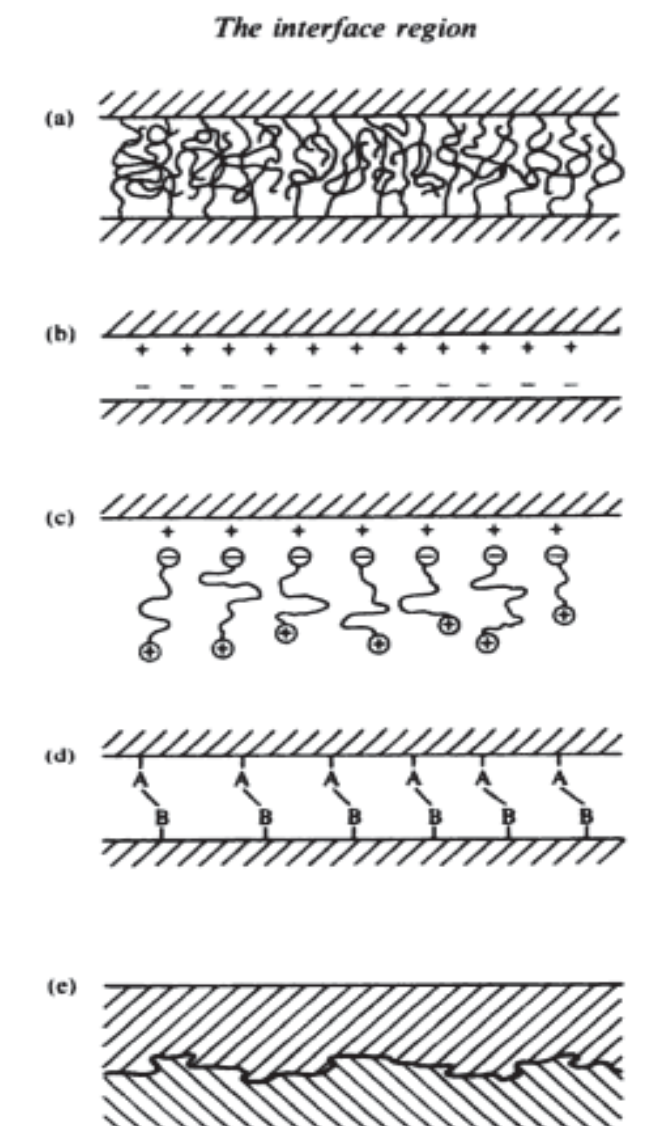
สมบัติของพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ดีจะแตกต่างกับสมบัติของสารเสริมแรง เนื่องจากสารเสริมแรงเป็นส่วนหลักในการรับแรงของวัสดุคอมพอสิตจึงต้องมีความแข็งแรงสูง มีความสามารถในการโค้งงอต่ำ แต่ในทางกลับกันเมทริกซ์จะต้องมีสมบัติในการโค้งงอสูง นอกจากนี้การเลือกเมทริกซ์เพื่อนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น สารเคมี ความร้อน และแสงแดดอีกด้วย

ข้อดีของวัสดุคอมพอสิตที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์

เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง พอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ที่มีน้ำหนักเบาเนื่องจากมีองค์ประกอบที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหรืออะลูมิเนียม ทำให้วัสดุคอมพอสิตที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ มีอัตราส่วนของความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอมพอสิตที่มีโลหะหรือเซรามิกเป็นเมทริกซ์สามารถกำหนดให้เส้นใยมีการจัดเรียงตัวได้หลากหลายรูปแบบ ตามลักษณะการผลิต ชนิดและการจัดเรียงตัวของเส้นใย

2.3.2 ทฤษฎีการยึดเกาะระหว่างเฟสของวัสดุคอมพอสิต

ในวัสดุเชิงประกอบเมทริกซ์สามารถยึดเกาะกับเส้นใยในบริเวณระหว่างเฟส ได้หลายวิธีด้วยกัน โดยมีกลไกการยึดเกาะหลัก ๆ 5 กลไกด้วยกัน แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งอาจเกิดแบบใดแบบหนึ่งหรือเกิดรวมกันก็ได้ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2 กลไกการยึดเกาะของพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส a.) การยึดเกาะทางกล
 b.) การยึดเกาะด้วยแรงทางเคมี c.) แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์ d.) การแพร่เข้าหากัน
 e.) การดูดซับและการเปียก [9]

1) การดูดซับและการเปียก (Absorption and wetting)

การดูดซับและการเปียกเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสองพื้นผิวที่ไม่มีประจุไฟฟ้าเข้าใกล้กันมากพอจนสามารถเกิดแรงดึงดูดทางกลได้ (Physical attraction) เช่น เกิดการเปียก (wetting) ของของเหลวบนพื้นผิวของของแข็ง ส่วนในกรณีของของแข็งสองชนิดที่อยู่ใกล้กันมากพอในระดับจุลภาค หรือ ระดับอะตอม ความขรุขระของพื้นผิวจะขัดขวางไม่ให้เกิดการยึดเกาะกันได้ ในกรณีนี้

จึงเกิดการยึดเกาะแบบการดูดซับ (Absorption) และการเปียก (Wetting) ได้ยากซึ่งการยึดเกาะแบบดูดซับและการเปียกนี้ เกิดจากการกระจายตัวของแรงระหว่างโมเลกุลที่สัมผัสกัน ซึ่งตามทฤษฎีแล้วการยึดเกาะแบบนี้จะมีความแข็งแรงสูง แต่ ในความเป็นจริงแล้วกลับมีความแข็งแรงน้อยมาก อาจเนื่องจากพื้นผิวของเส้นใยที่มีความสกปรก การเกิดฟองอากาศระหว่างกระบวนการขึ้นรูป หรือการหดตัวของเมทริกซ์เอง จึงทำให้เกิดแรงเค้น (Stress) และช่องว่างระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใย

2) การแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion)

การแพร่เข้าหากัน เกิดจากการยึดเกาะของพื้นผิวพอลิเมอร์สองชนิด โดยโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่บริเวณพื้นผิวสัมผัสทั้งสองมีการแพร่เข้าหากัน ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้จะขึ้นกับปริมาณการพันกันของสายโซ่โมเลกุล (Molecular entanglement) และความสามารถในการแพร่โดยการพันกันขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล ดังนั้นการยึดเกาะแบบการแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion) สามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้ตัวทำละลายทาที่บริเวณพื้นผิว หรือการเติมสารพลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย ซึ่งกลไกการยึดเกาะแบบนี้เกิดขึ้นได้กับเส้นใยที่มีการเคลือบพอลิเมอร์ เพื่อปรับปรุงพื้นผิวก่อนการผสมกับเมทริกซ์ แต่ไม่เกิดในคอมพอลิสด์ที่มีพื้นผิวของเส้นใยแข็ง และไม่มีการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล

3) แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิต (Electrostatic attraction)

แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิต เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสองชนิดมีประจุต่างกันมาอยู่ใกล้กัน คือ พื้นผิวหนึ่งมีประจุเป็นบวกและอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุเป็นลบ ความแข็งแรงของกลไกและการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นกับความหนาแน่นของประจุ แรงดึงดูดระหว่างประจุ หรือไฟฟ้าสถิต (Electrostatic attraction) กลไกการยึดเกาะชนิดอื่น คือ ช่วยให้เกิดการยึดเกาะในคอมพอลิสด์ได้ดีขึ้น เช่น การยึดเกาะของสารประสานกลุ่มควาประเภทสารไฮเลทที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นประจุบวกมีการยึดติดได้ดีกับเส้นใยแก้วที่มีประจุลบของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนพื้นผิวเส้นใย

4) พันธะเคมี (Chemical bonding)

พันธะเคมีเป็นกลไกการยึดเกาะที่สำคัญชนิดหนึ่ง เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันเคมีบนพื้นผิวและเมทริกซ์มีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือเกิดเป็นพันธะเคมีได้

เช่น การเกิดพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ซึ่งเป็นการยึดเกาะที่แข็งแรงและความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น ซึ่งพันธะเคมีที่เกิดขึ้นมี 5 ชนิด คือ พันธะโควาเลนต์ (Covalent bonds) พันธะที่เกิดจากแรงไอออนิก (Ionic force) พันธะโลหะ (Metallic bonds) พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonds) และพันธะที่เกิดจากแรงแวนเดอร์วาล (Van der waal forces)

5) การยึดเกาะทางกล (Mechanical attraction หรือ mechanical interlocking)

เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิตหรือในกระบวนการขึ้นรูป คือ เมื่อเมทริกซ์เปียกบนพื้นผิวของเส้นใยในขณะที่เป็นของไหล ซึ่งทำให้เมทริกซ์สามารถแทรกตัวไปตามพื้นผิวที่ขรุขระของเส้นใย ซึ่งความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับ ความขรุขระของพื้นผิวเส้นใยที่ทำให้เมทริกซ์แทรกตัวเข้าไปได้และความหนืดของเมทริกซ์เอง

2.4 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) เป็นเส้นใยที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ เช่น เส้นใยจากไม้หรือจี่เลื้อย เส้นใยปอ และป่าน เป็นต้น ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลักที่สำคัญคือ เซลลูโลส (cellulose) ประมาณ 50-55% เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) ประมาณ 15-25% และลิกนิน (lignin) ประมาณ 20-30% ซึ่งจากองค์ประกอบดังกล่าว พบว่ามีส่วนของเซลลูโลสมากที่สุด ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่เส้นใย โดยองค์ประกอบทั้งหมดจะอยู่ในผนังเซลล์ของเนื้อไม้ และมีน้ำหนักรวมสูง นอกจากนี้ปริมาณของแต่ละองค์ประกอบยังขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อไม้อีกด้วย และโดยทั่วไปเนื้อไม้แข็งมีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสมากกว่าเนื้อไม้เนื้ออ่อน แต่มีลิกนินน้อยกว่าเนื้อไม้เนื้ออ่อน

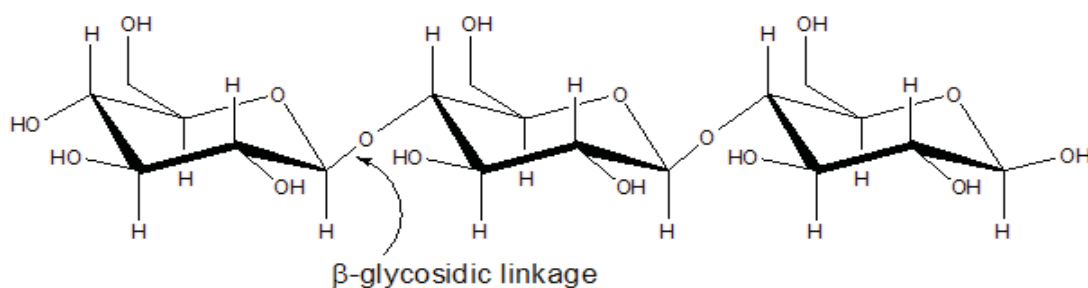
2.4.1 องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยฝ้าย (cotton) ปอกระเจา (jute) ลินิน (flax) ป่านลามี่ (ramie) และป่านสรนารายณ์ (sisal) เป็นต้น มีองค์ประกอบหลักอยู่ 3 ชนิดคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

2.4.1.1 เซลลูโลส [10]

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของไม้ โดยมีหน่วยซ้ำ (repeating unit) คือ หน่วยของน้ำตาล 2 ตัว (D-glucopyranose units) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -(1,4)-glucosidic bonds

โดยมีค่าเฉลี่ยของ Degree of Polymerization (DP) ประมาณ 10,000 โมเลกุลของเซลลูโลสจัดเรียงตัวกันแบบสุ่ม โดยมีพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้ความหนาแน่นของสายโซ่โมเลกุลสูง ความเป็นผลึกจึงมาก ประมาณ 65%



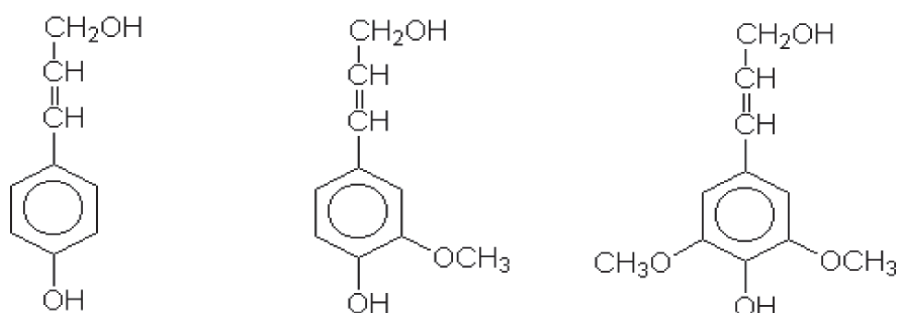
ภาพที่ 3 แสดงหน่วยซ้ำของเซลลูโลส [10]

2.4.1.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทเฮเทอโรจีเนียสพอลิแซ็กคาไรด์ (heterogeneous polysaccharides) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์หลายชนิดประกอบอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน โดยเฮมิเซลลูโลสแตกต่างกับเซลลูโลส (cellulose) ซึ่งเป็นสารประเภทโฮโมจีเนียสพอลิแซ็กคาไรด์ (homogeneous polysaccharides) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสประเภทเดียวประกอบอยู่ในโมเลกุล เฮมิเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลส และมีค่า degree of polymerization ไม่เกิน 200 โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายโดยสารละลายกรด แล้วให้โมเลกุลของน้ำตาลที่มีขนาดเล็กลงคือ โมเลกุลเดี่ยวของน้ำตาลกลูโคส แมนโนส ไซโลส และอะราบินอส โดยปกติทั่วไปบริเวณของเฮมิเซลลูโลสที่ประกอบอยู่ในพืชมีปริมาณประมาณ 20-30% โดยเฮมิเซลลูโลสสามารถแบ่งออกได้เป็นชนิดต่างๆดังนี้ คือกาแลคโตกลูโคแมนแนน (galactoglucomannan) ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส กลูโคส และกาแลคโตส อะราบินอกลูคูโรโนไซแลน (arabinoglucuronoxylan) ประกอบด้วยน้ำตาลกาแลคโตสและอะราบินอส กลูคูโรโนไซแลน (glucuronoxylan) ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและไซโลส และกลูโคแมนแนน (glucomannan) ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและแมนโนส

2.4.1.3 ลิกนิน

ลิกนินมีโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ มีความซับซ้อน ประกอบด้วยโครงสร้างอะโรมาติกของ Phenylpropane เป็นหลัก ซึ่งสามารถแทนที่ที่ตำแหน่ง β α หรือ γ และรวมกันอยู่ด้วยพันธะอีเทอร์ (C-O-C) และคาร์บอน-คาร์บอน (C-C) ลิกนินสามารถแยกประเภทได้หลายรูปแบบ แต่ที่นิยมคือ แบ่งตามองค์ประกอบของโครงสร้างทางเคมี สำหรับไม้เนื้ออ่อนมักประกอบด้วย Coniferyl alcohol เรียกว่า Guaiacyl lignin ส่วนไม้เนื้อแข็งมักประกอบด้วย Coniferyl และ Sinapyl alcohols จะเรียกว่า Syringly-Guaiacyl lignin ลิกนินมักอยู่ที่ชั้นผนังเซลล์ชั้นที่ 2 และมากที่สุดที่กลางชั้น ภาพที่ 4 แสดงสูตร โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน (ซ้าย) o-coumaryl alcohol (กลาง) coniferyl alcohol และ (ขวา) sinapyl alcohol [10]

2.4.2 พงไม้ [7]

พงไม้เป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นพวงคล้ายแปง ได้จากการนำจีเลื้อยเศษไม้หรือแผ่นไม้บาง ๆ มาบิดให้เป็นพวง มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 40-80 เมช (mesh) สามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อ (extender) หรือสารเสริมแรง (reinforcement) ในพลาสติกได้ โดยมีข้อดีคือ ช่วยลดการหดตัว (shrinkage) ของพอลิเมอร์ เพิ่มค่ามอดุลัส (modulus) เพิ่มความแข็งแรง (strength) และช่วยลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์

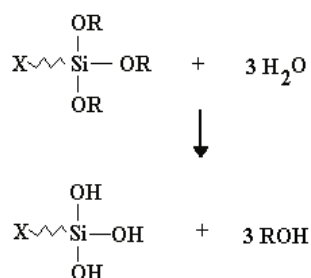
แต่ก็ต้องคำนึงถึงจุดอ่อนของการใช้พงไม้ด้วย ได้แก่ แรงยึดที่ต่ำระหว่างพอลิเมอร์กับพงไม้ การขึ้นรูปทำได้ยากขึ้น และไม่สามารถใช้ได้กับอุณหภูมิขึ้นรูปสูงกว่า 180°C นอกจากนี้

ผลิตภัณฑ์ ที่ได้มีเสถียรภาพทางความร้อนและความทนทานต่อสภาพอากาศลดลง รวมทั้งมีความทนทานต่อแรงกระแทกลดลงด้วย

2.5 ไฮเลน (Silanes) [10]

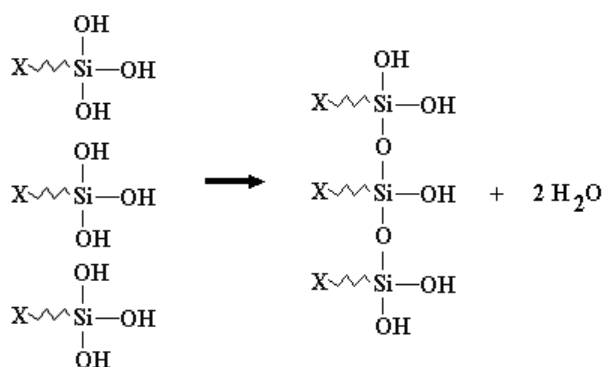
ไฮเลนเป็นสารประสานคู่ควบที่มีธาตุซิลิกอน (Silicon) อยู่ในโครงสร้าง มีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $((OR)_3-Si-R'-X)$ ซึ่งประกอบด้วยหมู่แทนที่ 2 ชนิด คือ หมู่แทนที่ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ (Organic substituents) และหมู่ที่เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic substituents) ยึดเกาะอยู่บนสายโซ่โมเลกุลเดียวกัน โดยหมู่ฟังก์ชันที่เป็นสารอินทรีย์ ในที่นี้แทนด้วย X เช่น อะมิโน(Amino) อีพอกซี(Epoxy) และเมทาไครเลต (Methacrylate) จะเข้าทำปฏิกิริยากับวัสดุอินทรีย์ (Organic materials) เช่น พอลิเมอร์สังเคราะห์ ส่วนตัวเชื่อมหรือพันธะอัลคิลีน (Alkylene linkage) แทนด้วย R' ซึ่งเป็นตัวเชื่อมระหว่างซิลิกอนและหมู่ฟังก์ชันที่เป็นสารอินทรีย์ และอีกชนิดหนึ่งคือ หมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ (Hydrolysable functional group) ในที่นี้แทนด้วย OR เช่น เมทอกซี (Methoxy) และเอทอกซี (Ethoxy) โดยจะเปลี่ยนเป็นหมู่ซิลานอล (Silanol group) คือ Si-OH เมื่อเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำ ซึ่งหมู่นี้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับวัสดุอนินทรีย์ (Inorganic materials) เช่น พวกเส้นใยแก้ว และยังสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับวัสดุอินทรีย์ เช่น เส้นใยธรรมชาติ ทำให้เส้นใยธรรมชาติสามารถยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดี โดยไฮเลนที่จำหน่ายกันอยู่ในปัจจุบันนี้มีหมู่ฟังก์ชันคือ หมู่ X แตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดกลไกการสร้างพันธะของไฮเลนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) Hydrolysis : โดย X คือ หมู่ฟังก์ชันที่เป็นพวกสารอินทรีย์ และ -OR คือ หมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ พบว่าไฮเลนถูกทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำ ทำให้หมู่ -OR บนไฮเลนถูกเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เรียกว่า ไฮลานอล (silanol) เพื่อทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไฮเลนกับเส้นใยธรรมชาติได้ ดังภาพที่ 5



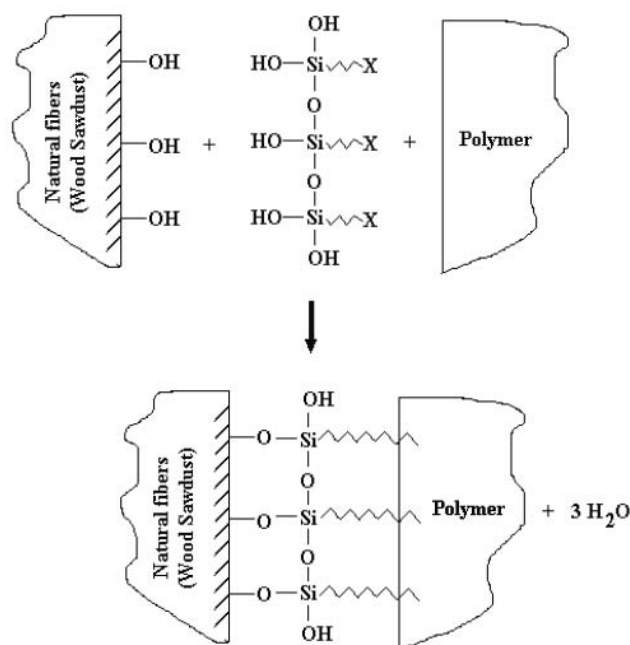
ภาพที่ 5 แสดงการ Hydrolysis ของไซเลนมอนอเมอร์[10]

2) Condensation : โดยเริ่มจากขั้นตอนแรก ไซลานอลหลาย ๆ โมเลกุลจะเข้าทำปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) กันเอง ทำให้ได้สายโซ่โมเลกุลที่ยาวขึ้นเป็นพอลิไซลานอล (polysilanol) และจะเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยธรรมชาติในขั้นตอนต่อไป โดยอัตราการ condensation จะสามารถควบคุมได้โดยการปรับค่า pH ของระบบ hydrolysis โดย pH ที่เป็นกรดจะเร่งอัตราการ hydrolysis ของไซเลนได้ดีกว่าและอัตราการ condensation ของ silanol group จะช้าลง



ภาพที่ 6 แสดงการเกิดปฏิกิริยา condensation ของ silanol group [10]

3) Surface modification : เป็นการนำพอลิไซลานอลที่ได้มาทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเส้นใยธรรมชาติ โดยด้านที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเซลลูโลสในเส้นใยธรรมชาติ และเมื่อได้รับความร้อนโมเลกุลดังกล่าวจะปลดปล่อยน้ำออกมาและเกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับพอลิไซลานอลด้วยหมู่อีเทอร์ (ether linkage) และปลายสายโซ่โมเลกุลอีกข้างหนึ่งของไซเลน (X) จะจับกับพอลิเมอร์ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดง Surface modification ผิวของเส้นใยธรรมชาติ [10]

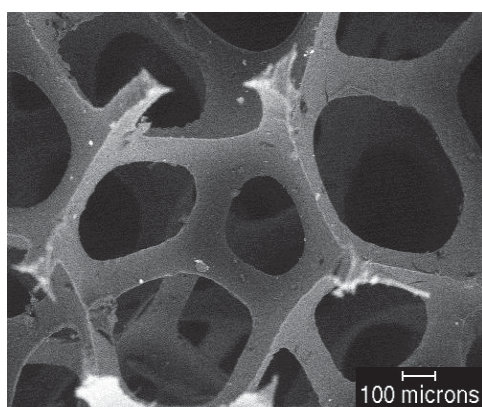
2.5.1 การแพร่เข้าไปของพอลิเมอร์ในส่วนเสริมแรงที่ผ่านการปรับปรุงผิว

พันธะที่เกิดขึ้นระหว่างใยและพอลิเมอร์เป็นพันธะที่ซับซ้อน โดยการเกิดพันธะระหว่างใยและพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกนั้นเกิดโดยการแพร่ (Diffusion) เข้าไปภายในส่วนที่เกิดการเชื่อมต่อระหว่างเฟสของพอลิเมอร์ การที่พอลิเมอร์แทรกซึมเข้าไปภายในหลายๆ ชั้นของโครงสร้างเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยใยแล้วนั้น ความเข้ากันได้ (Solubility) อย่างเหมาะสมระหว่างใยกับพอลิเมอร์จะช่วยเพิ่มสมบัติทางกล เช่น ความต้านแรงดึง แรงกระแทก และการโค้งงอ และสามารถลดการดูดซับความชื้นของวัสดุคอมพอสิตด้วย

2.6 พลาสติกโฟม [11]

พลาสติกที่มีเนื้อเป็นโฟมในโครงสร้างจะประกอบไปด้วยเฟสของแก๊สที่กระจายอยู่ในเฟสของพลาสติก ส่วนที่เป็นพลาสติกจะทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์และส่วนที่เป็นแก๊สนั้นจะกระจายตัวอยู่ในช่องว่างของเมทริกซ์ (Void) หรือที่เรียกว่าเซลล์ (Cell) โดยโครงสร้างที่เป็นเซลล์ของพอลิเมอร์เมทริกซ์นั้นจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเติมสาร Foaming agent ลงไปในพอลิเมอร์เมทริกซ์

ระหว่างกระบวนการผลิต โครงสร้างแบบโฟมของพลาสติกนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ โครงสร้างที่เป็นเซลล์เปิด (Open cell) และ โครงสร้างที่เป็นเซลล์ปิด (Closed cell) ดังแสดงในภาพที่ 5 โฟมที่มีโครงสร้างเป็นแบบเซลล์เปิดนั้นแต่ละเซลล์จะมีการเชื่อมถึงกันหมด เฟสของแก๊สที่อยู่ภายในจะเป็นอากาศ ส่วนโฟมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์ปิดนั้น เซลล์แต่ละเซลล์จะถูกแยกออกจากกันด้วยผนังเซลล์หรือ Membrane ที่เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ ชนิดของแก๊สที่อยู่ภายในเซลล์แต่ละเซลล์จะขึ้นอยู่กับชนิดของ Foaming agent ที่ใช้ โดยโครงสร้างของเซลล์นั้นจะเป็นตัวกำหนดสมบัติและการใช้งานของโฟมที่ได้



(a)



(b)

ภาพที่ 8 โครงสร้างของโฟม แบบเซลล์เปิด (a) และเซลล์ปิด (b)

2.6.1 Foaming agents [11-12]

Foaming agents คือสารที่ใช้ในการทำให้พลาสติกมีโครงสร้างแบบโฟม โดย Foaming agents นั้นสามารถเป็นได้ทั้งแก๊สหรือสารเคมีที่จะเกิดการสลายตัวในพอลิเมอร์หลอมเหลวระหว่างกระบวนการผลิต โดยแก๊สที่เกิดขึ้นจาก Foaming agents ทั้งสองแบบจะกระจายตัวและเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์หลอมเหลวภายใต้ความดันในกระบวนการผลิต เมื่อความดันของกระบวนการผลิตลดลงแก๊สจะเกิดการขยายตัว ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นเซลล์ขึ้นในพลาสติก ตามปกติเราสามารถแบ่ง Foaming agents ได้ออกเป็น 2 แบบคือ Physical foaming agents และ Chemical foaming agents

2.6.1.1 Physical foaming agents (PFAs)

Physical foaming agents คือของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำซึ่งจะกระจายอยู่ในวัสดุพอลิเมอร์เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างแบบโฟม PFAs มักเป็นของเหลวที่มีราคาถูกและมีข้อได้เปรียบคือเมื่อกลายเป็นแก๊สจะไม่เหลือสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งที่อาจมีอิทธิพลต่อสีหรือสมบัติของพอลิเมอร์ได้ แต่ PFAs ก็มีข้อเสียคือเก็บรักษายาก ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษเช่นถังเก็บ บั้ม คอมเพรสเซอร์ และอุปกรณ์อื่นๆเมื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตโฟม การใช้ PFAs ในการผลิตโฟมนั้นสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติของ PFAs ที่นิยมใช้กันทั่วไป [12]

Physical foaming agent	Molecular weight (g mol ⁻¹)	Density at 25 °C (g cm ⁻³)	Boiling point (°C)
Butanes	58.00	0.579	-0.5
Pentanes	72.15	0.613	30-38
Hexanes	86.17	0.658	65-70
Isohexanes	86.17	0.655	55-62
Heptanes	100.20	0.680	96-100
Benzenes	78.11	0.874	80-82
Toluene	92.13	0.862	110-112
Methyl chloride	50.49	0.952	-23.8
Methylene chloride	84.94	1.325	40.0
Trichloroethylene	134.40	1.466	87.2
Dichloroethane	98.97	1.245	83.5
Trichlorofluoromethane (CCl ₃ F)-Freon 11	137.38	1.476	23.8
Dichlorodifluoromethane (CCl ₂ F ₂)-Freon 12	120.93	1.311	-29.8

Trifluorochloromethane	104.47	0.850	-81.4
(CClF ₃)-Freon 13			

1) ก๊าซเฉื่อยเช่นก๊าซไนโตรเจน (N₂) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เข้าไปในพอลิเมอร์หลอมเหลวที่มีความดันสูง แก๊สจะเกิดการขยายตัวเมื่อความดันของระบบมีค่าลดลงเนื่องจากพอลิเมอร์หลอมเหลวไหลออกจากหัวดายหรือถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์

2) เติมน้ำมันที่มีจุดเดือดต่ำลงไปผสมในพอลิเมอร์ ซึ่งของเหลวที่ใช้กันมากได้แก่ไฮโดรคาร์บอน ฮาโลเจนไฮโดรคาร์บอน (ประกอบด้วย Freons และ CFC) และอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ โดยสมบัติของ PFAs ที่นิยมใช้กันทั่วไปสามารถแสดงได้ในตารางที่ 2

2.6.2 Chemical foaming agents (CFAs) [11]

สารทำให้เกิดฟองทางเคมีส่งผลให้เกิดการขยายตัวของแก๊สภายในเมตริกซ์ของพอลิเมอร์ โดยแก๊สที่กักตัวในเซลล์สามารถเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจากการขยายตัวหรือการเชื่อมโครงตาข่ายของ พอลิเมอร์ เช่น พอลิยูรีเทน เป็นต้น รวมทั้งปฏิกิริยาการควบแน่นของไกลคอล และฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้เกิดน้ำ (ในรูปของไอน้ำ) เป็นผลิตภัณฑ์ร่วมโดยสามารถทำให้เรซินฟีนอลิกเกิดเป็นฟองได้ หรือพอลิเอทิลีนสามารถเกิดการขยายตัวได้ ถ้านำพอลิเมอร์ร้อนเข้าใกล้การแผ่รังสีแบบแตกตัวเป็นไอออน และเกิดไฮโดรเจนปล่อยออกจากพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดฟองขึ้น สารเคมีที่ทำให้เกิดฟอง ได้แก่ วัสดุอินทรีย์และอนินทรีย์ที่สามารถสลายตัวภายใต้อิทธิพลทางความร้อนเพื่อเกิดแก๊สขึ้น โดยอุณหภูมิจัดเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากตัวแปรหนึ่ง และอุณหภูมิของการขยายตัวทางความร้อนเป็นตัวกำหนดประโยชน์ของสารได้ดีเท่ากับสถานะของกระบวนการ โดยการสลายตัวของสารทำให้เกิดฟองจะต้องเกิดได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำเป็นจะเหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสียคุณภาพ

ในทางการค้า สารทำให้เกิดฟองในทางเคมีจัดเป็นสารประกอบไนโตรเจนประเภทสารอินทรีย์ โดยมีสูตรทั่วไปคือ R-N=N-R โดยระหว่างที่ให้ความร้อนในกระบวนการหลอมเหลวจะเกิดการสลายตัวให้แก๊สไนโตรเจนและก๊าซอื่นๆ พบว่าสมบัติที่มีความสำคัญมากได้แก่ อุณหภูมิการสลายตัว (decomposition temperature) และแก๊สที่ได้ (gas yield) พบว่าการใช้

สารทำให้เกิดฟองต่างกันจำนวน 1 กรัม ทำให้ได้ปริมาณแก๊สในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมที่สภาวะอุณหภูมิ และความดันมาตรฐาน (STP) ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงชนิดของสารประกอบเอโซ การสลายตัว และปริมาณแก๊สที่ได้ [11]

ชื่อสารย่อ*	การสลายตัวในพลาสติกและสารบริสุทธิ์	ปริมาณแก๊สที่ได้ในหน่วย ml/g ที่ STP
	T(°C)	
TSH	105-132	115
OBSH	149-190	125
AZD	110-200-235	220
TSSC	193-235	146
5PT	232-288	190

*TSH : p-toluene sulfonyl Hydrazide : ใช้ในกระบวนการที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น พลาสติกโพลีเอพอกซี

*OBSH : Oxy-bis-benzene sulfonyl hydrazide : ใช้ในกระบวนการที่มีอุณหภูมิต่ำถึงปานกลาง เช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่น (LDPE) เอทิลไวนิลอะซิเตท (EVA) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และเอพอกซี (epoxy) ใช้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด

*AZD : Azodicarbonamide หรือ ABFA (Azo-bis-formamide)

- ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลง
- เนื่องจากการมีขนาดอนุภาคที่หยาบทำให้ใช้ได้ดีที่อุณหภูมิสูงขึ้น
- นิยมใช้กับเทอร์โมพลาสติกหรือวิศวกรรมเทอร์โมพลาสติก
- ใช้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์จากทั้งหมด

*TSSC : p-toluene sulfonyl semicarbazide $[\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_2\text{NHNHCONH}_2]$ เหมาะสำหรับวิศวกรรมพลาสติก

*5PT : 5-phenyl tetrazole เหมาะสำหรับวิศวกรรมเทอร์โมพลาสติก

สารประกอบเอโซที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกันมาก ได้แก่ AZD เนื่องจากเป็นสารที่ไม่มีพิษ ไม่มีกลิ่น ไม่ทำให้เกิดรอยเปื้อน ไม่ทำให้สีหายไป มีเสถียรภาพในการจัดเก็บที่ดี ไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้และสามารถดับไฟได้เอง นอกจากนี้ยังสามารถเสริมประสิทธิภาพของ AZD ให้ดีขึ้นได้โดยการใช้สารทำให้เกิดเสถียรภาพประเภท ตะกั่ว สังกะสี และ/หรือ แคดเมียม ในสารประกอบไวนิลได้ แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความเป็นพิษในการพิจารณาประกอบการเลือกใช้ด้วย AZD นำมาใช้กับผ้าไวนิลที่สามารถขยายตัวได้ (expandable vinyl fabric) โฟมพอลิไวนิลคลอไรด์ ชนิดความหนาแน่นต่ำและเป็นแบบเซลล์เปิด (low-density/open cell PVC foam) ใช้ในลวดไฟฟ้า (electrical wiring) และใช้ในการปิดผนึกและทำปะเก็น (seal and gaskets) ได้ เนื่องจาก AZD ที่มีการเชื่อมโครงร่างตาข่ายทำให้พอลิเอทิลีนที่มีการขยายตัวเกิดการหดตัวต่ำและมีสมบัติการอัดตัว (compression set) ที่ดี

2.7 ทฤษฎีการเกิดโฟม [11-12]

ระบบที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์โฟมจะเกี่ยวพันกับ 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการเกิดฟองแก๊ส (Bubble formation) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวกับการเกิดนิวเคลียสของฟองแก๊สขึ้นในพอลิเมอร์หลอมเหลว ต่อมาคือขั้นตอนการเติบโตของฟองแก๊ส (Bubble growth) เป็นกระบวนการที่ฟองแก๊สเกิดการเติบโตและเกิดการเสถียร และกระบวนการสุดท้ายคือกระบวนการเสถียรของฟองแก๊ส (Bubble stabilization) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เฟสของพอลิเมอร์เปลี่ยนสถานะกลายเป็นของแข็งผ่านกระบวนการ Crosslink หรือโดยการ Cooling ทำให้ได้ระบบโครงสร้างของเซลล์ที่เสถียร

2.7.1 กระบวนการเกิดฟองก๊าซ

ขั้นตอนแรกของการผลิตโฟมคือการเกิดฟองแก๊สขึ้นในระบบของพอลิเมอร์หลอมเหลว ถ้าฟองแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์หลอมเหลวอย่างสมบูรณ์จะเรียกกระบวนการนี้ว่า Self-nucleation แต่ส่วนมากจำเป็นที่จะต้องมีการเติมอนุภาคของแข็งขนาดเล็กเช่น ผงแป้ง (Talc) หรือซิลิกาลงไปในระบบเพื่อทำหน้าที่เป็น nucleating agent เพื่อควบคุมขนาดและการกระจายตัวของเซลล์ แต่ในกระบวนการที่ไม่มีการเติม nucleating agent เฟสของพอลิเมอร์หลอมเหลวมักจะประกอบไปด้วยฟองอากาศขนาดเล็กซึ่งจะเป็นจุดที่ฟองก๊าซสามารถเติบโตต่อไปได้โดยไม่จำเป็นต้องมีการเกิดฟองก๊าซขึ้นใหม่

การเติม Nucleating agent จะมีผลทำให้เกิดฟองแก๊สได้ง่ายขึ้น เนื่องจาก Nucleating agent จะช่วยลดแรงตึงผิวที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็งและของเหลวหรืออาจไปทำให้เกิดช่องว่าง (Void) ขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัส

2.7.2 กระบวนการเติบโตของฟองก๊าซ

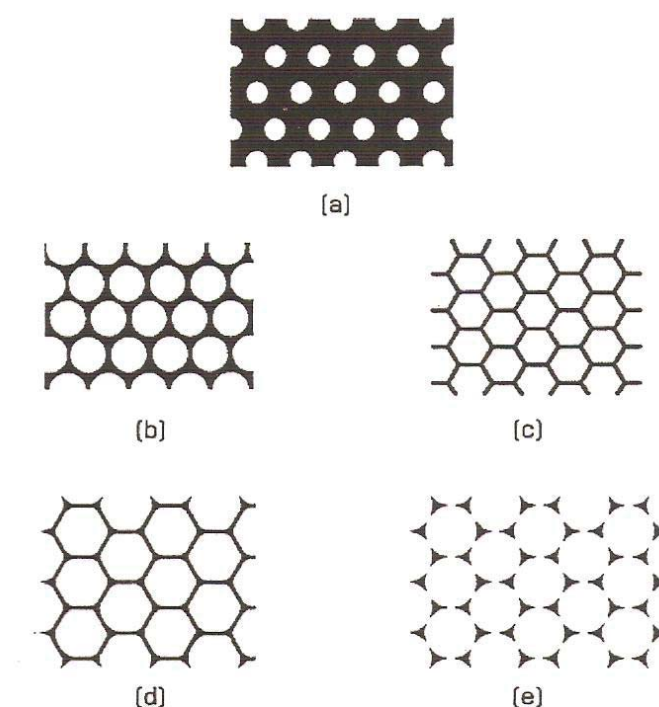
เมื่อความดันของพอลิเมอร์หลอมเหลวลดลงจะทำให้โอกาสในการเกิดฟองแก๊สขึ้นใหม่ในพอลิเมอร์หลอมเหลวลดลง ก๊าซที่ละลายอยู่ในพอลิเมอร์หลอมเหลวจึงแพร่เข้าไปในฟองแก๊ส ทำให้ฟองแก๊สเกิดการขยายตัว เริ่มแรกฟองแก๊สจะมีลักษณะเป็นทรงกลมและเกิดการขยายตัวเนื่องจากผลของความแตกต่างของความดัน (ΔP) ระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ ที่สมดุลความดันแก๊สในฟองแก๊สทรงกลมจะมีค่ามากกว่าความดันของของเหลวที่อยู่ล้อมรอบ

ค่าความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ของฟองแก๊สขนาดเล็กจะมีค่าสูงกว่าฟองแก๊สขนาดใหญ่ ทำให้ฟองแก๊สขนาดเล็กมีแนวโน้มจะลดความแตกต่างของความดันโดยการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว โดยการไปรวมตัวกับฟองแก๊สอื่นๆ หรือ โดยการแพร่ของแก๊สจากพอลิเมอร์หลอมเหลวเข้าไป

ระบบที่มีเซลล์ขนาดเล็กและมีการกระจายตัวของเซลล์อย่างสม่ำเสมอ จะเกิดได้เมื่อระบบมีแรงตึงผิวดำ โดยภาพที่ 9 (a) จะแสดงให้เห็นว่าฟองแก๊สเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในพอลิเมอร์หลอมเหลว ถ้าทำให้โฟมเสถียรโดยการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นของแข็งที่สภาวะนี้จะทำให้ได้โฟมที่มีความหนาแน่นสูง แต่หากปริมาณของฟองแก๊สยังคงเพิ่มขึ้นต่อไปดังแสดงในภาพที่ 9 (b) จะทำให้โฟมมีความหนาแน่นลดลง สำหรับฟองแก๊สที่มีลักษณะเป็นทรงกลมโฟมจะมีความหนาแน่นลดลงเมื่อฟองแก๊สมาอยู่ใกล้กันมากขึ้น

เมื่อฟองแก๊สเกิดการขยายตัวต่อไปจนกระทั่งสัมผัสกัน ความดันภายในฟองแก๊สจะผลักเซลล์ให้เกิดการรวมตัวกัน พอลิเมอร์หลอมเหลวจึงถูกผลักรออกไปอยู่ในช่องว่างด้านข้างและเซลล์เปลี่ยนรูปร่างกลายเป็นแบบ Pentagonal dodecahedron ที่รูปร่างของผนังเซลล์แต่ละด้านเป็น Polyhedral ที่มีความหนาเท่ากันในแต่ละระนาบ เมื่อพิจารณาใน 2 มิติ เซลล์จะมีรูปร่างเป็นแบบ Hexagonal honeycomb ดังแสดงในภาพที่ 9 (c) ลักษณะโครงสร้างของเซลล์นั้นจะขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์หลอมเหลวเช่น ความหนืดและพลังงานที่ผิวหน้า แรงโน้มถ่วงและ

แรงดันของแก๊สที่ดันให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไปอยู่บริเวณรอยต่อของเซลล์ดังแสดงในภาพที่ 9 (d) ที่สถานะดังกล่าวโฟมที่ได้จะมีโครงสร้างเป็นเซลล์ปิด แต่ที่ผนังเซลล์อาจเกิดการแตกออกได้ทำให้เซลล์ที่ได้มีขนาดไม่สม่ำเสมอ ระดับการแตกออกของผนังเซลล์ที่แตกต่างกันจะทำให้ได้โฟมที่มีปริมาณเซลล์เปิดเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 9 (e)



ภาพที่ 9 แสดงโครงสร้างของเซลล์ที่ขั้นตอนการขยายตัวของฟองแก๊สต่างๆ [12]

ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของฟองแก๊สระหว่างเกิดการขยายตัวคือ ชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว อัตราเร็วในการขยายตัวของฟองแก๊ส ความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลว ความแตกต่างของความดันภายในฟองแก๊ส และการมีสิ่งเจือปนเช่น อนุภาคของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สไปรบกวนการเติบโตของฟองแก๊ส

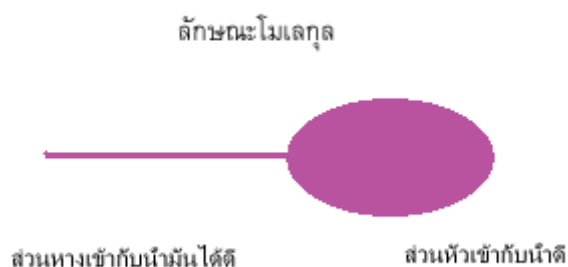
2.7.3 กระบวนการเสถียรของฟองแก๊ส

ฟองแก๊สจะถูกทำให้เสถียรได้ทั้งโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีของพอลิเมอร์เมทริกซ์ กลายเป็น Gelation หรือโดยอิทธิพลทางกายภาพด้วยการหล่อเย็นพอลิเมอร์หลอมเหลวให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอ่อนตัวเพื่อป้องกันการเกิดการไหลของพอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งทำให้รูปร่างของฟองแก๊สเสถียรไปเนื่องจากการเกิดการไหลของโฟมหรือเนื่อง

จากน้ำหนักของโฟม ทำให้โครงสร้างของเซลล์โฟมกลายเป็นแบบ Anisothopy ซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์โฟม แก๊สภายในเซลล์โฟมจะอยู่ในสภาวะสมดุลเป็นระยะเวลาหนึ่งภายใต้สภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิและความดันที่ล้อมรอบ ทำให้สมบัติของโฟมเปลี่ยนแปลงตามเวลาเนื่องจากการเกิดการแพร่ของอากาศเข้าไปทดแทนแก๊สภายในเซลล์ สภาวะดังกล่าวจะเกิดลดลงเมื่อแก๊สที่อยู่ภายในเซลล์คืออากาศหรือเป็นแก๊สที่มีสมบัติคล้ายกับอากาศเช่น แก๊สไนโตรเจน แต่หากแก๊สที่ใช้เป็นไฮโดรคาร์บอนจะทำให้เกิดการแพร่ของก๊าซออกมามากกว่าอัตราการแพร่ของอากาศเข้าไปในเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้โครงสร้างของโฟมมีแนวโน้มจะเสียรูปหลังการผลิต

2.8 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) [13]

สารลดแรงตึงผิว คือ สารที่มีลักษณะโมเลกุลประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนหัวและส่วนหาง โดยที่ส่วนหัวสามารถรวมเข้ากับน้ำได้ดี แต่ส่วนหางจะไม่รวมกับน้ำแต่สามารถละลายกับน้ำมันได้ดี ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงลักษณะโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว [13]

หน้าที่หลักของสารลดแรงตึงผิวคือทำความสะอาด โดยทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกแล้วแขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยเมื่อนำสารลดแรงตึงผิวละลายในน้ำจะเกิดการแตกตัวโดยส่วนหัวซึ่งเข้ากับน้ำได้ดีจะแสดงประจุและบ่งบอกคุณสมบัติ ของสารนั้นๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดดังนี้

1) Anionic Surfactant

สารนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัวและส่วนหัวจะมีประจุเป็นลบ สารจำพวกนี้ถูกนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่างๆ เช่น น้ำยาล้างจาน ผงซักฟอก ตลอดจนผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น แชมพู ครีมนวดผมและอื่นๆ ทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติ ในการทำความสะอาดดีมีฟองมาก และละลายน้ำได้ดี ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ได้แก่ Alkyl sulphate , Alkane sulphonate , Alkyl ether sulphate เป็นต้น

2) Cationic Surfactant

สารในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำแล้วส่วนหัวจะมีประจุเป็นบวก นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้เคลือบผ้า เพื่อให้ความลื่น และป้องกันไฟฟ้าสถิต สารจำพวกนี้ไม่มีความสามารถในการทำความสะอาด และไม่มีฟอง แต่สามารถเกาะพื้นผิวได้ดี ให้ความลื่นจึงนิยมนำมาใช้ในครีมนวดผม หรือปรับผ้านุ่ม ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก ได้แก่ DyhyquatAC, Rinse compound เป็นต้น

3) Nonionic Surfactant

สารชนิดนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะไม่แตกตัวจึงไม่มีประจุ คุณสมบัติของสารกลุ่มนี้จะแตกต่างกันไป ตั้งแต่ละลายน้ำได้ จนไม่ละลายน้ำ สารที่ไม่ละลายน้ำมักใช้เป็นตัวดับฟอง และ emulsifier ส่วนสารที่ละลายน้ำมักใช้เป็นสารทำความสะอาด ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ Alkylethoxylate , Fatty acids alkanolamide เป็นต้น

4) Amphoteric Surfactant

สารกลุ่มนี้มีทั้งประจุบวกและประจุลบอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน เมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุใด ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยถ้าสภาพแวดล้อมเป็นกรดก็จะแสดงประจุบวก ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นด่างก็จะแสดงประจุลบ คุณสมบัติหลักของสารกลุ่มนี้คือ สามารถทนน้ำกระด้าง อ่อนละมุนต่อผิว ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดมีทั้งประจุบวกและลบ ได้แก่ Betaine , Imidazoline-derivatives เป็นต้น

2.8.1 ผลิตภัณฑ์ล้างจาน[14]

ผลิตภัณฑ์ล้างจานหรือที่นิยมเรียกกันว่า น้ำยาล้างจาน แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ผลิตภัณฑ์ล้างจานสำหรับล้างด้วยมือ ซึ่งใช้กันในห้องครัวของบ้านเรือนทั่วไป และผลิตภัณฑ์ล้างจานสำหรับเครื่องล้างจาน ซึ่งในประเทศไทยมักใช้ในสถานประกอบการขนาดใหญ่เท่านั้น

2.8.1.1 ส่วนประกอบของน้ำยาล้างจาน[15]

1) สารเคมีประเภทสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ถือเป็นส่วนประกอบหลัก โดยสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้กันมาก 2 ชนิด คือ Linear Alkyl Benzene Sulfonate , Sodium Salt (LAS) และ Sodium Lauryl Ether Sulfate (SLES) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวในกลุ่มที่มีเมื่อละลายน้ำแล้วส่วนหัวจะมีประจุเป็นลบ (Anionic Surfactant) แต่ในผลิตภัณฑ์ล้างจานบางยี่ห้อจะนำสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่น (ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงหรือมีอันตรายต่ำ) มาใช้ร่วมด้วยในปริมาณเล็กน้อย เช่น ใช้ Cocamidopropyl betaine (สารลดแรงตึงผิวกลุ่มที่มีทั้งประจุลบและประจุบวกอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน ; Amphoteric Surfactant) และ/หรือ Ethoxylated Alcohol , Alkyl glucoside , Alkyl polyglucoside (สารลดแรงตึงผิวกลุ่มที่มีเมื่อละลายน้ำแล้วไม่มีประจุ ; Nonionic Surfactant)

2) ส่วนสารเคมีอื่น ๆ ที่อาจมี เช่น สารลดความกระด้างของน้ำ (Builders) , ตัวทำละลาย (Solvent) , สารเพิ่มฟอง (Foamer) เป็นต้น

โดยผลิตภัณฑ์ล้างจานโดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิวประมาณร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก สารลดความกระด้างร้อยละ 0-10 สารเพิ่มความชุ่มชื้นร้อยละ 0-5 สีและน้ำหอมร้อยละ 0-0.5 ที่เหลือเป็นน้ำ และต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 5-9.5

2.8.2 ฟองซักฟอก[14]

ฟองซักฟอกสำหรับซักผ้า คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ร่วมกับน้ำในการชำระล้างสิ่งสกปรกออกจากเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่มและภาชนะต่าง ๆ ซึ่งสกปรกจากการใช้งาน ซึ่งจะแบ่งฟองซักฟอกออกตาม

วิธีการใช้งานได้เป็นสองกลุ่ม คือ ผงซักฟอกสำหรับซักด้วยมือ และ ผงซักฟอกสำหรับซักด้วยเครื่องซักผ้า โดยผงซักฟอกทั้งสองกลุ่มมีองค์ประกอบใกล้เคียงกัน แต่ผงซักฟอกสำหรับซักด้วยมือ จะไม่มีการใช้ส่วนผสมที่ระคายเคืองหรือกัดกร่อนมือของผู้ใช้

2.8.2.1 ส่วนประกอบหลักของผงซักฟอก[16]

1) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic Surfactant) ซึ่งถือเป็นส่วนประกอบหลัก ได้แก่ Linear Alkyl Benzene Sulfonate , Sodium Salt ผสมอยู่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

2) สารช่วยจับแคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำกระด้าง(Builders) เพื่อลดความกระด้างของน้ำ ทำให้น้ำมีสภาพเป็นเบสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายได้ดี เช่น Sodium tripolyphosphate ; STPP) เนื่องจากแคลเซียมและแมกนีเซียมจะรบกวนการทำงานของสารลดแรงตึงผิวที่จะดึงสิ่งสกปรกออกจากผ้า โดยสารซักฟอกทั่วไปจะมีปริมาณฟอสเฟต (P_2O_5) ไม่เกินร้อยละ 20

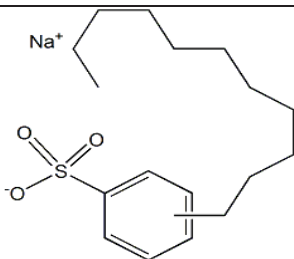
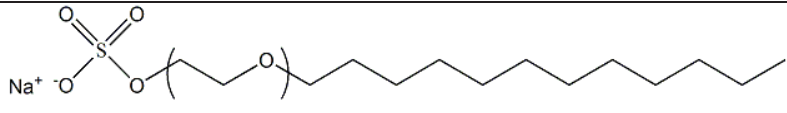
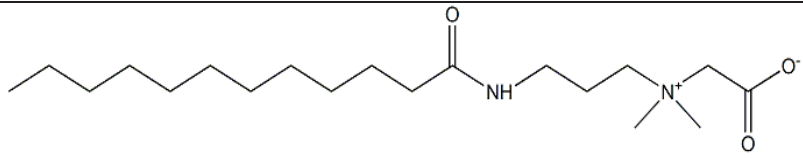
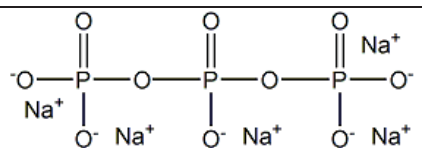
3) สารป้องกันสิ่งสกปรกกลับมาติดเนื้อผ้า จะเป็นตัวกันไม่ให้เกิดตะกอนขึ้นในระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ (Anti Re-Deposition Agent)เช่น Sodium carboxymethylcellulose ซึ่งจะผสมอยู่ร้อยละ 0-2

2.8.2.2 ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่อาจมีในผงซักฟอก

1) เช่น สารเพิ่มความสดใส , น้ำหอม เป็นต้น

สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของผงซักฟอกทั้งสูตรมาตรฐานและสูตรเข้มข้น จะมีค่าไม่เกิน 11

ตารางที่ 3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารเคมีที่นิยมใช้น้ำยาล้างจานและผงซักฟอก[14]

ชื่อ	สูตรโครงสร้าง	หน้าที่
Linear Alkyl Benzene Sulfonate , Sodium Salt		Anionic surfactant
Sodium Lauryl Ether Sulfate		Anionic surfactant
Cocamidopropyl betaine		Amphoteric surfactant
Sodium tripolyphosphate		Builders

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M. Arroyo และคณะ [17] ได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นฐานและพฤติกรรมการดึงยึดของวัสดุคอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีน/ยางEPDM เบลนด์กับเส้นใยอะรามิดขนาดสั้น สำหรับอัตราส่วนการผสมจะแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่4 แสดงอัตราส่วนการผสมของวัสดุคอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีน/ยางEPDM เบลนด์กับเส้นใยอะรามิดขนาดสั้น

Material	PP (%)	EPDM (%)	Aramid fibre (%)
1	100	0	–
2	90	10	–
3	75	25	–
4	50	50	–
5	25	75	–
6	0	100	–
7	100	0	10
8	75	25	10
9	50	50	10
10	25	75	10
11	0	100	10
12	100	0	20
13	75	25	20
14	50	50	20
15	25	75	20
16	0	100	20

ผสมวัสดุตามสูตรการผสมในเครื่อง Internal mixer ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 50 rpm เป็นเวลา 23 นาที แล้วขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่อง compression mould ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัย พบว่า ค่า Tensile modulus, Tensile strength at break และ Elongation at break จะแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบ Tensile test

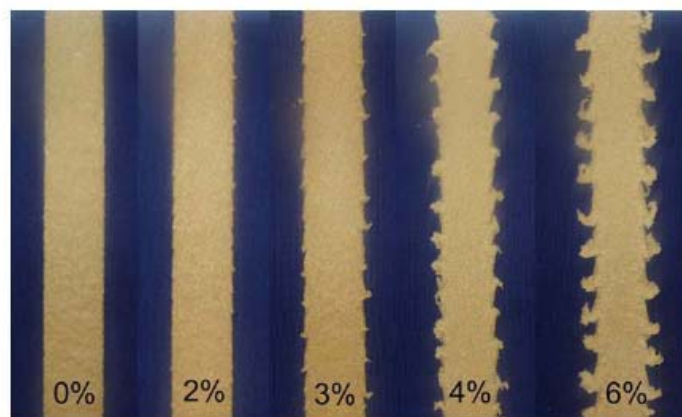
Material PP/EPDM/aramid	Modulus (MPa)	Tensile strength at break (MPa)	Elongation at break (%)
100/00/00	876.2	17.70	134.7
75/25/00	561.2	14.28	160.2
50/50/00	184.2	9.97	297.3
25/75/00	56.7	5.11	499.9
00/100/00	8.5	8.79	1017.1
100/00/10	1740.2	23.26	17.9
75/25/10	882.2	16.70	134.2
50/50/10	282.8	9.43	112.3
25/75/10	139.3	3.95	128.7
00/100/10	15.6	3.17	271.3
100/00/20	3515.6	26.46	11.0
75/25/20	1141.0	13.40	15.5
50/50/20	341.0	8.67	20.7
25/75/20	146.6	8.72	41.1
00/100/20	31.5	6.86	71.5

จากผลการทดสอบพบว่ายิ่งเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า modulus เพิ่มขึ้นแต่เมื่อมีการเติมยาง EPDM ลงไปพบว่า ค่า modulus มีค่าลดลง ดังนั้นการปรับปรุงความเหนียวของวัสดุคอมพอสิตจะใช้ปริมาณยาง EPDM ที่ต่ำคือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25% แต่ถ้าใช้ปริมาณยางตั้งแต่

25% ขึ้นไปจะเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ โดยค่า Tensile strength at break จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของยางEPDM เนื่องจากพอลิโพรพิลีนกับยางEPDM ไม่เข้ากัน แต่เมื่อเติมเส้นใยอะรามิดลงไปจะส่งผลให้ค่า Tensile strength at break เพิ่มขึ้น แต่การเติมเส้นใยอะรามิดส่งผลให้ความ stiffess เพิ่มมากขึ้น ในส่วนของค่า Elongation at break จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของยางEPDM และจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเติมเส้นใยลงไป ดังนั้นการเบลนระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางEPDM ผสมกับเส้นใยอะรามิด 10 wt% จะเป็นการปรับปรุงความเหนียวให้กับพอลิโพรพิลีน

Magnus Bengtsson และคณะ [18] ได้ทำการศึกษาการเชื่อมขวางของไซเลนกับวัสดุคอมพอสิตผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงกับผงไม้ โดยใช้ vinyltriethoxysilane เป็นตัวประสานและใช้ dicumyl peroxide (DCP) เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง vinyltriethoxysilane กับ dicumyl peroxide (DCP) เท่ากับ 12/1 w/w ผสมโดยใช้เครื่อง Twin-screw extruder อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปอยู่ระหว่าง 165-200 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 100 rpm ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัย พบว่า

- การเติม vinyltriethoxysilane จะส่งผลให้ motor load และ melt pressure ใน extruder มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง grafted silane groups ส่งผลให้ melt viscosity มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้ายังเพิ่มปริมาณของ vinyltriethoxysilane จะยิ่งทำให้ melt pressure มีค่าสูงขึ้น โดยภาพที่ 11 จะแสดงลักษณะของ extruded ที่เติม vinyltriethoxysilane ในปริมาณต่าง ๆ โดยที่ 2 wt% พบว่าที่ผิวของ extrudate จะฉีกเล็กน้อย และที่ 4 กับ 6 wt% ที่ผิวของ extrudate จะขรุขระ ซึ่งการเติมสารหล่อลื่นจะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ แต่จะไปรบกวนสารละลายระหว่างไซเลนกับเปอร์ออกไซด์

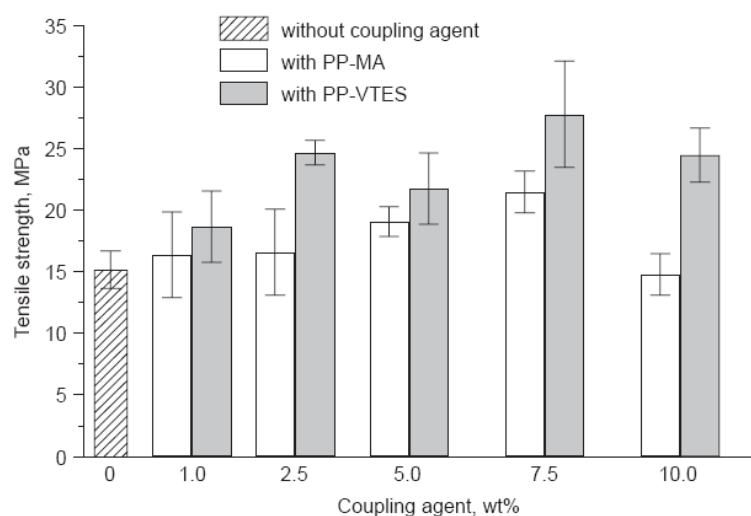


ภาพที่ 11 แสดงลักษณะของ extrudate ที่เติม vinyltriethoxysilane ในปริมาณต่าง ๆ

Sonia M.B. Nachtigall และคณะ [20] ได้ศึกษาสารประสานสำหรับวัสดุคอมพอสิตผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับผงไม้ โดยใช้ vinyltriethoxysilane (VTES) และ MA-g-PP เป็นตัวประสาน และใช้ dicumyl peroxide (DCP) เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา ทำการผสมโดยใช้ Internal mixer ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 50 rpm ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัย พบว่า

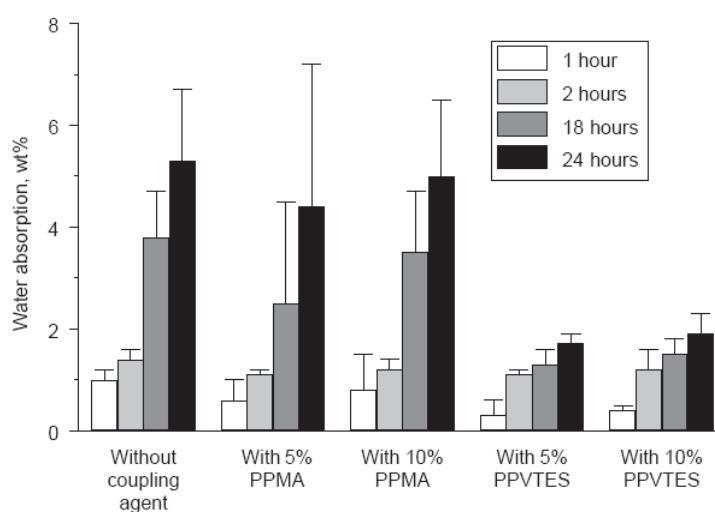
- วัสดุคอมพอสิตที่มีการเติมสารประสานจะส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอมพอสิตที่ไม่มีการเติมสารประสาน

- ปริมาณของ vinyltriethoxysilane ที่ 2.5 wt% เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดและเมื่อเปรียบเทียบการใช้สารประสานพบว่า vinyltriethoxysilane ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่สูงกว่า MA-g-PP ดังแสดงในภาพที่ 12



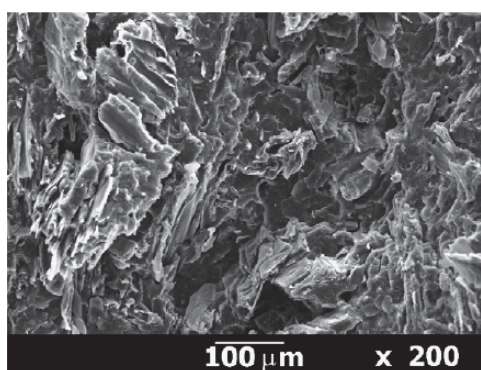
ภาพที่ 12 แสดงค่า Tensile strength ของวัสดุคอมพอสิตที่ปริมาณสารประสานต่าง ๆ

- วัสดุคอมพอสิตที่มีการเติมสารประสานจะส่งผลให้มีค่าการดูดซับน้ำที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอมพอสิตที่ไม่มีการเติมสารประสาน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสารประสานสามารถเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใยโดยการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลที่ผิวของเส้นใยโดยหมู่ฟังก์ชันของสารประสานจะไปขัดขวางการเกิดพันธะระหว่างเซลล์โลสกับน้ำ และพบว่า vinyltriethoxysilane จะให้ผลของค่าการดูดซับน้ำที่ต่ำกว่า MA-g-PP ดังแสดงในภาพที่ 13

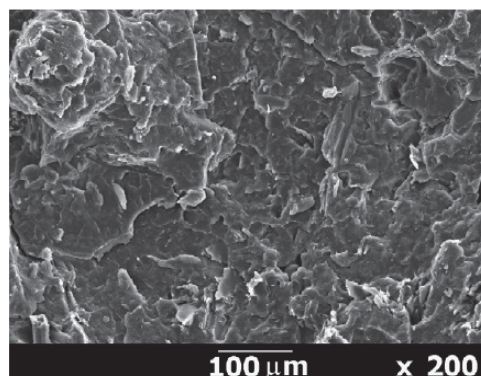


ภาพที่ 13 แสดงค่าการดูดซับน้ำของวัสดุคอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับผงไม้

- จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นฐาน พบว่า วัสดุคอมพอสิตที่ไม่มีการเติมสารประสาน จะขรุขระและมี void จำนวนมากและมีช่องว่างจากการเกิด fiber pullout ดังภาพที่ 14 (a) แต่วัสดุคอมพอสิตที่มีการเติม vinyltriethoxysilane พบว่ามีผิวที่เรียบและมีความเป็นเนื้อเดียวกัน มี void ขนาดเล็กและมีช่องว่างแค่ 2-3 ช่อง ดังภาพที่ 14 (b)



(a)



(b)

ภาพที่ 14 แสดงภาพ SEM ของวัสดุคอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับผงไม้

(a) ไม่มีการเติมสารประสาน, (b) เติม vinyltriethoxysilane

P. Dacko และคณะ [21] ได้ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ย่อยสลายทางชีวภาพประกอบด้วยพอลิเอสเตอร์ที่ได้จากธรรมชาติและที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยพอลิเมอร์ที่ใช้คือ PLA และ PBAT ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัย พบว่า

- สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เบลดระหว่าง PLA กับ PBAT จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของ PBAT แต่ค่า elongation at break จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เบลดระหว่าง PLA กับ PBAT

Composition (weight ratio)	σ [Mpa]	ϵ [%]	E [Mpa]
PLA	20.0	14.0	1941.0
PBAT	30.3	1650.0	100.0
PLA/PBAT ; 70/30	46.0	830.0	1052.0
PLA/PBAT ; 50/50	37.0	880.5	663.0
PLA/PBAT ; 30/70	22.0	957.0	313.0

Tao Yu และคณะ [22] ได้ศึกษาผลของการปรับปรุงผิวของเส้นใยต่อสมบัติวัสดุคอมพอสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยรามี่ โดยใช้ 3-Aminopropyltriethoxy silane เป็นสารประสานความเข้มข้น 6wt% และใช้เส้นใยรามี่ 30 wt% ขึ้นรูปด้วยเครื่อง two roll mill ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัย พบว่า

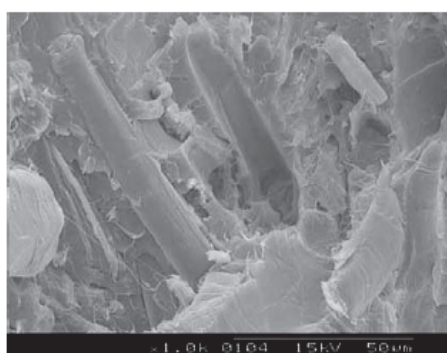
- ค่าการทนต่อแรงดึงของPLAบริสุทธิ์จะมีค่าต่ำกว่าวัสดุคอมพอสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยรามี่ โดยการเติมเส้นใยรามี่จะส่งผลให้วัสดุคอมพอสิตมีความ stiffness เพิ่มขึ้น และการปรับปรุงผิวเส้นใยเมื่อนำไปผสมกับPLAพบว่าสามารถปรับปรุงค่าการทนต่อแรงดึงได้ เนื่องจากการถ่ายโอนความเค้นจากเมทริกซ์ไปสู่เส้นใยได้ดีมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงสมบัติเชิงกลของ PLA บริสุทธิ์และPLA คอมพอสิต

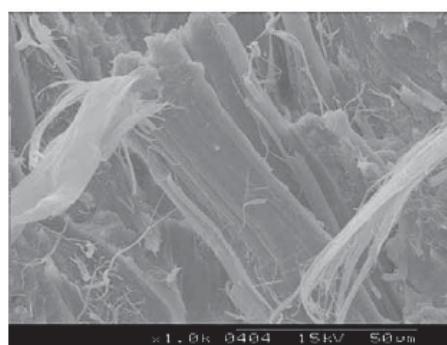
Sample	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
Neat PLA	45.2 $\pm$ 1.5	1.2 $\pm$ 0.2
Untreated PLA/ramie composite	52.5 $\pm$ 0.8	3.2 $\pm$ 0.2
PLA/ramie composite treated by 3-Aminopropyltriethoxysilane	59.3 $\pm$ 1.2	4.1 $\pm$ 0.2

- การเติมเส้นใยมีส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมพอสิตเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับPLAบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิตที่ผสมเส้นใยมีที่ผ่านการปรับสภาพผิวจะให้สมบัติการทนต่อแรงกระแทกที่สูงกว่าวัสดุคอมพอสิตที่ผสมเส้นใยมีที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิว

- การปรับปรุงผิวเส้นใยมีส่งผลให้สามารถยึดเกาะกับเมทริกซ์ได้ดีขึ้น มีช่องว่างและ fiber pullout ลดลง ดังภาพที่ 15



(a)



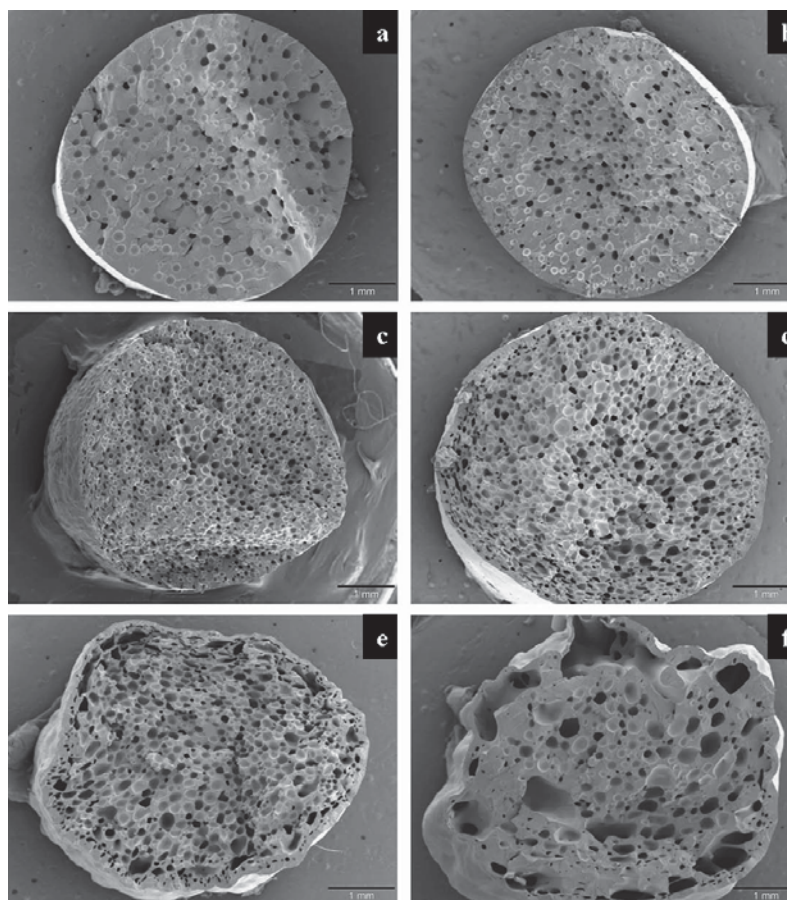
(b)

ภาพที่ 15 แสดงภาพSEMของวัสดุคอมพอสิตPLAผสมกับ (a)เส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิว

(b)เส้นใยมีที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยไซเลน

Laurent M. Matuana และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิแลคติกแอซิดโดยใช้ Chemical foaming agent แบบดูดความร้อน ด้วยกระบวนการอัดรีด โดยใช้อุณหภูมิ 180, 180, 170 องศาเซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดาวยเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัย พบว่า

- ที่ปริมาณของ Chemical foaming agent ตั้งแต่ 0.125-0.25 % จะให้จำนวนเซลล์โฟมที่น้อย และจำนวนของเซลล์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของ Chemical foaming agent ตั้งแต่ 0.5-1.0% และโครงสร้างของเซลล์จะไม่สามารถรักษาสภาพของเซลล์ไว้ได้เซลล์จึงเชื่อมต่อกันเมื่อเพิ่มปริมาณ Chemical foaming agent ตั้งแต่ 1.5-2.0% ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลล์โฟมพอลิแลคติกแอซิดที่ความเร็วรอบสกรู 40 rpm ที่ปริมาณ Chemical foaming agent ดังนี้ (a) 0.125% (b) 0.25% (c) 0.5% (d) 1.0% (e) 1.5% (f) 2.0%

R. Gosselin และคณะ [24] ได้ศึกษาผลของปริมาณของเส้นใยไม้ Birch ที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นโดยรวมของวัสดุ ขนาดของเซลล์โฟม และค่า Void fraction (%) ของวัสดุโฟมคอมพอสิต Birch wood-HDPE/PP (85:15) และขึ้นรูปด้วยการฉีด ซึ่งจากผลการทำการวิจัย พบว่า

- เมื่อปริมาณของเส้นใยไม้ Birch เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 40 wt% จะทำให้ค่าความหนาแน่นโดยรวมของวัสดุมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.772 g/cm^3 เป็น 0.983 g/cm^3
- ขนาดของเซลล์โฟมจะมีขนาดเล็กลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณของ Chemical foaming agent (CFA) มีปริมาณมากขึ้นเนื่องจาก CFA เมื่อเกิดการสลายตัวแล้วจะเหลือสารที่เป็น Residue ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น Nucleating agent ในการเกิดเซลล์โฟม เมื่อปริมาณของ CFA เพิ่มขึ้นจะทำให้มี

Nucleating agent มากขึ้นทำให้เกิดโฟมขนาดเล็กจำนวนมากและยังเป็นผลให้ Skin thickness ของวัสดุมีค่าลดลงอีกด้วย

- ลักษณะของเซลล์โฟมจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของเส้นใยไม้ Birch โดยเมื่อปริมาณของเส้นใยไม้ Birch เพิ่มขึ้นจะทำให้พื้นที่ส่วนที่เป็นเซลล์โฟมมีพื้นที่ที่ลดลง เนื่องจากไม้ที่เติมลงไปจะไปขัดขวางการแพร่ของแก๊สและการขยายขนาดของเซลล์โฟม

- เมื่อปริมาณของเส้นใยไม้ Birch มีมากขึ้นจะทำให้ค่า Void fraction (%) ของวัสดุโฟมคอมพอสิตมีค่าลดลงจาก 13.6 % เป็น 5.5 %

- Cooling rate และเวลาในการเย็นตัวของ polymer matrix จะมีผลต่อปริมาณการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ และถ้าพอลิเมอร์มีปริมาณผลึกเพิ่มขึ้นก็จะทำให้การเกิดโฟมลดลง แต่ในงานวิจัยนี้มีผลของความเข้ากันได้ของ HDPE และ PP มาเกี่ยวข้อง ปริมาณผลึกที่เกิดขึ้นจึงมีน้อย ทำให้ขนาดของ cell size ไม่ขึ้นกับ cooling rate

- Skin thickness ของวัสดุโฟมคอมพอสิตจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงไม้และในขณะเดียวกันจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์และเพิ่มปริมาณ blowing agent

- WPC ที่มีการเติม MAPP แสดงค่า skin thickness ที่มีความแปรปรวนน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการเติม ซึ่งในกรณีนี้ปริมาณของผงไม้เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่า skin thickness ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่า MAPP ช่วยในการกระจายตัวของผงไม้ใน polymer matrix

บทที่ 3

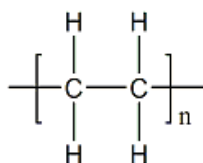
วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม อิทธิพลของสารประสานคู่ควบ และอิทธิพลของสารช่วยฟูที่มีต่อสมบัติของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ โดยสมบัติต่างๆ ของเส้นหวายเทียมนี้ ประกอบด้วยลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทยา (Morphology) สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกลและผลของสารเคมีในครัวเรือนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นหวายเทียมที่เตรียมได้ โดยรายละเอียดในการเตรียมชิ้นงานและการทดสอบสมบัติต่างๆ จะได้กล่าวต่อไปในบทนี้

3.1 วัสดุดิบ (Materials)

3.1.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density Polyethylene) [1]

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเป็นเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ที่จะใช้เป็นเมทริกซ์ในการทำเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงจะมีสูตร โครงสร้างดังนี้

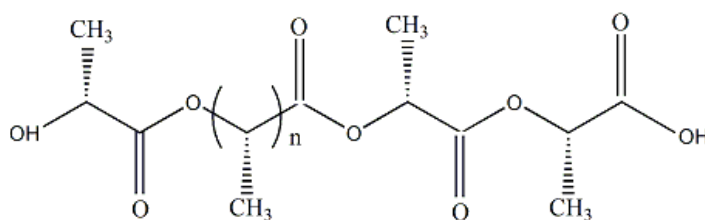


ภาพที่ 17 แสดงสูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ซื้อมาจากบริษัทปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) (SCG Chemical Co., Ltd., Thailand) มีชื่อทางการค้าคือ EL-Lene™ H5480S มีค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index) เท่ากับ 0.8 กรัมต่อ 10 นาที เมื่อทดสอบโดยใช้น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D-1238

3.1.2 พอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid))[5]

พอลิแลคติกแอซิดเป็นเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเมทริกซ์ในการทำเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติโดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังนี้



ภาพที่ 18 แสดงโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุล poly(lactic acid) [5]

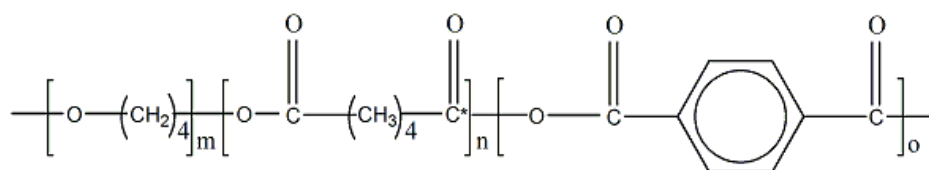
พอลิแลคติกแอซิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ซื้อมาจากบริษัท ถุงสด จำกัด (FRESH BAG COMPANY LIMITED.) มีชื่อทางการค้าคือ Ingeo™ 2002D ผลิตโดย Nature Works® LLC มีค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index) เท่ากับ 6 กรัมต่อ 10 นาที เมื่อทดสอบโดยใช้น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D-1238

3.1.3 ยางเอทธิลีน โพรพิลีน ไดอีน มอนอเมอร์ (Ethylene-Propylene Diene Monomer; EPDM)[7]

ยางเอทธิลีน โพรพิลีน ไดอีน มอนอเมอร์ ใช้เป็นสารเพิ่มความทนต่อแรงกระแทกให้กับพอลิเอทธิลีน ในการทำวิจัยครั้งนี้ โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทอินโนเวชั่น โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน) (Innovation Holding Co., Ltd. Thailand.) มีชื่อทางการค้าคือ NORDEL™ IP 3720P ผลิตโดย Dow Chemical มีค่า Mooney Viscosity (ML 1+4 ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส) เท่ากับ 20 MU ตามมาตรฐาน ASTM D-1646 มีปริมาณของเอทธิลีน/โพรพิลีน/ไดอีน เท่ากับ 69/30.5/0.5 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

3.1.4 พอลิบิวทีรีน อะดิเพต เทเรฟทาเรต (poly(butylene adipate terephthalate)) ; PBAT[6]

พอลิบิวทีรีน อะดิเพต เทเรฟทาเรต ใช้สำหรับปรับปรุงสมบัติให้กับพอลิแลคติกแอซิดให้มีความยืดหยุ่น (flexibility) เพิ่มขึ้น โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังนี้



ภาพที่ 19 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ PBAT[6]

พอลิบิวทีรีน อะดิเพต เทเรฟทาเรตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ซื้อมาจากบริษัท ถุงสด จำกัด (FRESH BAG COMPANY LIMITED.) มีชื่อทางการค้าคือ Ecoflex® F BX 7011 ผลิตโดย BASF Corporation มีค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index) เท่ากับ 4.9 กรัมต่อ 10 นาที เมื่อทดสอบโดยใช้ น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ISO 1133

3.1.5 ผงไม้ (wood flour)

ผงไม้ที่ใช้เป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติในงานวิจัยนี้เป็น ผงไม้สน โดยไม่มีการปรับปรุงทางเคมีของผงไม้ ผงไม้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาด 200 mesh สั่งซื้อ มาจาก Linpai Co., ประเทศจีน

3.1.6 ไซเลน (Silanes)

ไซเลนทำหน้าที่เป็นสารประสานคู่ควบ (Coupling agent) ซึ่งช่วยปรับปรุงการยึดเกาะ ระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่เป็นพลาสติกที่ไม่มีขั้วกับผงไม้ที่มีสภาพความเป็นขั้วสูง ในงานวิจัย ครั้งนี้จะใช้ไซเลน 2 ชนิด คือ Vinyltriethoxysilane (VTES) ใช้เพื่อปรับปรุงความเข้ากันในของ ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง(HDPE) กับยางEPDM และ 3-Aminopropyltriethoxy silane (APS) ใช้เพื่อปรับปรุงความเข้ากันในของผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด(PLA)กับพอลิบิวทีรีน อะดิเพต เทเรฟทาเรต (PBAT) โดยไซเลนที่ใช้ในงานวิจัยนี้สั่งซื้อมาจากบริษัท เอส.เอ็ม เคมีคอล ชัพพลาย จำกัด

3.1.7 Dicumyl Peroxide

Dicumyl Peroxide ทำหน้าที่เป็นสารก่อปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (grafting) ระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงกับไซเลน สั่งซื้อมาจากบริษัท เอส.เอ็ม เคมีคอล ชัพพลาย จำกัด

3.1.8 Modified azodicarbonamide

Modified azodicarbonamide ทำหน้าที่เป็น chemical foaming agent (CFAs) ชนิดคายความร้อน ที่มีการผสมซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ทำหน้าที่เป็น Nucleating agent ได้รับความอนุเคราะห์

จากบริษัท MDR International Co., Ltd. Thailand. อุณหภูมิการสลายตัวประมาณ 170 องศาเซลเซียส

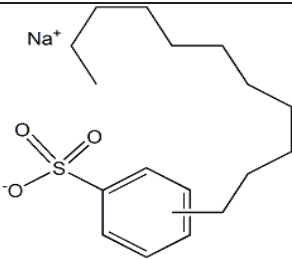
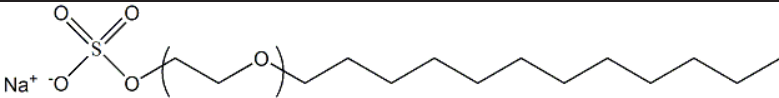
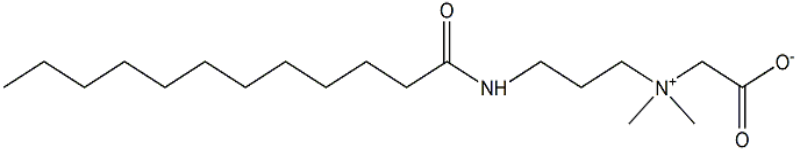
3.1.9 ตัวทำละลาย (Solvent)

ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้ตัวทำละลาย 2 ตัวคือ เอทานอล (Ethanol) และอะซิโตน (Acetone) เพื่อเป็นตัวทำละลายไฮเลน 2 ชนิดคือ Vinyltriethoxysilane (VTES) และ 3-Aminopropyltriethoxy silane (APS) ตามลำดับ สั่งซื้อจากบริษัท เอส.เอ็ม เคมีคอล ซัพพลาย จำกัด

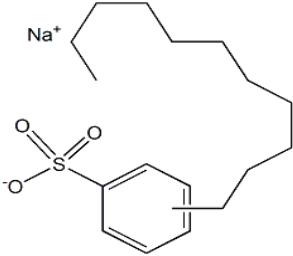
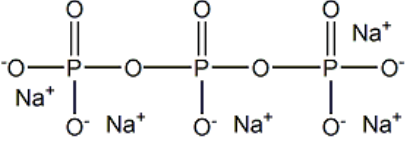
3.1.10 สารทำความสะอาด (Detergent)

การศึกษาผลของสารเคมีในครัวเรือนที่มีต่อสมบัติเชิงกลของเส้นหน่วยเทียมที่เตรียมได้ จะใช้สารทำความสะอาด 2 ชนิดคือ น้ำยาล้างจานและผงซักฟอก โดยมีองค์ประกอบทางเคมีหลักดังนี้

ตารางที่ 8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีหลักของน้ำยาล้างจาน[14]

ชื่อ	สูตรโครงสร้าง	หน้าที่
Linear Alkyl Benzene Sulfonate , Sodium Salt		Anionic surfactant
Sodium Lauryl Ether Sulfate		Anionic surfactant
Cocamidopro pyl betaine		Amphoteric surfactant

ตารางที่ 9 แสดงองค์ประกอบทางเคมีหลักของผงซักฟอก[14]

ชื่อ	สูตรโครงสร้าง	หน้าที่
Linear Alkyl Benzene Sulfonate , Sodium Salt		Anionic surfactant
Sodium tripolyphosph hate		Builders

3.1.11 เส้นหยาบธรรมชาติ

ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้เส้นหยาบธรรมชาติเป็นวัสดุต้นแบบในการเทียบสี เพื่อให้เส้นหยาบเทียบมีสีที่ใกล้เคียงกับเส้นหยาบธรรมชาติมากที่สุด

3.2 เครื่องมือ

3.2.1 เครื่องมือวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อน (Thermal gravimetric analysis) (TGA) บริษัท Mettler-Toledo Ltd. ประเทศไทย

3.2.2 เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) รุ่น SHJ-25 ประเทศจีน

3.2.3 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ Universal testing machine (Instron 5965, Series dual column table frames)

3.2.4 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยลำแสงอิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM) รุ่น JSM 5410 LV บริษัท JEOL technics Ltd ประเทศญี่ปุ่น

3.2.5 เครื่องวัดสีพลาสติกผสม Color Reader ของบริษัท Konica Minolta รุ่น CR-10

3.2.6 เครื่อง Fourier transform infrared (FT-IR Spectrometer) บริษัท BRUKER รุ่น VERTEX

3.3 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งวิธีการดำเนินงานออกเป็น 4 ส่วน โดยในส่วนที่ 1 จะศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นหวายธรรมชาติ ส่วนที่ 2 และ 3 จะศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและอิทธิพลของสารประสานกุ่มบ ที่จะส่งผลต่อสมบัติทางด้านกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ตามลำดับ และส่วนที่ 4 ศึกษาอิทธิพลของสารช่วยฟูที่จะส่งผลต่อสมบัติทางด้านกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งรายละเอียดการทดลองในแต่ละช่วงได้แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นหวายธรรมชาติ

3.3.1.1 ทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยการหาค่าความหนาแน่นของเส้นหวายธรรมชาติ ตามมาตรฐาน ASTM D-1622 โดยนำเส้นหวายธรรมชาติมาตัดให้มีความยาว 3 cm แล้ววัดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางด้วย digital vernier caliper เพื่อคำนวณหาปริมาตร แล้วนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียดสูง แล้วคำนวณหาค่าความหนาแน่นของเส้นหวายธรรมชาติจากความสัมพันธ์

$$D = \frac{M}{V}$$

เมื่อ D คือ ค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน (g/cm^3)

M คือ ค่าน้ำหนักของชิ้นงาน (g)

V คือ ค่าปริมาตรของชิ้นงาน (cm^3)

โดยจะใช้ชิ้นงานในการทดสอบ 20 ชิ้น และคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3.1.2 ทดสอบหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหวายธรรมชาติ ตามมาตรฐาน ASTM D-570-99 โดยเริ่มจากนำเส้นธรรมชาติมาตัดให้มีความยาว 5 cm แล้วนำไปอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บตัวอย่างใน Desiccator ที่มีสารดูดความชื้น นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียดสูง จากนั้นนำตัวอย่างที่

แห้งไปจุ่มในน้ำกลั่นเย็น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างเช็ดน้ำส่วนเกินออกด้วยผ้านุ่มและนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียดสูง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างจะสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้

$$\text{Water absorption (\%)} = \frac{\text{Final weight} - \text{Original weight}}{\text{Original weight}} \times 100$$

โดยจะใช้ชิ้นงานในการทดสอบจำนวน 10 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3.1.3 วัดค่าสีของเส้นหาวยธรรมชาติด้วยเครื่องวัดสีพลาสติกผสม Color Reader ตามระบบ Lab โดยจะใช้ชิ้นงานในการทดสอบจำนวน 20 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3.1.4 ทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง(Tensile test) ตามมาตรฐาน ASTM D-2256 โดยการทดสอบนี้จะทำการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (Instron 5965, Series dual column table frames) ดังภาพที่ 20 ที่ความเร็วของหัวจับชิ้นงาน 50 มิลลิเมตรต่อนาที โดย Load cell ที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 50 กิโลนิวตัน ระยะห่างของหัวจับชิ้นงานเท่ากับ 10 เซนติเมตร โดยตัดชิ้นงานให้มีความยาว 20 เซนติเมตร โดยจะใช้ชิ้นงานในการทดสอบจำนวน 10 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 20 เครื่อง Universal Testing Machine

3.3.1.5 ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา (Morphology) ของเส้นหยาขรรรมชาติ โดยนำเส้น extrudate ในส่วนผสมต่างๆ ไปแช่ในไนโตรเจนเหลวทาบให้แตกด้วยค้อน หลังจากนั้นจะนำชิ้นงานที่ได้ไปเคลือบด้วยทอง เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) จากบริษัท JEOL technics LTD รุ่น JSM 5410 LV ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 Scanning Electron Microscope ของบริษัท JEOL technics LTD

3.3.2 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและอิทธิพลของสารประสานกลุ่มควบของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

3.3.2.1 ศึกษาสมบัติของสารเบื้องต้น

3.3.2.1.1 ศึกษาพฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของ Azodicarbonamide ด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) ของบริษัท Mettler-Toledo Ltd. ดังภาพที่ 22 โดยวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่างเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ซึ่งในการทดสอบทำโดยการนำ Azodicarbonamide 3-5 มิลลิกรัมบรรจุลงใน refractory pan ที่แขวนอยู่บน microbalance แล้วทดสอบโดยตั้งโปรแกรมการทดสอบเริ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 500 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 5 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน



ภาพที่ 22 เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) ของบริษัท Mettler-Toledo Ltd.

3.3.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.2.2.1 อบผงไม้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้เหลือความชื้นในผงไม้ไม่เกิน 3% โดยน้ำหนัก โดยชั่งน้ำหนักของผงไม้ก่อนและหลังอบเพื่อเป็นการติดตามความชื้นของผงไม้ จากนั้นนำไปเก็บไว้ในภาชนะปิดภายใต้สารดูดความชื้น

3.3.2.2.2 ผสมเม็ด HDPE กับยาง EPDM ที่อัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 10 ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder ดังในภาพที่ 23 โดยของผสมจะถูกอัดรีดผ่านหัวขึ้นรูปแบบกลม (circular die) ออกเป็นเส้นทรงกระบอก (extrudate) และทำการดึงเส้น extrudate ด้วยเครื่องดึงที่สามารถควบคุมความเร็วได้ผ่านลงน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ โดยคุมขนาดของเส้น extrudate ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตรในทุกอัตราส่วน ความเร็วในการหมุนของสกรูเท่ากับ 30 รอบต่อนาที อุณหภูมิในแต่ละช่วงคือ 150/152/154/156/158/160/160/160 องศาเซลเซียส โดยเรียงจากบริเวณใกล้ hopper มายังบริเวณหัวคาย ตารางที่ 10 แสดงรหัสตัวอย่างและอัตราส่วนของยาง EPDM

Name code	HDPE (wt%)	EPDM (wt%)
HD100	100	-
HD90	90	10
HD80	80	20
HD70	70	30
HD60	60	40



ภาพที่ 23 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw-extruder)

3.3.2.2.3 นำเส้น extrudate ที่ได้ไปทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง(Tensile test) ตามมาตรฐานASTM D-2256 เพื่อหาค่า Modulus, Tensile strength และ Strain at yield (%) เพื่อเลือกอัตราส่วนของยางEPDM ที่เหมาะสมโดยจะใช้ขนาดชิ้นงานและสภาวะการทดสอบ เช่นเดียวกับ ในข้อ 3.3.1.4

3.3.2.2.4 ทำการปรับสภาพผิวผงไม้สนด้วย Vinyltriethoxysilane (VTES) ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 3.0 wt% (เทียบกับน้ำหนักของผงไม้) [18-19] เพื่อผสมกับของผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) กับยาง EPDM (ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากในข้อ 3.3.1.4) โดยเริ่มจากเตรียมสารละลายเอทานอลต่อน้ำ 95/5 v/v ในกะละมังขนาดใหญ่ปริมาณ 8 ลิตร เติมกรดอะซิติกลงไปเพื่อปรับค่า pH ของสารละลายให้เท่ากับ 3.5 [10,24] จากนั้นหยด VTES ตามความเข้มข้นที่กำหนดลงในสารละลายเอทานอลต่อน้ำที่เตรียมไว้อย่างช้าๆ พร้อมกับกวนตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้เกิดการหมู่ไฮดรอกซิลจากนั้นเติมผงไม้จำนวน 400 กรัมลงไปคนเล็กน้อยเพื่อให้ผงไม้จมอย่างทั่วถึง แช่ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง จากนั้นเทผงไม้ใส่ถาดอะลูมิเนียม อบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผงไม้ที่ได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

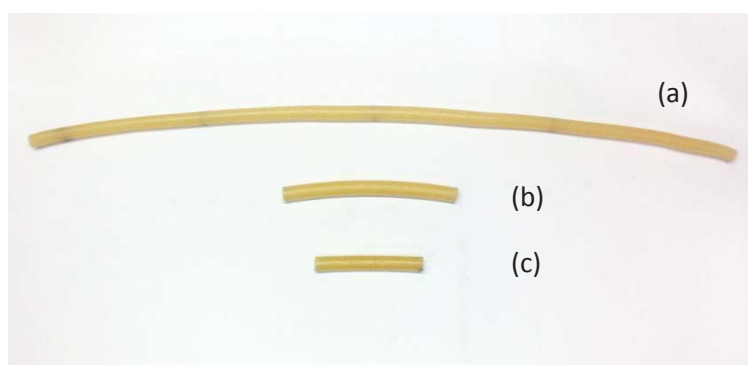
3.3.2.2.5 ผสมเม็ด HDPE กับยาง EPDM ที่อัตราส่วน 90/10 wt% ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder (โดยใช้ความเร็วในการหมุนของสกรูและอุณหภูมิเดียวกับในข้อ 3.3.2.2.2) ตัดให้เป็นเม็ดเล็กๆ นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำของผสมที่อบแล้วไปผสมกับผงไม้สนทั้งที่ปรับและไม่ปรับสภาพผิว และ Dicumyl Peroxide 0.5 wt% (เทียบกับน้ำหนักของผงไม้) [25] ที่อัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 11 ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder เพื่อผสมให้ของผสมเกิดการกระจายตัวเข้าหากันภายใต้ความร้อนและแรงกดดัน โดยของผสมจะถูกอัดรีดผ่านหัวขึ้นรูปแบบกลม (circular die) ออกเป็นเส้น extrudate และทำการดึงเส้น extrudate

ด้วยเครื่องดิงที่สามารถควบคุมความเร็วได้ผ่านน้ำหล่อเย็นโดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส และคุณสมบัติของเส้น extrudate ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตรในทุกอัตราส่วน ความเร็วในการหมุนของสกรูเท่ากับ 30 รอบต่อนาทีโดยอุณหภูมิในแต่ละช่วงคือ 150/152/154/156/158/160/175/180 องศาเซลเซียส เรียงจากบริเวณใกล้ hopper มายังบริเวณหัวคาย จะได้เส้นหยาบเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

ตารางที่ 11 แสดงรหัสตัวอย่างและอัตราส่วนของผงไม้สนในส่วนที่ 2

Name code	HDPE (wt%)	EPDM (wt%)	Untreated wood (phr)	2.5 % silane treated wood (phr)	3.0 % silane treated wood (phr)
W1silane0	90	10	1	-	-
W2silane0	90	10	2	-	-
W3silane0	90	10	3	-	-
W1silane2.5	90	10	-	1	-
W2silane2.5	90	10	-	2	-
W3silane2.5	90	10	-	3	-
W1silane3.0	90	10	-	-	1
W2silane3.0	90	10	-	-	2
W3silane3.0	90	10	-	-	3

3.3.2.2.6 นำเส้นหวายเทียมที่ได้ไปตัดเป็นชิ้นงานเพื่อทดสอบผลของสารเคมีในครัวเรือนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล โดยเริ่มจากนำเส้นหวายเทียม มาตัดให้มีมีความยาว 20 cm แล้วนำไปอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บตัวอย่างใน Desiccator ที่มีสารดูดความชื้น นำตัวอย่างไปแช่น้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียดสูง จากนั้นนำตัวอย่างที่แห้งไปจุ่มในน้ำยาล้างจานและผงซักฟอก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 2 wt% จากนั้นนำตัวอย่างแช่น้ำส่วนเกินออกด้วยผ้านุ่มแล้วทดสอบสมบัติเชิงกลทันที ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM-D2256 ด้วยเครื่อง Universal testing machine (ใช้ขนาดของชิ้นงานและสภาวะการทดสอบเช่นเดียวกับในข้อ 3.3.1.4) และทำการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) รวมถึงทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1 ทุกประการ



ภาพที่ 25 แสดงตัวอย่างของชิ้นงาน โดย (a) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงยืด (b) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำและ (c) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบความหนาแน่น

3.3.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและอิทธิพลของสารประสานกาวของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

3.3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.3.1.1 อบผงไม้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้เหลือความชื้นในผงไม้ไม่เกิน 3% โดยน้ำหนัก โดยชั่งน้ำหนักของผงไม้ก่อนและหลังอบเพื่อเป็นการติดตามความชื้นของผงไม้ จากนั้นนำไปเก็บไว้ในภาชนะปิดภายใต้สารดูดความชื้น

3.3.3.1.2 ทำการปรับสภาพผิวของผงไม้ด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane (APS) ที่ความเข้มข้น 4.0 และ 6.0 wt% (เทียบกับน้ำหนักของผงไม้) [21] โดยเริ่มจากสารละลายอะซิโตนต่อน้ำ 95/5 v/v ในกะละมังขนาดใหญ่ปริมาณ 8 ลิตร จากนั้นหยด APS ตามความเข้มข้นที่กำหนดลงในอะซิโตนที่เตรียมไว้อย่างช้าๆ พร้อมกับกวนตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้เกิดการหมู่ไฮลันอล จากนั้นเติมผงไม้จำนวน 400 กรัมลงไปคนเล็กน้อยเพื่อให้ผงไม้จมอย่างทั่วถึง แช่ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง จากนั้นเทผงไม้ใส่ถาดอะลูมิเนียม อบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและนำผงไม้ที่ได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

3.3.3.1.3 ผสมเม็ด PLA กับ PBAT ที่อัตราส่วน 70/30 wt% นำไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเม็ด PLA กับ PBAT ที่อบแล้วไปผสมกับผงไม้สนทั้งที่ปรับและไม่ปรับสภาพผิว ที่อัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 12 ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder เพื่อผสมให้ของผสมเกิดการกระจายตัวเข้าหากันภายใต้ความร้อนและแรงเค้นเฉือน โดยของผสมจะถูกอัดรีดผ่านหัวขึ้นรูปแบบกลม (circular die) ออกเป็นเส้นทรงกระบอก (extrudate) และทำการดึงเส้น extrudate ด้วยเครื่องดึงที่สามารถควบคุมความเร็วได้ผ่านน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิห้อง และควบคุมขนาดของเส้น extrudate ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตร ในทุกอัตราส่วน ความเร็วในการหมุนของสกรูเท่ากับ 50 รอบต่อนาทีโดยอุณหภูมิในแต่ละช่วงคือ 140/145/150/155/160/165/170/180 องศาเซลเซียส เรียงจากบริเวณใกล้ hopper มายังบริเวณหัวดาย จะได้เส้นหยาบเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ ตารางที่ 12 แสดงรหัสตัวอย่างและอัตราส่วนของผงไม้สนในส่วนที่ 3

Code	PLA (wt%)	PBAT (wt%)	Untreated wood (phr)	4.0 % silane treated wood (phr)	6.0 % silane treated wood (phr)
PLA70	70	30	-	-	-
PLA70W3	70	30	3	-	-

PLA70W5	70	30	5	-	-
PLA70W7	70	30	7	-	-
PLA70W3_4	70	30	-	3	-
PLA70W5_4	70	30	-	5	-
PLA70W7_4	70	30	-	7	-
PLA70W3_6	70	30	-	-	3
PLA70W5_6	70	30	-	-	5
PLA70W7_6	70	30	-	-	7

3.3.3.1.4 นำเส้นหาวเทียมที่ได้ไปตัดเป็นชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติ
ด้านต่าง ๆ โดยการทดสอบนี้ทำเช่นเดียวกับการทดสอบในข้อ 3.3.2.2.6

3.3.4 ศึกษาผลของสารช่วยฟูที่มีต่อสมบัติของเส้นหาวเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์
จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทาง
ธรรมชาติ

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและอิทธิพลของสารประสานคู่ควบของเส้นหาว
เทียมที่ได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและพอลิ
เมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ ในส่วนที่ 3.3.2 และ 3.3.3 ตามลำดับ โดยวิเคราะห์จาก
ผลทางด้านโครงสร้างพื้นฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน โดยจากผล
การทดสอบในส่วนที่ 3.3.2 พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างHDPE กับยาง EPDM คือ 90/10
wt% เมื่อเติมผงไม้อัดที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxysilane (VTES) ที่ความเข้มข้น 2.5
wt% (เทียบกับน้ำหนักของผงไม้อัด) ปริมาณ 2 phr จะให้สีใกล้เคียงกับเส้นหาวธรรมชาติและมี
สมบัติเชิงกลที่ดี และจากการทดสอบในส่วนที่ 3.3.3 พบว่าเมื่อเติมผงไม้อัดที่ผ่านการปรับสภาพผิว

ด้วย 3-Aminopropyltriethoxysilane (APS) ที่ความเข้มข้น 6.0 wt% (เทียบกับน้ำหนักของผงไม้) ปริมาณ 5 phr จะให้สีใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติและมีสมบัติเชิงกลที่ดี

3.3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.4.1.1 เลือกอัตราส่วนที่ได้เส้นหวายเทียมที่มีสีใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติและมีสมบัติเชิงกลที่ดี (จากส่วนที่ 2) นำไปผสมกับ CFA (Azodicarbonamide) ที่อัตราส่วนต่างๆ เท่ากับ 0.5 , 1.0 , 1.5 และ 2.0 phr ดังแสดงไว้ในตารางที่ 13 ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder สภาวะในการขึ้นรูปเส้นหวายเทียมใช้วิธีเดียวกับในส่วนที่ 2 จะได้เส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน

ตารางที่ 13 แสดงรหัสตัวอย่าง(อัตราส่วนที่เหมาะสมจากส่วนที่ 2)ผสมกับ CFA ที่ปริมาณต่าง ๆ

Code	HDPE (wt%)	EPDM (wt%)	Silane-treated wood (phr)	CFA (phr)
HDsilane0	90	10	-	-
HDsilane2.5	90	10	optimized	0.0
HDsilane2.5_F0.5	90	10	optimized	0.5
HDsilane2.5_F1.0	90	10	optimized	1.0
HDsilane2.5_F1.5	90	10	optimized	1.5
HDsilane2.5_F2.0	90	10	optimized	2.0

3.3.4.1.2 เลือกอัตราส่วนที่ได้เส้นหวายเทียมที่มีสีใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติและมีสมบัติเชิงกลที่ดี (จากส่วนที่ 3) นำไปผสมกับ CFA (Azodicarbonamide) ที่อัตราส่วนต่างๆ เท่ากับ 0.5 , 1.0 , 1.5 และ 2.0 phr ดังแสดงไว้ในตารางที่ 14 ด้วยเครื่อง Twin-screw extruder โดยของผสมจะถูกอัดรีดผ่านหัวขึ้นรูปแบบกลม (circular die) ออกเป็นเส้น

ทรงกระบอก (extruder) และทำการดึงเส้น extrude ด้วยเครื่องดึงที่สามารถควบคุมความเร็วได้ ผ่านน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิห้อง และควบคุมขนาดของเส้น extrude ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตร ในทุกอัตราส่วน ความเร็วในการหมุนของสกรูเท่ากับ 50 รอบต่อนาทีโดยอุณหภูมิในแต่ละช่วงคือ 140/145/150/155/155/155/160/160 องศาเซลเซียส เรียงจากบริเวณใกล้ hopper มายังบริเวณหัวดาย จะได้เส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน

ตารางที่ 14 แสดงรหัสตัวอย่าง(อัตราส่วนที่เหมาะสมจากส่วนที่ 3)ผสมกับ CFA ที่ปริมาณต่าง ๆ

Name code	PLA (wt%)	PBAT (wt%)	Silane-treated wood (phr)	CFA (phr)
PLA70W	70	30	-	-
PLA70WO	70	30	optimized	0.0
PLA70WO_0.5	70	30	optimized	0.5
PLA70WO_1.0	70	30	optimized	1.0
PLA70WO_1.5	70	30	optimized	1.5
PLA70WO_2.0	70	30	optimized	2.0

3.3.4.2 นำเส้นหวายเทียมที่ได้จากข้อ 3.3.4.1.1 และ 3.3.4.1.2 ไปตัดเป็นชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ โดยการทดสอบนี้ทำเช่นเดียวกับการทดสอบในข้อ 3.3.2.2.6

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและวิเคราะห์อิทธิพลของสารประสานก่อกวนของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

4.1.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนของสาร foaming agent

การวิเคราะห์อุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนของสาร Chemical foaming agent (CFA) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แก่ Azodicarbonamide (AZD) ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Thermal Gravimetric Analysis (TGA) ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน (Nitrogen) ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคือ 50 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส อัตราในการให้ความร้อนเท่ากับ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยผลที่ได้จากการทดสอบแสดงรายละเอียดในตารางที่ 15

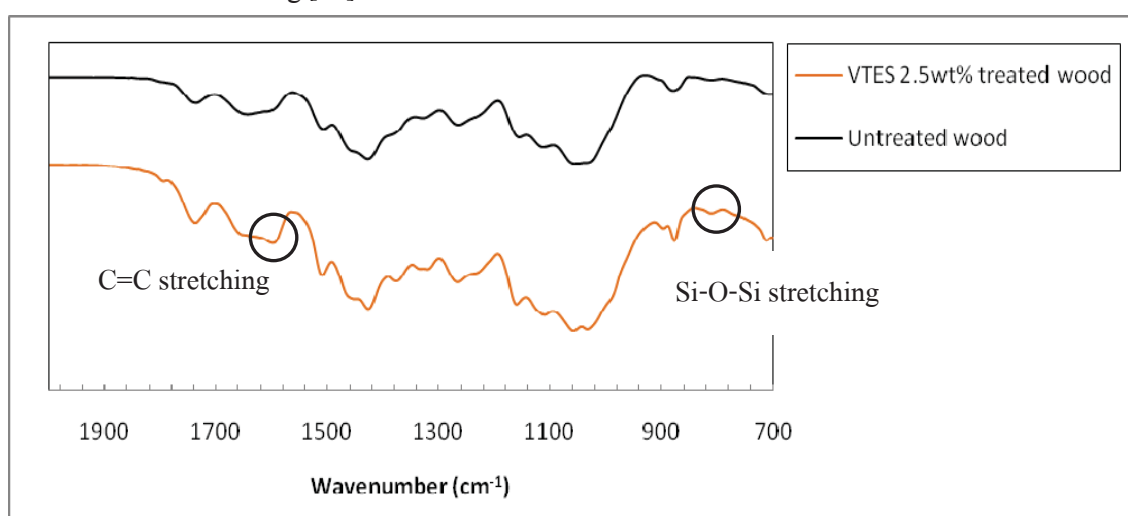
ตารางที่ 15 แสดงรายละเอียดผลจากการวิเคราะห์ Azodicarbonamide โดยเทคนิค TGA

	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4
อุณหภูมิ (°C)	169.10	249.56	332.43	463.65
ปริมาณการสลายตัว (%)	20.06	20.38	14.64	38.74

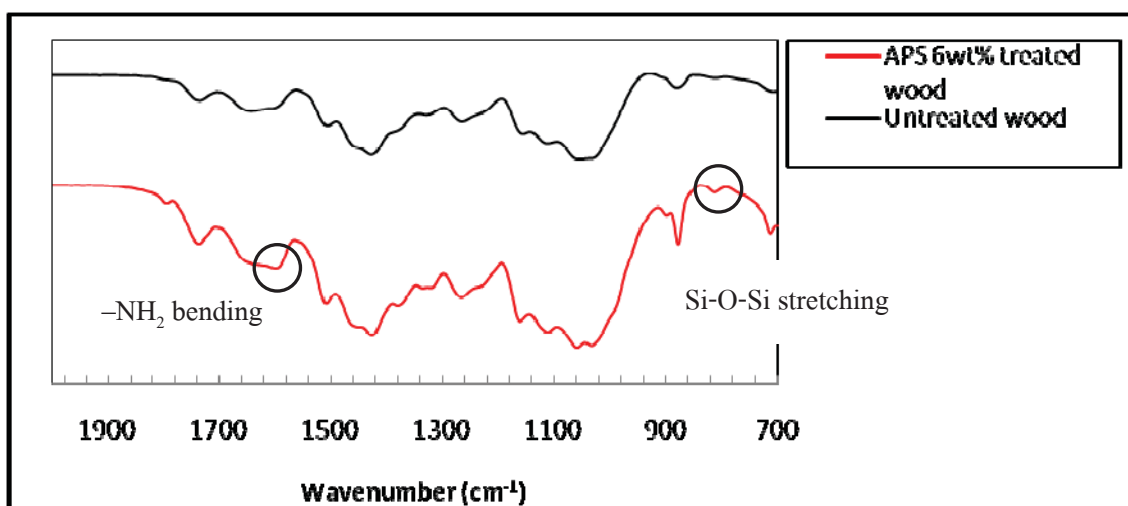
จากตารางที่ 15 พบว่า Azodicarbonamide ซึ่งใช้เป็นสาร Chemical foaming agent ในงานวิจัยครั้งนี้ มีการสลายตัวทางความร้อนแบ่งออกเป็น 4 ช่วง โดยการสลายตัวในช่วงแรกที่อุณหภูมิ 169.10 องศาเซลเซียส ปริมาณการสลายตัว 20.06 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารทั้งหมด ช่วงที่สองสลายตัวที่อุณหภูมิ 249.56 องศาเซลเซียส ปริมาณการสลายตัว 20.38 เปอร์เซ็นต์ ช่วงที่สามสลายตัวที่อุณหภูมิ 332.43 องศาเซลเซียส ปริมาณการสลายตัว 14.64 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่สี่สลายตัวที่อุณหภูมิ 463.65 องศาเซลเซียส ปริมาณการสลายตัว 38.74 เปอร์เซ็นต์ จากผลการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนสามารถสรุปได้ว่า Azodicarbonamide จะมีการสลายตัวทางความร้อนและปลดปล่อยก๊าซ ที่อุณหภูมิประมาณ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งจากช่วงอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนนี้ ทำให้สามารถทราบถึงอุณหภูมิที่จะทำการผสมและขึ้นรูปเส้นหวายเทียมต่อไป

4.1.2 ผลการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานคั่วบไซเลน

จากการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารประสานคั่วบไซเลน พบว่า ผงไม้สนมีหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไป โดยผงไม้สนที่ปรับปรุงผิวด้วย vinyltriethoxy silane (VTES) พบพีกที่ $1,610\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีกของ C=C stretching และพีกที่ 835 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของ Si-O-Si stretching ตามลำดับ ส่วนผงไม้สนที่ปรับปรุงผิวด้วย (3-Aminopropyl) triethoxy silane (APS) พบพีกเกิดขึ้นที่ $1,610\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีกของ -NH_2 bending และพีกที่ 835 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของ Si-O-Si stretching [22] ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 26 และ 27



ภาพที่ 26 แสดงพีก FTIR ของผงไม้สนทั้งที่ปรับและไม่ปรับปรุงผิวด้วย vinyltriethoxy silane

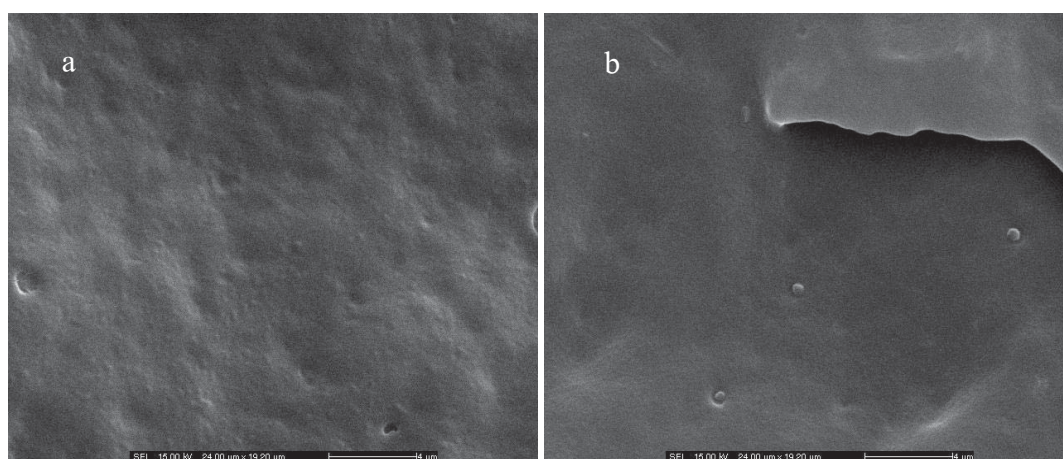


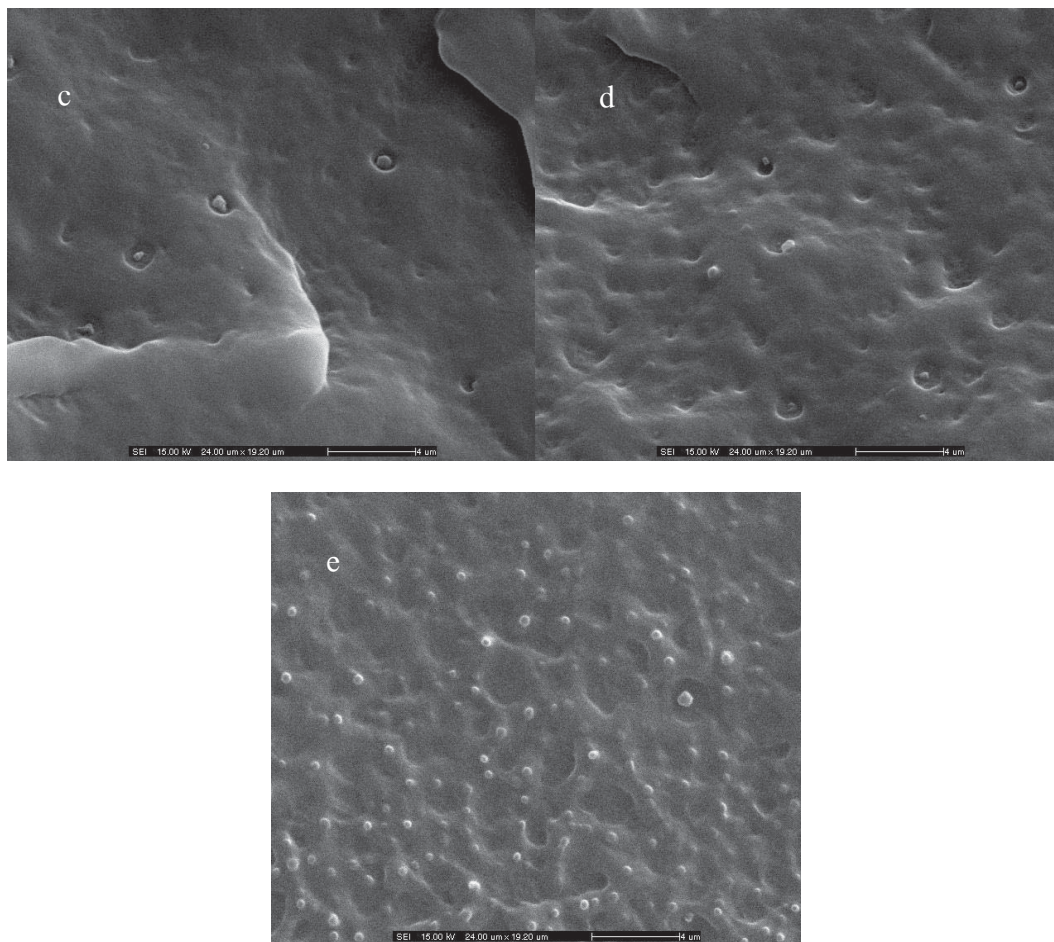
ภาพที่ 27 แสดงพีก FTIR ของผงไม้สนทั้งที่ปรับและไม่ปรับปรุงผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane

4.1.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาโดยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

สำหรับการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและวิเคราะห์อิทธิพลของสารประสานคู่ควบของเส้นหาวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจะแบ่งผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาออกเป็น 3 ส่วนโดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเส้น extrudate ที่มีการผสมยาง EPDM ที่ปริมาณต่าง ๆ ส่วนที่ 2 จะเป็นผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเส้นหาวายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ และส่วนที่ 3 จะเป็นผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเส้นหาวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟู (Chemical foaming agent) ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยเส้น extrudate ทั้งหมดได้มาจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องTwin screw extruder จากนั้นนำไปแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) แล้วหัก หลังจากนั้นนำชิ้นงานบริเวณที่มีรอยแตกไปเคลือบด้วยทอง ก่อนที่จะนำไปทดสอบโดยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ซึ่งลักษณะภาพตัดขวางของเส้น Extrudate ที่ส่วนผสมต่างๆทั้ง 3 ส่วนจะแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.1.3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเส้น Extrudate ที่การผสมยาง EPDM ที่ปริมาณต่าง ๆ





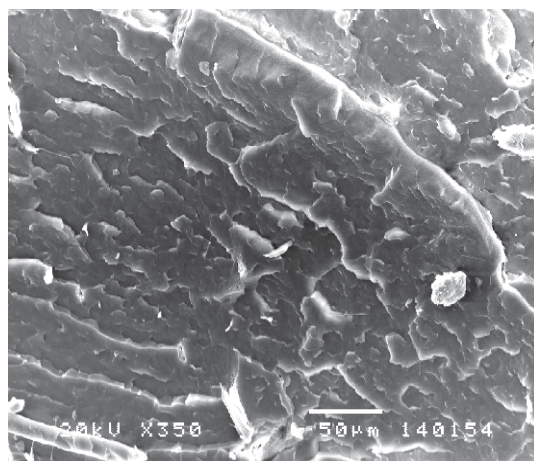
ภาพที่ 28 แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมดังนี้

HDPE pure (a) , HDPE/EPDM ; 90/10 (b) , 80/20 (c) , 70/30 (d) และ 60/40 (e)

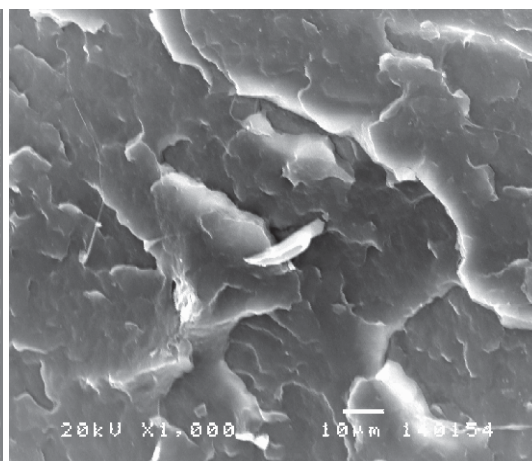
ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

จากภาพ SEM พบว่าการผสมระหว่างยาง EPDM กับ HDPE ด้วยเครื่อง Twin screw extruder เกิดการแยกเฟส แต่ยาง EPDM สามารถกระจายตัวได้ดี ไม่พบการรวมกันเป็น continuous phase ของเฟส EPDM ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงปริมาณของยาง EPDM ที่เพิ่มขึ้นจะสังเกตเห็นเฟสของยาง EPDM ที่กระจายอยู่ใน HDPE ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และขนาดอนุภาคของยาง EPDM จะมีขนาดที่เล็กกระจายตัวอยู่ใน HDPE ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผสมระหว่างยาง EPDM กับ HDPE จะทำการผสม 2 รอบ โดยรอบแรกจะทำการผสมและตัดเป็นเม็ดเล็ก ๆ ในแต่ละสูตรการผสม จากนั้นจึงนำเม็ดแต่ละสูตรการผสมมาอัดรีดให้มีลักษณะเป็นเส้นทรงกระบอก (extrudate) ซึ่งกระบวนการผสม 2 รอบนี้ทำให้ยาง EPDM ถูกแรงเฉือนจากสกรู ส่งผลให้ยาง EPDM มีขนาดเล็กลงนั่นเอง

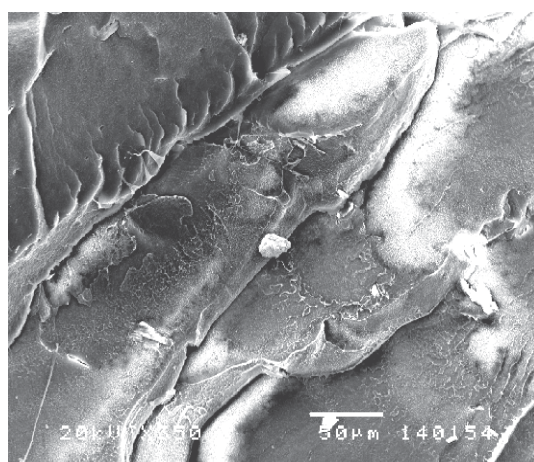
4.1.3.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเส้นหวายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane



(a)



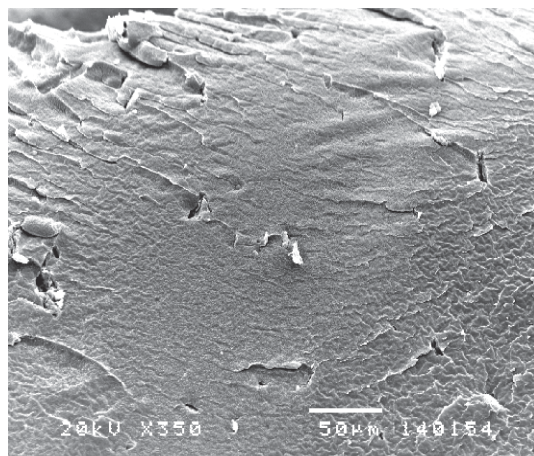
(b)



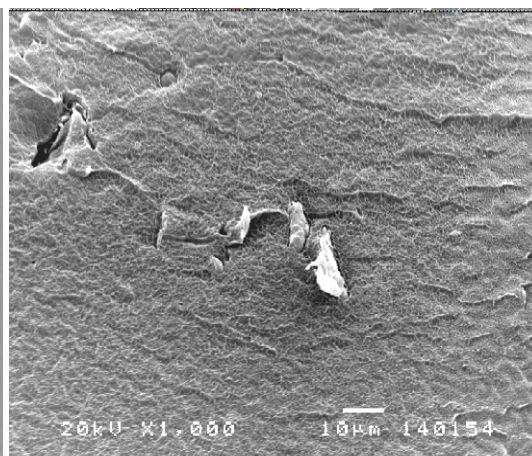
(c)



(d)

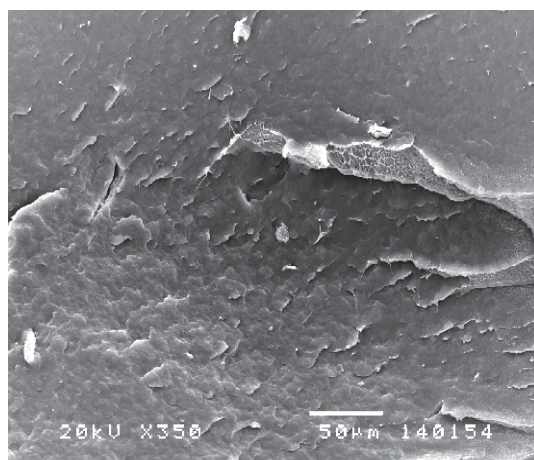


(e)

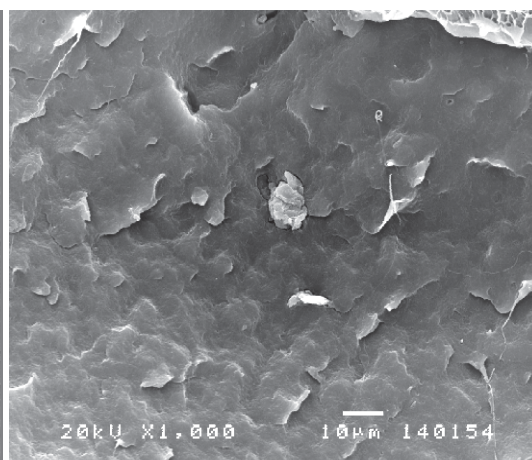


(f)

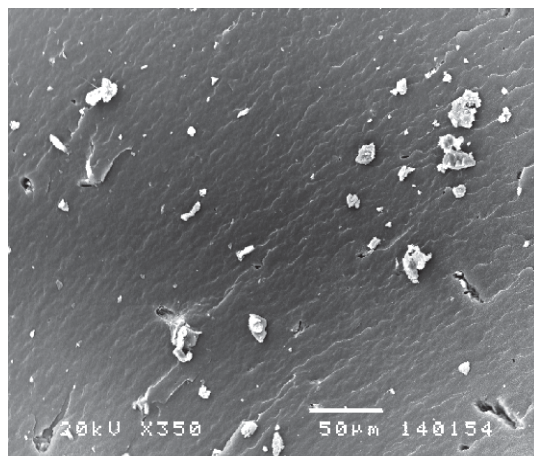
ภาพที่ 29 แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหอยเทียมที่มีการผสมผงไม้นานที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณของผงไม้ 1(a,b), 2 (c,d) และ 3 phr (e,f) ที่กำลังขยาย 350 เท่า(ซ้าย) และ 1,000 เท่า (ขวา)



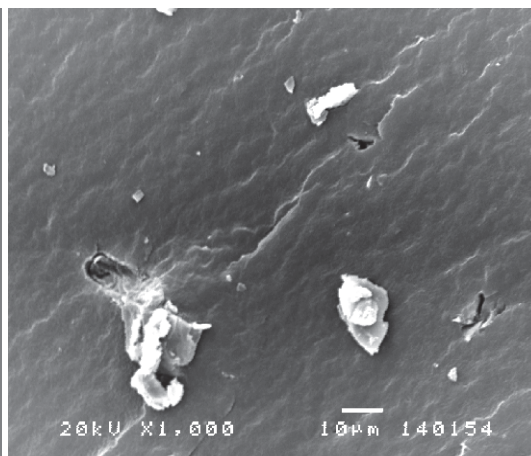
(g)



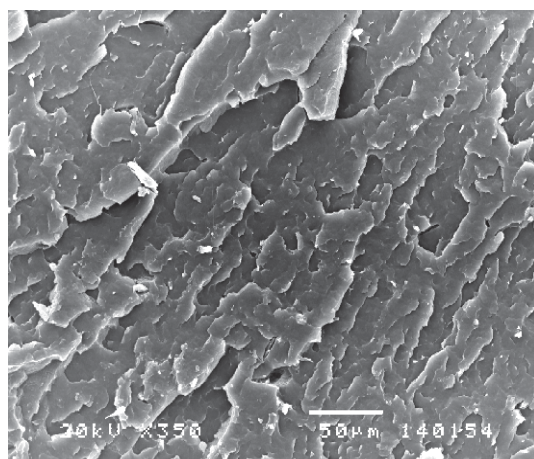
(h)



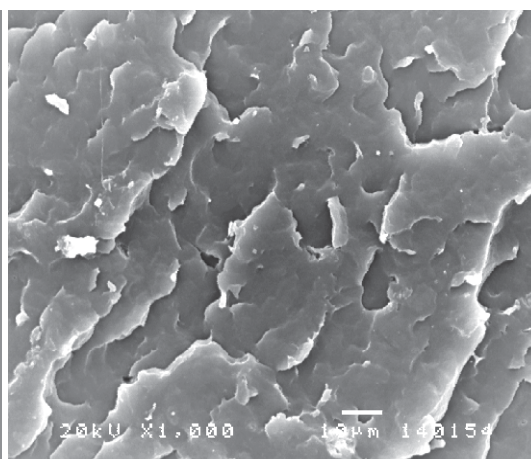
(i)



(j)

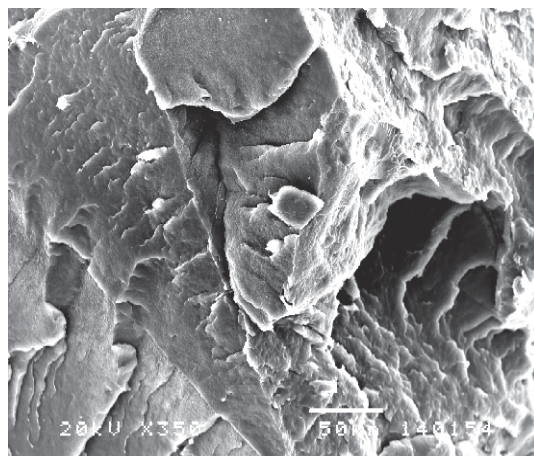


(k)

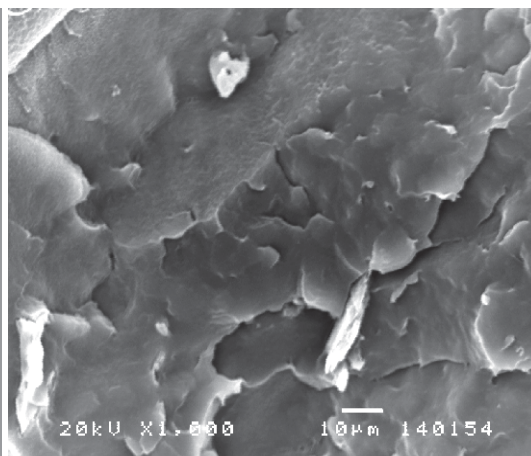


(l)

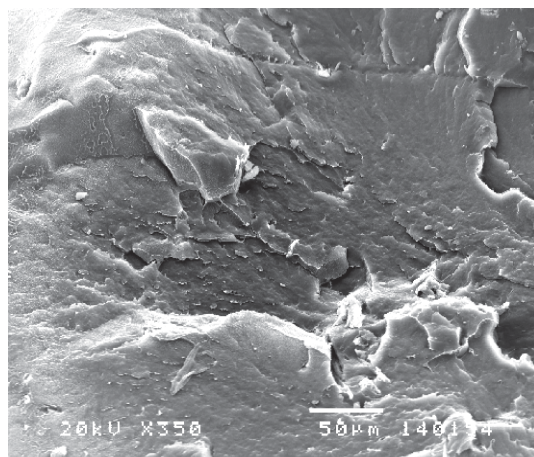
ภาพที่ 30 แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหอยเทียมที่มีการผสมผงไม้สน ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ความเข้มข้น 2.5wt% ที่ปริมาณของผงไม้ 1(g,h), 2 (i,j) และ 3 phr (k,l) ที่กำลังขยาย 350 เท่า(ซ้าย) และ 1,000 เท่า (ขวา)



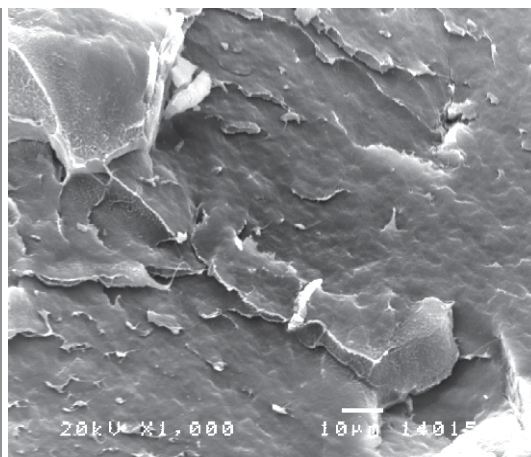
(m)



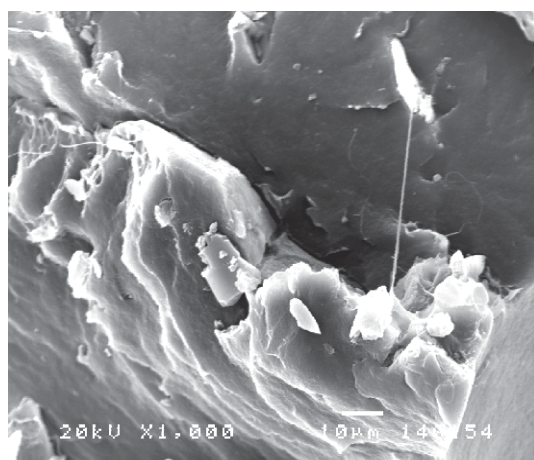
(n)



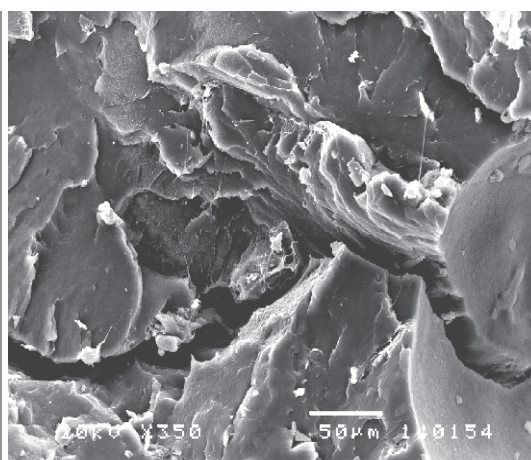
(o)



(p)



(q)



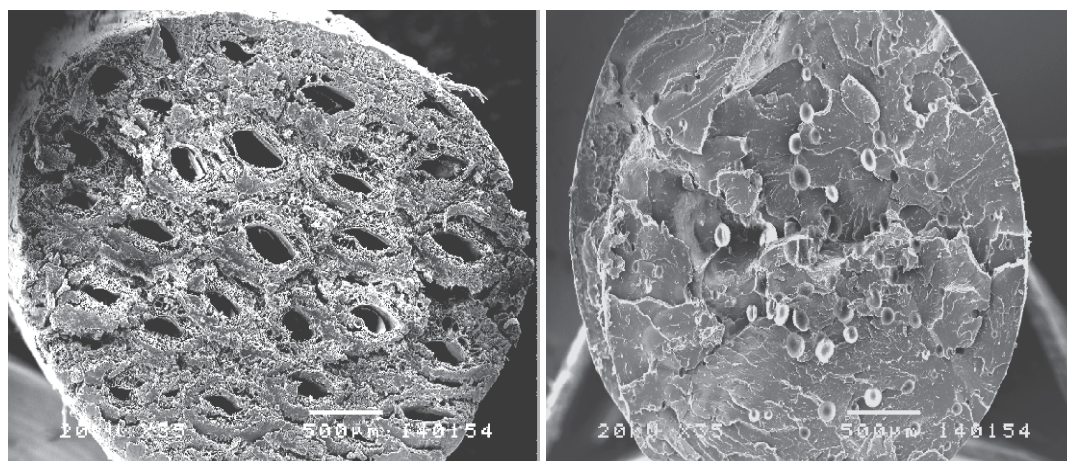
(r)

ภาพที่ 31 แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหอยเทียมที่มีการผสมผงไม้สน ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ความเข้มข้น 3.0 wt% ที่ปริมาณของผงไม้ 1(m,n),

2 (o,p) และ 3 phr (q,r) ที่กำลังขยาย 350 เท่า(ซ้าย) และ 1,000 เท่า (ขวา)

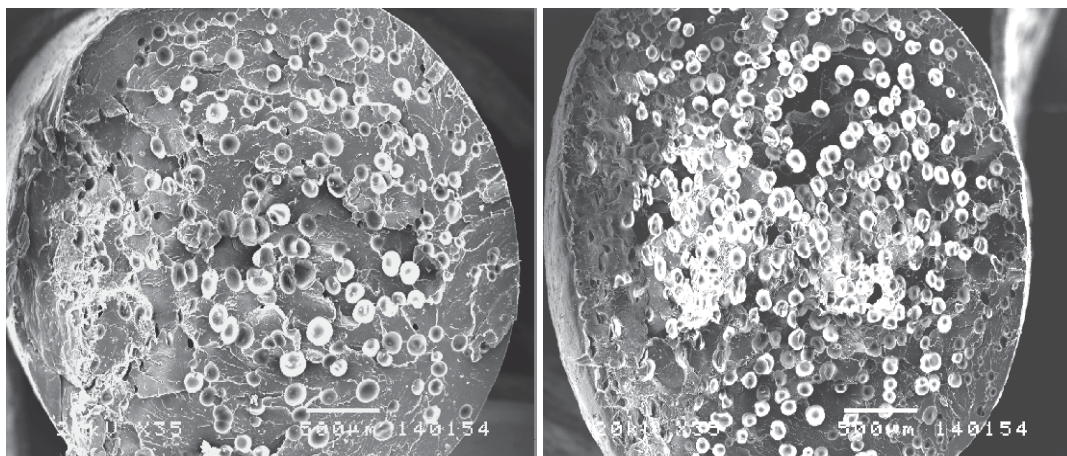
เมื่อวิเคราะห์ผิวหน้าที่แตกหักของชิ้นงานที่เติมผงไม้สนที่ผ่านการปรับและไม่ปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane พบว่าชิ้นงานที่เติมผงไม้สนที่ผ่านการปรับและไม่ปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane มีลักษณะไม่ค่อยแตกต่างกันเนื่องจากปริมาณของผงไม้สนที่เติมลงไปมีปริมาณน้อยทำให้สังเกตการกระจายตัวของผงไม้รวมถึงความเข้ากันได้ระหว่างผงไม้สนกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ยากแต่ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างภาพ (f) กับภาพ (l) จะสามารถสังเกตเห็นถึงผลของการใส่สารประสานคู่ควบ ซึ่งพบว่าชิ้นงานที่เติมผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane (ภาพ l) จะมีความเข้ากันได้ดีกับเฟสของ HDPE มากกว่าชิ้นงานที่เติมผงไม้สนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane (ภาพ f) โดยภาพ (f) จะสังเกตเห็นช่องว่างระหว่างเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้สนได้อย่างชัดเจน ซึ่งช่องว่างระหว่างเฟสที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นจุดรวมแรงของชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงลดลง

4.1.3.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเส้นหอยเทียมที่มีการสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



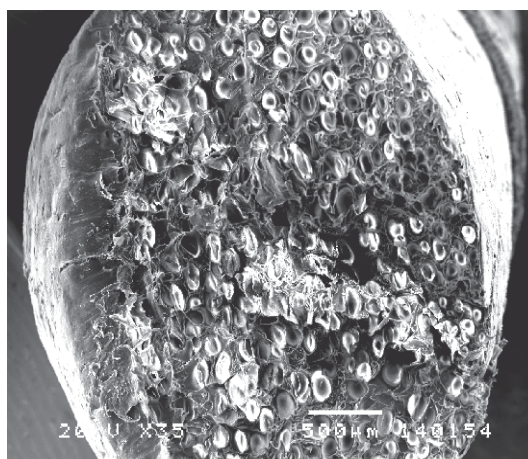
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

ภาพที่ 32 แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหวายธรรมชาติ (a) และเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณ 0.5(b), 1.0 (c), 1.5 (d) และ 2.0 (e) phr ที่กำลังขยาย 35 เท่า

เมื่อวิเคราะห์ผิวหน้าที่แตกหักของชิ้นงานที่เติมสารช่วยฟู(Azodicarbonamide) พบว่าชิ้นงานที่เติมAzodicarbonamide มีการเกิดเซลล์โฟมขึ้น เนื่องจาก Azodicarbonamide ที่เติมลงในวัสดุคอมพอสิตเกิดการแตกตัวและละลายอยู่ในพอลิเมอร์ที่หลอมเหลวภายในกระบอกลอม (barrel)ที่มีความดันสูง และยังคงสภาพอยู่จนกระทั่งพอลิเมอร์หลอมเหลวออกจากหัวดาย ความดันจะมีค่าลดลง แก๊สที่เกิดจากการแตกตัวของ Azodicarbonamide ก็จะเริ่มรวมตัวกันเกิดเป็นเซลล์โฟมกระจายตัวไปในชิ้นงานของวัสดุ ซึ่งปริมาณของเซลล์โฟมจะขึ้นอยู่กับปริมาณของ Azodicarbonamideที่เติมลงไป กล่าวคือที่ปริมาณของ Azodicarbonamide 0.5-1.0 phr (ภาพ b และ

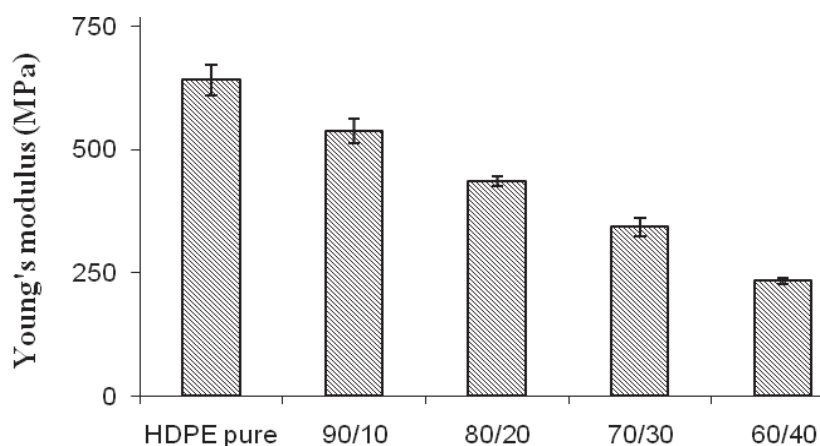
c) จะเห็นว่า Azodicarbonamide ที่ปริมาณ 1.0 phr จะมีเซลล์โฟมเกิดขึ้นมากกว่าที่ปริมาณ 0.5 phr แต่เซลล์โฟมที่เกิดขึ้นจากทั้ง 2 ปริมาณนั้นมีลักษณะเป็นเซลล์ปิด และถ้าเพิ่มปริมาณของ Azodicarbonamide เป็น 1.5-2.0 phr (ภาพ d และ e) จะเห็นว่าชิ้นงานเกิดเซลล์โฟมมากขึ้นตามปริมาณของ Azodicarbonamide ที่เพิ่มขึ้น และผนังเซลล์โฟมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเชื่อมกันเป็นเซลล์เปิดเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งถ้าสังเกตจากภาพ e จะเห็นว่าเซลล์โฟมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเซลล์เปิดและเกิดการฉีกขาดที่ผิวของชิ้นงานซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้ทราบถึงขีดจำกัดในการเติม Azodicarbonamide ว่าไม่ควรเติมมากเกินไปกว่าปริมาณ 2.0 phr ดังปรากฏในงานวิจัยของ Laurent M. Matuana และคณะ [23]

เมื่อวิเคราะห์ผิวหน้าที่แตกหักของเส้นหยาขธรรมชาติ(ภาพ a) พบว่าเส้นหยาขธรรมชาติมีท่อน้ำ(Xylem) ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติเป็นแนวยาวตลอดทั้งเส้นของเส้นหยาขซึ่งจะส่งผลให้เส้นหยาขธรรมชาติน้ำหนักที่เบาโดยตัวของมันเอง และถ้าน้ำหนักเส้นหยาขเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ในมาเปรียบเทียบกับเส้นหยาขธรรมชาติพบว่าเส้นหยาขเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ในมีน้ำหนักที่สูงกว่าเส้นหยาขธรรมชาติแม้ว่าจะมีโครงสร้างเป็นรูพรุนอยู่ในก็ตาม

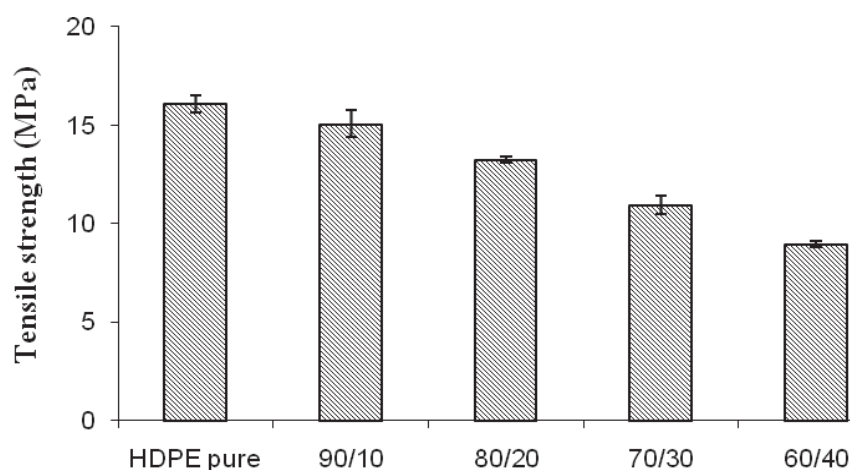
4.1.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบการดึงยืด (Tensile Property) ของเส้นหยาขเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง(Tensile test) ตามมาตรฐาน ASTM D-2256 โดยใช้ความเร็วของหัวจับชิ้นงาน 50 มิลลิเมตรต่อนาที Load cell ที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 50 กิโลนิวตัน ระยะห่างของหัวจับชิ้นงานเท่ากับ 10 เซนติเมตร ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลการทดสอบการดึงยืดของเส้น extrudate ที่มีการผสมยาง EPDM ที่ปริมาณต่าง ๆ ส่วนที่ 2 จะเป็นผลการทดสอบการดึงยืดของเส้น extrudate ที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ และส่วนที่ 3 จะเป็นผลการทดสอบการดึงยืดของเส้น extrudate ที่มีการผสมสารช่วยฟู (Chemical foaming agent) ที่ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งผลการทดสอบชนิดต่างๆ นั้นจะแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.1.4.1 ผลการทดสอบการดึงยืดของเส้น extrudate ที่มีการผสมยาง EPDM ที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับปริมาณยาง EPDM ที่ปริมาณต่าง ๆ ที่เติมลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง



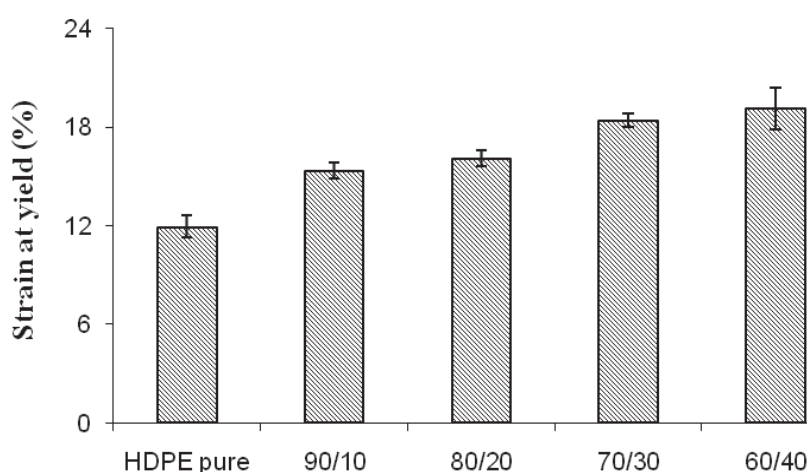
ภาพที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับปริมาณยาง EPDM ที่ปริมาณต่าง ๆ ที่เติมลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

ค่ามอดุลัสของยังก์ (Young's modulus) คือค่าความชันของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในช่วงที่มีความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเส้นตรง ก่อนถึงจุดคราก (yield point) ของชิ้นงาน ในช่วงก่อนถึงจุดคราก ชิ้นงานจะมีสมบัติเป็น linear elasticity คือเมื่อทำการดึงชิ้นงานแล้วนำแรงออก ชิ้นงานจะสามารถกลับสู่ขนาดเดิมก่อนการดึงได้ โดยสามารถคำนวณค่าความทนทานต่อการเสียรูปได้จากสมการ

$$\text{Young's modulus} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) คือ ค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตรหรือปาสกาล

จากภาพที่ 33 และ 34 พบว่าผลของปริมาณของยาง EPDM ส่งผลต่อค่า Young's modulus และค่า Tensile strength ของเส้นหวายเทียมมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันซึ่งกันและกัน กล่าวคือเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของยาง EPDM ลงไป HDPE จะทำให้ค่า Young's modulus และค่า Tensile strength มีค่าลดลง ดังปรากฏในงานวิจัยของ M. Arroyo และคณะ [17,27] สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความไม่เข้ากันระหว่างเฟสของ HDPE กับยาง EPDM ซึ่งถ้ายังเพิ่มปริมาณของยาง EPDM มากขึ้นก็จะส่งผลให้ค่า Young's modulus และค่า Tensile strength มีค่าลดลงตามปริมาณของยาง EPDM ที่เพิ่มขึ้น[17,27]



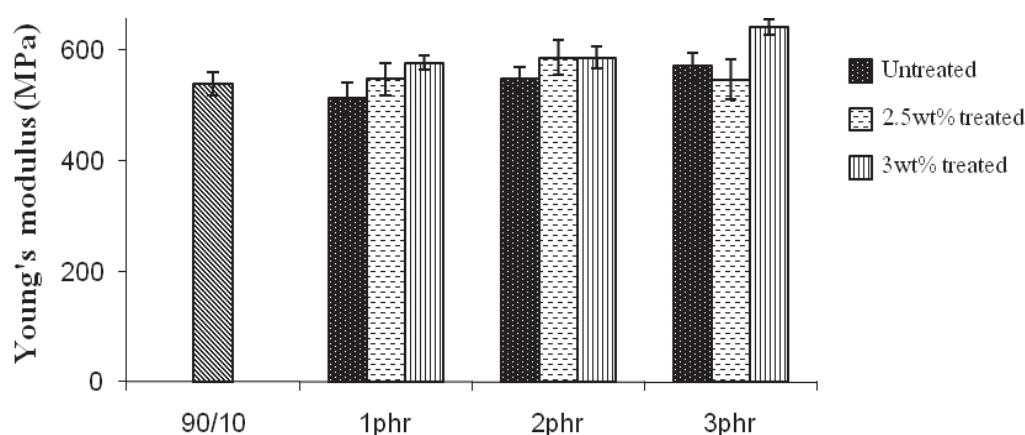
ภาพที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at yield(%) กับปริมาณยาง EPDM ที่ปริมาณต่าง ๆ ที่เติมลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

จากภาพที่ 35 พบว่าผลของปริมาณของยาง EPDM ส่งผลต่อค่า Percentage strain at yield ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผันตรงกัน กล่าวคือเมื่อมีปริมาณของยาง EPDM ที่ผสมลงไปมากขึ้น จะทำให้ค่า Strain at yield (%) ของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการมีอยู่ของเฟสของ EPDM กระจายอยู่ใน HDPE matrix เมื่อชิ้นงานได้รับแรงกระทำจะถ่ายโอนแรงบางส่วนจาก matrix ไปที่ยาง EPDM ซึ่งยาง EPDM เป็นเฟสที่มีความอ่อนนุ่ม มีความสามารถในการทนต่อการเสียรูปน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อเฟสของยาง EPDM ได้รับแรงจะสามารถยืดตัวออกได้มากกว่า จึงส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีค่า Strain at yield (%) สูงขึ้น[17]

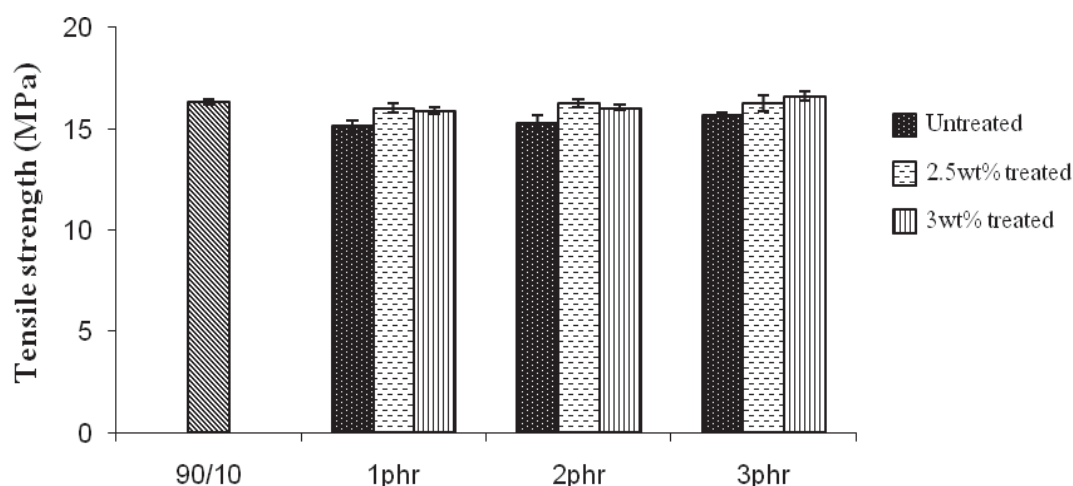
เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบ tensile test จึงสามารถกำหนดปริมาณของยาง EPDM ที่ปริมาณเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เหมาะสม เพราะที่ปริมาณดังกล่าวส่งผลให้ HDPE มีคุณสมบัติในการยืดตัวมากขึ้น แม้ว่าจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของ HDPE

ลดลงก็ตาม และสาเหตุอีกประการหนึ่งคือการมีเฟสของยาง EPDM อยู่มากขึ้นจะส่งผลต่อการเกิดเซลล์ โฟมในขั้นตอนถัดไป เนื่องจากยาง EPDM มีความความหนืดที่ค่อนข้างสูง ทำให้เซลล์โฟมเกิดได้ยากมากขึ้น

4.1.4.2 ผลการทดสอบการดึงยึดของเส้นหวายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ



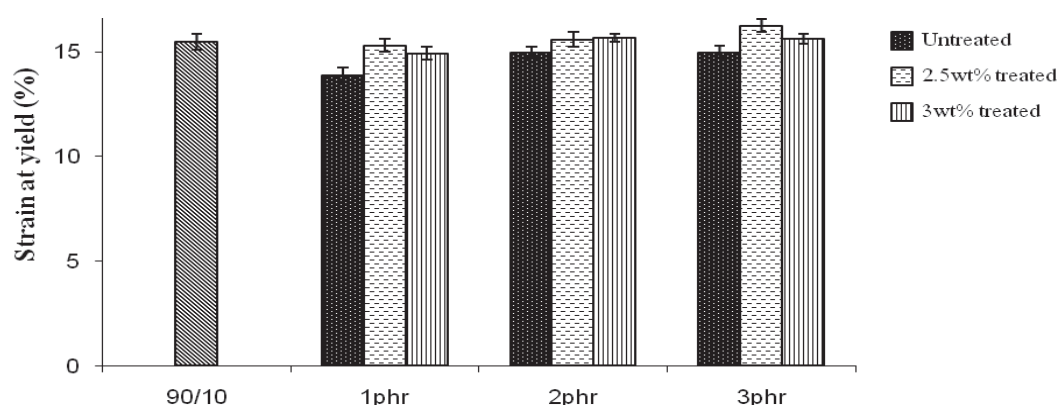
ภาพที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับปริมาณของผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile strength กับปริมาณของผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 36 และ 37 ผลของการใส่สารประสานคู่ควบ Vinyltriethoxy silane เพื่อช่วยประสานเฟสทั้งสองให้เข้ากันส่งผลต่อค่า Young's modulus และค่า Tensile strength โดยผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ผสม

ระหว่างHDPE กับยาง EPDM พบว่ามีค่า Young's modulus และค่า Tensile strength เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่เติมผงไม้สนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ซึ่งเหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้สนสามารถยึดเกาะกันได้ดีมากขึ้นและผงไม้สนสามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี(อ้างอิงจากภาพผลการทดสอบ SEM) ทำให้เมื่อชิ้นงานได้รับแรงกระทำจะสามารถถ่ายโอนแรงจากพอลิเมอร์เมทริกซ์ไปสู่เส้นใยได้ดี ส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น [18-19]



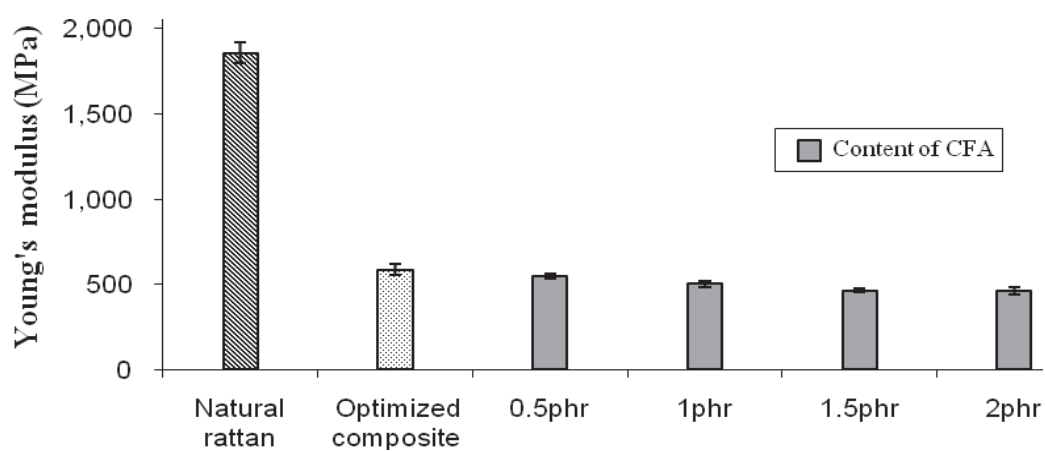
ภาพที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at yield (%) กับปริมาณ

ของผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

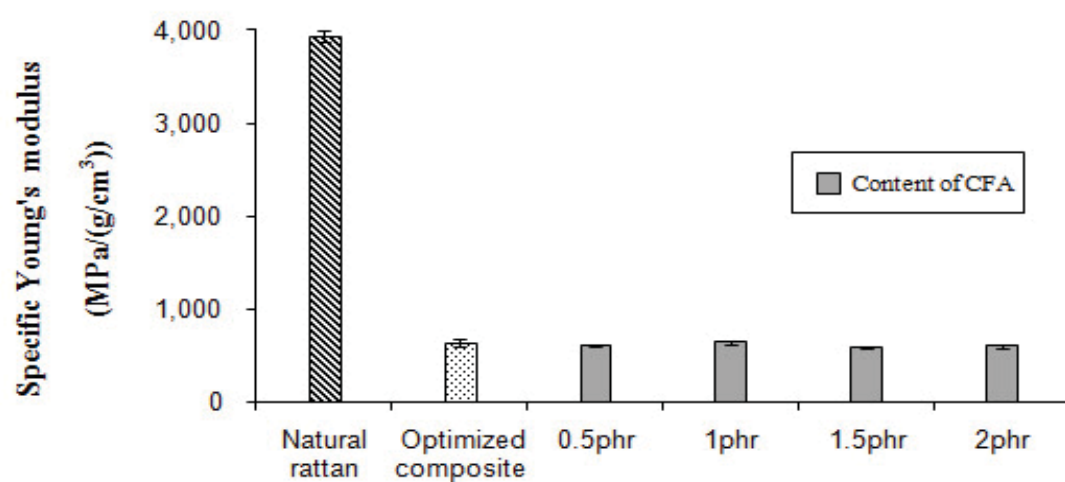
จากภาพที่ 38 พบว่าผลของการใส่สารประสานคู่ควบ Vinyltriethoxy silane เพื่อช่วยประสานเฟสทั้งสองให้เข้ากันส่งผลต่อค่า Strain at yield (%) โดยผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ผสมระหว่างHDPE กับยาง EPDM พบว่ามีค่า Strain at yield (%) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่เติมผงไม้สนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ซึ่งเหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้สนสามารถยึดเกาะกันได้ดีมากขึ้นส่งผลให้ช่องว่างระหว่างเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้สนที่เป็นจุดรวมแรงของชิ้นงานลดน้อยลง(อ้างอิงจากภาพผลการทดสอบ SEM) ชิ้นงานจึงสามารถยืดออกได้มากขึ้น[18-20]

4.1.4.3 ผลการทดสอบการดึงยึดของเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ

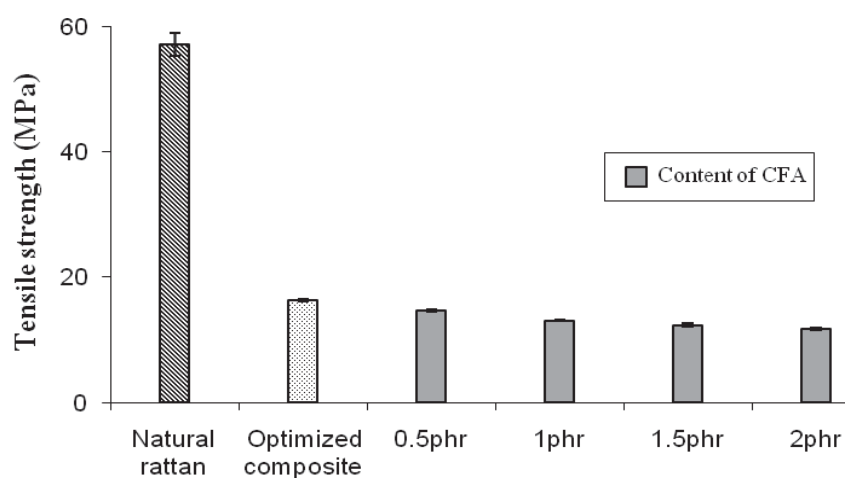
ๆ



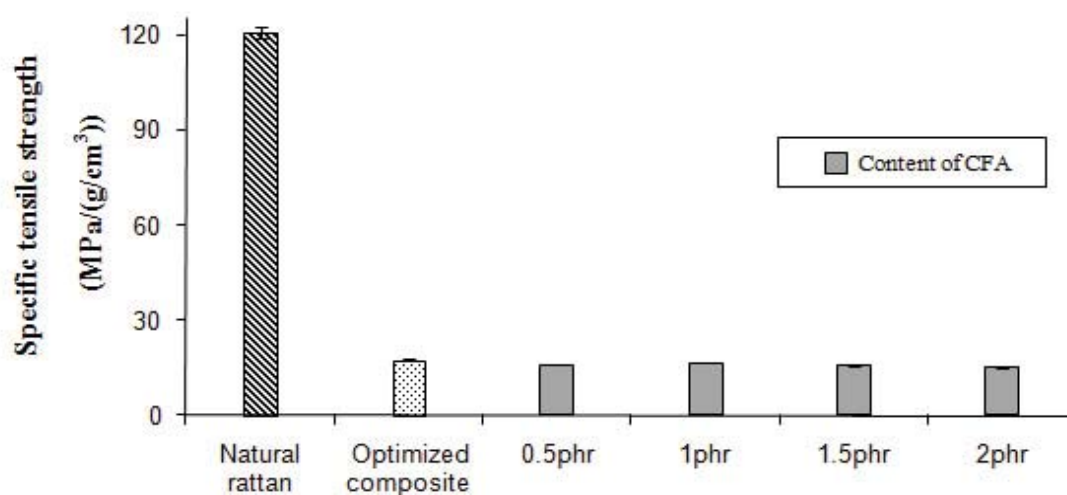
ภาพที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบค่า Young's modulus ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



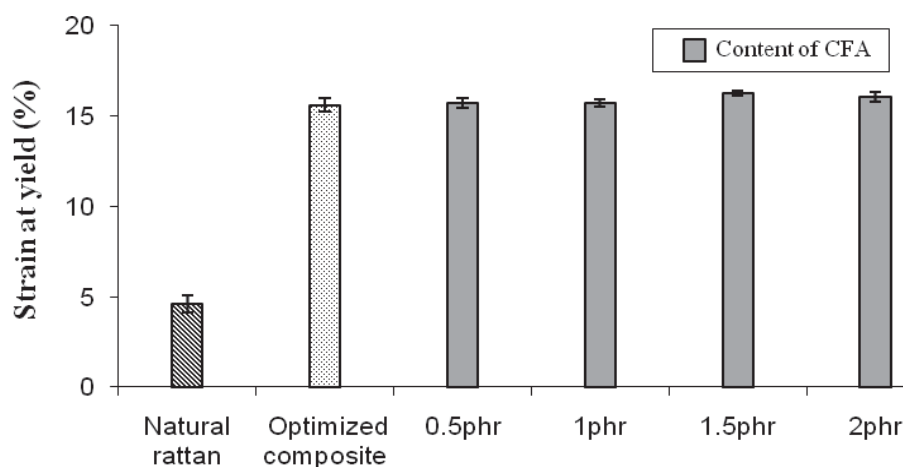
ภาพที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific Young's modulus ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



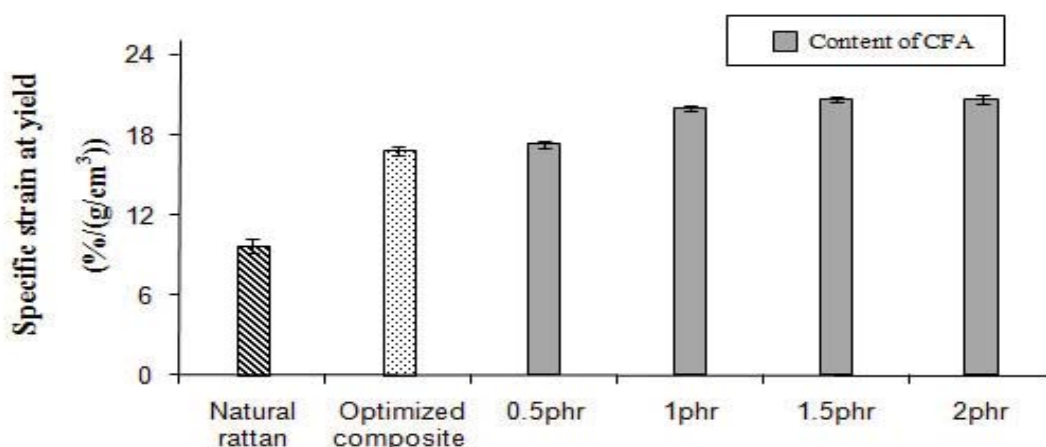
ภาพที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบค่า Tensile strength ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific tensile strength ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 43 แสดงการเปรียบเทียบค่า Strain at yield (%) ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 44 แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific strain at yield (%) ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 39 และ 41 พบว่าผลของปริมาณของสารช่วยฟู (Azodicarbonyl) ที่ปริมาณ 1.5-2.0 phr ส่งผลต่อค่า Young's modulus และค่า Tensile strength ของเส้นหวายเทียมมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ถ้าพิจารณาจากภาพที่ 40 และ 42 ซึ่งเป็นค่า Specific Young's modulus และ Specific tensile strength ตามลำดับ จะพบว่าผลของการเติมสารช่วยฟูไม่ได้ทำให้สมบัติของเนื้อวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลง สังเกตได้จากค่า Specific Young's modulus และ Specific tensile strength ที่คงที่เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู

สำหรับภาพที่ 43 พบว่าการเติมสารช่วยฟูปริมาณ 0.5-1.0 phr จะไม่ส่งผลต่อค่า Strain at yield (%) แต่ถ้าพิจารณาเส้นหวายเทียมที่เติมสารช่วยฟูปริมาณ 1.5-2.0 phr พบว่าค่า

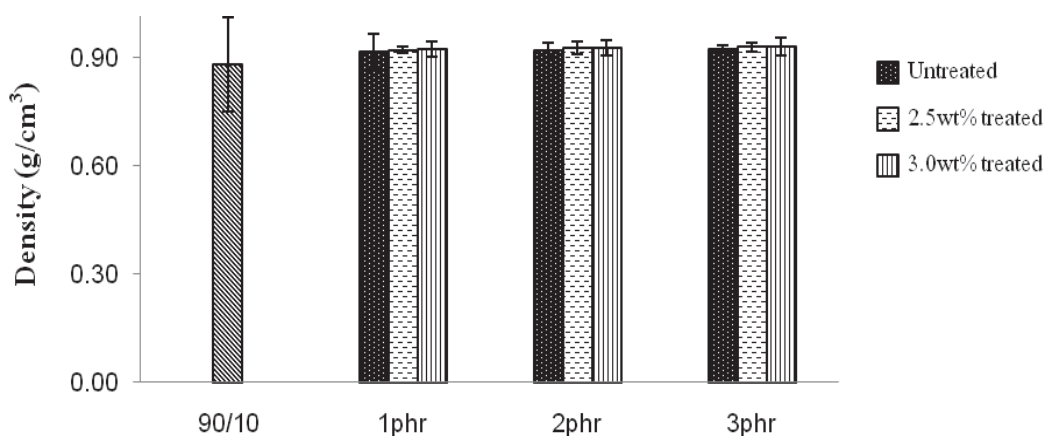
Strain at yield (%) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าพิจารณาจากภาพที่ 44 ซึ่งเป็นค่า Specific strain at yield (%) จะพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยฟูมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Specific strain at yield (%) มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณของสารช่วยฟูที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดเซลล์โฟมมากขึ้น ส่งผลให้ผนังที่กั้นระหว่างเซลล์แต่ละเซลล์บางลง (อ้างอิงจากภาพการทดสอบ SEM) ทำให้วัสดุสามารถยืดตัวออกได้มากขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติการดึงยืกระหว่างเส้นหยาขรรรมชาติกับเส้นหยาขเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน พบว่าเส้นหยาขรรรมชาติมีความแข็งแรงสูงกว่าเส้นหยาขเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในอย่างมาก แต่ในทางกลับกันเส้นหยาขเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในนั้นจะมีความยืดหยุ่นและสามารถยืดตัวได้มากกว่าเส้นหยาขรรรมชาติอย่างมากเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการดัดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทางความร้อนเหมือนกับหยาขรรรมชาติ

4.1.5 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นหยาขเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

การทดสอบความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM D-1622 ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นหยาขเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ และส่วนที่ 2 จะเป็นผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นหยาขเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟู (Chemical foaming agent) ที่ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงได้ดังภาพที่ 45 และ 46

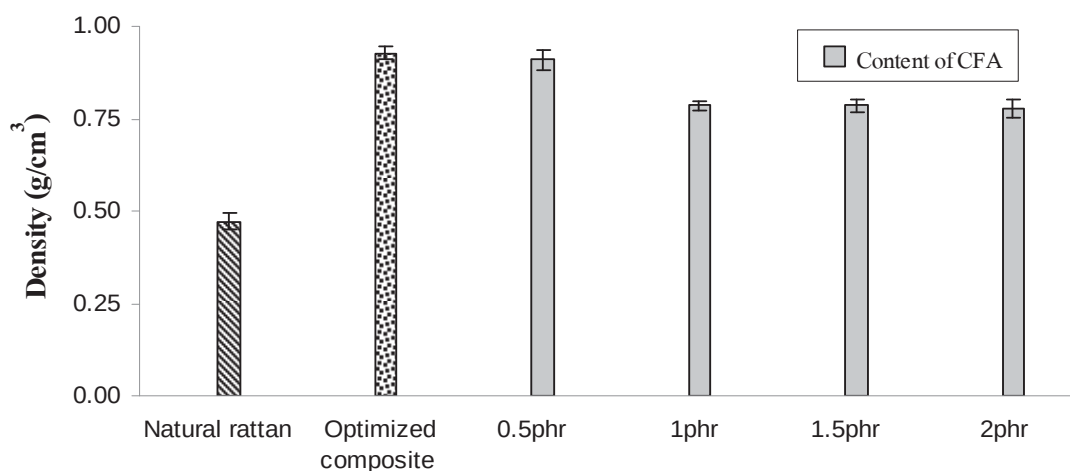
4.1.5.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นหยาขเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณผงไม้ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 45 พบว่าการเติมผงไม้สนทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ลงในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ไม่ได้ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของเส้นหวายเทียมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณของผงไม้ที่ถูกเติมลงไปมีปริมาณที่น้อยนั่นเอง เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นของ Vinyltriethoxy silane พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของเส้นหวายเทียมอย่างชัดเจน เนื่องจากหน้าที่หลักของ Vinyltriethoxy silane คือช่วยประสานเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้ให้เข้ากันได้มากขึ้น

4.1.5.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 46 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ

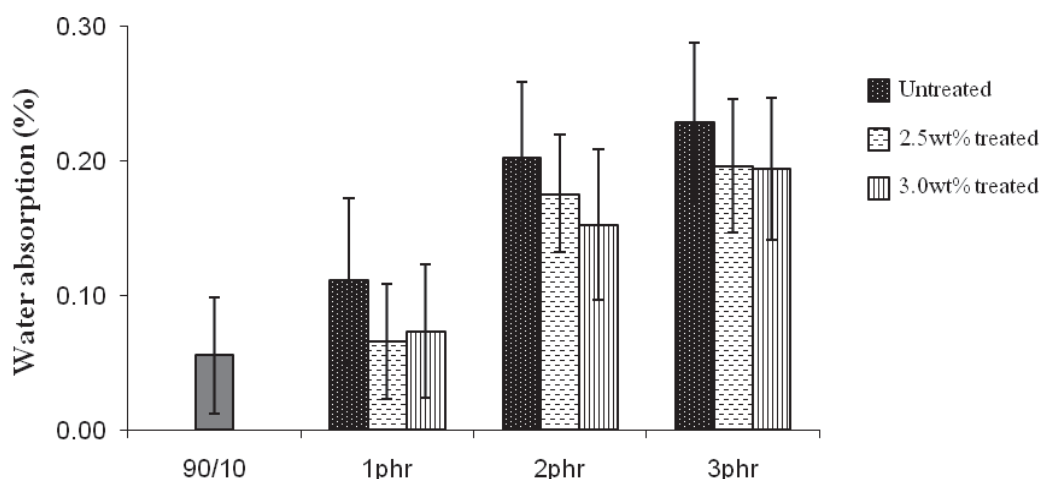
จากภาพที่ 46 พบว่าผลของการเติมสารช่วยฟู (Azodicarbonamide) ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของเส้นหวายเทียม ซึ่งถ้าพิจารณาเส้นหวายเทียมที่เติมสารช่วยฟูปริมาณ 0.5 phr พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเมื่อเทียบกับเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู สำหรับเส้นหวายเทียมที่เติมสารช่วยฟูปริมาณ 1.0-2.0 phr พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงจนเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อเทียบกับเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเติมสารช่วยฟูทำให้เส้นหวายเทียมเกิดเซลล์โฟมอยู่ภายในส่งผลให้มวลของชิ้นงานมีค่าลดลง (อ้างอิงจากภาพการทดสอบ SEM) จึงทำให้ชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นลดลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับสมการหาค่าความหนาแน่น ($D = M/V$) [29]

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความหนาแน่นระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน พบว่าเส้นหวายเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าเส้นหวายธรรมชาติ แม้ว่าจะมีการใส่สารช่วยฟูเพื่อก่อให้เกิดเซลล์โฟมภายในเส้นหวายเทียมแล้วก็ตาม แต่การเติมสารช่วยฟูก็ช่วยทำให้เส้นหวายเทียมมีความหนาแน่นลดลงถึง 16 % เมื่อเทียบกับเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในงานวิจัยครั้งนี้สามารถผลิตเส้นหวายเทียมที่มีน้ำหนักเบาขึ้นได้ โดยที่ยังคงรักษาระดับความแข็งแรงของเส้นหวายเทียมเอาไว้ (อ้างอิงจากผลการทดสอบการดึงยืด)

4.1.6 ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

การทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำตามมาตรฐาน ASTM D 570-99 ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหอยเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวที่ปริมาณต่าง ๆ และส่วนที่ 2 จะเป็นผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหอยเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟู (Chemical foaming agent) ที่ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงได้ดังภาพที่ 47 และ 48

4.1.6.1 ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหอยเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

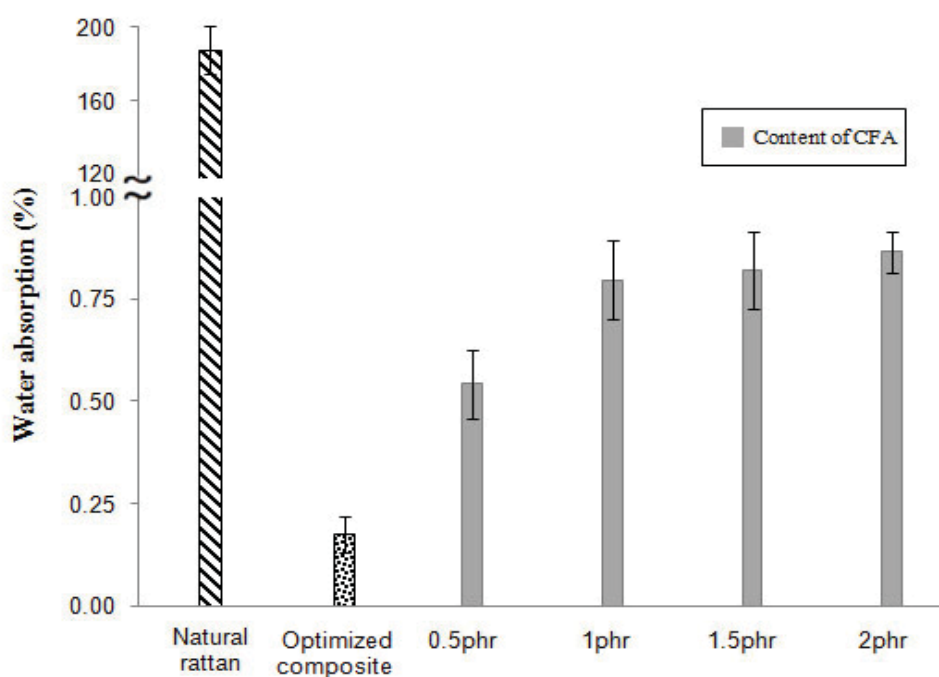


ภาพที่ 47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับปริมาณผงไม้ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 47 พบว่าเส้นหอยเทียมที่ผสมผงไม้สนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสูงกว่าเส้นหอยเทียมที่ผสมผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane เนื่องจากผงไม้สนจะประกอบไปด้วยเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้าง ส่งผลให้ผงไม้สนมีความสามารถในการดูดความชื้นมาก และเมื่อมีการใช้ Vinyltriethoxy silane ซึ่ง Vinyltriethoxy silane นี้จะเข้าไปเคลือบผิวของเส้นใยธรรมชาติเป็นชั้นบางๆ จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) เป็นชั้นของ polysiloxane บนผิวเส้นใย ซึ่งการที่หมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลสทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของไฮดรอกซิลเกิดเป็นพันธะอีเทอร์ (ether linkage) จะทำให้ความมีขรุขระของเส้นใยธรรมชาติลดลง และเมื่อ Vinyltriethoxy silane เกิดการเชื่อมโยง กับพอลิเมอร์ ช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้

สนจะลดลง พอลิเมอร์เมทริกซ์กับเส้นใยธรรมชาติจะเข้ากันได้มากขึ้น ทำให้เส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่น้อยลง ดังปรากฏในงานวิจัยของ Sonia M.B. Nachtigall และคณะ[20,30]

4.1.6.2 ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 48 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 48 พบว่าเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟู (Azodicarbonamide) จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสูงกว่าเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการผสมสารช่วยฟู เนื่องจากเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูจะมีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน ทำให้น้ำมีโอกาสที่จะซึมเข้าไปและค้างอยู่ในชิ้นงานได้ ส่งผลให้เส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่สูงมากขึ้น สำหรับปริมาณของสารช่วยฟู จะเห็นว่าค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารช่วยฟูที่ใส่เข้าไป ที่เป็นเช่นนี้เพราะสารช่วยฟูจะสามารถสลายตัวเป็นแก๊สได้เมื่อถึงอุณหภูมิที่เหมาะสม ดังนั้นถ้ายังมีปริมาณของสารช่วยฟูมากแก๊สที่ได้ในระบบก็จะมีปริมาณมากเช่นกัน ส่งผลให้เซลล์โฟมที่เกิดขึ้นภายในเส้นหวายเทียมมีจำนวนที่มากขึ้นจนสามารถเกิดการเชื่อมของแต่ละผนังเซลล์

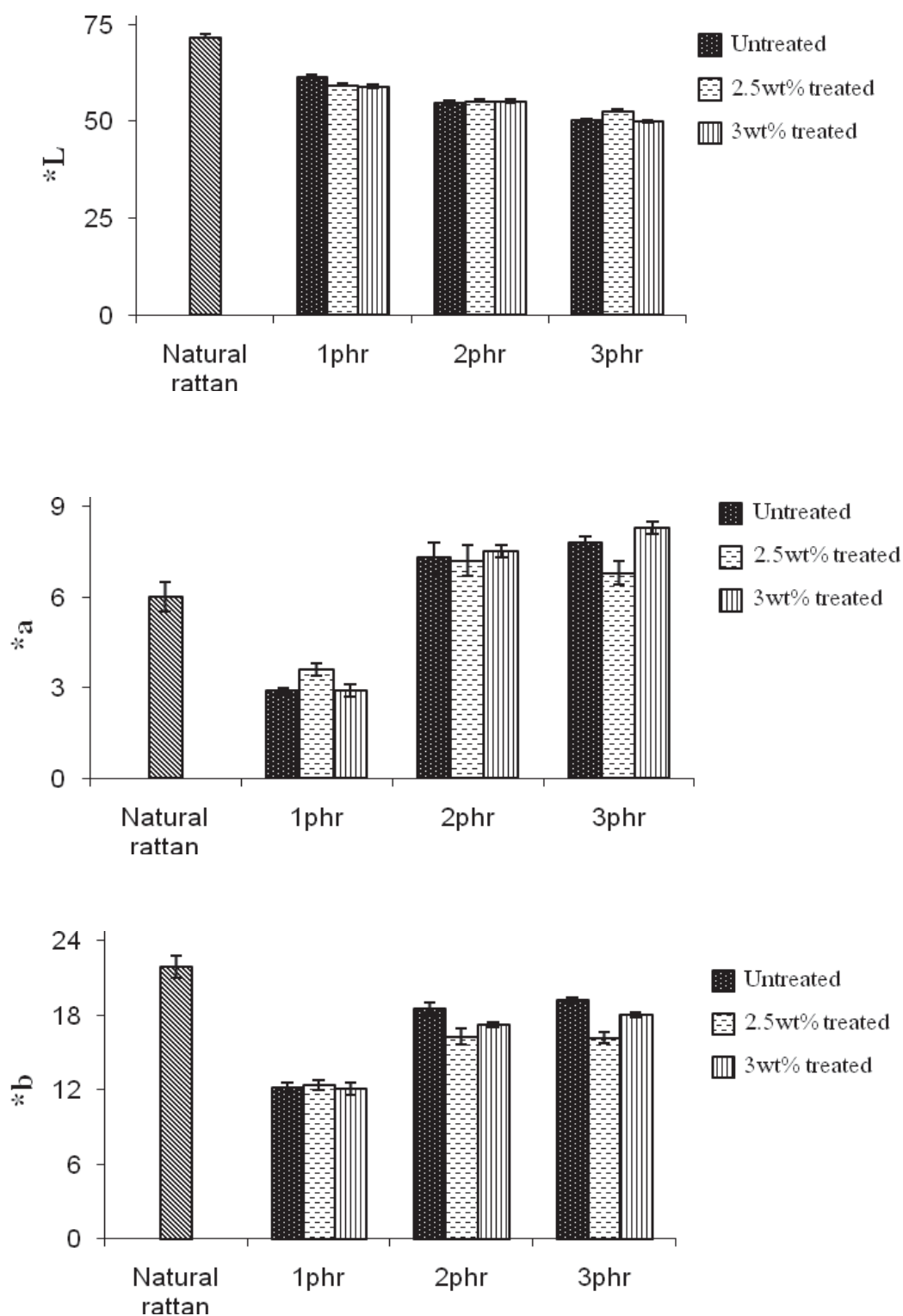
รวมกันเป็นเซลล์เปิดและเกิดการฉีกขาดที่ผิว ทำให้น้ำมีโอกาสที่จะซึมผ่านเข้าไปตกค้างอยู่ในชิ้นงานได้

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน พบว่าเส้นหวายเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำต่ำกว่าเส้นหวายธรรมชาติอย่างมาก เนื่องจากเส้นหวายธรรมชาติประกอบไปด้วยเซลล์ลูลอสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ภายในโครงสร้าง ส่งผลให้ผงไม้สนมีความสามารถในการดูดความชื้นที่มาก

4.1.6 การวัดค่าสีเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

ในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการเตรียมเส้นหวายเทียมให้มีสีใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติ โดยการใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบและทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องอ่านค่าสี(Color Reader) ตามระบบ Lab พบว่าเส้นหวายเทียมที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อน (สีของผงไม้สน) ระดับของความเข้มของโทนสีจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณของผงไม้สน ซึ่งกระบวนการผลิตเส้นหวายเทียมจะใช้เครื่องเขย่าเป็นตัวป้อนเม็ดพลาสติกที่ผสมกับผงไม้สนลงสู่ hopper ทำให้ควบคุมปริมาณของผงไม้สนได้ยาก ซึ่งอาจส่งผลให้สีของเส้นหวายเทียมไม่สม่ำเสมอบ้างบางบริเวณ สำหรับการทดสอบนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลการวัดค่าสีเส้นหวายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวที่ปริมาณต่าง ๆ และส่วนที่ 2 จะเป็นผลการวัดค่าสีเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟู (Chemical foaming agent) ที่ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งผลการวัดค่าสีสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.1.6.1 ผลการวัดค่าสีเส้นหวายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

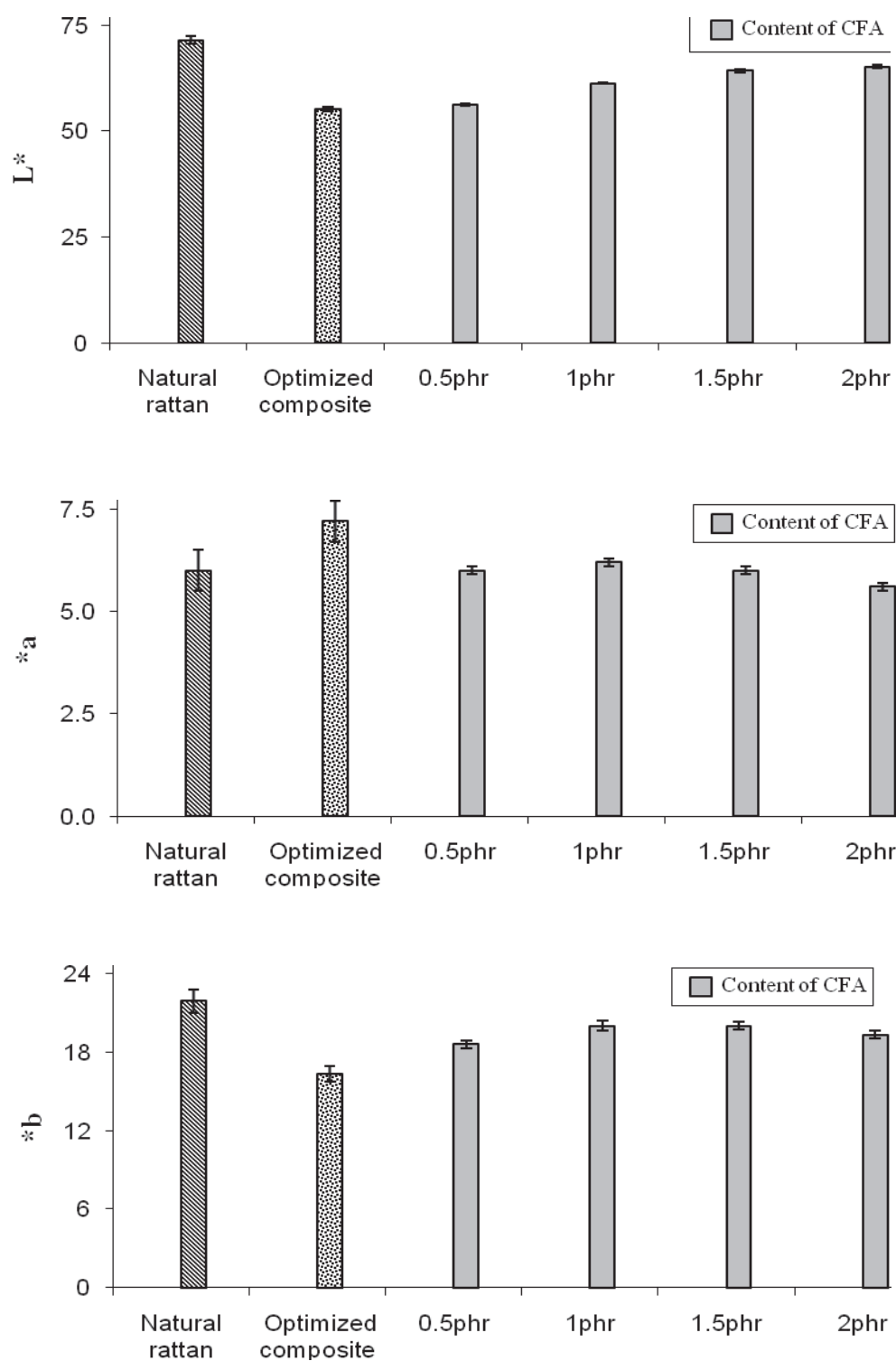


ภาพที่ 49 แสดงการเปรียบเทียบค่าวัดสีระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากทฤษฎี ค่า $*L$ จะหมายถึงความสว่างของสี ส่วน $*a$ และ $*b$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์สี โดยจะบอกถึงทิศทางของสี โดยค่า $*a$ และ $*b$ จะหมายถึงสีอยู่ในทิศของสีแดงและทิศของสีเหลือง ตามลำดับ ดังนั้นจากผลที่ได้พบว่าปริมาณของผงไม้สนที่เพิ่มขึ้นจะแปรผกผันกันกับค่าความสว่าง กล่าวคือผงไม้สนที่ถูกเติมลงไปเพื่อเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติ จะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของแสง ส่งผลให้แสงสามารถส่องผ่านเส้นหวายเทียมได้น้อยลงส่งผลให้เส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้สนให้ค่าความสว่างที่ลดลงตามปริมาณของผงไม้ที่ใส่เข้าไป สำหรับค่า $*a$ จะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติ พบว่าค่า $*a$ ของเส้นหวายเทียมที่ใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติ จะมีค่าแนวโน้มที่สูงกว่าเส้นหวายธรรมชาติ นั่นหมายถึงเส้นหวายเทียมที่ใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติ จะมีสีโทนน้ำตาลออกแดงๆ มากกว่า ส่วนค่า $*b$ จะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติ พบว่าค่า $*b$ ของเส้นหวายธรรมชาติจะมีค่าแนวโน้มที่สูงกว่าเส้นหวายเทียมที่เจือสีด้วยผงไม้สน ซึ่งหมายถึงเส้นหวายธรรมชาติจะมีสีออกโทนเหลืองมากกว่า

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความสว่างระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าเส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้สนปริมาณ 1 phr ให้ค่าความสว่างใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติมากที่สุด แต่ถ้านำผลการวัดค่าสีที่ได้ไปสัมพันธ์กับผลการทดสอบสมบัติเชิงกลจะพบว่าเส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้สนปริมาณ 1 phr ให้ผลการทดสอบที่ต่ำที่สุด เพราะฉะนั้นจึงตัดสินใจเลือกปริมาณของผงไม้สนเท่ากับ 2 phr โดยพิจารณาพร้อมกับผลการทดสอบสมบัติเชิงกล เพื่อกำหนดเป็นสถานะที่เหมาะสมในการนำไปผสมสารช่วยฟูต่อไป

4.1.6.2 ผลการวัดค่าสีเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 50 แสดงการเปรียบเทียบค่าวัดสีระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสาร
ช่วยฟลูที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 50 พบว่าปริมาณของสารช่วยฟูที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตรงกับค่าความสว่าง กล่าวคือปริมาณของสารช่วยฟูที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะการเติมสารช่วยฟูจะส่งผลให้เส้นหอยเทียมที่ได้มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน ซึ่งเส้นหอยเทียมที่มีเซลล์โฟมเกิดขึ้นนั้นจะส่งผลให้แสงสามารถส่องทะลุผ่านได้มากกว่าเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างภายในเป็นแบบทรงตัน(ไม่มีเซลล์โฟมอยู่ภายใน) สำหรับค่า *a จะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นหอยธรรมชาติกับเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน พบว่าค่า *a ของเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในมีค่าใกล้เคียงกับเส้นหอยธรรมชาติ นั่นหมายถึงเส้นหอยเทียมที่ได้จะมีสีโทนน้ำตาลออกแดงๆ ใกล้เคียงกับเส้นหอยธรรมชาติ ส่วนค่า *b จะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นหอยธรรมชาติกับเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน พบว่าค่า *b ของเส้นหอยธรรมชาติจะมีค่าแนวโน้มที่สูงกว่าเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน ซึ่งหมายถึงเส้นหอยธรรมชาติจะมีสีออกโทนเหลืองมากกว่า

แม้ว่าเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในจะมีแนวโน้มของค่าความสว่างน้อยกว่าเส้นหอยธรรมชาติ แต่ถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าเส้นหอยเทียมที่ได้นั้นมีสีที่ใกล้เคียงกับเส้นหอยธรรมชาติ

4.1.7 ผลการทดสอบผลของสารเคมีในครัวเรือนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นหอยเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

การทดสอบผลของสารเคมีในครัวเรือนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล โดยได้ออกแบบการทดลองให้ศึกษาผลของการจุ่มแช่เส้นหอยเทียมทุกสูตรการผสมในของเหลว 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น สารละลายน้ำยาล้างจานและสารละลายผงซักฟอก ที่ความเข้มข้น 2 wt% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เทียบกับเส้นหอยเทียมที่ผ่านการอบแห้ง(ไม่ถูกจุ่มแช่ในของเหลว) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะทำการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) โดยใช้ความแปรปรวนของข้อมูลเป็นตัวบอกค่าความเชื่อมั่นว่าการจุ่มแช่เส้นหอยเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆข้างต้นส่งผลต่อสมบัติเชิงกลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยกำหนดให้เส้นหอยเทียมที่ผ่านการอบแห้งเป็นตัวแปรควบคุม และสมมติให้เส้นหอยเทียมที่นำมาทดสอบนั้นมีสูตรการผสมที่ไม่แตกต่างกัน

จากกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) และใช้โปรแกรม SPSS ในการประเมินผล มีการแสดงค่า Probability Value (P-Value) คือค่าระดับนัยสำคัญเพื่อที่จะบอกยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก(null hypothesis ; H_0) น้อยที่สุด หรือโอกาสที่น้อยที่สุดที่สามารถ

ปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ในการทดสอบสมมติฐาน และตามที่ได้กล่าวไปแล้ว คือมีการใช้โปรแกรม SPSS ในการหาค่า P-Value โดยมีสมมติฐานคือ

H_0 : การจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่าการตอบสนอง

H_1 : การจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ มีผลต่อค่าการตอบสนอง นั่นคือถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าค่า α จะยอมรับ H_0 คือการจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าการตอบสนอง (สมบัติที่เราสนใจ) แต่ถ้า P-Value มีค่าน้อยกว่า α จะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 คือการจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ มีอิทธิพลต่อค่าการตอบสนอง ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าของเหลวชนิดนั้น ๆ ไม่ส่งผลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม (ยอมรับ H_0) แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าของเหลวชนิดนั้น ๆ ส่งผลอิทธิพลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม (ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1)

โดยการทดสอบผลของสารเคมีในครัวเรือนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล จะทำการทดสอบการดึงยืด (Tensile Property) ของเส้นหวายเทียมที่ผ่านการแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ทุกสูตรการผสม ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D-2256 โดยในแต่ละตัวอย่างจะเก็บผล 10 ครั้ง และเมื่อคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS แล้วได้ผลดังตารางที่ 16 ถึง 18

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Young's modulus

ปัจจัย	P-Value	P-value < α
จุ่มแช่ในน้ำกลั่น	0.138	ไม่มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายน้ำยาล้างจาน	0.966	ไม่มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายผงซักฟอก	0.761	ไม่มีผล

หมายเหตุ : มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ มีผลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

ไม่มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

จากกระบวนการทางสถิติพบว่า การจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Young's modulus ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Tensile strength

ปัจจัย	P-Value	P-value < α
จุ่มแช่ในน้ำกลั่น	0.770	ไม่มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายน้ำยาล้างจาน	0.741	ไม่มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายผงซักฟอก	0.084	ไม่มีผล

หมายเหตุ : มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ มีผลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

ไม่มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

จากกระบวนการทางสถิติพบว่า การจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Tensile strength ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Strain at yield (%)

ปัจจัย	P-Value	P-value < α
จุ่มแช่ในน้ำกลั่น	0.000	มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายน้ำยาล้างจาน	0.000	มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายผงซักฟอก	0.000	มีผล

หมายเหตุ : มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ มีผลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

ไม่มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

จากกระบวนการทางสถิติแสดงให้เห็นว่าการจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ส่งผลต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Strain at yield (%) เนื่องจากเส้นหวายเทียมทุกสูตรการผสม เมื่อนำไปแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้น้ำสามารถแพร่เข้าสู่ชิ้นงาน และอาจค้างอยู่ตรงบริเวณรอยต่อระหว่างเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้ในชิ้นงานขณะทำการทดสอบการดึงยืด (เนื่องจากไม่ได้ทำการอบชิ้นงานอีกครั้งหลังจากแช่ในของเหลวจนอิ่มตัว) จึงสันนิษฐานว่าน้ำที่ค้างอยู่ตรงบริเวณรอยต่อระหว่างเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้ทำให้เฟสมี

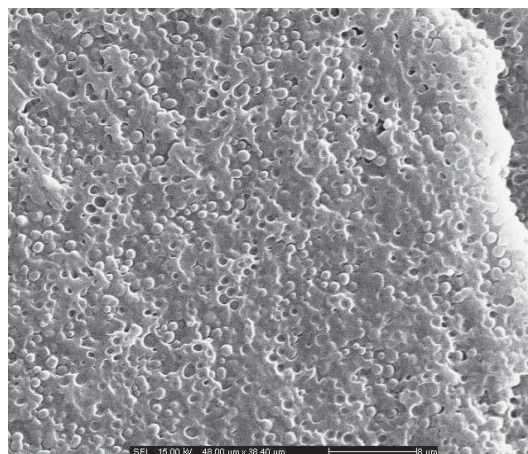
การขยับได้ง่ายมากขึ้น เมื่อได้รับแรงกระทำ ส่งผลให้ชิ้นงานสามารถยืดออกได้มากขึ้น ค่า Strain at yield (%) จึงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและวิเคราะห์อิทธิพลของสารประสานคู่ควบของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

4.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาโดยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

สำหรับการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและวิเคราะห์อิทธิพลของสารประสานคู่ควบของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติจะแบ่งผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาออกเป็น 3 ส่วนโดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลดระหว่าง PLA กับ PBAT ส่วนที่ 2 จะเป็นผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเส้นหวายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ และส่วนที่ 3 จะเป็นผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟู (Chemical foaming agent) ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยเส้น extrudate ทั้งหมดได้มาจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องTwin screw extruder จากนั้นนำไปแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) แล้วหัก หลังจากนั้นนำชิ้นงานบริเวณที่มีรอยแตกไปเคลือบด้วยทอง ก่อนที่จะนำไปทดสอบโดยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ซึ่งลักษณะภาพตัดขวางของเส้น extrudate ที่ส่วนผสมต่างๆทั้ง 3 ส่วนจะแสดงได้ดังต่อไปนี้

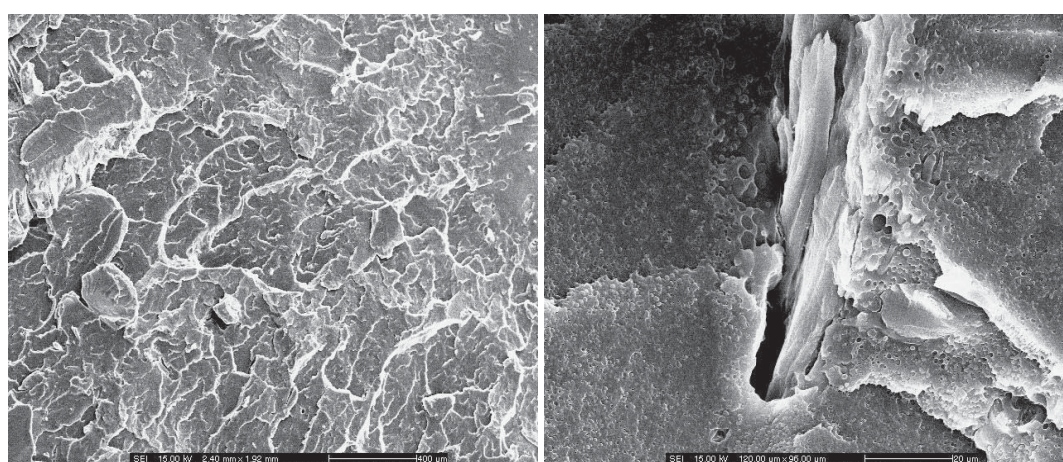
4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลดระหว่าง PLA กับ PBAT



ภาพที่ 51 แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของพอลิเมอร์เบลดระหว่าง PLA กับ PBAT ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

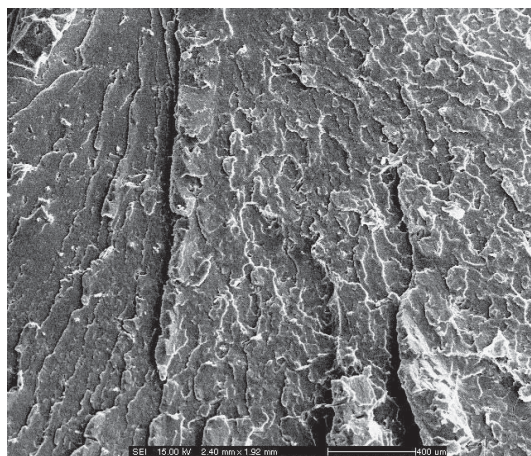
จากภาพที่ 51 พบว่าการผสมระหว่าง PLA กับ PBAT ด้วยเครื่อง Twin screw extruder เกิดการแยกเฟส โดยจะสามารถสังเกตเห็นเฟสของ PBAT กระจายเป็น disperse phase ลักษณะเป็นรูปกลมๆเนื่องจากถูกแรงเฉือนจากสกรูขณะทำการผสมในเครื่อง Twin screw extruder ดังภาพ ซึ่ง PBAT สามารถกระจายตัวได้ดี ไม่เกิดการรวมตัวเป็น continuous phase [31]

4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเส้นหวายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane

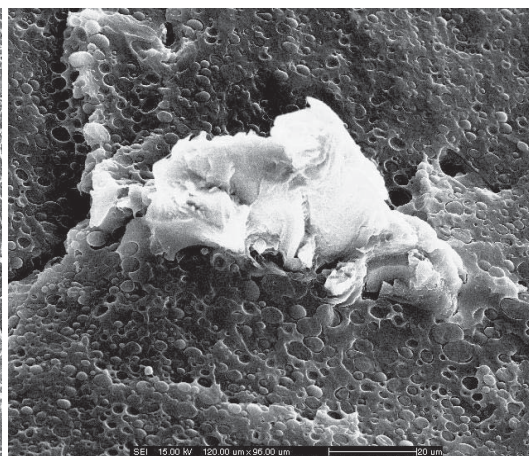


(a)

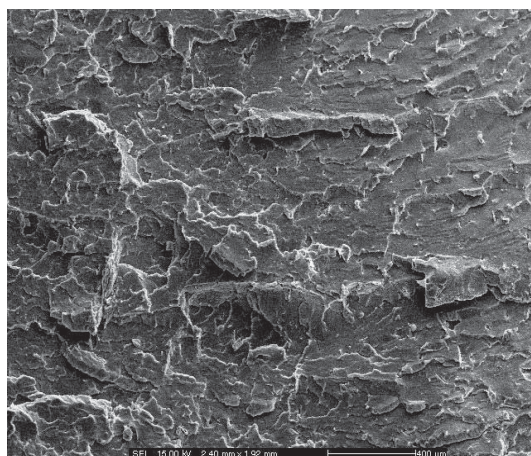
(b)



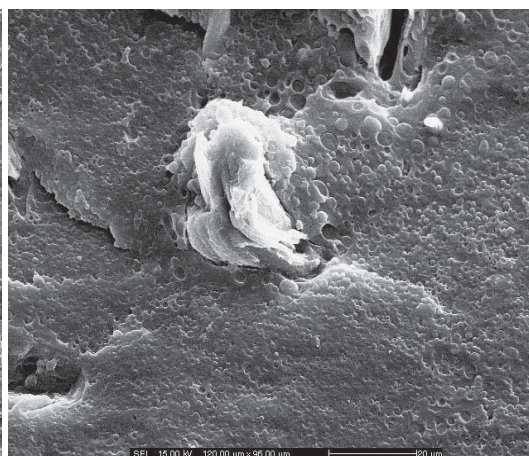
(c)



(d)

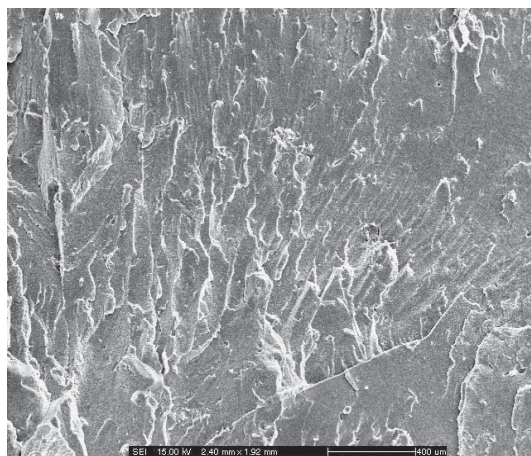


(e)

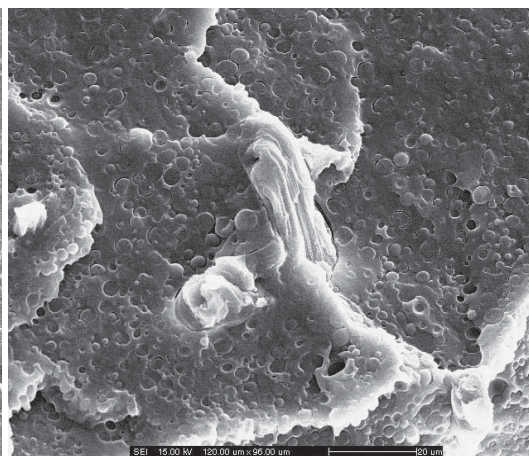


(f)

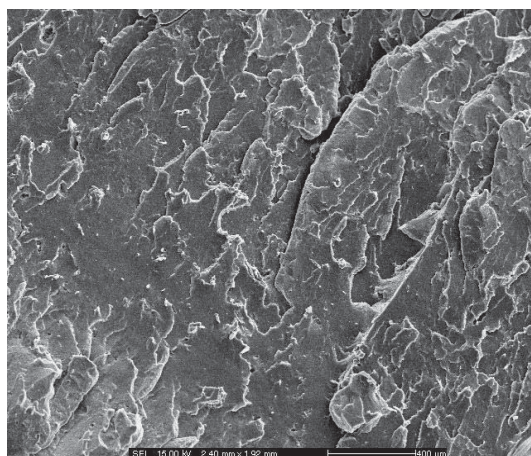
ภาพที่ 52 แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นใยเทียมที่มีการผสมผงไม้สน
ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณของผงไม้ 3(a,b), 5 (c,d)
และ 7 phr (e,f) ที่กำลังขยาย 100 เท่า(ซ้าย) และ 2,000 เท่า (ขวา)



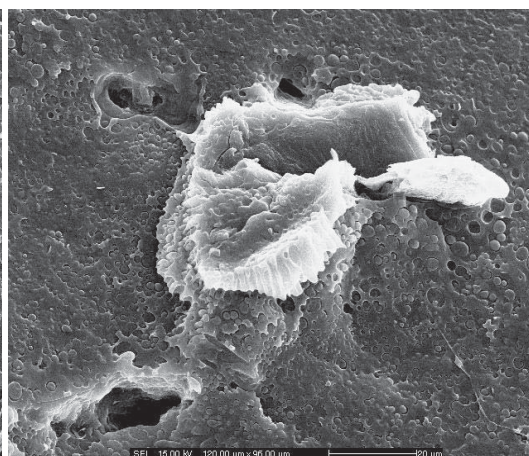
(g)



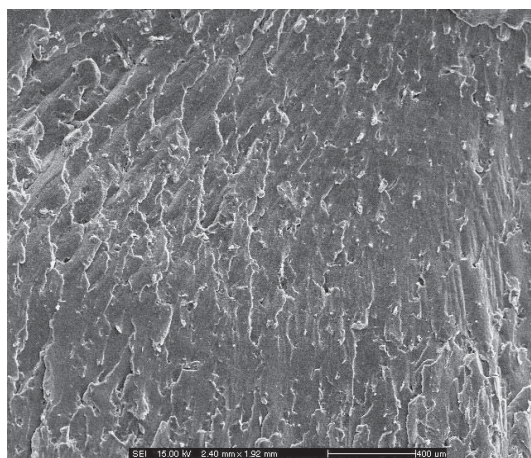
(h)



(i)



(j)

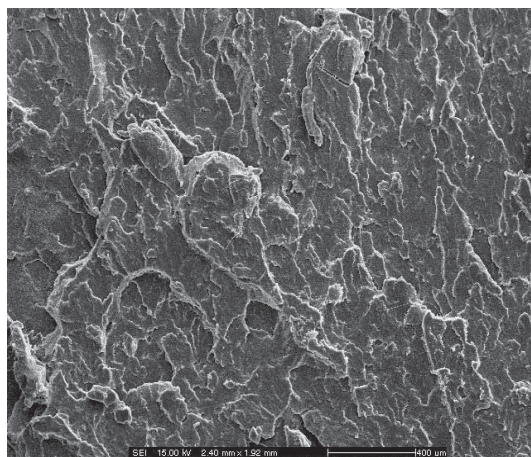


(k)

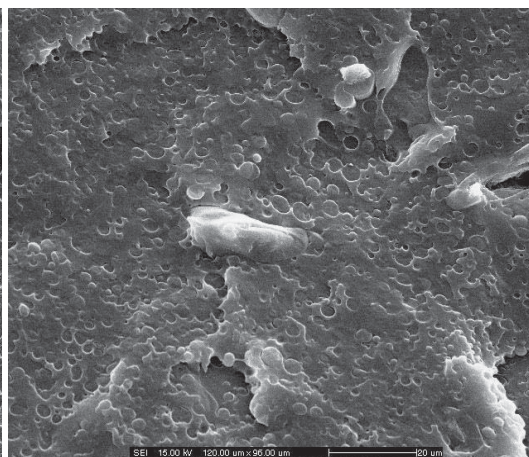


(l)

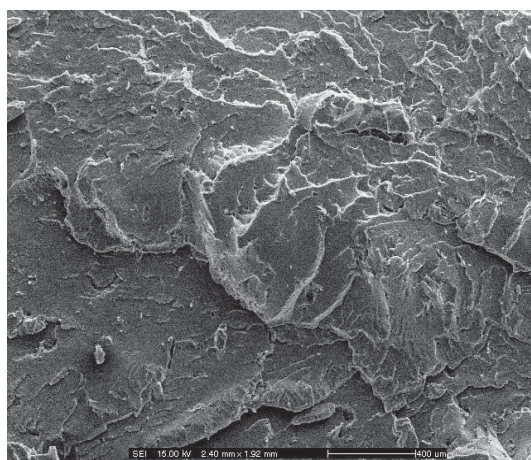
ภาพที่ 53 แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหอยเทียมที่มีการผสมผงไม้สน ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ความเข้มข้น 4 wt% ที่ปริมาณของผงไม้ 3(g,h), 5 (i,j) และ 7 phr (k,l) ที่กำลังขยาย 100 เท่า(ซ้าย) และ 2,000 เท่า (ขวา)



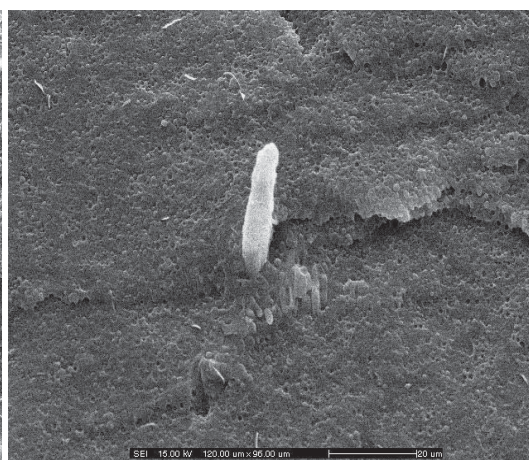
(m)



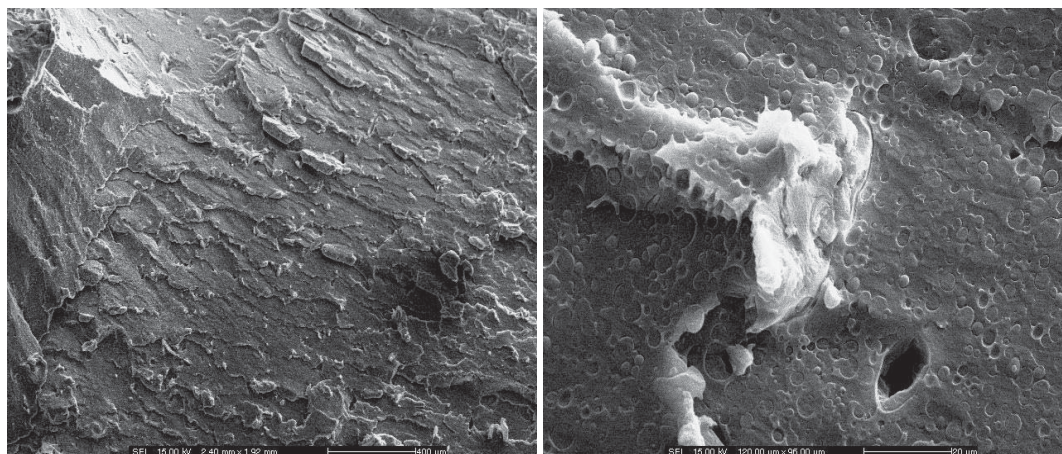
(n)



(o)



(p)



(q)

(r)

ภาพที่ 54 แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นหอยเทียมที่มีการผสมผงไม้สน ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ความเข้มข้น 6 wt% ที่ปริมาณของผงไม้ 3(m,n), 5 (o,p) และ 7 phr (q,r) ที่กำลังขยาย 100 เท่า(ซ้าย) และ 2,000 เท่า (ขวา)

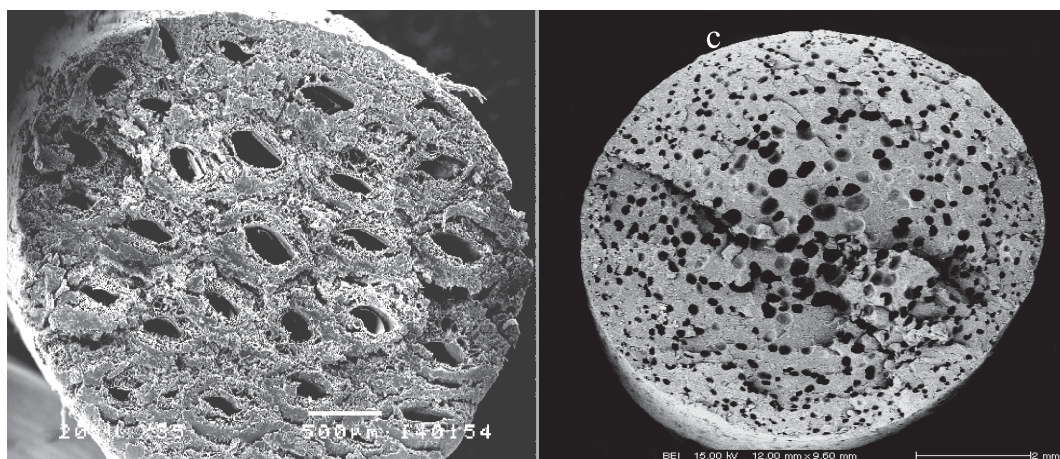
เมื่อวิเคราะห์ผิวหน้าที่แตกหักของชิ้นงานที่เติมผงไม้สนที่ผ่านการปรับและไม่ปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane พบว่าชิ้นงานที่เติมผงไม้สนที่ผ่านการปรับและไม่ปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane มีลักษณะไม่ค่อยแตกต่างกัน เนื่องจาก PLA ที่ทำหน้าที่เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์นั้นเป็นพอลิเมอร์ที่มีสภาพขรุขระ จึงสามารถเข้ากับผงไม้สนได้ดี แต่ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างภาพ (b) กับภาพ (l) , (r) จะสามารถสังเกตเห็นถึงผลของการใส่สารประสานคู่ควบ ซึ่งพบว่าชิ้นงานที่เติมผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane (ภาพ l และ r) จะเกิดการเปื่อยที่ผิวระหว่างเฟสของ PLA กับผงไม้มากกว่าชิ้นงานที่เติมผงไม้สนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane (ภาพ b) โดยภาพ (b) จะสังเกตเห็นช่องว่างระหว่างเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้สนได้อย่างชัดเจน ซึ่งช่องว่างระหว่างเฟสที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นจุดรวมแรงของชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงลดลง[30]

สำหรับการกระจายตัวของผงไม้สนในพอลิเมอร์เมทริกซ์นั้นจะสังเกตเห็นได้ยากเนื่องจากปริมาณของผงไม้สนที่เติมลงไปมีปริมาณที่น้อย แต่ถ้าพิจารณาชิ้นงานที่มีการเติมผงไม้สนที่ปริมาณสูงสุด คือ 7 phr พบว่าการกระจายตัวของผงไม้สนในพอลิเมอร์เมทริกซ์นั้นมีกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ

สำหรับผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ความเข้มข้นต่างกันั้น เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ พบว่าผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย

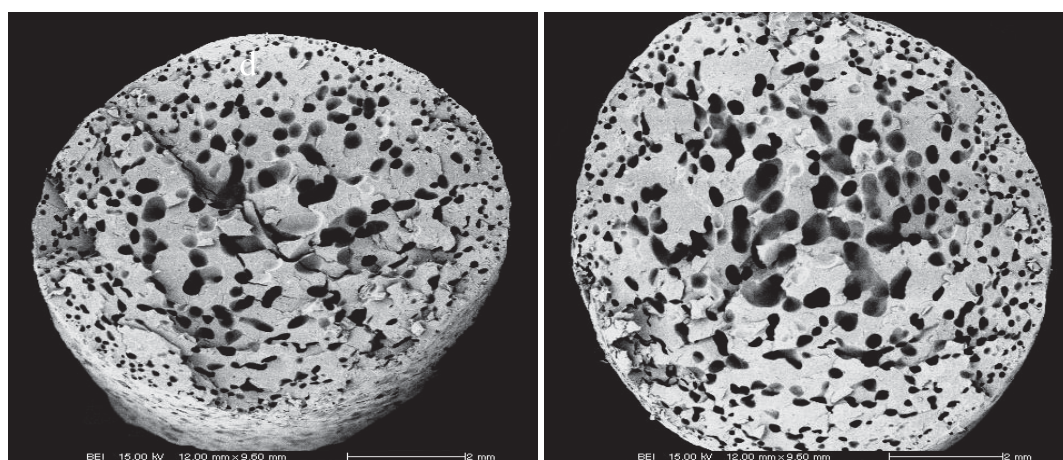
3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ความเข้มข้นต่างกัันนั้นให้ภาพผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน คือ ผงไม้สนนั้นสามารถเข้ากับ PLA ได้ดี

4.2.1.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของเส้นหวายเทียมที่มีการเติมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่างๆ



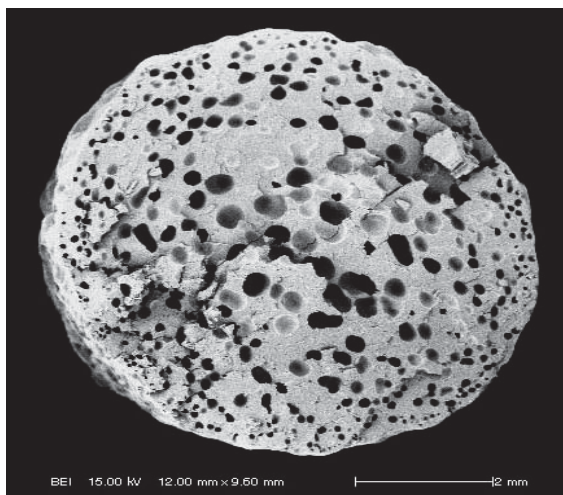
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

ภาพที่ 55 แสดงภาพ SEM micrographs ของภาพตัดขวางของเส้นใยธรรมชาติ (a) ที่กำลังขยาย 35 เท่า และเส้นใยเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณ 0.5(b), 1.0 (c), 1.5 (d) และ 2.0 (e) phr ที่กำลังขยาย 20 เท่า

เมื่อวิเคราะห์ผิวหน้าที่แตกหักของชิ้นงานที่เติมสารช่วยฟู (Azodicarbonamide) พบว่าชิ้นงานที่เติม Azodicarbonamide มีการเกิดเซลล์โฟมขึ้น เนื่องจาก Azodicarbonamide ที่เติมลงในวัสดุคอมพอสิตเกิดการแตกตัวและละลายอยู่ในพอลิเมอร์ที่หลอมเหลวภายในกระบอกลอม (barrel) ที่มีความดันสูง และยังคงสภาพอยู่จนกระทั่งพอลิเมอร์หลอมเหลวออกจากหัวดาย ความดันจะมีค่าลดลง แก๊สที่เกิดจากการแตกตัวของ Azodicarbonamide ก็จะเริ่มรวมตัวกันเกิดเป็นเซลล์โฟมกระจายตัวไปในชิ้นงานของวัสดุ เมื่อพิจารณาผิวหน้าที่แตกหักของชิ้นงานที่เติมสารช่วยฟูทุกสูตรการผสม พบว่าเซลล์โฟมที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงานจะมีขนาดเล็กและกระจายตัวสม่ำเสมอ ส่วนบริเวณตรงกลางของชิ้นงานจะมีเซลล์โฟมขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากเมื่อพอลิเมอร์หลอมเหลวออกจากหัวดาย แก๊สจะเกิดการรวมตัวกันทำให้เกิดเซลล์โฟมขึ้น ดังที่กล่าวไปข้างต้น และจะเกิดการรวมตัวกันอย่างต่อเนื่อง ถ้าพอลิเมอร์ยังอ่อนตัวอยู่ ส่งผลให้เซลล์โฟมมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเมื่อพอลิเมอร์หลอมเหลวออกจากหัวดายและทำการหล่อเย็นด้วยน้ำที่ผิวด้านนอกจะแข็งตัวก่อนบริเวณตรงกลาง ส่งผลให้บริเวณตรงกลางของชิ้นงานจะมีเซลล์โฟมขนาดใหญ่กว่านั่นเอง

สำหรับปริมาณของ Azodicarbonamide ที่เติมลงไป พบว่าที่ปริมาณ 0.5 phr สามารถทำให้เกิดเซลล์โฟมกระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBAT นั้นมีความหนืดที่ต่ำ ทำให้แก๊สที่ละลายอยู่ในพอลิเมอร์หลอมเหลว

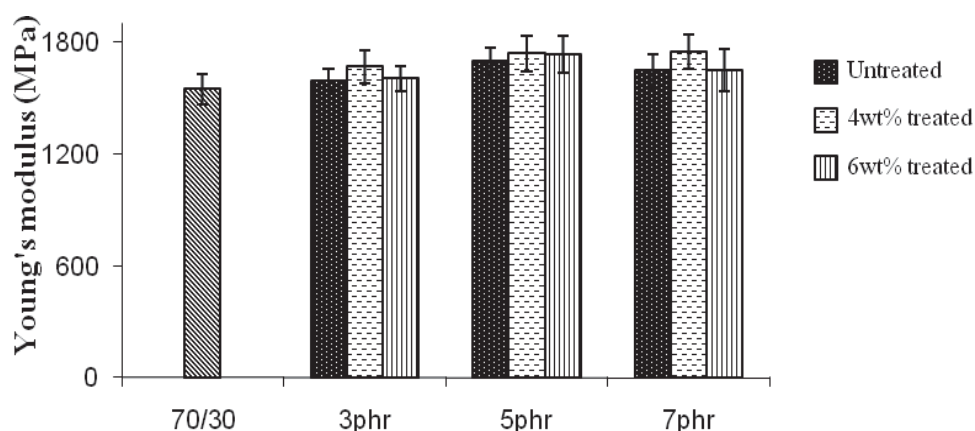
สามารถกระจายและขยายตัวได้ง่าย สำหรับที่ปริมาณ 1.0 phr พบว่าขนาดของเซลล์โฟมมีขนาดที่ใหญ่กว่าที่ปริมาณ 0.5 phr และมีการเกิดเซลล์โฟมในลักษณะของเซลล์เปิดบางบริเวณ เนื่องจากปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในระบบมีมากกว่าส่งผลให้เซลล์โฟมแต่ละเซลล์ที่เป็นเซลล์ปิดมีโอกาสขยายตัวจนรวมกันเป็นเซลล์เปิดได้และมีผนังของเซลล์ที่บางลงในบางบริเวณ และถ้าเพิ่มปริมาณของAzodicarbonamide เป็น 1.5phr (ภาพ d) จะเห็นว่าเซลล์โฟมที่เกิดขึ้นมีขนาดเซลล์โฟมที่ใหญ่ขึ้นและมีการเกิดเซลล์โฟมในลักษณะของเซลล์เปิดเพิ่มมากขึ้นในบริเวณตรงกลางของชิ้นงาน เมื่อเปรียบเทียบกับที่ปริมาณ 1.0 phr แต่ถ้าพิจารณาที่ปริมาณของ Azodicarbonamide สูงสุดนั่นคือที่ 2 phr (ภาพ e) พบว่ามีเซลล์โฟมเกิดขึ้นน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปริมาณ 1.0-1.5 phr และลักษณะของชิ้นงานจะไม่เป็นทรงกลม เนื่องจากที่ปริมาณ 2 phr จะมีปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นในระบบมากขึ้นจนสามารถแพร่ออกมาที่ผิวได้ทันก่อนที่พอลิเมอร์จะแข็งตัว ส่งผลให้ผิวของชิ้นงานที่ได้ขรุขระเกิดการฉีกขาดได้ง่าย [23,32]

เมื่อวิเคราะห์ผิวหน้าที่แตกหักของเส้นหาวยธรรมชาติ(ภาพ a) พบว่าเส้นหาวยธรรมชาติมีท่อน้ำ(Xylem) ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติเป็นแนวยาวตลอดทั้งเส้นของเส้นหาวยซึ่งจะส่งผลให้เส้นหาวยธรรมชาติมีน้ำหนักที่เบาโดยตัวของมันเอง และถ้านำน้ำหนักเส้นหาวยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในมาเปรียบเทียบกับเส้นหาวยธรรมชาติพบว่าเส้นหาวยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในมีน้ำหนักที่สูงกว่าเส้นหาวยธรรมชาติแม้ว่าจะมีโครงสร้างเป็นรูพรุนอยู่ภายในก็ตาม

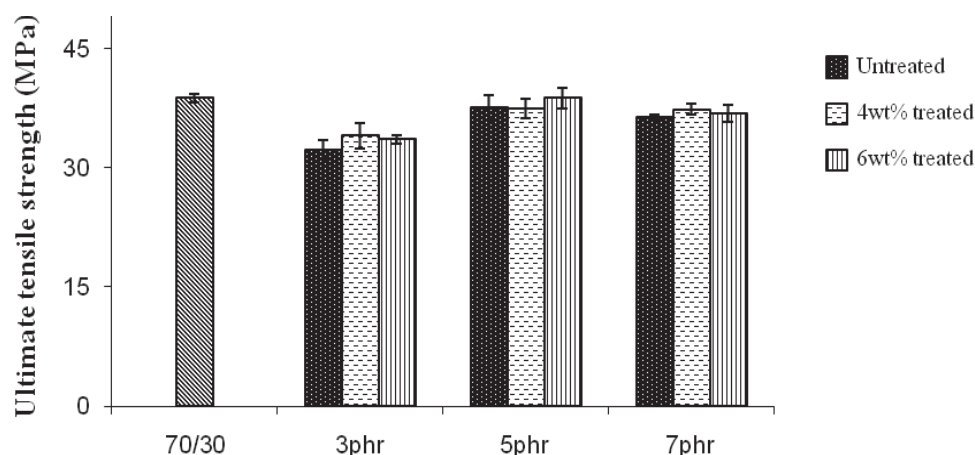
4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบการดึงยืด (Tensile Property) เส้นหาวยเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง(Tensile test) ตามมาตรฐาน ASTM D-2256 โดยใช้ความเร็วของหัวจับชิ้นงาน 50 มิลลิเมตรต่อนาที Load cell ที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 50 กิโลนิวตัน ระยะห่างของหัวจับชิ้นงานเท่ากับ 10 เซนติเมตร ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลการทดสอบการดึงยืดของเส้น extrudate ที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ และส่วนที่ 2 จะเป็นผลการทดสอบการดึงยืดของเส้น extrudate ที่มีการผสมสารช่วยฟู(Cheical foaming agent) ที่ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งผลการทดสอบชนิดต่างๆ นั้นจะแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.2.2.1 ผลการทดสอบการดึงยืดของเส้นหาวยเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ



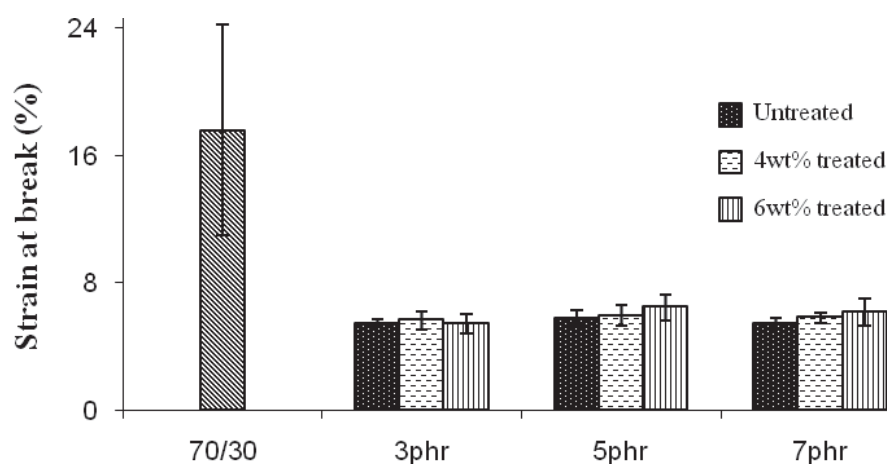
ภาพที่ 56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's modulus กับปริมาณของผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Ultimate tensile strength กับปริมาณของผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 56 และ 57 พบว่าการเติมผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ส่งผลต่อค่า Young's modulus และค่า Ultimate tensile strength โดยผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBAT พบว่าค่า Young's modulus และค่า Ultimate tensile strength มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่เติมผงไม้สนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ดังเหตุได้จากชิ้นงานที่เสริมแรงด้วยผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะมีค่า Young's modulus เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเนื่องจากพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้สนสามารถยึดเกาะกัน

ได้ดีมากขึ้นและผงไม้สนสามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี ส่งผลให้เมื่อชิ้นงานได้รับแรงกระทำจะสามารถถ่ายโอนแรงจากพอลิเมอร์เมทริกซ์ไปสู่เส้นใยได้ดี ส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ดังปรากฏในงานวิจัยของ Tao Yu และคณะ[21] แต่สำหรับชิ้นงานที่เสริมแรงด้วยผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าบางสูตรการผสมมีค่า Young's modulus และค่า Ultimate tensile strength ลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะปริมาณของไซเลนที่มากเกินไป ทำให้ไซเลนเกิดปฏิกิริยาควบแน่นกันเองที่ตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล เกิดเป็นเฟสของ polysiloxane ไปแทรกกระหว่างเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้สนจึงทำให้การเชื่อมโยงระหว่างกันได้ยาก จึงทำให้ชิ้นงานสามารถรับแรงกระทำได้น้อยลงดังปรากฏในงานวิจัยของ L. Chotirat และคณะ[10]



ภาพที่ 58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain at break(%) กับปริมาณของผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

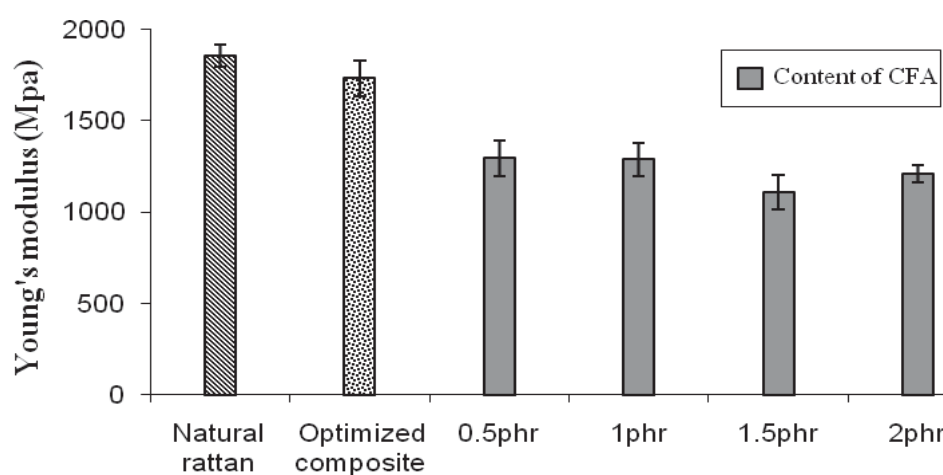
จากภาพที่ 58 พบว่าการเติมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ส่งผลให้ค่า Strain at break (%) มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBAT ที่ไม่มีการเติมผงไม้สน เนื่องจากการผสม PLA , PBAT และผงไม้สน จะเป็นการผสมแบบสามเฟส ซึ่งทั้งสามเฟสสามารถเข้ากันได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นโครงสร้างภายในจึงไม่มีการยึดเกาะติดกันและเกิดการแตกหักขาดออกจากกันอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับแรง [30]

สำหรับผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane เมื่อนำไปผสมกับ PLA และ PBAT พบว่าค่า Strain at break (%) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่เติมผงไม้สนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyl

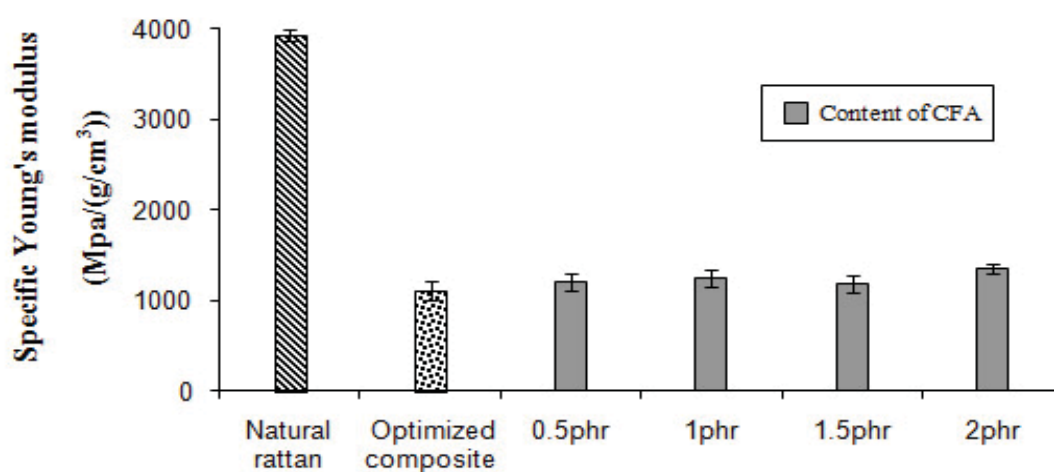
triethoxy silane เนื่องจากผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวจะสามารถยึดเกาะกับPLA ได้ดีมากขึ้น (อ้างอิงจากผลการทดสอบ SEM) ส่งผลให้ชิ้นงานสามารถยึดออกได้มากขึ้น

4.1.4.3 ผลการทดสอบการดึงยึดของเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ

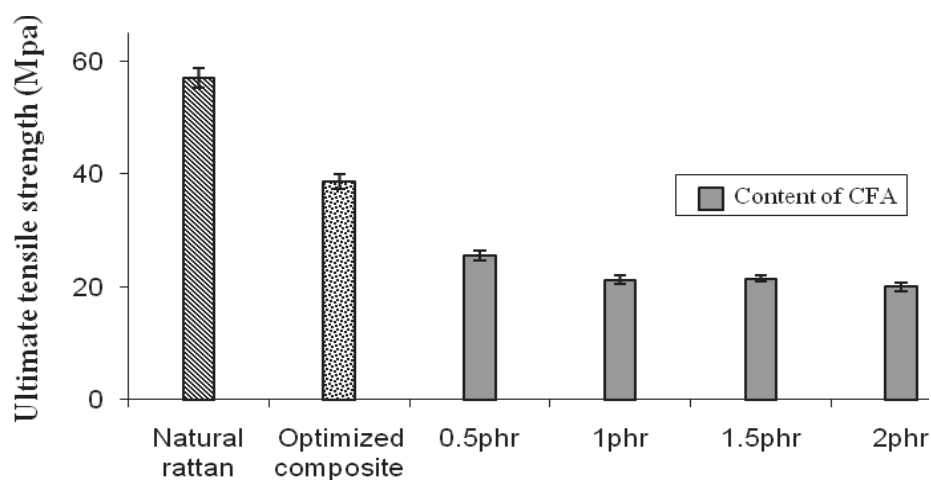
ๆ



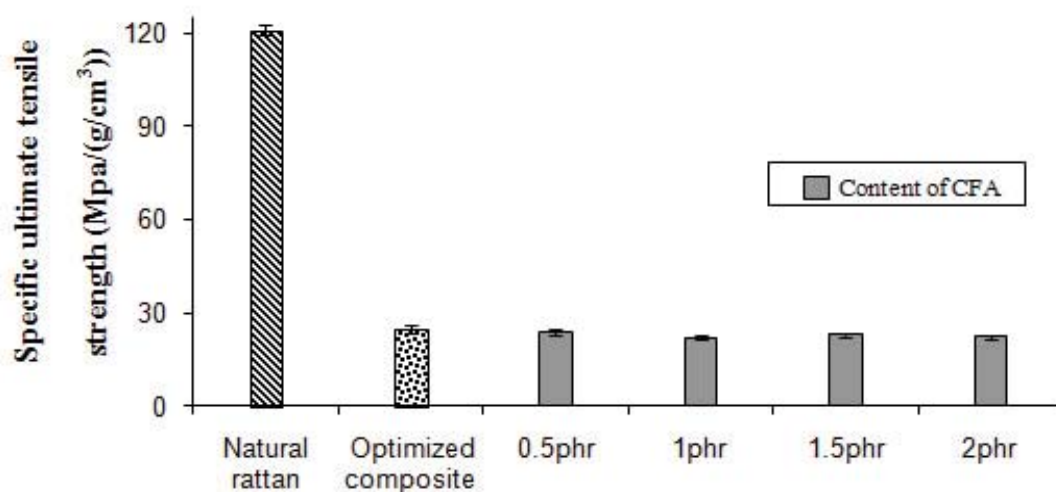
ภาพที่ 59 แสดงการเปรียบเทียบค่า Young's modulus ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



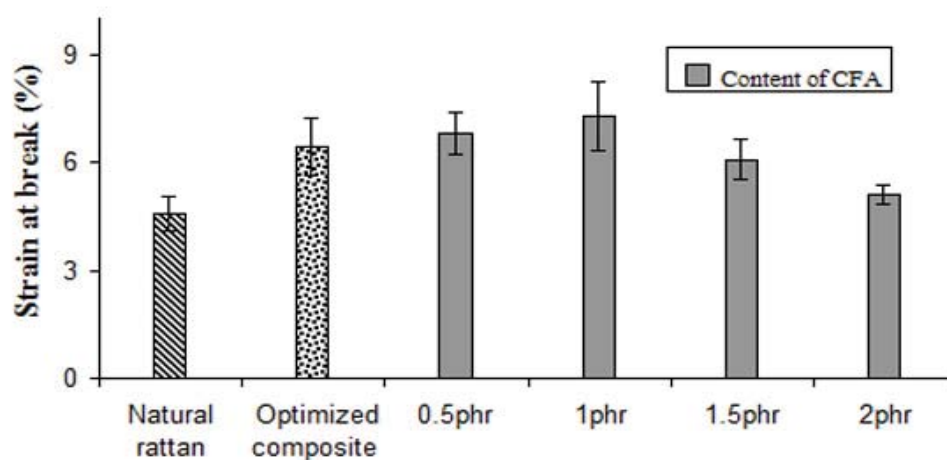
ภาพที่ 60 แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific Young's modulus ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



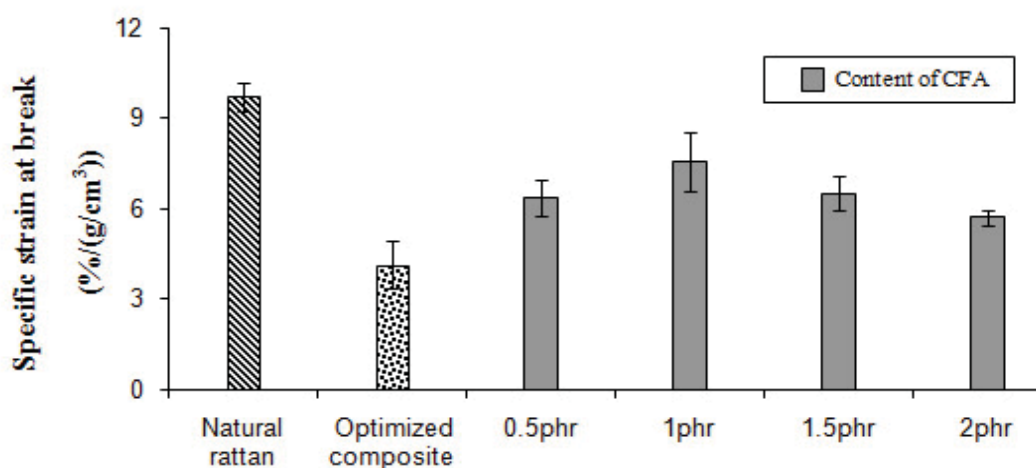
ภาพที่ 61 แสดงการเปรียบเทียบค่า Ultimate tensile strength ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 62 แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific ultimate tensile strength ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 63 แสดงการเปรียบเทียบค่า Strain at break(%) ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 63 แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific strain at break(%) ระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 59 และ 61 พบว่าการเติมสารช่วยฟู (Azodicarbonamide) ส่งผลให้ค่า Young's modulus และค่า Ultimate tensile strength ของเส้นหวายเทียมมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู เนื่องจากการเติมสารช่วยฟูเพื่อก่อให้เกิดเซลล์โฟมขึ้นภายในเส้นหวายเทียมนั้น ส่งผลให้เส้นหวายเทียมมีความต่อเนื่องของเฟสที่ใช้ในการรับแรงลดลงทำให้เมื่อได้รับแรงจะเกิดการแตกแยกออกจากกันได้ง่าย

ผลของปริมาณของสารช่วยฟูจะแปรผกผันกับค่า Young's modulus และค่า Ultimate tensile strength โดยที่ปริมาณสารช่วยฟูเท่ากับ 1.0 phr ส่งผลให้เซลล์โฟมที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานมีขนาดใหญ่มากกว่าที่ปริมาณ 0.5 phr และมีแนวโน้มที่จะเกิดการเชื่อมประสานของเซลล์โฟ

แต่ละเซลล์เป็นเซลล์เปิดเพิ่มขึ้นในบางบริเวณ (อ้างอิงจากผลการทดสอบ SEM) ซึ่งถ้าเซลล์โพลีที่เกิดขึ้นภายในมีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงลดลง เมื่อพิจารณาการเติมสารช่วยฟูที่ปริมาณ 1.5 phr พบว่าเกิดการเชื่อมประสานของเซลล์โพลีแต่ละเซลล์เป็นเซลล์เปิดเพิ่มขึ้นบริเวณตรงกลางของชิ้นงาน ซึ่งการเชื่อมประสานของเซลล์นั้นเกิดจากแรงดันของแก๊สที่อยู่ภายในเซลล์โพลีแต่ละเซลล์ดันให้เซลล์โพลีเกิดการขยายตัวจนผนังเซลล์สัมผัสกันและเกิดการแตกออก ซึ่งผลของการผนังเซลล์ที่แตกออกนั้นทำให้เกิดรอย crack initiation ในชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานได้รับแรงกระทำจะส่งผลให้เกิดการ crack propagation ทำให้สามารถรับแรงกระทำได้น้อยลง ส่งผลให้ค่า Ultimate tensile strength มีค่าลดลง แต่เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 60 และ 62 ซึ่งเป็นค่า Specific Young's modulus และค่า Specific ultimate tensile strength พบว่าการเติมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ นั้น ไม่ส่งผลให้ความแข็งแรงของเนื้อวัสดุลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นหอยเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู

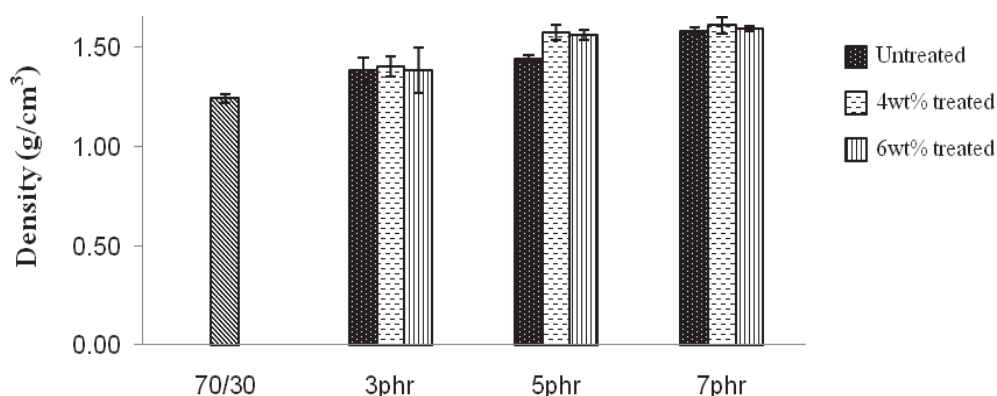
สำหรับภาพที่ 63 และ 64 พบว่าเส้นหอยเทียมที่เติมสารช่วยฟูส่งผลให้เส้นหอยเทียมมีความ flexible เพิ่มขึ้นสังเกตได้จากค่า Strain at break (%) และค่า Specific strain at break(%) มีค่าเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณของสารช่วยฟูเท่ากับ 1.0 phr จะมีค่าค่า Strain at break (%) และค่า Specific strain at break(%) สูงที่สุด เนื่องจากผนังที่กั้นระหว่างเซลล์โพลีแต่ละเซลล์มีความบางลง ส่งผลให้ชิ้นงานสามารถยืดออกได้มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยฟูขึ้นเป็น 1.5 phr พบว่ามีค่า Strain at break (%) และค่า Specific strain at break(%) ลดลง เนื่องจากปริมาณของสารช่วยฟูที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดเซลล์โพลีที่มีลักษณะเป็นเซลล์เปิดเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดรอย crack initiation ในชิ้นงานดังที่กล่าวแล้วไปข้างต้น ส่งผลให้ชิ้นงานสามารถยืดตัวออกได้น้อยลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยฟูขึ้นเป็น 2.0 phr พบว่าชิ้นงานสามารถยืดตัวออกได้น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่เติมสารช่วยฟูที่ปริมาณ 0.5-1.5 phr ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแก๊สที่เกิดขึ้นในระบบมีปริมาณมากขึ้นจนสามารถแพร่ไปยังผิวของชิ้นงานได้ทันก่อนที่ชิ้นงานจะแข็งตัว ส่งผลให้เกิดรูพรุนที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงาน ทำให้เกิดการฉีกขาดได้ง่ายเมื่อได้รับแรง ส่งผลให้ค่า Strain at break (%) และค่า Specific strain at break(%) มีค่าลดลงนั่นเอง

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติการดึงยึดระหว่างเส้นหอยธรรมชาติกับเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โพลีอยู่ภายใน พบว่าเส้นหอยธรรมชาติมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่สูงกว่าเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โพลีอยู่ภายใน

4.2.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นหยาขี้นที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

การทดสอบความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM D-1622 ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นหยาขี้นที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ และส่วนที่ 2 จะเป็นผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นหยาขี้นที่มีการผสมสารช่วยฟู (Chemical foaming agent) ที่ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงได้ดังภาพที่ 65 และ 66

4.2.3.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นหยาขี้นที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

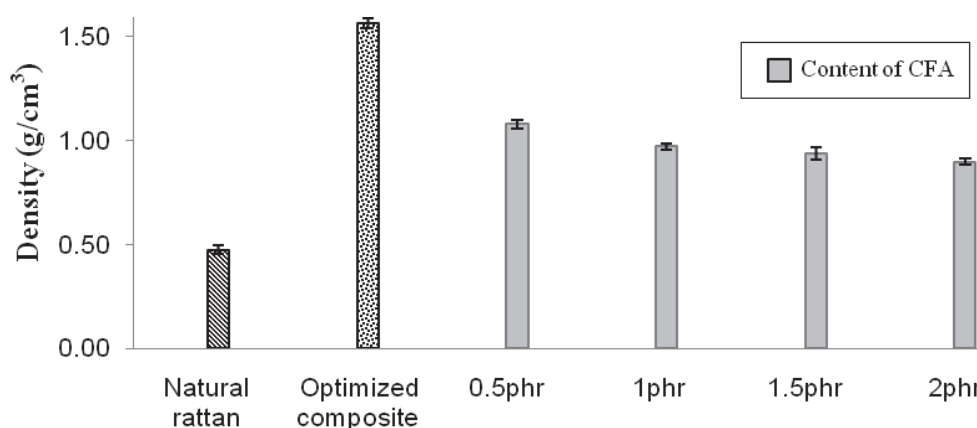


ภาพที่ 65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณผงไม้ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 65 พบว่าผลของการเติมผงไม้สนทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ลงในพอลิเมอร์เมทริกซ์มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกันคือการเติมผงไม้สนทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของเส้นหยาขี้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อมีการเติมผงไม้สนลงไปผสมในพอลิเมอร์เมทริกซ์เท่ากับเป็นการเพิ่มน้ำหนักให้กับชิ้นงาน จึงทำให้ชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับสมการหาความหนาแน่น ($D = M/V$) เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นของ 3-Aminopropyltriethoxy silane พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่า

ความหนาแน่นของเส้นหอยเทียมอย่างชัดเจน เนื่องจากหน้าที่หลักของ 3-Aminopropyltriethoxy silane คือช่วยประสานเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงไม้ให้เข้ากันได้มากขึ้น

4.1.5.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นหอยเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 66 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นระหว่างเส้นหอยธรรมชาติกับเส้นหอยเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 66 พบว่าผลของการเติมสารช่วยฟู (Azodicarbonamide) ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของเส้นหอยเทียม ซึ่งถ้าพิจารณาเส้นหอยเทียมที่เติมสารช่วยฟูปริมาณ 0.5 phr พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับเส้นหอยเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู เนื่องจาก PLA ที่ทำหน้าที่เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์นั้นมีค่า melt strength ที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้สามารถเกิดเซลล์โฟมขึ้นในเนื้อพอลิเมอร์ได้ง่าย ดังนั้นการเติมสารช่วยฟูปริมาณน้อย (0.5 phr) ก็สามารถทำให้เกิดเซลล์โฟมที่สม่ำเสมอและกระจายตัวได้ดี (อ้างอิงจากภาพการทดสอบ SEM) ส่งผลให้มวลของชิ้นงานมีค่าลดลง ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานจึงลดลงอย่างชัดเจน สำหรับเส้นหอยเทียมที่เติมสารช่วยฟูปริมาณ 1.0-2.0 phr พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงมากขึ้น เมื่อเทียบกับเส้นหอยเทียมที่เติมสารช่วยฟูปริมาณ 0.5 phr ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยฟูเป็น 1.0-1.5 phr จะทำให้เกิดเซลล์โฟมในลักษณะของเซลล์เปิดเพิ่มมากขึ้นในบางบริเวณ ส่งผลให้น้ำหนักของชิ้นงานลดลงอีกเล็กน้อย ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานจึงลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยฟูเป็น 2.0 phr พบว่าชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นหอยเทียมที่เติมสารช่วยฟูทั้งหมด ทั้งที่เซลล์ที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานมีปริมาณลดลง (อ้างอิงจากภาพการทดสอบ SEM) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่ปริมาณ 2.0 phr นั้นส่งผลให้มีแก๊สเกิดขึ้นใน

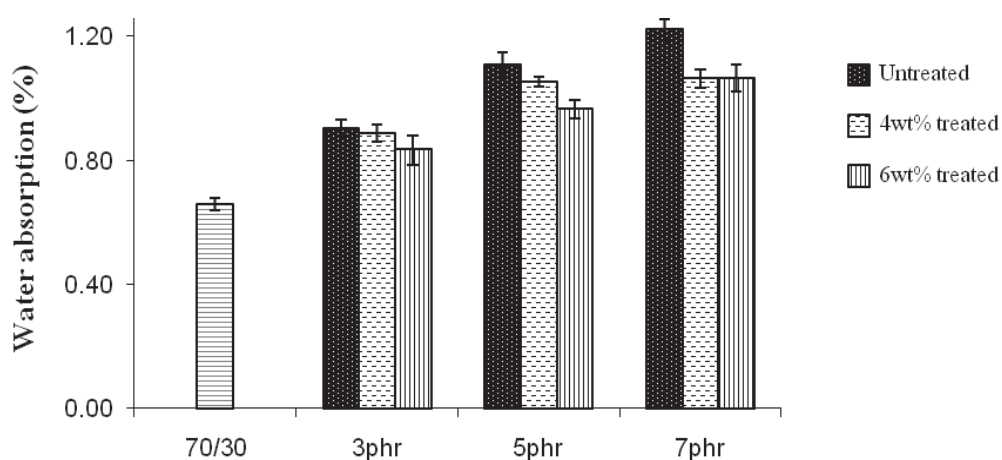
ระบบมากขึ้น จนสามารถแพร่มาถึงผิวของชิ้นงานได้ทันก่อนที่ชิ้นงานจะแข็งตัวส่งผลให้เกิดรูพรุนที่ผิวของชิ้นงาน สังเกตได้จากที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความหนาแน่นระหว่างเส้นหายธรรมชาติกับเส้นหายเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน พบว่าเส้นหายเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าเส้นหายธรรมชาติ แม้ว่าจะมีการใส่สารช่วยฟูเพื่อก่อให้เกิดเซลล์โฟมภายในเส้นหายเทียมแล้วก็ตาม แต่การเติมสารช่วยฟูก็ช่วยทำให้เส้นหายเทียมมีความหนาแน่นลดลงถึง 40 % เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นหายเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในงานวิจัยครั้งนี้สามารถผลิตเส้นหายเทียมที่มีน้ำหนักเบาขึ้นได้

4.2.4 ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

การทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำตามมาตรฐาน ASTM D 570-99 ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวที่ปริมาณต่าง ๆ และส่วนที่ 2 จะเป็นผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟู (Chemical foaming agent) ที่ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงได้ดังภาพที่ 61 และ 62

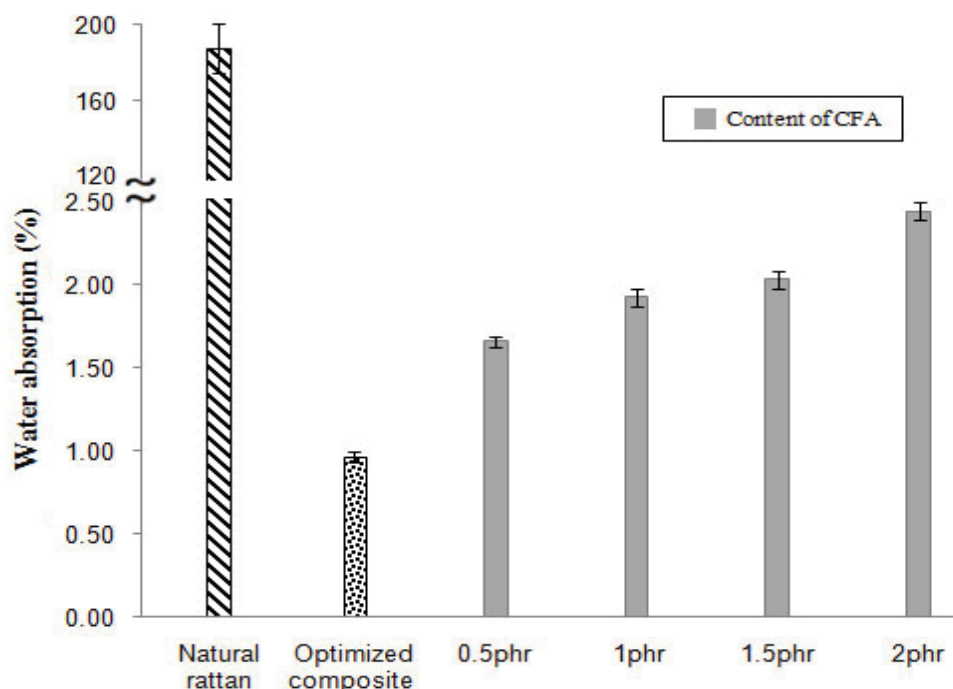
4.2.4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับปริมาณผงไม้ที่ผ่านและไม่ผ่าน
การปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 67 พบว่าเส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้สนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิว
ด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสูงกว่าเส้นหวายเทียมที่ผสมผง
ไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ซึ่งจะสามารถสังเกตเห็นได้
ชัดเจนที่ปริมาณผงไม้ 5 และ 7 phr เนื่องจากผงไม้สนจะประกอบไปด้วยเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอก
ซิลอยู่ภายในโครงสร้าง ส่งผลให้ผงไม้สนมีความสามารถในการดูดความชื้นมาก และเมื่อมีการใช้
3-Aminopropyltriethoxy silane ซึ่ง 3-Aminopropyltriethoxy silane นี้จะเข้าไปเคลือบผิวของเส้นใย
ธรรมชาติเป็นชั้นบางๆ จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) เป็นชั้นของ polysiloxane
บนผิวเส้นใย ซึ่งการที่หมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลสทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของไฮดรอก
ซิลเกิดเป็นพันธะอีเทอร์ (ether linkage) จะทำให้ความมีขรุขระของเส้นใยธรรมชาติลดลง และเมื่อ 3-
Aminopropyltriethoxy silane เกิดการเชื่อมโยงกับพอลิเมอร์ ช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับ
ผงไม้สนจะลดลง พอลิเมอร์เมทริกซ์กับเส้นใยธรรมชาติจะเข้ากันได้มากขึ้น ทำให้เส้นหวายเทียมที่
ผสมผงไม้สนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูด
ซับน้ำที่น้อยลง [22]

4.2.4.2 ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นหวายเทียมที่มีการผสม
สารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ



ภาพที่ 68 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 68 พบว่าเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟู (Azodicarbonamide) จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสูงกว่าเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการผสมสารช่วยฟู เนื่องจากเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูจะมีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน ทำให้น้ำมีโอกาสที่จะซึมเข้าไปและค้างอยู่ในชิ้นงานได้ ส่งผลให้เส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่สูงมากขึ้น สำหรับปริมาณของสารช่วยฟู จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารช่วยฟูที่ใส่เข้าไป ที่เป็นเช่นนี้เพราะสารช่วยฟูจะสามารถสลายตัวเป็นแก๊สได้เมื่อถึงอุณหภูมิที่เหมาะสม ดังนั้นถ้ายังมีปริมาณของสารช่วยฟูมากแก๊สที่ได้ในระบบก็จะมีปริมาณมากเช่นกัน ส่งผลให้เซลล์โฟมที่เกิดขึ้นภายในเส้นหวายเทียมที่เป็นเซลล์ปิดมีจำนวนที่มากขึ้นจนสามารถเกิดการเชื่อมของแต่ละผนังเซลล์รวมกันเป็นเซลล์เปิด แต่ที่ปริมาณ 2.0 phr ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจะสูงมากขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่มีการผสมสารช่วยฟูทั้งหมด เนื่องจากที่ปริมาณ 2.0 phr นั้นชิ้นงานที่ได้มีรูพรุนเกิดขึ้นที่พื้นผิวอย่างชัดเจน ส่งผลให้น้ำมีโอกาสที่จะซึมผ่านเข้าไปตกค้างอยู่ในชิ้นงานได้มากขึ้น(อ้างอิงจากผลการทดสอบ SEM)

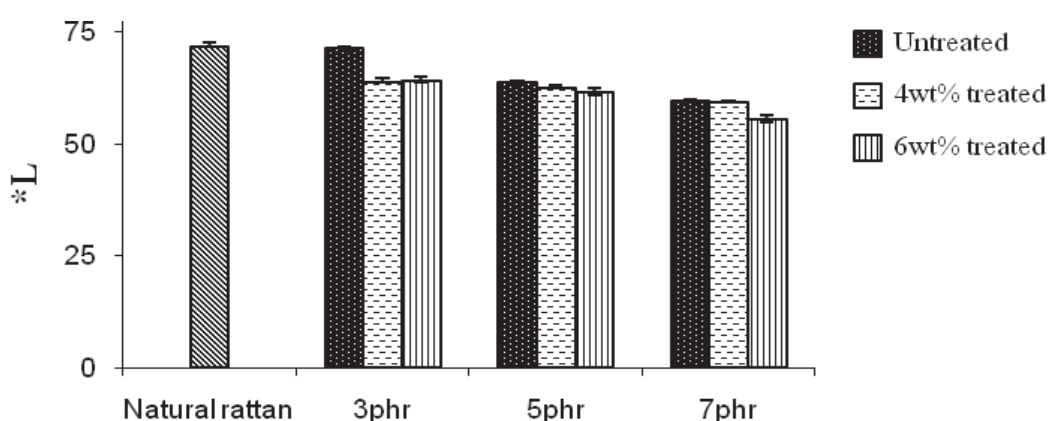
เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน พบว่าเส้นหวายเทียมที่มี

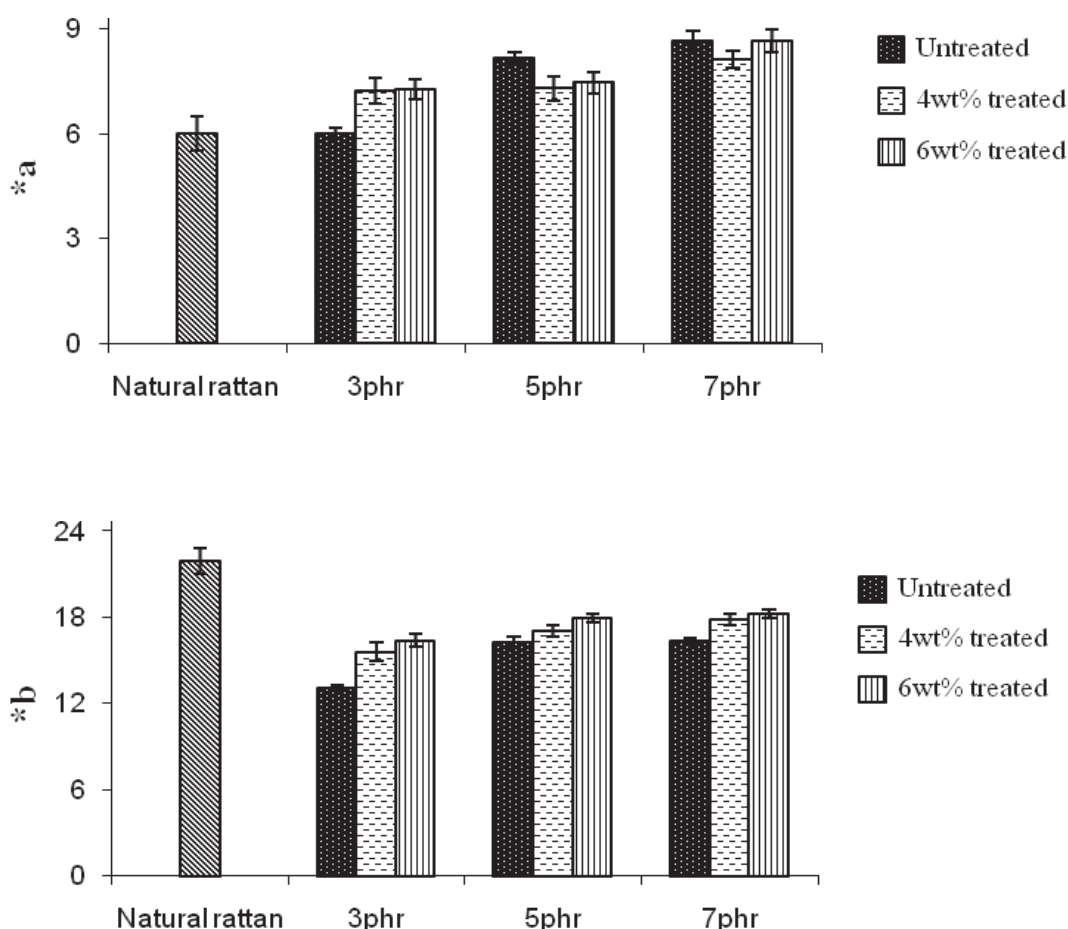
โครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำต่ำกว่าเส้นหวายธรรมชาติอย่างมาก เนื่องจากเส้นหวายธรรมชาติประกอบไปด้วยเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ภายในโครงสร้าง ส่งผลให้ผงไม้สนมีความสามารถในการดูดความชื้นที่มาก

4.2.5 การวัดค่าสีเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

ในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการเตรียมเส้นหวายเทียมให้มีสีใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติ โดยการใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติ และทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องอ่านค่าสี(Color Reader) ตามระบบ Lab พบว่าเส้นหวายเทียมที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อน (สีของผงไม้สน) ระดับของความเข้มของโทนสีจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณของผงไม้สน ซึ่งกระบวนการผลิตเส้นหวายเทียมจะใช้เครื่องเขย่าเป็นตัวป้อนเม็ดพลาสติกที่ผสมกับผงไม้สนลงสู่ hopper ทำให้ควบคุมปริมาณของผงไม้ได้ยาก ซึ่งอาจส่งผลให้สีของเส้นหวายเทียมไม่สม่ำเสมอ บ้างบางบริเวณ สำหรับการทดสอบนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะเป็นผลการวัดค่าสีเส้นหวายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวที่ปริมาณต่าง ๆ และส่วนที่ 2 จะเป็นผลการวัดค่าสีเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟู (Chemical foaming agent) ที่ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งผลการวัดค่าสีสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.2.5.1 ผลการวัดค่าสีเส้นหวายเทียมที่มีการผสมผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ





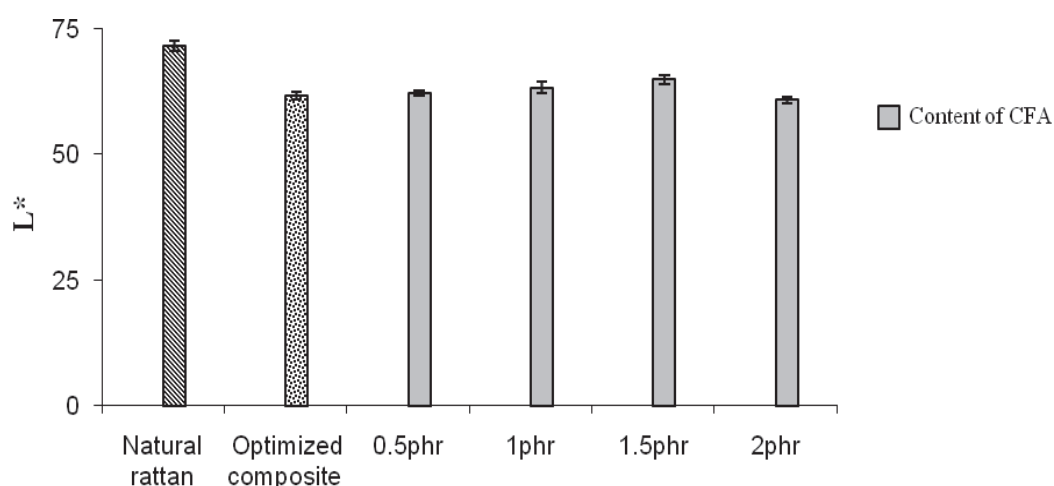
ภาพที่ 69 แสดงการเปรียบเทียบค่าวัดสีระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ

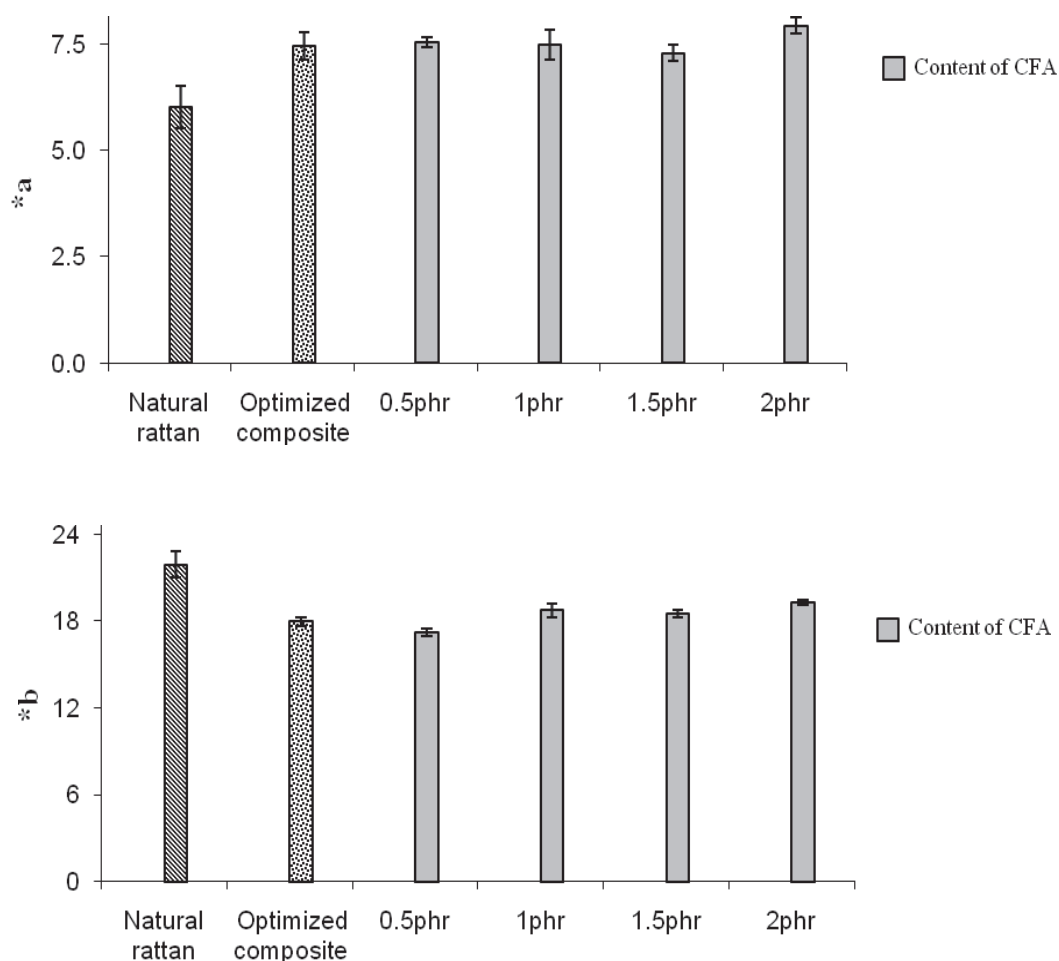
จากทฤษฎี ค่า *L จะหมายถึงความสว่างของสี ส่วน *a และ *b เป็นค่าสัมประสิทธิ์สี โดยจะบอกถึงทิศทางของสี โดยค่า *a และ *b จะหมายถึงสีอยู่ในทิศของสีแดงและทิศของสีเหลือง ตามลำดับ ดังนั้นจากผลที่ได้พบว่าปริมาณของผงไม้สนที่เพิ่มขึ้นจะแปรผกผันกันกับค่าความสว่าง กล่าวคือผงไม้สนที่ถูกเติมลงไปเพื่อเจือสีให้กับพอลิเมอร์ผสมจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของแสง ส่งผลให้แสงสามารถส่องผ่านเส้นหวายเทียมได้น้อยลงส่งผลให้เส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้สนให้ค่าความสว่างที่ลดลงตามปริมาณของผงไม้ที่ใส่เข้าไป สำหรับค่า *a จะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติ พบว่าค่า *a ของเส้นหวายเทียมที่ใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติ จะมีค่าแนวโน้มที่สูงกว่าเส้นหวายธรรมชาติ นั้น

หมายถึงเส้นหวายเทียมที่เจือสีด้วยผงไม้สนจะมีสีโทนน้ำตาลออกแดงๆ มากกว่า ส่วนค่า *b จะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติ พบว่าค่า *b ของเส้นหวายธรรมชาติจะมีค่าแนวโน้มที่สูงกว่าเส้นหวายเทียมที่ใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติซึ่งหมายถึงเส้นหวายธรรมชาติจะมีสีออกโทนเหลืองมากกว่า

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความสว่างระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ใช้ผงไม้สนเป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าเส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้สนปริมาณ 3 phr ให้ค่าความสว่างใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติมากที่สุด แต่ถ้านำผลการวัดค่าสีที่ได้ไปสัมพันธ์กับผลการทดสอบสมบัติเชิงกลจะพบว่าเส้นหวายเทียมที่ผสมผงไม้สนปริมาณ 3 phr ให้ผลการทดสอบที่ต่ำที่สุด เพราะฉะนั้นจึงตัดสินใจเลือกปริมาณของผงไม้สนเท่ากับ 5 phr โดยพิจารณาพร้อมกับผลการทดสอบสมบัติเชิงกล เพื่อกำหนดเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการนำไปผสมสารช่วยฟูต่อไป

4.2.5.2 ผลการวัดค่าสีเส้นหวายเทียมที่มีการผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ





ภาพที่ 70 แสดงการเปรียบเทียบค่าวัดสีระหว่างเส้นหวายธรรมชาติกับเส้นหวายเทียมที่ผสม
สารช่วยฟูที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 70 พบว่าค่าความสว่างของเส้นหวายเทียมที่มีการเติมสารช่วยฟูจะมี
แนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเซลล์โฟมเกิดขึ้นนั้นจะส่งผลให้แสงสามารถส่องทะลุผ่านได้มากกว่า
เส้นหวายเทียมที่มีโครงสร้างภายในเป็นแบบทรงตัน(ไม่มีเซลล์โฟมอยู่ภายใน)สำหรับการเติมสาร
ช่วยฟูที่ปริมาณ 0.5-1.0 phr พบว่าค่าความสว่างที่ได้ไม่ค่อยแตกต่างกัน เนื่องจากการเติมสารช่วยฟู
ที่ปริมาณ 0.5 phr สามารถทำให้ชิ้นงานเกิดเซลล์โฟมที่สม่ำเสมอและกระจายตัวได้ดีอยู่แล้ว และ
เมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยฟูขึ้นเป็น 1.5 phr พบว่าค่าความสว่างของเส้นหวายเทียมมีแนวโน้มเพิ่ม
สูงขึ้น เนื่องจากเซลล์โฟมที่เกิดขึ้นภายในนั้นมีขนาดและปริมาณของเซลล์โฟมที่มากกว่า ส่งผลให้
แสงสามารถส่องผ่านชิ้นงานได้ง่ายยิ่งขึ้น แต่ถ้าเพิ่มปริมาณของสารช่วยฟูขึ้นเป็น 2.0 phr พบว่าค่า
ความสว่างของเส้นหวายเทียมนั้นมีค่าลดลง(เส้นหวายเทียมมีสีที่เข้มขึ้น) เนื่องจากเซลล์โฟมที่

เกิดขึ้นภายในชิ้นงานมีปริมาณที่น้อยลงทำให้แสงสามารถส่องผ่านชิ้นงานได้ยากมากขึ้น สำหรับค่า *a จะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นหอยธรรมชาติกับเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน พบว่าค่า *a ของเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในมีค่าใกล้เคียงกับเส้นหอยธรรมชาติ นั่นหมายถึงเส้นหอยเทียมที่ได้จะมีสีโทนน้ำตาลออกแดงๆ ใกล้เคียงกับเส้นหอยธรรมชาติ ส่วนค่า *b จะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นหอยธรรมชาติกับเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน พบว่าค่า *b ของเส้นหอยธรรมชาติจะมีค่าแนวโน้มที่สูงกว่าเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายใน ซึ่งหมายถึงเส้นหอยธรรมชาติจะมีสีออกโทนเหลืองมากกว่า

แม้ว่าเส้นหอยเทียมที่มีโครงสร้างเป็นเซลล์โฟมอยู่ภายในจะมีแนวโน้มของค่าความสว่างน้อยกว่าเส้นหอยธรรมชาติ แต่ถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าเส้นหอยเทียมที่ได้นั้นมีสีที่ใกล้เคียงกับเส้นหอยธรรมชาติ

4.2.6 ผลการทดสอบผลของสารเคมีในครัวเรือนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นหอยเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

การทดสอบผลของสารเคมีในครัวเรือนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล โดยได้ออกแบบการทดลองให้ศึกษาผลของการจุ่มแช่เส้นหอยเทียมทุกสูตรการผสมในของเหลว 3 ชนิดได้แก่ น้ำกลั่น สารละลายน้ำยาล้างจานและสารละลายผงซักฟอก ที่ความเข้มข้น 2 wt% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เทียบกับเส้นหอยเทียมที่ผ่านการอบแห้ง(ไม่ถูกจุ่มแช่ในของเหลว) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะทำการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) โดยใช้ความแปรปรวนของข้อมูลเป็นตัวบอกค่าความเชื่อมั่นว่าการจุ่มแช่เส้นหอยเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ข้างต้นส่งผลต่อสมบัติเชิงกลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยกำหนดให้เส้นหอยเทียมที่ผ่านการอบแห้งเป็นตัวแปรควบคุม และสมมติให้เส้นหอยเทียมที่นำมาทดสอบนั้นมีสูตรการผสมที่ไม่แตกต่างกัน

จากกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) และใช้โปรแกรม SPSS ในการประเมินผล มีการแสดงค่า Probability Value (P-Value) คือค่าระดับนัยสำคัญเพื่อที่จะบอกยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก (null hypothesis ; H_0) น้อยที่สุด หรือโอกาสที่น้อยที่สุดที่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ในการทดสอบสมมติฐาน และตามที่ได้กล่าวไปแล้ว คือมีการใช้โปรแกรม SPSS ในการหาค่า P-Value โดยมีสมมติฐานคือ

H_0 : การจุ่มแช่เส้นหอยเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่าการตอบสนอง

H_1 : การจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ มีผลต่อค่าการตอบสนอง นั่นคือถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าค่า α จะยอมรับ H_0 คือการจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าการตอบสนอง (สมบัติที่เราสนใจ) แต่ถ้า P-Value มีค่าน้อยกว่า α จะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 คือการจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ มีอิทธิพลต่อค่าการตอบสนอง ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าของเหลวชนิดนั้น ๆ ไม่ส่งผลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม (ยอมรับ H_0) แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าของเหลวชนิดนั้น ๆ ส่งผลอิทธิพลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม (ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1)

โดยการทดสอบผลของสารเคมีในครัวเรือนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล จะทำการทดสอบการดึงยืด (Tensile Property) ของเส้นหวายเทียมที่ผ่านการแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ทุกสูตรการผสม ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D-2256 โดยในแต่ละตัวอย่างจะเก็บผล 10 ครั้ง และเมื่อคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS แล้วได้ผลดังตารางที่ 19 ถึง 21

ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหวายเทียมไปจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Young's modulus

ปัจจัย	P-Value	P-value < α
จุ่มแช่ในน้ำกลั่น	0.791	ไม่มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายน้ำยาล้างจาน	0.493	ไม่มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายผงซักฟอก	1.000	ไม่มีผล

หมายเหตุ : มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ มีผลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

ไม่มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อสมบัติของเส้นหวายเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

จากกระบวนการทางสถิติพบว่า การจุ่มแช่เส้นหวายเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Young's modulus ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหาวเทียมไปจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Ultimate tensile strength

ปัจจัย	P-Value	P-value < α
จุ่มแช่ในน้ำกลั่น	0.342	ไม่มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายน้ำยาล้างจาน	0.913	ไม่มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายผงซักฟอก	0.564	ไม่มีผล

หมายเหตุ : มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ มีผลต่อสมบัติของเส้นหาวเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

ไม่มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อสมบัติของเส้นหาวเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

จากกระบวนการทางสถิติพบว่า การจุ่มแช่เส้นหาวเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Ultimate tensile strength ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของการนำเส้นหาวเทียมไปจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อค่า Strain at break (%)

ปัจจัย	P-Value	P-value < α
จุ่มแช่ในน้ำกลั่น	0.947	ไม่มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายน้ำยาล้างจาน	0.790	ไม่มีผล
จุ่มแช่ในสารละลายผงซักฟอก	1.000	ไม่มีผล

หมายเหตุ : มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ มีผลต่อสมบัติของเส้นหาวเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

ไม่มีผล คือ การจุ่มแช่ในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อสมบัติของเส้นหาวเทียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า $\alpha = 0.05$

จากกระบวนการทางสถิติพบว่า การจุ่มแช่เส้นหาวเทียมในของเหลวชนิดต่าง ๆ ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า Strain at break (%) ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะแตกต่างจากเส้นหาวเทียมที่เตรียมจาก HDPE ผสมยาง EPDM ในข้อ 4.1.7 ทั้งๆที่เส้นหาวเทียมที่เตรียมจาก PLA ผสม PBAT นั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่สูงมากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเส้นหาวเทียมที่เตรียมจาก PLA ผสม PBAT นั้นมีความแข็งแรงโดยตัวของวัสดุเองสูงกว่าเส้นหาวเทียมที่เตรียมจาก HDPE ผสมยาง EPDM (เส้นหาวเทียมที่เตรียมจาก PLA ผสม PBAT มีความ flexibility น้อย

กว่าเส้นหอยเทียมที่เตรียมจาก HDPE ผสมยาง EPDM) แม้ว่าเส้นหอยเทียมที่เตรียมจาก PLA ผสม PBAT จะสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแต่น้ำที่ค้างอยู่ที่ช่องว่างระหว่างเฟสของ PLA กับ พงไม้ อาจจะส่งผลให้เฟสเกิดการขยายได้น้อยมาก เนื่องจากตัววัสดุมีความแข็งแรงสูง และมีความยืดหยุ่นน้อย ซึ่งต่างจากเส้นหอยเทียมที่เตรียมจาก HDPE ผสมยาง EPDM ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นสูงกว่า เมื่อถูกแรงกระทำในปริมาณไม่มาก ก็จะสามารถยืดตัวออกได้ ดังนั้นน้ำที่ค้างอยู่ตรงบริเวณรอยต่อระหว่างเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับพงไม้ทำให้เฟสมีการขยายได้ง่ายมากขึ้น เมื่อได้รับแรงกระทำ ส่งผลให้ชิ้นงานสามารถยืดออกได้มากขึ้น ค่า Strain at yield (%) จึงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความชื้น 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ส่วนแรกของงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและวิเคราะห์อิทธิพลของสารประสานคู่ควบของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ที่มีปริมาณผงไม้สน 1 , 2 และ 3 phr เป็นสารเติมแต่งทำให้ได้วัสดุคอมพอสิตเลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า

- ยาง EPDM ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความทนต่อแรงกระแทกให้กับ HDPE ทำให้เส้นหวายเทียมที่ได้มีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น
- ผงไม้สนที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย Vinyltriethoxy silane เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE กับยาง EPDM จะทำให้ได้เส้นหวายเทียมที่มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น
- ผงไม้สนที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำหนักของผงไม้ ปริมาณ 2 phr จะให้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลที่ดีและทำให้เส้นหวายเทียมมีสีใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติ
- ปริมาณของสารช่วยฟู (chemical foaming agent) มีอิทธิพลต่อจำนวนเซลล์โฟมและความแข็งแรงของเส้นหวายเทียม โดยเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณเท่ากับ 2.0 phr จะมีความแข็งแรงน้อยที่สุด เนื่องจากมีจำนวนของเซลล์โฟมที่เป็นเซลล์ปิดมากขึ้นจนเกิดการรวมตัวกันของแต่ละเซลล์ปิดกลายเป็นเซลล์เปิดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และที่พื้นผิวของเส้นหวายเทียมมีการฉีกขาดบางส่วน
- การเติมสารช่วยฟูส่งผลให้น้ำหนักของเส้นหวายเทียมลดลงได้ถึง 16 % เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู

5.1.2 ส่วนที่สองของงานวิจัยได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและวิเคราะห์อิทธิพลของสารประสานคู่ควบของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ ที่มี

- ผงไม้สนที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane เมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBAT จะทำให้ได้เส้นหวายเทียมที่มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น
- ผงไม้สนที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำหนักของผงไม้ ปริมาณ 5 phr จะให้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลที่ดีและทำให้เส้นหวายเทียมมีสีใกล้เคียงกับเส้นหวายธรรมชาติ
- ปริมาณของสารช่วยฟู (chemical foaming agent) มีอิทธิพลต่อจำนวนเซลล์โฟมและความแข็งแรงของเส้นหวายเทียม โดยเส้นหวายเทียมที่ผสมสารช่วยฟูที่ปริมาณเท่ากับ 2.0 phr จะมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นน้อยที่สุด เนื่องจากปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นในระบบมากจนสามารถแพร่ไปที่ผิวของเส้นหวายเทียมได้ทัน ก่อนที่เส้นหวายเทียมจะแข็งตัว ส่งผลให้บริเวณพื้นผิวของเส้นหวายเทียมขรุขระ ฉีกขาดได้ง่าย
- การเติมสารช่วยฟูส่งผลให้น้ำหนักของเส้นหวายเทียมลดลงได้ถึง 40 % เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นหวายเทียมที่ไม่มีการเติมสารช่วยฟู

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองทำเส้นหวายเทียมน้ำหนักเบาที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBAT นั้นพบว่าเซลล์โฟมที่เกิดขึ้นมีขนาดของเซลล์โฟมที่ไม่สม่ำเสมอ (เซลล์บริเวณตรงกลางของเส้นจะมีขนาดใหญ่กว่าบริเวณใกล้พื้นผิว) จึงควรหาวิธีการในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดการขยายตัวของพลาสติกที่บริเวณใกล้พื้นผิวได้ง่ายขึ้น และต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เพื่อให้ได้เซลล์โฟมที่มีขนาดที่สม่ำเสมอมากกว่านี้

บรรณานุกรม

- [1] หทัยเทพ ฤทธิ์เชื้อ และ จริญญา สันรัมย์, “การทดลองผลิตหวายเทียมจากโพลีเอเลฟิน”. ภาควิชาวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [2] ชนาธิป กุลคิดก และคณะ, “หวาย”, ม.ป.ป., 2531, 20-22.
- [3] <http://www.be2hand.com> [online], accessed 25 July 2009.
- [4] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. ม.ป.ป. วิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ 1 . ม.ป.ท.
- [5] วันชัย เลิศวิจิตรจรัส, “เอกสารประกอบการเรียนวิชาพอลิเมอร์ชีวภาพ บทที่ 3”. ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [6] วันชัย เลิศวิจิตรจรัส, “เอกสารประกอบการเรียนวิชาพอลิเมอร์ชีวภาพ บทที่ 5”. ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [7] อรุษา สรวารี, 2546, สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 33, 65, 68, 89.
- [8] P.K. Mallick. 1997. Composites engineering handbook. pp. 1-30. New York: Merel Dekker.
- [9] B.T.Astrom. 1997. Manufacturing of polymer composites. pp. 120-125. London: Chapman & Hall.
- [10] L. Chotirat, K. Chaochanchaikul, N. Sombatsompop, “Effect of Chemical Structure of Silane Coupling Agents on the Properties of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymer / Wood Sawdust Composites”, International Journal of Adhesion & Adhesives 27 (2007) 669–678.
- [11] D. Klempner and K.C. Frisch, **Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology**, New York : Hanser Publishers, 1991, 1-46, 187-242, 375-408.
- [12] D. Pentrakoon and J.W. Ellis, **An Introduction to Plastic Foams**, Bangkok : Chulalongkorn University Press, 2005, 1-52, 101-109, 135-178.
- [13] <http://www.chemplustrading.com/article01.html> [online], accessed 20 July 2010.
- [14] <http://www.chemtrack.org/EnvForKids/content.asp?ID=97> [online], accessed 1 January 2011.
- [15] คณะกรรมการโครงการฉลากเขียว, “ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม”. สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว, สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, หน้า 10-11.

- [16] คณะกรรมการโครงการฉลากเขียว, “ข้อกำหนดของสารซักฟอก”. สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว, สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, หน้า 11-12.
- [17] M. Arroyo, R. Zitzumbo and F. Avalos, “**Composites based on PP/EPDM blends and aramid short fibres.Morphology/behaviour relationship**”, Polymer 41 (2000) 6351–6359.
- [18] Magnus Bengtsson and Kristiina Oksman, “**Silane crosslinked wood plastic composites: Processing and properties**”, Composites Science and Technology 66 (2006) 2177–2186.
- [19] H. Demir, U. Atikler, D. Balkose, F. Tihminlioglu, “**The effect of fiber surface treatments on the tensile and water sorption properties of polypropylene–luffa fiber composites**”, Composites: Part A 37 (2006) 447–456.
- [20] Sonia M.B. Nachtigall, Graziela S. Cerveira and Simone M.L. Rosa, “**New polymeric-coupling agent for polypropylene/wood-flour composites**”, Polymer Testing 26 (2007) 619–628.
- [21] P. Dacko, M. Kowalczyk, H. Janeczek, M. Sobota, “**Properties of the Biodegradable Polymer Compositions Containing Natural Polyesters and their Synthetic Analogues**”, PROCEEDING FORM, p.1-3.
- [22] Tao Yu, Jie Ren, Shumao Li, Hua Yuan, Yan Li, “**Effect of fiber surface-treatments on the properties of poly(lactic acid)/ramie composites**”, Composites: Part A 41 (2010) 499–505.
- [23] Laurent M. Matuana, Omar Faruk and Carlos A. Diaz, “**Cell morphology of extrusion foamed poly(lactic acid) using endothermic chemical foaming agent**”, Bioresource Technology 100 (2009) 5947–5954.
- [24] R. Gosselin, D. Rodrigue and B. Riedl, “**Injection molding of postconsumer wood-plastic composite I : Morphology.**” Thermoplastic composite materials. Vol. 19 (2006) : 639-657.
- [25] Guillermo Cantero, Aitor Arbelaiz, Rodrigo Llano-Ponte and In aki Mondragon, “**Effects of fibre treatment on wettability and mechanical behavior of flax/polypropylene composites**”, Composites Science and Technology 63 (2003) 1247–1254.

- [26] S. M. B. NACHTIGALL, R. BAUMHARDTNETO, and R S. MAULER, **“Polypropylene Functionalization with Vinyltriethoxysilane”**, Journal of Applied Polymer Science(1999), Vol.72, 1313–1319.
- [27] Helson M. da Costa_, Vale’ria D. Ramos, Marisa C.G. Rocha, **“Analysis of thermal properties and impact strength of PP/SRT, PP/EPDM and PP/SRT/EPDM mixtures in single screw extruder”**, Polymer Testing 25 (2006) 498-503.
- [28] Yupaporn Ruksakulpiwat, Jatuporn Sridee, Nitinat Suppakarn and Wimonlak Sutapun, **“Improvement of impact property of natural fiber–polypropylene composite by using natural rubber and EPDM rubber”**, Composites: Part B 40 (2009) 619–622.
- [29] อัจฉรา ชาศิรีวัฒนา, **“ผลของสารคู่ควบประสานและแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนที่มีต่อสมบัติของวัสดุโพลีคอมพอสิตพอลิพรอไพลีนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม้”** ปริญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2553.
- [30] ณัฐวิทย์ ขมสนิท และคณะ, **“การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุคอมพอสิตผสมเส้นใยเซลลูโลสระหว่างพอลิเมอร์ชีวภาพและพอลิพรอไพลีน”**. ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554.
- [31] ชวันลักษณ์ สุวรรณรัมย์และคณะ, **“สูตรการผสม Poly(lactic acid) (PLA) และสภาวะการอัดรีด สำหรับการผลิตหลอดพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้”**. ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2553.
- [32] Srikanth Pilla, Seong G. Kim, George K. Auer, Shaoqin Gong and Chul B. Park, **“Microcellular extrusion foaming of poly(lactide)/poly(butylenes adipate-co-terephthalate) blends”**, Materials Science and Engineering C 30 (2010) 255–262.
- [33] A.K. Bledzki and O. Faruk, **“Injection moulded microcellular wood fibre-polypropylene composites.”** Composites: Part A, Vol. 37 (2006) : 1358-1367.
- [34] Md. Mominul Haque, Mahbub Hasan, Md. Saiful Islam, Md. Ershad Ali, **“Physico-mechanical properties of chemically treated palm and coir fiber reinforced polypropylene composites”**. Bioresource Technology 100 (2009) : 4903–4906.

- [35] Han-Seung Yang, Hyun-Joong Kim, Hee-Jun Park, Bum-Jae Lee, Taek-Sung Hwang, **“Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic filler–polyolefin bio-composites”**. Composite Structures 72 (2006) : 429–437.
- [36] N. Pons, A. Bergeret, J.-C. Benezet, L. Ferry, F Fesquet, **“An Environmental Stress Cracking (ESC) test to study the ageing of biopolymers and biocomposites”**. Polymer Testing 30 (2011) 310-317.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์
สังเคราะห์จากปิโตรเลียมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

ตารางที่ 22 แสดงอิทธิพลของปริมาณยางEPDMต่อค่า Young's modulus ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Young's modulus (MPa)	
	Average	SD
HD100	641.10	31.67
HD90	537.62	25.91
HD80	435.58	9.03
HD70	341.80	18.72
HD60	232.45	5.94

ตารางที่ 23 แสดงอิทธิพลของปริมาณยางEPDMต่อค่า Tensile strength ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Tensile strength (MPa)	
	Average	SD
HD100	16.06	0.43
HD90	15.05	0.68
HD80	13.22	0.17
HD70	10.94	0.47
HD60	8.94	0.17

ตารางที่ 24 แสดงอิทธิพลของปริมาณยางEPDMต่อค่า Strain at yield ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Strain at yield (%)	
	Average	SD
HD100	11.94	0.68
HD90	15.35	0.47
HD80	16.12	0.49
HD70	18.39	0.40
HD60	19.13	1.25

ตารางที่ 25 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Young's modulus ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Young's modulus (MPa)					
	Average			SD		
	1phr	2phr	3phr	1phr	2phr	3phr
Wsilane0	513.54	548.29	571.06	28.22	20.94	31.23
Wsilane2.5	548.01	585.93	546.90	29.18	31.54	36.00
Wsilane3.0	577.20	585.85	642.23	10.89	20.41	14.01

ตารางที่ 26 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Tensile strength ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Tensile strength (MPa)					
	Average			SD		
	1phr	2phr	3phr	1phr	2phr	3phr
Wsilane0	15.20	15.31	15.69	0.22	0.36	0.12
Wsilane2.5	16.01	16.25	16.27	0.22	0.18	0.41
Wsilane3.0	15.90	16.04	16.62	0.23	0.23	0.20

ตารางที่ 27 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Strain at yield ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Strain at yield (%)					
	Average			SD		
	1phr	2phr	3phr	1phr	2phr	3phr
Wsilane0	13.89	14.96	14.94	0.34	0.28	0.29
Wsilane2.5	15.29	15.60	16.25	0.30	0.45	0.29
Wsilane3.0	14.94	15.66	15.62	0.31	0.19	0.22

ตารางที่ 28 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Young's modulus ของเส้นหวายเทียม

Code	Young's modulus (MPa)							
	Average				SD			
	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
HDsilane2.5_F	547.45	501.98	463.82	460.38	14.23	17.24	12.04	19.94
Optimized formula	585.93				31.54			
Natural rattan	1858.07				59.90			

ตารางที่ 29 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Tensile strength ของเส้นหวายเทียม

Code	Tensile strength (MPa)							
	Average				SD			
	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
HDsilane2.5_F	14.66	13.07	12.38	11.74	0.16	0.10	0.29	0.15
Optimized formula	16.25				0.18			
Natural rattan	57.11				1.79			

ตารางที่ 30 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Strain at yield ของเส้นหวายเทียม

Code	Strain at yield (%)							
	Average				SD			
	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
HDsilane2.5_F	15.72	15.69	16.26	16.04	0.26	0.19	0.15	0.27
Optimized formula	15.60				0.45			
Natural rattan	4.59				0.48			

ตารางที่ 31 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความหนาแน่นของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Density (g/cm ³)					
	Average			SD		
	1phr	2phr	3phr	1phr	2phr	3phr
Wsilane0	0.9166	0.9199	0.9225	0.0489	0.0222	0.0105
Wsilane2.5	0.9208	0.9265	0.9291	0.0097	0.0178	0.0131
Wsilane3.0	0.9231	0.9265	0.9296	0.0222	0.0229	0.0249
90/10	0.8808			0.1311		

ตารางที่ 32 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความหนาแน่นของเส้นหวายเทียม

Code	Density (g/cm ³)							
	Average				SD			
	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
HDsilane2.5_F	0.9086	0.7861	0.7867	0.7759	0.0281	0.0125	0.0176	0.0244
Optimized formula	0.9265				0.0178			
Natural rattan	0.4720				0.0207			

ตารางที่ 33 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Water absorption (%)					
	Average			SD		
	1phr	2phr	3phr	1phr	2phr	3phr
Wsilane0	0.1116	0.2029	0.2286	0.0611	0.0553	0.0594
Wsilane2.5	0.0659	0.1758	0.1960	0.0428	0.0439	0.0495
Wsilane3.0	0.0734	0.1525	0.1942	0.0497	0.0559	0.0526
90/10	0.0555			0.0433		

ตารางที่ 34 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเส้นหวายเทียม

Code	Water absorption (%)							
	Average				SD			
	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
HDsilane2.5_F	0.5424	0.7965	0.8203	0.8653	0.0824	0.0953	0.0923	0.0498
Optimized formula	0.1758				0.0439			
Natural rattan	155.5160				13.2314			

ตารางที่ 35 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความสว่าง (*L) ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Lightness (*L)					
	Average			SD		
	1phr	2phr	3phr	1phr	2phr	3phr
Wsilane0	61.7	54.8	50.3	0.4	0.6	0.3
Wsilane2.5	59.3	55.1	52.7	0.4	0.5	0.5
Wsilane3.0	59.1	55.2	50.1	0.5	0.5	0.3
Natural rattan	71.5			1		

ตารางที่ 36 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *a ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	*a					
	Average			SD		
	1phr	2phr	3phr	1phr	2phr	3phr
Wsilane0	2.9	7.3	7.8	0.1	0.5	0.2
Wsilane2.5	3.6	7.2	6.8	0.2	0.5	0.4
Wsilane3.0	2.9	7.5	8.3	0.2	0.2	0.2
Natural rattan	6.0			0.5		

ตารางที่ 37 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย Vinyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *b ของเส้นหอยเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	*b					
	Average			SD		
	1phr	2phr	3phr	1phr	2phr	3phr
Wsilane0	12.2	18.5	19.2	0.4	0.5	0.2
Wsilane2.5	12.4	16.3	16.2	0.4	0.6	0.4
Wsilane3.0	12.1	17.2	18	0.5	0.2	0.2
Natural rattan	21.9			0.9		

ตารางที่ 38 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความสว่าง (*L) ของเส้นหอยเทียม

Code	Lightness (*L)							
	Average				SD			
	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
HDsilane2.5_F	56.2	61.3	64.3	65.2	0.2	0.2	0.4	0.4
Optimized formula	55.1				0.5			
Natural rattan	71.5				1.0			

ตารางที่ 39 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *a ของเส้นหวายเทียม

Code	*a							
	Average				SD			
	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
HDsilane2.5_F	6.0	6.2	6.0	5.6	0.1	0.1	0.1	0.1
Optimized formula	7.2				0.5			
Natural rattan	6.0				0.5			

ตารางที่ 40 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *b ของเส้นหวายเทียม

Code	*b							
	Average				SD			
	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
HDsilane2.5_F	18.6	20	20	19.3	0.3	0.4	0.3	0.3
Optimized formula	16.3				0.6			
Natural rattan	21.9				0.9			

ผลการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) และใช้โปรแกรม SPSS ใน
การประเมินผลค่า Young's modulus ของเส้นหวายเทียมทุกสูตรการผสม

Oneway

Notes

Output Created	11-AUG-2011 22:19:10	
Comments		
Input	Data	C:\Users\Gundum\Desktop\SPSS HDPE\Young's modulus.sav
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	556
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each analysis are based on cases with no missing data for any variable in the analysis.
Syntax	ONEWAY tensile BY cond /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY BROWNFORSYTHE WELCH /MISSING ANALYSIS /POSTHOC = TUKEY T2 ALPHA(.01).	
Resources	Elapsed Time	0:00:00.03

Descriptives

Young's modulus

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Dry	130	545.5879	53.94814	4.73156	536.2264	554.9494	426.14	668.80
Water	130	526.3281	80.53667	7.06353	512.3528	540.3035	352.32	746.71
Dishwashing	130	551.6675	69.40736	6.08743	539.6234	563.7116	363.82	640.06
Washing powder	130	535.7032	72.20872	6.33312	523.1729	548.2334	350.63	627.77
Total	520	539.8217	70.15886	3.07667	533.7774	545.8659	350.63	746.71

Test of Homogeneity of Variances

Young's modulus

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.622	3	516	.003

ANOVA

Young's modulus

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	48439.372	3	16146.457	3.324	.020
Within Groups	2506216.789	516	4857.009		
Total	2554656.162	519			

Robust Tests of Equality of Means

Young's modulus

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	2.982	3	283.460	.032
Brown-Forsythe	3.324	3	482.400	.020

a Asymptotically F distributed.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Young's modulus

	(I) Conditions	(J) Conditions	Mean Differenc e (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Dry	Water	19.2598	8.64426	.117	-7.7842	46.3038
		Dishwashing	-6.0796	8.64426	.896	-33.1236	20.9644
		Washing powder	9.8848	8.64426	.663	-17.1592	36.9288
	Water	Dry	-19.2598	8.64426	.117	-46.3038	7.7842
		Dishwashing	-25.3393	8.64426	.018	-52.3833	1.7046
		Washing powder	-9.3750	8.64426	.699	-36.4190	17.6690
	Dishwashing	Dry	6.0796	8.64426	.896	-20.9644	33.1236
		Water	25.3393	8.64426	.018	-1.7046	52.3833
		Washing powder	15.9643	8.64426	.253	-11.0797	43.0083
	Washing powder	Dry	-9.8848	8.64426	.663	-36.9288	17.1592
		Water	9.3750	8.64426	.699	-17.6690	36.4190
		Dishwashing	-15.9643	8.64426	.253	-43.0083	11.0797
Tamhane	Dry	Water	19.2598	8.50184	.138	-7.7854	46.3049
		Dishwashing	-6.0796	7.71003	.966	-30.5840	18.4249
		Washing powder	9.8848	7.90545	.761	-15.2460	35.0155
	Water	Dry	-19.2598	8.50184	.138	-46.3049	7.7854
		Dishwashing	-25.3393	9.32471	.041	-54.9634	4.2847
		Washing powder	-9.3750	9.48694	.905	-39.5112	20.7612
	Dishwashing	Dry	6.0796	7.71003	.966	-18.4249	30.5840
		Water	25.3393	9.32471	.041	-4.2847	54.9634
		Washing powder	15.9643	8.78437	.354	-11.9371	43.8657
	Washing powder	Dry	-9.8848	7.90545	.761	-35.0155	15.2460
		Water	9.3750	9.48694	.905	-20.7612	39.5112
		Dishwashing	-15.9643	8.78437	.354	-43.8657	11.9371

Homogeneous Subsets

Young's modulus

	Conditions	N	Subset for alpha = .01
Tukey HSD(a)	Water	130	526.3281
	Washing powder	130	535.7032
	Dry	130	545.5879
	Dishwashing	130	551.6675
	Sig.		.018

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 130.000.

ผลการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) และใช้โปรแกรม SPSS ใน
การประเมินผลค่า Ultimate tensile strength ของเส้นหวายเทียมทุกสูตรการผสม

Oneway

Notes

Output Created	11-AUG-2011 22:21:20
Comments	
Input	Data
	C:\Users\Gundum\Desktop\SPSS HDPE\Strength.sav
	Filter <none>
	Weight <none>
	Split File <none>
	N of Rows in Working Data File 556
Missing Value Handling	Definition of Missing User-defined missing values are treated as missing.

Cases Used		Statistics for each analysis are based on cases with no missing data for any variable in the analysis.
Syntax		
		ONEWAY tensile BY cond /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY BROWNFORSYTHE WELCH /MISSING ANALYSIS /POSTHOC = TUKEY T2 ALPHA(.01).
Resources	Elapsed Time	0:00:00.05

Descriptives

Ultimate tensile strength

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Dry	130	15.0116	1.55765	.13661	14.7413	15.2819	11.55	16.89
Water	130	14.6741	2.68976	.23591	14.2073	15.1408	9.63	20.70
Dishwashing	130	15.3093	2.14430	.18807	14.9372	15.6814	10.43	21.00
Washing powder	130	14.4512	2.07655	.18213	14.0908	14.8115	9.41	16.86
Total	520	14.8615	2.17320	.09530	14.6743	15.0488	9.41	21.00

Test of Homogeneity of Variances

Ultimate tensile strength

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
10.267	3	516	.000

ANOVA

Ultimate tensile strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	55.455	3	18.485	3.981	.008
Within Groups	2395.683	516	4.643		
Total	2451.138	519			

Robust Tests of Equality of Means

Ultimate tensile strength

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	4.112	3	281.636	.007
Brown-Forsythe	3.981	3	454.148	.008

a. Asymptotically F distributed.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Ultimate tensile strength

	(I) Conditions	(J) Conditions	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Dry	Water	.3375	.26726	.587	-.4986	1.1737
		Dishwashing	-.2977	.26726	.681	-1.1338	.5384
		Washing powder	.5605	.26726	.155	-.2757	1.3966
	Water	Dry	-.3375	.26726	.587	-1.1737	.4986
		Dishwashing	-.6352	.26726	.083	-1.4714	.2009
		Washing powder	.2229	.26726	.838	-.6132	1.0591
	Dishwashing	Dry	.2977	.26726	.681	-.5384	1.1338
		Water	.6352	.26726	.083	-.2009	1.4714
		Washing powder	.8582(*)	.26726	.008	.0220	1.6943
	Washing	Dry	-.5605	.26726	.155	-1.3966	.2757

Tamhane	powder						
	Dry	Water	-.2229	.26726	.838	-1.0591	.6132
		Dishwashing	-.8582(*)	.26726	.008	-1.6943	-.0220
		Water	.3375	.27261	.770	-.5306	1.2057
		Dishwashing	-.2977	.23245	.741	-1.0368	.4414
	Water	Washing powder	.5605	.22767	.084	-.1633	1.2842
		Dry	-.3375	.27261	.770	-1.2057	.5306
		Dishwashing	-.6352	.30170	.199	-1.5940	.3235
		Washing powder	.2229	.29803	.974	-.7243	1.1702
	Dishwashing	Dry	.2977	.23245	.741	-.4414	1.0368
		Water	.6352	.30170	.199	-.3235	1.5940
		Washing powder	.8582(*)	.26180	.007	.0266	1.6897
		Dry	-.5605	.22767	.084	-1.2842	.1633
	Washing powder	Water	-.2229	.29803	.974	-1.1702	.7243
		Dishwashing	-.8582(*)	.26180	.007	-1.6897	-.0266

* The mean difference is significant at the .01 level.

Homogeneous Subsets

Ultimate tensile strength

	Conditions	N	Subset for alpha = .01	
			1	2
Tukey HSD(a)	Washing powder	130	14.4512	
	Water	130	14.6741	14.6741
	Dry	130	15.0116	15.0116
	Dishwashing	130		15.3093
	Sig.		.155	.083

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 130.000.

ผลการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) และใช้โปรแกรม SPSS ใน
การประเมินผลค่า Strain at maximum stress ของเส้นหวายเทียมทุกสูตรการผสม

Oneway

Notes

Output Created	11-AUG-2011 22:22:11	
Comments		
Input	Data	C:\Users\Gundum\Desktop\SPSS HDPE\Strain at ultimate stress.sav
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	556
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each analysis are based on cases with no missing data for any variable in the analysis.
Syntax	ONEWAY tensile BY cond /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY BROWNFORSYTHE WELCH /MISSING ANALYSIS /POSTHOC = TUKEY T2 ALPHA(.01).	
Resources	Elapsed Time	0:00:00.03

Descriptives

Strain at ultimate stress

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Dry	130	15.4531	.68336	.05993	15.3345	15.5717	13.42	16.67
Water	130	17.9914	1.83339	.16080	17.6732	18.3095	14.00	25.34
Dishwashing	130	17.4219	1.04590	.09173	17.2404	17.6034	15.42	19.25
Washing powder	130	17.3202	1.02755	.09012	17.1418	17.4985	14.92	19.42
Total	520	17.0466	1.54905	.06793	16.9132	17.1801	13.42	25.34

Test of Homogeneity of Variances

Strain at ultimate stress

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
44.106	3	516	.000

ANOVA

Strain at ultimate stress

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	474.192	3	158.064	105.763	.000
Within Groups	771.172	516	1.495		
Total	1245.364	519			

Robust Tests of Equality of Means

Strain at ultimate stress

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	190.411	3	274.881	.000
Brown-Forsythe	105.763	3	333.389	.000

a Asymptotically F distributed.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Strain at ultimate stress

	(I) Conditions	(J) Conditions	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Dry	Water	-2.5383(*)	.15163	.000	-3.0127	-2.0639
		Dishwashing	-1.9688(*)	.15163	.000	-2.4432	-1.4945
		Washing powder	-1.8671(*)	.15163	.000	-2.3415	-1.3927
	Water	Dry	2.5383(*)	.15163	.000	2.0639	3.0127
		Dishwashing	.5695(*)	.15163	.001	.0951	1.0439
		Washing powder	.6712(*)	.15163	.000	.1968	1.1456
	Dishwashing	Dry	1.9688(*)	.15163	.000	1.4945	2.4432
		Water	-.5695(*)	.15163	.001	-1.0439	-.0951
		Washing powder	.1018	.15163	.908	-.3726	.5762
	Washing powder	Dry	1.8671(*)	.15163	.000	1.3927	2.3415
		Water	-.6712(*)	.15163	.000	-1.1456	-.1968
		Dishwashing	-.1018	.15163	.908	-.5762	.3726
Tamhane	Dry	Water	-2.5383(*)	.17161	.000	-3.0867	-1.9899
		Dishwashing	-1.9688(*)	.10958	.000	-2.3175	-1.6202
		Washing powder	-1.8671(*)	.10823	.000	-2.2114	-1.5228
	Water	Dry	2.5383(*)	.17161	.000	1.9899	3.0867
		Dishwashing	.5695	.18512	.014	-.0202	1.1591
		Washing powder	.6712(*)	.18433	.002	.0841	1.2584
	Dishwashing	Dry	1.9688(*)	.10958	.000	1.6202	2.3175
		Water	-.5695	.18512	.014	-1.1591	.0202
		Washing powder	.1018	.12859	.966	-.3067	.5102
	Washing powder	Dry	1.8671(*)	.10823	.000	1.5228	2.2114
		Water	-.6712(*)	.18433	.002	-1.2584	-.0841
		Dishwashing	-.1018	.12859	.966	-.5102	.3067

* The mean difference is significant at the .01 level.

Homogeneous Subsets

Strain at ultimate stress

	Conditions	N	Subset for alpha = .01		
			1	2	3
Tukey HSD(a)	Dry	130	15.4531		
	Washing powder	130		17.3202	
	Dishwashing	130		17.4219	
	Water	130			17.9914
	Sig.		1.000	.908	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 130.000.

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นหวายเทียมที่ทำจากพอลิเมอร์ที่
สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

ตารางที่ 41 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Young's modulus ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Young's modulus (MPa)					
	Average			SD		
	3phr	5phr	7phr	3phr	5phr	7phr
Wsilane0	1591.86	1696.59	1643.71	59.80	69.90	86.51
Wsilane4	1666.28	1735.77	1746.83	89.17	95.99	89.81
Wsilane6	1600.65	1731.59	1648.93	65.00	96.25	111.80
70/30	1544.76			84.67		

ตารางที่ 42 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Ultimate tensile strength ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Ultimate tensile strength (MPa)					
	Average			SD		
	3phr	5phr	7phr	3phr	5phr	7phr
Wsilane0	32.21	37.49	36.25	1.17	1.58	0.38
Wsilane4	33.94	37.37	37.26	1.55	1.16	0.69
Wsilane6	33.49	38.65	36.78	0.60	1.30	1.08
70/30	38.74			0.54		

ตารางที่ 43 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Strain at break ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Strain at break (%)					
	Average			SD		
	3phr	5phr	7phr	3phr	5phr	7phr
Wsilane0	0.23	0.52	0.30	0.23	0.52	0.30
Wsilane4	0.56	0.63	0.31	0.56	0.63	0.31
Wsilane6	0.61	0.80	0.82	0.61	0.80	0.82
70/30	17.59			6.63		

ตารางที่ 44 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Young's modulus ของเส้นหวายเทียม

Code	Young's modulus (MPa)							
	Average				SD			
	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
PLAsilane6_F	1294.18	1288.06	1108.50	1206.44	97.71	90.95	95.58	46.91
Optimized formula	1731.59				96.25			
Natural rattan	1858.07				59.90			

ตารางที่ 45 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Ultimate tensile stress ของเส้นหวายเทียม

Code	Ultimate tensile strength (MPa)							
	Average				SD			
	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
PLAsilane6_F	25.56	21.22	21.44	19.93	0.86	0.71	0.48	0.76
Optimized formula	38.65				1.30			
Natural rattan	57.11				1.79			

ตารางที่ 46 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า Strain at break ของเส้นหวายเทียม

Code	Strain at break (%)							
	Average				SD			
	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5 phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
PLAsilane6_F	6.82	7.31	6.08	5.10	0.59	0.96	0.56	0.26
Optimized formula	6.45				0.80			
Natural rattan	4.59				0.48			

ตารางที่ 47 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความหนาแน่นของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Density (g/cm ³)					
	Average			SD		
	3phr	5phr	7phr	3phr	5phr	7phr
Wsilane0	1.3795	1.4374	1.5801	0.0632	0.0187	0.0157
Wsilane4	1.4027	1.5724	1.6072	0.0516	0.0353	0.0385
Wsilane6	1.3842	1.5613	1.5903	0.1146	0.0265	0.0112
70/30	1.2399			0.0200		

ตารางที่ 48 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความหนาแน่นของเส้นหวายเทียม

Code	Density (g/cm ³)							
	Average				SD			
	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
PLsilane6_F	1.0778	0.9695	0.9370	0.8959	0.0206	0.0165	0.0313	0.0150
Optimized formula	1.5613				0.0265			
Natural rattan	0.4720				0.0207			

ตารางที่ 49 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Water absorption (%)					
	Average			SD		
	3phr	5phr	7phr	3phr	5phr	7phr
Wsilane0	0.9016	1.1079	1.2197	0.0272	0.0388	0.0322
Wsilane4	0.8879	1.0520	1.0625	0.0265	0.0151	0.0297
Wsilane6	0.8328	0.9631	1.0636	0.0482	0.0295	0.0439
70/30	0.6585			0.0210		

ตารางที่ 50 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเส้นหวายเทียม

Code	Water absorption (%)							
	Average				SD			
	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
PLsilane6_F	1.6608	1.9262	2.0328	2.4452	0.0344	0.0520	0.0554	0.0564
Optimized formula	0.9631				0.0295			
Natural rattan	155.5160				13.2314			

ตารางที่ 51 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความสว่าง (*L) ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	Lightness (*L)					
	Average			SD		
	3phr	5phr	7phr	3phr	5phr	7phr
Wsilane0	71.3	63.7	59.5	0.3	0.5	0.4
Wsilane4	63.9	62.6	59.4	0.7	0.3	0.3
Wsilane6	64.2	61.7	55.6	0.7	0.7	0.8
Natural rattan	71.5			1.0		

ตารางที่ 52 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *a ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	*a					
	Average			SD		
	3phr	5phr	7phr	3phr	5phr	7phr
Wsilane0	6.0	8.2	8.7	0.2	0.2	0.3
Wsilane4	7.2	7.3	8.1	0.4	0.4	0.2
Wsilane6	7.3	7.5	8.7	0.3	0.3	0.3
Natural rattan	6.0			0.5		

ตารางที่ 53 แสดงอิทธิพลของปริมาณผงไม้สนที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย 3-Aminopropyltriethoxy silane ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *b ของเส้นหวายเทียมที่ปราศจาก Foaming agent

Code	*b					
	Average			SD		
	3phr	5phr	7phr	3phr	5phr	7phr
Wsilane0	13.1	16.3	16.3	0.2	0.4	0.2
Wsilane4	15.6	17.1	17.8	0.7	0.4	0.4
Wsilane6	16.4	18.0	18.2	0.4	0.3	0.3
Natural rattan	21.9			0.9		

ตารางที่ 54 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความสว่าง (*L) ของเส้นหวายเทียม

Code	Lightness (*L)							
	Average				SD			
	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
PLsilane6_F	62.1	63.3	64.9	60.8	0.5	1.2	0.9	0.6
Optimized formula	61.7				0.7			
Natural rattan	71.5				1.0			

ตารางที่ 55 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *a ของเส้นหวายเทียม

Code	*a							
	Average				SD			
	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
PLsilane6_F	7.5	7.5	7.3	7.9	0.1	0.4	0.2	0.2
Optimized formula	7.5				0.3			
Natural rattan	6.0				0.5			

ตารางที่ 56 แสดงอิทธิพลของปริมาณ Foaming agent ที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่า *b ของเส้นหวายเทียม

Code	*b							
	Average				SD			
	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr	0.5phr	1 phr	1.5 phr	2 phr
PLsilane6_F	17.2	18.7	18.5	19.3	0.3	0.5	0.3	0.2
Optimized formula	18.0				0.3			
Natural rattan	21.9				0.9			

ผลการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) และใช้โปรแกรม SPSS ใน
การประเมินผลค่า Young's modulus ของเส้นหวายเทียมทุกสูตรการผสม

Oneway

Notes

Output Created	11-AUG-2011 22:19:10	
Comments		
Input	Data	C:\Users\Gundum\Desktop\SPSS HDPE\Young's modulus.sav
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	556
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each analysis are based on cases with no missing data for any variable in the analysis.
Syntax	ONEWAY tensile BY cond /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY BROWNFORSYTHE WELCH /MISSING ANALYSIS /POSTHOC = TUKEY T2 ALPHA(.01).	
Resources	Elapsed Time	0:00:00.03

Descriptives

Young's modulus

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Dry	130	545.5879	53.94814	4.73156	536.2264	554.9494	426.14	668.80
Water	130	526.3281	80.53667	7.06353	512.3528	540.3035	352.32	746.71
Dishwashing	130	551.6675	69.40736	6.08743	539.6234	563.7116	363.82	640.06
Washing powder	130	535.7032	72.20872	6.33312	523.1729	548.2334	350.63	627.77
Total	520	539.8217	70.15886	3.07667	533.7774	545.8659	350.63	746.71

Test of Homogeneity of Variances

Young's modulus

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.622	3	516	.003

ANOVA

Young's modulus

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	48439.372	3	16146.457	3.324	.020
Within Groups	2506216.789	516	4857.009		
Total	2554656.162	519			

Robust Tests of Equality of Means

Young's modulus

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	2.982	3	283.460	.032
Brown-Forsythe	3.324	3	482.400	.020

a Asymptotically F distributed.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Young's modulus

	(I) Conditions	(J) Conditions	Mean Differenc e (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Dry	Water	19.2598	8.64426	.117	-7.7842	46.3038
		Dishwashing	-6.0796	8.64426	.896	-33.1236	20.9644
		Washing powder	9.8848	8.64426	.663	-17.1592	36.9288
	Water	Dry	-19.2598	8.64426	.117	-46.3038	7.7842
		Dishwashing	-25.3393	8.64426	.018	-52.3833	1.7046
		Washing powder	-9.3750	8.64426	.699	-36.4190	17.6690
	Dishwashing	Dry	6.0796	8.64426	.896	-20.9644	33.1236
		Water	25.3393	8.64426	.018	-1.7046	52.3833
		Washing powder	15.9643	8.64426	.253	-11.0797	43.0083
	Washing powder	Dry	-9.8848	8.64426	.663	-36.9288	17.1592
		Water	9.3750	8.64426	.699	-17.6690	36.4190
		Dishwashing	-15.9643	8.64426	.253	-43.0083	11.0797
Tamhane	Dry	Water	19.2598	8.50184	.138	-7.7854	46.3049
		Dishwashing	-6.0796	7.71003	.966	-30.5840	18.4249
		Washing powder	9.8848	7.90545	.761	-15.2460	35.0155
	Water	Dry	-19.2598	8.50184	.138	-46.3049	7.7854
		Dishwashing	-25.3393	9.32471	.041	-54.9634	4.2847
		Washing powder	-9.3750	9.48694	.905	-39.5112	20.7612
	Dishwashing	Dry	6.0796	7.71003	.966	-18.4249	30.5840
		Water	25.3393	9.32471	.041	-4.2847	54.9634
		Washing powder	15.9643	8.78437	.354	-11.9371	43.8657
	Washing powder	Dry	-9.8848	7.90545	.761	-35.0155	15.2460
		Water	9.3750	9.48694	.905	-20.7612	39.5112
		Dishwashing	-15.9643	8.78437	.354	-43.8657	11.9371

Homogeneous Subsets

Young's modulus

	Conditions	N	Subset for alpha = .01
Tukey HSD(a)	Water	130	526.3281
	Washing powder	130	535.7032
	Dry	130	545.5879
	Dishwashing	130	551.6675
	Sig.		.018

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 130.000.

ผลการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) และใช้โปรแกรม SPSS ในการประเมินผลค่า Ultimate tensile strength ของเส้นหวายเทียมทุกสูตรการผสม

Oneway

Notes

Output Created	11-AUG-2011 22:21:20
Comments	
Input	Data
	C:\Users\Gundum\Desktop\SPSS HDPE\Strength.sav
	Filter <none>
	Weight <none>
	Split File <none>
	N of Rows in Working Data File 556
Missing Value Handling	Definition of Missing
	User-defined missing values are treated as missing.

Cases Used		Statistics for each analysis are based on cases with no missing data for any variable in the analysis.
Syntax		
		ONEWAY tensile BY cond /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY BROWNFORSYTHE WELCH /MISSING ANALYSIS /POSTHOC = TUKEY T2 ALPHA(.01).
Resources	Elapsed Time	0:00:00.05

Descriptives

Ultimate tensile strength

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Dry	130	15.0116	1.55765	.13661	14.7413	15.2819	11.55	16.89
Water	130	14.6741	2.68976	.23591	14.2073	15.1408	9.63	20.70
Dishwashing	130	15.3093	2.14430	.18807	14.9372	15.6814	10.43	21.00
Washing powder	130	14.4512	2.07655	.18213	14.0908	14.8115	9.41	16.86
Total	520	14.8615	2.17320	.09530	14.6743	15.0488	9.41	21.00

Test of Homogeneity of Variances

Ultimate tensile strength

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
10.267	3	516	.000

ANOVA

Ultimate tensile strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	55.455	3	18.485	3.981	.008
Within Groups	2395.683	516	4.643		
Total	2451.138	519			

Robust Tests of Equality of Means

Ultimate tensile strength

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	4.112	3	281.636	.007
Brown-Forsythe	3.981	3	454.148	.008

a. Asymptotically F distributed.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Ultimate tensile strength

	(I) Conditions	(J) Conditions	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Dry	Water	.3375	.26726	.587	-.4986	1.1737
		Dishwashing	-.2977	.26726	.681	-1.1338	.5384
		Washing powder	.5605	.26726	.155	-.2757	1.3966
	Water	Dry	-.3375	.26726	.587	-1.1737	.4986
		Dishwashing	-.6352	.26726	.083	-1.4714	.2009
		Washing powder	.2229	.26726	.838	-.6132	1.0591
	Dishwashing	Dry	.2977	.26726	.681	-.5384	1.1338
		Water	.6352	.26726	.083	-.2009	1.4714
		Washing powder	.8582(*)	.26726	.008	.0220	1.6943
	Washing	Dry	-.5605	.26726	.155	-1.3966	.2757

Tamhane	powder						
	Dry	Water	-.2229	.26726	.838	-1.0591	.6132
		Dishwashing	-.8582(*)	.26726	.008	-1.6943	-.0220
		Water	.3375	.27261	.770	-.5306	1.2057
		Dishwashing	-.2977	.23245	.741	-1.0368	.4414
	Water	Washing powder	.5605	.22767	.084	-.1633	1.2842
		Dry	-.3375	.27261	.770	-1.2057	.5306
		Dishwashing	-.6352	.30170	.199	-1.5940	.3235
		Washing powder	.2229	.29803	.974	-.7243	1.1702
	Dishwashing	Dry	.2977	.23245	.741	-.4414	1.0368
		Water	.6352	.30170	.199	-.3235	1.5940
		Washing powder	.8582(*)	.26180	.007	.0266	1.6897
		Dry	-.5605	.22767	.084	-1.2842	.1633
	Washing powder	Water	-.2229	.29803	.974	-1.1702	.7243
		Dishwashing	-.8582(*)	.26180	.007	-1.6897	-.0266

* The mean difference is significant at the .01 level.

Homogeneous Subsets

Ultimate tensile strength

	Conditions	N	Subset for alpha = .01	
			1	2
Tukey HSD(a)	Washing powder	130	14.4512	
	Water	130	14.6741	14.6741
	Dry	130	15.0116	15.0116
	Dishwashing	130		15.3093
	Sig.		.155	.083

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 130.000.

ผลการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Oneway ANOVA Test) และใช้โปรแกรม SPSS ใน
การประเมินผลค่า Strain at break ของเส้นหาวยเทียมทุกสูตรการผสม

Oneway

Notes

Output Created	11-AUG-2011 22:22:11	
Comments		
Input	Data	C:\Users\Gundum\Desktop\SPSS HDPE\Strain at break.sav
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	556
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each analysis are based on cases with no missing data for any variable in the analysis.
Syntax	ONEWAY tensile BY cond /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY BROWNFORSYTHE WELCH /MISSING ANALYSIS /POSTHOC = TUKEY T2 ALPHA(.01).	
Resources	Elapsed Time	0:00:00.03

Descriptives

Strain at break

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Dry	130	15.4531	.68336	.05993	15.3345	15.5717	13.42	16.67
Water	130	17.9914	1.83339	.16080	17.6732	18.3095	14.00	25.34
Dishwashing	130	17.4219	1.04590	.09173	17.2404	17.6034	15.42	19.25
Washing powder	130	17.3202	1.02755	.09012	17.1418	17.4985	14.92	19.42
Total	520	17.0466	1.54905	.06793	16.9132	17.1801	13.42	25.34

Test of Homogeneity of Variances

Strain at break

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
44.106	3	516	.000

ANOVA

Strain at break

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	474.192	3	158.064	105.763	.000
Within Groups	771.172	516	1.495		
Total	1245.364	519			

Robust Tests of Equality of Means

Strain at break

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
Welch	190.411	3	274.881	.000
Brown-Forsythe	105.763	3	333.389	.000

a Asymptotically F distributed.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Strain at break

	(I) Conditions	(J) Conditions	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Dry	Water	-2.5383(*)	.15163	.000	-3.0127	-2.0639
		Dishwashing	-1.9688(*)	.15163	.000	-2.4432	-1.4945
		Washing powder	-1.8671(*)	.15163	.000	-2.3415	-1.3927
	Water	Dry	2.5383(*)	.15163	.000	2.0639	3.0127
		Dishwashing	.5695(*)	.15163	.001	.0951	1.0439
		Washing powder	.6712(*)	.15163	.000	.1968	1.1456
	Dishwashing	Dry	1.9688(*)	.15163	.000	1.4945	2.4432
		Water	-.5695(*)	.15163	.001	-1.0439	-.0951
		Washing powder	.1018	.15163	.908	-.3726	.5762
	Washing powder	Dry	1.8671(*)	.15163	.000	1.3927	2.3415
		Water	-.6712(*)	.15163	.000	-1.1456	-.1968
		Dishwashing	-.1018	.15163	.908	-.5762	.3726
Tamhane	Dry	Water	-2.5383(*)	.17161	.000	-3.0867	-1.9899
		Dishwashing	-1.9688(*)	.10958	.000	-2.3175	-1.6202
		Washing powder	-1.8671(*)	.10823	.000	-2.2114	-1.5228
	Water	Dry	2.5383(*)	.17161	.000	1.9899	3.0867
		Dishwashing	.5695	.18512	.014	-.0202	1.1591
		Washing powder	.6712(*)	.18433	.002	.0841	1.2584
	Dishwashing	Dry	1.9688(*)	.10958	.000	1.6202	2.3175
		Water	-.5695	.18512	.014	-1.1591	.0202
		Washing powder	.1018	.12859	.966	-.3067	.5102
	Washing powder	Dry	1.8671(*)	.10823	.000	1.5228	2.2114
		Water	-.6712(*)	.18433	.002	-1.2584	-.0841
		Dishwashing	-.1018	.12859	.966	-.5102	.3067

* The mean difference is significant at the .01 level.

Homogeneous Subsets

Strain at break

	Conditions	N	Subset for alpha = .01		
			1	2	3
Tukey HSD(a)	Dry	130	15.4531		
	Washing powder	130		17.3202	
	Dishwashing	130		17.4219	
	Water	130			17.9914
	Sig.		1.000	.908	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 130.000.

ภาคผนวก ค

การนำเสนอผลงานวิจัยภายในประเทศ



Certificate of Participation

This is to certify that

Mr. Arun Phukringsri

has participated in *The 2nd Research Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials and The 17th PPC Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Polymers* at Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand April 26, 2011.

He has given a poster presentation and the proceedings were published in the book of abstracts.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'P. M.' with a stylized flourish.

(Assistant Professor Pomthong Malakul Na Ayudhaya)

Dean

Poster presentation



PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FOAMED HDPE-BASED SYNTHETIC RATTAN

A. Phukringsri^a and N. Hongsriphan^{a,b,c}

^aDepartment of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand

^bCenter for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

^cCorresponding author (nattakar@su.ac.th)

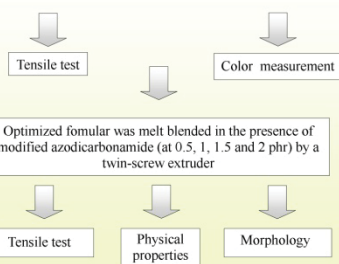
Introduction

Since rattan furniture has been very popular in abroad due to its exotically tropical looks, its shortage in supply and difficulty to maintenance leads manufacturer to produce synthetic rattan made of plastics to replace natural ones. Most of them are prepared from high-density polyethylene (HDPE). Moreover, polyethylene-based rattan is waterproof, resistant to moulds, and weather-resistant. Unfortunately, synthetic rattan is usually heavier than natural rattan because of its dense structures (no porosity).

This research aims to prepare light-weight synthetic rattan from composites between high-density polyethylene (HDPE), ethylene-propylene-diene elastomer (EPDM), and pine wood flour. A twin-screw extruder with a rod die was used to blend and extrude composite strand. Wood flour content and silane coupling agent were varied. A chemical blowing agent with several contents was incorporated in order to produce fine foaming structure inside composite strands. Densities and mechanical properties of composite strands were examined. Color of specimen was measured using a color reader in Lab system. Morphology of fracture surface of the composite strands was studied by a scanning electron microscope.

Experimental

Mixing HDPE and EPDM (90/10wt%), VTES 2.5 and 3.0 wt% wood 1, 2 and 3 phr, DCP (0.5wt% with respect to the fiber weight) were melt blending in a twin-screw extruder



Results and Discussion

A. Optimized fomular

Fig.1(a) shows that HDPE-based composite strands had much lower Young's modulus compared to natural rattan but they offered better flexibility considered from percent of ultimate strains as presented in Fig. 1(b). Composite strands with VTES treated wood had higher Young's modulus and higher strain at ultimate stress than those with untreated wood. It is found that Young's modulus increased with respect to wood contents. From color measurement, it found that all composite strands were light brown but their lightness (L^*) was darker than natural rattan as presented in Fig. 1(c). Combined results of mechanical properties and color, the optimized wood content was 2 phr with silane treatment of 2.5 wt% of wood weight.

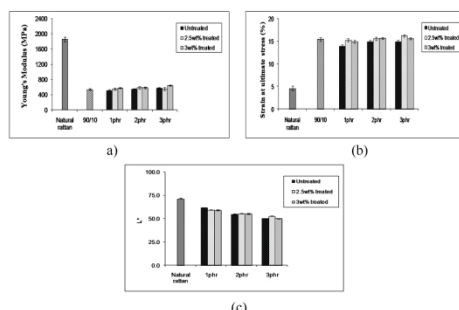


Fig.1. (a) Young's Modulus (b) Strain at ultimate stress (%) (c) Lightness (L^*), of natural rattan and composite strands synthetic rattan with varied pine wood contents.

B. Density of foamed synthetic rattan

Fig. 2. shows that densities of foamed composite strands synthetic rattan had lower non-foamed ones due to adding CFA creates foam cells starting in the middle of the composite strands. Increasing contents of CFA up to 2 phr reduced strand densities due to higher content of CFA produced more foam cells [2]. Unfortunately, these densities were still higher than natural rattan. Creating foam cells inside composite strands lowered their densities up to 16%.

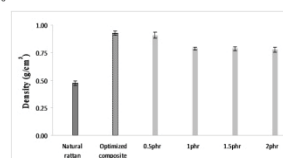


Fig.2. Densities of natural rattan and foamed synthetic rattan with varied CFA contents.

C. Color measurement

Fig.3. shows lightness measurement of foamed composite strands. By naked eyes, their color looked closed to natural rattan. When measured in Lab system, L^* of foamed composite strands was somewhat higher than non-foamed ones and were closed to natural rattan.

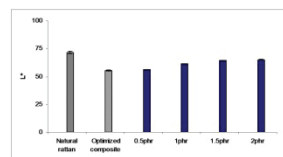


Fig.3. Lightness (L^*) of natural rattan and strands foamed with varied CFA contents.

D. Morphology of foamed synthetic rattan

Fig.4. shows cross-sectional morphology of foamed composite strands compared with natural rattan. It is seen that natural rattan has porous structure from xylem (water ducts) in its longitudinal orientation. Adding CFA creates foam cells starting in the middle of the composite strands. Foam cells with low CFA contents (0.5, 1.0 phr) were all closed cells, and open foamed cells occurred when using higher CFA contents (1.5, 2.0 phr).

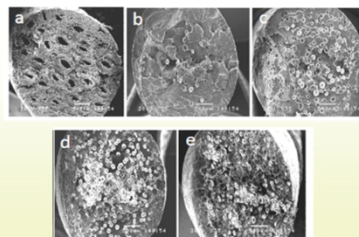


Fig.4. Cross-sectional morphology of natural rattan (a), and foamed synthetic rattan with CFA of 0.5 (b), 1.0 (c), 1.5 (d), and 2.0 (e) phr.

Conclusion

Based on Young's modulus, strains at ultimate stress and its color, the optimized wood content was 2 phr with silane treatment of 2.5 wt% of wood weight. Densities of foamed composite strands (synthetic rattan) were lower than non-foamed ones. Creating foam cells inside composite strands lowered their densities up to 16%. L^* in Lab system of foamed composite strands was somewhat higher than non-foamed ones and were closed to natural rattan. Adding CFA, foam cells with low CFA contents (0.5, 1.0 phr) were all closed cells, and open foamed cells occurred when using higher CFA contents (1.5, 2.0 phr).

References

- [1] M. Bengtsson, K. Oksman (2006). The use of silane technology in crosslinking polyethylene/wood flour composites. Composites: Part A 37, pp 752-765.
- [2] Laurent M. Matuana, Omar Faruk, Carlos A. Diaz (2009). Cell morphology of extrusion foamed poly(lactic acid) using endothermic chemical foaming agent. pp 5947-5954.

บันทึกงานประชุม (Proceeding) จากหนังสือแสดง

บทคัดย่อ



The 2nd Research Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials and The 17th PPC Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Polymers
April 26, 2011, Meeting Room 1-4, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand

Poster Sessions

exposure. Longer exposure times led to greater degradation. Plastic cards were sawy and brittle when exposed to the UV for long periods of time. The outdoor exposure deteriorated plastic cards more severely than the QUV accelerated weathering tester.

CU-CT

PA-P(3)-9 Property Enhancement of Natural Rubber Vulcanizate by Nano Zinc Oxide Incorporation

Surachai Siripipat^a, Sirlux Poompradub^{a,b}, Kunakorn Poochinda^{a,b}

^a)Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

^b)Center for Petroleum, Petrochemical, and Advanced Materials

Zinc oxide (ZnO) agglomeration, during sulfur vulcanization, causes the small interfacial area between ZnO and the accelerator (stearic acid). As a result, a low curing efficiency is obtained. Particle size, shape and specific area are believed to be influential factors for achieving the high interfacial area. In this research, nano zinc oxide has been employed for enhancing the interfacial area and degree of dispersion in the natural rubber matrix. Thus, three synthesis methods have been examined: thermal decomposition, hydrothermal and sol-gel. The particle size, specific surface area and crystalline structure of the prepared ZnO have been characterized. The synthesized nano ZnO has been mixed with natural rubber latex. The property comparison, between NR with the prepared nano ZnO and NR with the commercial grade ZnO, in terms of morphology, cure characteristics and mechanical properties has been evaluated.

CU-MS

PA-P(4)-10 Characterizations of Organosilane Treated Microcrystalline Cellulose (SiMCC)/Polypropylene Composite

P. Thummanukitcharoen^a, S. Limpanart^b, K. Srikulkit^{b,c}

^a)Department of Materials Science, Chulalongkorn University

^b)Metallurgy and Materials Science Research Institute (MMRI), Chulalongkorn University

^c)Center for Petroleum, Petrochemicals and Advanced Materials

In this study, microcrystalline cellulose (MCC) was modified with various concentrations of hexadecyltrimethoxysilane in order to obtain the organosilane treated microcrystalline cellulose (SiMCC) having good compatibility with polypropylene (PP) matrix. Characterizations including Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) were employed to analyze the structure of SiMCC. Then, the obtained SiMCC was mixed with PP powder using twin-screw extruder. The compatibility was achieved, as evidenced by SEM and Differential Scanning Calorimetry (DSC).

SU-MSE

PA-P(8)-11 Preparation and Properties of Light-weight HDPE-based Synthetic Rattan

A. Phukringsri^a, N. Hongsriphan^{a,b}

^a)Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

^b)Center for Petroleum, Petrochemical, and Advanced Materials



The 2nd Research Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials and The 17th PPC Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Polymers
April 26, 2011, Meeting Room 1-4, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand

Poster Sessions

This research aims to prepare light-weight synthetic rattan from composites between high-density polyethylene, ethylene-propylene-diene elastomer, and pine wood flour (200 mesh size). Wood flour of 1, 2 and 3 phr, vinyltriethoxysilane of 2.5 and 3 wt% (based on wood flour) and a chemical blowing agent (CFA) of 0.5, 1, 1.5 and 2 phr were varied. All compositions were blended and extruded composite strands by a twin-screw extruder with a rod die. Properties of composite strands were tested in accordance to ASTM D-2256 and D-1622 for tensile property and density, respectively. Color of specimen was measured using a color reader in Lab system and morphology of composites was studied with SEM. Based on tensile tests and its color, the optimized wood content was 2 phr with silane treatment of 2.5 wt% of wood weight. Adding foamed structures into composite strands increased flexibility and lowered their densities up to 16%. SEM shows that foam cells with low CFA contents (0.5, 1.0 phr) were all closed cells, and open foamed cells occurred when using higher CFA contents (1.5, 2.0 phr). Color of foamed composite strands was closed to natural rattan due to more lights could pass through composite masses having small voids inside.

SUT-PE

PA-P(9)-12 Design of Experiment: Wood Composite Based on Crosslinked Polypropylene

Anuchit Khongrit^a, Utai Mekum^{a,b}

^aSchool of Polymer Engineering, Suranaree University of Technology

^bCenter for Petroleum, Petrochemical, and Advanced Materials

Investigation of wood composite based on crosslinked polypropylene was studied. The design of experiment was used to optimizing and quantifying the amount of the composite constituents. The 2^k factorial design was conducted to evaluating the statistical effects of material compositions. Three parameters, silane (A), wood flour (B) and talc (C) contents were assigned. Composites were compounded into pellets by co-rotation twin screw extruder at 190°C and test specimens were prepared by injection molding. The measured responses were classified into 2 conditions; original and cured. The originals were allowed the samples to anneal at room temperature for approx. a day. The later were achieved by sauna incubation at 105°C for 12 hrs. Impact strength, flexural properties and HDT were tested and obtained as the respond effects. The optimal formulation of WPC is accomplished, statistical analysis approach using ANOVA testing showed that silane and wood has generally positive effect on the mechanical properties. It delivers the crosslink bridge between polymer matrix and wood flour via silane/water reaction and enhances the adhesion of the composite. Consequently, the mechanical properties are improved after sauna treatment. However talc showed negative effect to properties of WPC. Scanning electron microscopy (SEM) was analyzed to support the evidences of crosslink reaction and hence the measured mechanical properties accordingly.

PA-P(9)-13 Effect of Rice Husk (RH) Content on Physical Properties of RH/Natural Rubber (NR) Composites

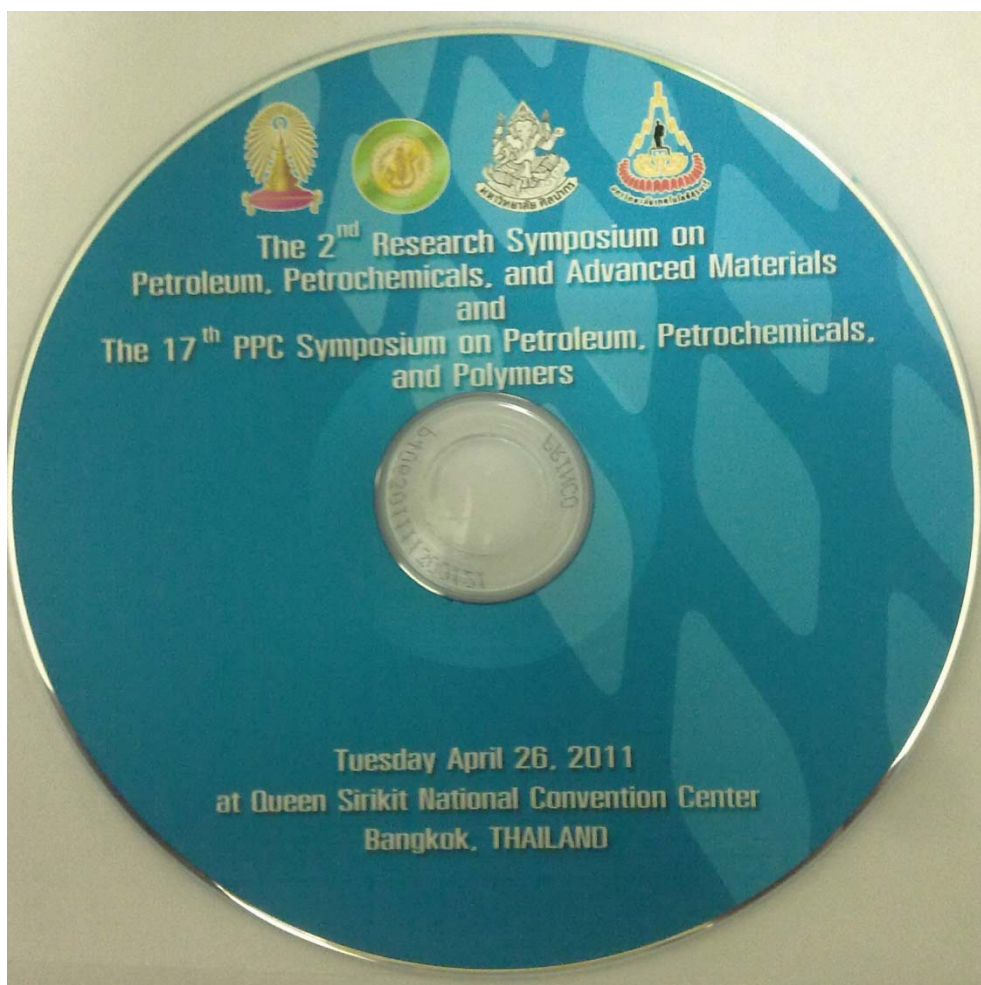
Ladawan Srisuwan^{a,b}, Kasama Jarukamjorn^{a,b}, Nitinat Suppakarn^{a,b}

^aSchool of Polymer Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

^bCenter for Petroleum, Petrochemical and Advanced Materials

Rice husk (RH), abyproduct from rice milling processing, was used as a reinforcing filler for preparing natural rubber (NR) composites due to its low cost, renewability and biodegradability. In this study, RH/NR composites were prepared at various RH contents, e.g. 10, 20, 30, 40 and 50 phr, using a two roll mill. Cure characteristics and mechanical properties of the NR composites were investigated. Scorch time and cure time of the NR composites slightly increased as compared with those of NR. In addition, the results indicated that the RH content had no effect on cure characteristics of RH/NR composites. Tensile properties of NR composites were higher than those of NR. Modulus at 100% strain (M100) and modulus at 300% strain (M300) of the NR composites increased with increasing RH content up to 40 phr of RH. However, tensile strength, elongation at beak and tear strength of the NR composites showed the maximum values at 10 phr of RH and these properties tended to decrease with increasing RH content.

แผ่นคอมแพ็คดิสก์ (CD) บันทึกการรายงานการประชุม (Proceeding)



บันทึกงานการประชุม (Proceeding)

Mainmenu

Poster Sessions



The 2nd Research Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials and The 17th PPC Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Polymers
April 26, 2011, Meeting Room 1-4, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand

Technical Program

P. Thummanukitcharoen, S. Limpanart, K. Srikulkit

Polymer Engineering and Advanced Rubber (PA)

SU-MSE

PA-P(8)-11 Preparation and Properties of Light-weight HDPE-based Synthetic Rattan

A. Phuokringsri, and N. Hongsoiphan

SUT-PE

PA-P(9)-12 Design of Experiment: Wood Composite Based on Crosslinked Polypropylene

Anuchit Khongrit, and Utai Mekum

PA-P(9)-13 Effect of Rice Husk (RH) Content on Physical Properties of RH/Natural Rubber (NR) Composites

Ladawan Srisuwan, Kasama Jarukumjorn, and Nitinat Suppakarn

PA-P(9)-14 The Effect of Sisal Fiber Surface Treatment on Mechanical Properties of Woven Sisal Fiber/Epoxy Composites

Sawitri Srisuwan, and Pranee Chumsamrong

PA-P(9)-15 Flammability and Mechanical Properties of Polypropylene/Sisal Fiber Composite Containing Organoclay

Wichuda Chanprapanon, Nitinat Suppakarn, and Kasama Jarukumjorn

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FOAMED HDPE-BASED SYNTHETIC RATTAN

A. Phukringsri^a and N. Hongsriphan^{a,b,c}

^{a)} Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand

^{b)} Center for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

^{c)} Corresponding author (nattakar@su.ac.th)

ABSTRACT

This research aims to prepare light-weight synthetic rattan from composites between high-density polyethylene, ethylene-propylene-diene elastomer, and pine wood flour (200 mesh size). Wood flour of 1, 2 and 3 phr, vinyltriethoxysilane of 2.5 and 3 wt% (based on wood flour) and a chemical blowing agent (CFA) of 0.5, 1, 1.5 and 2 phr were varied. All compositions were blended and extruded composite strands by a twin-screw extruder with a rod die. Properties of composite strands were tested in accordance to ASTM D-2256 and D-1622 for tensile property and density, respectively. Color of specimen was measured using a color reader in Lab system and morphology of composites was studied with SEM. Based on tensile tests and its color, the optimized wood content was 2 phr with silane treatment of 2.5 wt% of wood weight. Adding foamed structures into composite strands increased flexibility and lowered their densities up to 16%. SEM shows that foam cells with low CFA contents (0.5, 1.0 phr) were all closed cells, and open foamed cells occurred when using higher CFA contents (1.5, 2.0 phr). Color of foamed composite strands was closed to natural rattan due to more lights could pass through composite masses having small voids inside.

*nattakar@su.ac.th

INTRODUCTION

Rattan is a type of climbing palm that is very long with a slender stem which maintains an almost uniform diameter throughout its length. The outer portion of the stem is extremely hard and durable, while the inner portion of the stem is softer and porous. The straight rattan is usually steamed and then bent into the desired shape through the use of specialized shapers. Once the rattan has dried, it will retain its shape forever. These rattan poles are often used to form the frames of what will become rattan woven furniture such as chairs, tables and sofas. Rattan is a very good material mainly because it is lightweight, durable, and somewhat flexible. Nevertheless, natural rattan has been recently shortage and more expensive because rattan collection requires heavy labors and workers have to go deeper into jungles to collect them.

Since rattan furniture has been very popular in abroad due to its exotically tropical looks, its shortage in supply and difficulty to maintenance leads manufacturer to produce synthetic rattan made of plastics to replace natural ones. Most of them are prepared from high-density polyethylene (HDPE). Synthetic rattan offers good properties such as strength, toughness, flexibility, outdoor durability and elimination of risk to insect bite. Moreover,

polyethylene-based rattan is waterproof, resistant to moulds, and weather-resistant. Unfortunately, synthetic rattan is usually heavier than natural rattan because of its dense structures (no porosity). Adding wood flour into HDPE to obtain wood-feel texture also reduces flexibility of synthetic rattan since incompatibility between these two materials.

This research aims to prepare light-weight synthetic rattan from composites between high-density polyethylene (HDPE), ethylene-propylene-diene elastomer (EPDM), and pine wood flour. A twin-screw extruder with a rod die was used to blend and extrude composite strand. Wood flour content and silane coupling agent were varied. A chemical blowing agent with several contents was incorporated in order to produce fine foaming structure inside composite strands. Densities and mechanical properties of composite strands were examined. Color of specimen was measured using a color reader in Lab system. Morphology of fracture surface of the composite strands was studied by a scanning electron microscope.

EXPERIMENTAL

A. Materials

High-density polyethylene (HDPE; EL-LeneTMH5480S, MFI = 0.8 g/10 min, 190°C/2.16 kg) was purchased from SCG Chemicals Co., Ltd. Thailand. Ethylene propylene diene elastomer (EPDM; NORDELTM IP 3720P, Ethylene/propylene/diene content as 69/30.5/0.5, Mooney Viscosity (ML 1+4, 125°C) as 20MU) was supplied by Innovation Holding Co., Ltd. Thailand. Wood flour (Pine wood, 200 mesh size) was supplied by Linpai Co., China. Vinyltriethoxysilane (VTES) 97% from Sigma-Aldrich was used as coupling agent to treat wood surface. Dicumyl peroxide (DCP) 98% from Aldrich Chemical Company was used as initiator. Chemical foaming agent was azodicarbonamide (Master Batch DX 7450) supplied by MDR International Co., Ltd. Thailand. All resins and chemicals were used as received.

B. Fiber treatment

Prior treated with vinyltriethoxysilane (VTES), wood flour was dried in a vacuum oven at 80°C for 24 hrs to get rid of moisture. Eight liters of ethanol/water solution (95/5 wt%) was prepared and acetic acid was added to adjust pH to be 3.5. VTES 2.5 and 3 wt% (respect to the fiber weight) was added into ethanol/water solution with slow stirring for 30 min to generate active groups. Then, 400 g of dried wood flour was poured into VTES solution and maintained stirring for 6 hrs. After that, silane-treated wood flour was dried in a vacuum oven at 120°C for 24 hrs. Treated wood flour was characterized by FTIR.

C. Compounding and fabrication

High-density polyethylene and ethylene propylene diene monomer (90/10 wt%) were compounded in a twin-screw extruder (SHJ-25, China) with a temperature profile of 150-160°C at screw speed of 30 rpm and then pelletized. Prior mixing with polymer compounds, silane-treated wood flour was dried in vacuum oven at 80°C for 24 hrs in order to minimize amount of moisture. Polymer compounds, silane-treated wood (at 1, 2 and 3 phr) and DCP (0.5wt% with respect to the fiber weight) were melt blending in a twin-screw extruder with a temperature profile of 150-180°C at screw speed of 30 rpm and a rod die with diameter of 4 mm. Composite strands were cooled in a water bath with controlled

water temperature of 40°C. Composite strands were tested their mechanical properties to determine the optimum formula for the next step.

The optimized formula was melt blended in the presence of modified azodicarbonamide (at 0.5, 1, 1.5 and 2 phr) by a twin-screw extruder with a temperature profile of 150-180°C at screw speed of 30 rpm and a rod die with diameter of 4 mm. Strands were cooled in a water bath with controlled water temperature of 40°C. Foamed composite strands were collected and tested.

D. Mechanical properties

Mechanical properties of composite strands were carried out in a universal testing machine (Instron 5965, Series dual column table frames). Tensile test were performed according to ASTM-D2256 with a crosshead speed of 50 mm/min and 5 kN load cell, gauge length of 10 cm. Ten specimens were performed to determine the average and the standard deviation.

E. Physical properties

Density was performed according to ASTM D-1622 with a strand specimen of 3 cm long. Density was calculated using the equation 1. Twenty specimen of each formula were tested in order to calculate the average and the standard deviation.

$$D = M/V \quad (\text{eq. 1})$$

Note: D = Density of sample, M = Weight of sample, V = Volume of sample

Color was measured by means of a color reader in Lab system. Twenty specimen of each formula were measured in order to calculate the average and the standard deviation.

F. Morphology

Microstructure of test specimen was characterized by a scanning electron microscope (JSM-5410LV). Test specimens were prepared by immersing specimen in liquid nitrogen and then breaking them. The fractured surfaces were sputter-coated with gold for observation.

RESULTS AND DISCUSSION

A. Infrared spectroscopy analysis (FTIR)

FTIR analysis was used for studying the crosslinking reaction in the composites, i.e. the formation of wood-O-Si bonds and Si-O-Si bonds. Fig. 1 shows the FTIR spectra of HDPE-based composites having untreated and VTES treated wood flour. In VTES treated samples, there was no peak at 1,092 cm⁻¹ which was related to residual un-hydrolyzed Si-O-CH₃ groups [1]. The broad band between 900 and 1,150 cm⁻¹ was related to either covalent bonding between wood and silane (Si-O-C) or polysiloxanes (Si-O-Si) bonding [1]. The peaks at 800 and 1050 cm⁻¹ were attributed to polysiloxanes (Si-O-Si) confirming that there was silane crosslinking during the fiber treatment. Also, the peak at 1,650 cm⁻¹ that could be assigned to C=C symmetric stretch from vinyl groups in VTES that would be used to react with HDPE in the compounding step.

B. Optimized wood content and silane treatment

Figure 2(a) shows that HDPE-based composite strands had much lower Young's modulus compared to natural rattan but they offered better flexibility considered from percent of

ultimate strains as presented in Fig. 2(b). Composite strands with VTES treated wood had higher Young's modulus and higher strain at ultimate stress than those with untreated wood. It is found that Young's modulus increased with respect to wood contents. From color measurement, it found that all composite strands were light brown but their lightness (L^*) was darker than natural rattan as presented in Fig. 2(c). Combined results of mechanical properties and color, the optimized wood content was 2 phr with silane treatment of 2.5 wt% of wood weight. SEM shows good adhesion between wood fibers and polymer matrix after treated fibers with VTES silane.

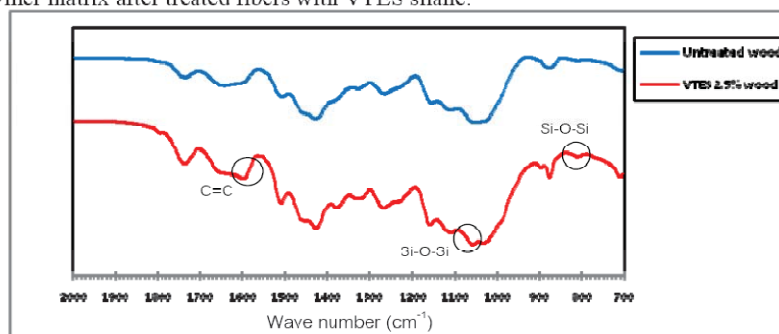


Fig. 1. FTIR spectra of untreated and VTES treated pine wood flour.

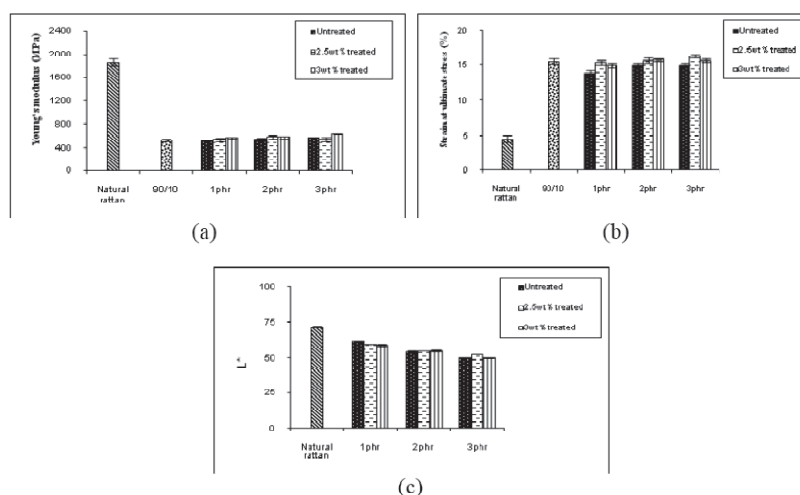


Fig.2. (a) Young's modulus, (b) Strain at ultimate stress (%), (c) Lightness (L^*); of natural rattan and composite strands with varied pine wood contents and silane treated.

C. Density of foamed synthetic rattan

Figure 3 shows that densities of foamed composite strands synthetic rattan had lower non-foamed ones due to adding CFA creates foam cells starting in the middle of the composite strands. Increasing contents of CFA up to 2 phr reduced strand densities due to higher content of CFA produced more foam cells [2]. Higher content of CFA was not possible as mentioned in SEM results. Unfortunately, these densities were still higher than natural rattan. Creating foam cells inside composite strands lowered their densities up to 16%.

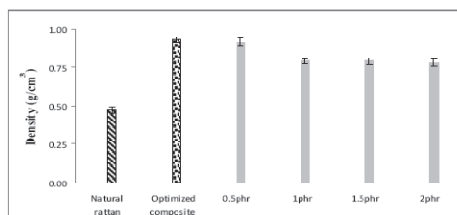


Fig.3. Densities of natural rattan and foamed synthetic rattan with varied CFA contents.

D. Color measurement

Figure 4 shows lightness measurement of foamed composite strands. By naked eyes, their color looked closed to natural rattan. When measured in Lab system, L^* of foamed composite strands was somewhat higher than non-foamed ones and were closed to natural rattan. The reason is more lights could pass through composite masses having small voids inside. Thus, creating foamed cells inside composite strands could improve appearance of synthetic rattan to be more pleasant.

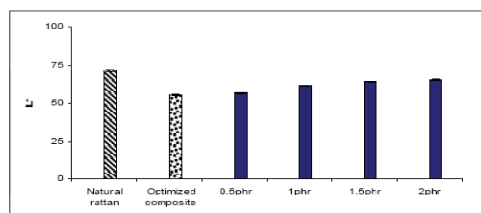


Fig.4. Lightness (L^*) of natural rattan and strands foamed with varied CFA contents.

E. Morphology of foamed synthetic rattan

Figure 5 shows cross-sectional morphology of foamed composite strands compared with natural rattan. It is seen that natural rattan has porous structure from xylem (water ducts) in its longitudinal orientation. Adding CFA creates foam cells starting in the middle of the composite strands. Foam cells with low CFA contents (0.5, 1.0 phr) were all closed cells, and open foamed cells occurred when using higher CFA contents (1.5, 2.0 phr). Unstable pull-out of composite strands was happened if higher than 2.0 phr CFA was attempted

because strand surface was exploded. Too cool water temperature was prohibited due to occurrence of central voids from excessive shrinkage of polymer matrix inside.

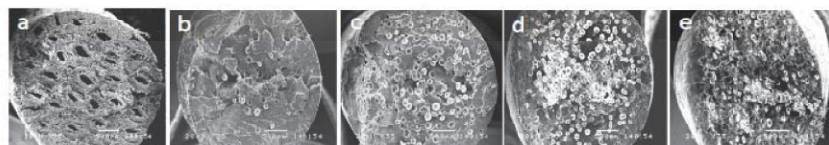


Fig. 5. Cross-sectional morphology of natural rattan (a), and foamed synthetic rattan with CFA of 0.5 (b), 1.0 (c), 1.5 (d), and 2.0 (e) phr.

CONCLUSIONS

Based on Young's modulus, strains at ultimate stress and its color, the optimized wood content was 2 phr with silane treatment of 2.5 wt% of wood weight. Densities of foamed composite strands (synthetic rattan) were lower than non-foamed ones. Creating foam cells inside composite strands lowered their densities up to 16%. L^* in Lab system of foamed composite strands was somewhat higher than non-foamed ones and were closed to natural rattan. Adding CFA, foam cells with low CFA contents (0.5, 1.0 phr) were all closed cells, and open foamed cells occurred when using higher CFA contents (1.5, 2.0 phr).

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University; and the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemical, and Advanced Materials, Chulalongkorn University, Thailand.

REFERENCES

- [1] M. Bengtsson, K. Oksman (2006). The use of silane technology in crosslinking polyethylene/wood flour composites. *Composites: Part A* 37. pp 752-765.
- [2] Laurent M. Matuana, Omar Faruk, Carlos A. Diaz (2009). Cell morphology of extrusion foamed poly(lactic acid) using endothermic chemical foaming agent. pp 5947-5954.
- [3] M.N. Ichazo, C. Albano, J. Gonzalez, R. Perera, M.V. Candal (2001). Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties. pp 207-214.
- [4] M. Arroyo, R. Zitzumbo, F. Avalos (2000). Composites based on PP/EPDM blends and aramid short fibres Morphology/behavior relationship. pp 6351-6359.

ภาคผนวก ง

การนำเสนอผลงานวิจัย ณ เกาะเชจู ประเทศเกาหลีใต้



ICCM18
2011 JEJU The 18th International Conference
on Composite Materials

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

This is to certify that

Arun Phukringsri

has attended

The 18th International Conference on Composite Materials

held in Jeju, Korea

from August 21 to 26, 2011.

Prof. Woo Il Lee
Chairman of ICCM18



PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FOAMED HDPE-BASED SYNTHETIC RATTAN

A. Phukringsri^a and N. Hongsriphan^{a,b,c}

^aDepartment of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand

^bCenter for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

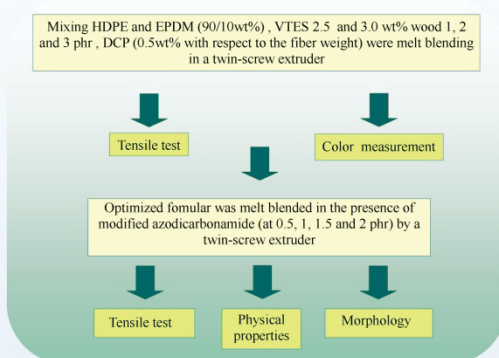
^cCorresponding author (nattakar@su.ac.th)

Introduction

Since rattan furniture has been very popular in abroad due to its exotically tropical looks, its shortage in supply and difficulty to maintenance leads manufacturer to produce synthetic rattan made of plastics to replace natural ones. Most of them are prepared from high-density polyethylene (HDPE). Moreover, polyethylene-based rattan is waterproof, resistant to moulds, and weather-resistant. Unfortunately, synthetic rattan is usually heavier than natural rattan because of its dense structures (no porosity).

This research aims to prepare light-weight synthetic rattan from composites between high-density polyethylene (HDPE), ethylene-propylene-diene elastomer (EPDM), and pine wood flour. A twin-screw extruder with a rod die was used to blend and extrude composite strand. Wood flour content and silane coupling agent were varied. A chemical blowing agent with several contents was incorporated in order to produce fine foaming structure inside composite strands. Densities and mechanical properties of composite strands were examined. Color of specimen was measured using a color reader in Lab system. Morphology of fracture surface of the composite strands was studied by a scanning electron microscope.

Experimental



Results and Discussion

A. Mechanical Testing

Fig. 1(a) shows that foamed HDPE-based composite strands had much lower Young's modulus compared to natural rattan but they offered better flexibility considered from percent strain at ultimate stress as presented in Fig. 1(b). Effect of CFA content found that with CFA contents 1.5-2.0 phr effect to Young's modulus decreased slightly. Incontrast trend of percent strain at ultimate stress more higher than low content (0.5-1.0 phr). This is due to increased of CFA can create much more foam cells until each wall-cells contact and forming as open foamed cells inside (refer from SEM). With Open foamed cells inside effect to strength of foamed HDPE-based composite strands decreased.

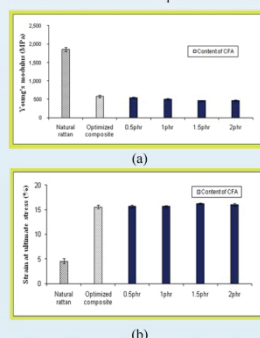


Fig. 1. (a) Young's Modulus (b) Strain at ultimate stress (%) of natural rattan and foamed HDPE-based composite strands synthetic rattan with varied CFA contents.

B. Density of foamed synthetic rattan

Fig. 2. shows that densities of foamed composite strands synthetic rattan had lower non-foamed ones due to adding CFA creates foam cells starting in the middle of the composite strands. Increasing contents of CFA up to 2 phr reduced strand densities due to higher content of CFA produced more foam cells [2]. Unfortunately, these densities were still higher than natural rattan. Creating foam cells inside composite strands lowered their densities up to 16%

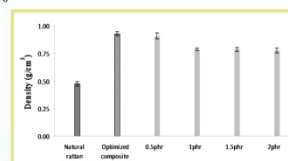


Fig. 2. Densities of natural rattan and foamed synthetic rattan with varied CFA contents.

C. Color measurement

Fig. 3. shows lightness measurement of foamed composite strands. By naked eyes, their color looked closed to natural rattan. When measured in Lab system, L* of foamed composite strands was somewhat higher than non-foamed ones and were closed to natural rattan.

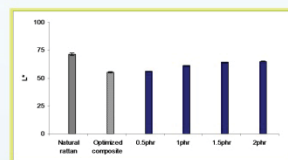


Fig. 3. Lightness (L*) of natural rattan and strands foamed with varied CFA contents.

D. Morphology of foamed synthetic rattan

Fig. 4. shows cross-sectional morphology of foamed composite strands compared with natural rattan. It is seen that natural rattan has porous structure from xylem (water ducts) in its longitudinal orientation. Adding CFA creates foam cells starting in the middle of the composite strands. Foam cells with low CFA contents (0.5, 1.0 phr) were all closed cells, and open foamed cells occurred when using higher CFA contents (1.5, 2.0 phr).

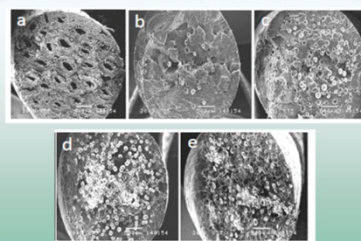


Fig. 4. Cross-sectional morphology of natural rattan (a), and foamed synthetic rattan with CFA of 0.5 (b), 1.0 (c), 1.5 (d), and 2.0 (e) phr.

Conclusion

Based on Young's modulus, strains at ultimate stress and its color, the optimized wood content was 2 phr with silane treatment of 2.5 wt% of wood weight. Adding high content of CFA (1.5, 2.0 phr) effect to them strength decreased slightly but better flexibility. Creating foam cells inside composite strands lowered their densities up to 16%. L* in Lab system of foamed composite strands was somewhat higher than non-foamed ones and were closed to natural rattan. Adding CFA, foam cells with low CFA contents (0.5, 1.0 phr) were all closed cells, and open foamed cells occurred when using higher CFA contents (1.5, 2.0 phr).

References

- [1] M. Bengtsson, K. Oksman (2006). The use of silane technology in crosslinking polyethylene/wood flour composites. *Composites: Part A* 37, pp 752-765.
- [2] Laurent M. Matuana, Omar Faruk, Carlos A. Diaz (2009). Cell morphology of extrusion foamed poly(lactic acid) using endothermic chemical foaming agent. pp 5947-5954.

บันทึกงานประชุม (Proceeding) จากหนังสือ

POSTER

>> POSTER P1-1-20 : Applications of Composites

- P1-1** A STUDY ON OPTICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF TELLURIUM OXIDE THIN FILMS FOR THE VARIATION OF SPUTTERING GAS RATIO
H.Kong (Chonnam National University)
- P1-2** A SOLVENT-FREE COMPOSITE SOLID ELECTROLYTES OF $Li_2CO_3-Al_2O_3$ SYSTEM PREPARED VIA WATER-BASED SOL-GEL METHOD
M.Sulaiman, A.A. Rahman, N.S. Mohamed (University of Malaysia)
- P1-3** PREPARATION OF COPPER-SUPPORTED MESOPOROUS CARBON/EPOXY COMPOSITES AND THEIR THERMAL PROPERTIES
G.Y. Heo, S.J. Park (Inha University)
- P1-4** ANALYSIS OF BUCKLING LOAD OF FIBER-REINFORCED PLYWOOD PLATES
S.W. Choi, J.U. Roh, S.H. Park, W.I. Lee (Seoul National University)
- P1-5** EFFECT OF A NUCLEATING AGENT ON CRYSTALLIZATION BEHAVIOR AND MECHANICAL PROPERTY OF PLA STEREOREGULAR COMPLEX
B.S. Lee, B.U. Nam (Korea University Technology and Education), C.H. Hong (Hyundai-Kia Motors)
- P1-6** SYNERGISTIC FLAME RETARDANT EFFECT OF ATTAPULGITE ON PP/APP/PER COMPOSITES
S.K. Qing, T. Jie, Y.Y. Wen, C.Y. Hua, W. Qin (Nanjing University)
- P1-7** PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED TITANIUM COMPOSITE ON ALUMINUM SUBSTRATE
Y. Sirota, M. Kovaleva, Y. Trusova (Belgorod State University), Y. Tyurin, O. Kolsnichenko (Paton Electric Welding Institute)
- P1-8** EFFECT OF FILLER SIZE AND ITS BIMODAL DISTRIBUTION FOR HIGHLY THERMAL-CONDUCTIVE EPOXY COMPOSITES
J.P. Hong, J.H. Jeong, S.W. Yoon, T.S. Hwang, J.H. Lee, J.S. Oh, J.D. Nam, Y.K. Lee (Sungkyunkwan University)
- P1-9** SUPERHYDROPHOBIC SURFACES FROM A SPRAY COATING PROCESS
H.S. Hwang, J.K. Shim and I. Park (Korea Institute of Industrial Technology)
- P1-10** MERCURY ADSORPTION USING GUIDE-PATTERNED POROUS GOLD
B.J. Park, C.S. Oh, Y.H. Kim (Kwangju University)
- P1-11** MECHANICAL PERFORMANCES AND PLAYABILITY OF CFRP GOLF SHAFTS
K.Y. Kim, J.H. Hwang (Korea Institute of Industrial Technology), S.R. Kim (Hyosung R&D Business Lab)
- P1-12** A STUDY ON THE FILTRATION PROPERTIES AND PEEL-OFF DURABILITY OF BAG FILTER MEDIA LAMINATED WITH PTFE MEMBRANES
J.R. Choi, Y.S. Kim, M.S. Kim, Y.O. Choi (Institute of Industrial Technology)
- P1-13** ANALYSIS AND NON-DESTRUCTIVE EVALUATION OF COMPOSITE OVERWRAPPED THICK-WALLED CYLINDERS
S.T. Ahn, K.J. Kang, C.K. Cho (Agency for Defense Development)
- P1-14** EFFECT OF SEAL COMPOSITION ON THE PROPERTIES OF GLASS-MATRIX COMPOSITES FOR SOFC APPLICATIONS
D.B. Lee (Sungkyunkwan University), Y.I. Kim, M.J. Choi, S. Park, J.C. Lee (Myongji University)
- P1-15** THE PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF MULTI-LAYER BAG FILTER MEDIA VIA SPUNLACING PROCESS
Y.Q. Choi (Korea Institute of Industrial Technology)
- P1-16** PHASE CHANGE CHARACTERISTICS OF AU ADDED GE/SB/TE THIN FILM FOR PRAM
J.H. Shin, H.Y. LEE (Chonnam National University)

- P1-17** TAYLORED MAGNETIC ANISOTROPIES OF IRON ON BATIO₂ AND SrTiO₃ SURFACES WITH ELECTRIC FIELDS: AN AB INITIO STUDY
H.C. Choi, Y.C. Chung (Hanyang University)
- P1-18** COMPRESSIVE STRENGTH OF CFT COLUMNS CONSIDERING CONFINEMENT BY INNER-CFT
K.D. Park, W.S. Hwang (Inha University), E.H. Bae, E.S. Cho (Hyundai Engineering)
- P1-19** DAMAGE EVALUATION OF FIBER REINFORCED CONCRETE BY HIGH-VELOCITY IMPACT
G.Y. Kim, J.S. Nam, H. Miyauchi (Chungnam National University), J.H. Park (Sampyo Co., Ltd)
- P1-20** PREDICTION OF MECHANICAL PROPERTIES FOR WOVEN Z-PINNED COMPOSITES
H.J. Chun, J.H. Son, K.T. Kang (Yonsei University), J.H. Byun, M.K. Um, S.K. Lee (Korea Institute of Materials Science)

>> POSTER P1-21-22 : Bio-inspired Composites

- P1-21** PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FOAMED HDPE-BASE SYNTHETIC RATAN
A. Phukrongsri (Silpakorn University), N. Hongrithiphan (Center of Excellence for Petroleum, Petrochemical and Advanced Materials)
- P1-22** A HIGH SENSITIVE ENZYME-FREE H_2O_2 SENSOR BASED ON PRUSSIAN BLUE ELECTRODEPOSITION ON MICROPOROUS-AU ELECTRODE
J. Yang, Y.T. Oh, Y.K. Lee (Sungkyunkwan University)

>> POSTER P1-23-39 : Biomedical Composites

- P1-23** MAGNETIC GADOLINIUM-CHITOSAN COMPOSITE NANOPARTICLES CREATED BY RADIOLYTIC SYNTHESIS
W. Pasanphan, L. Chankhoh, S. Choolong (Kasetsart University)
- P1-24** DETECTION OF CRP BASED ON DBR POROUS SILICON INTERFEROMETERS
S.Y. Um, B.M. Cho, H.L. Sohn (Chosun University)
- P1-25** SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF HYALURONIC ACID MICRO-BEAD AND HYDROGEL IMPLANT CROSS-LINKED BY DIVINYLSULFONE
J.T. Kim, D.Y. Lee (Daehim University), N.I. Cho (Sun Moon University)
- P1-26** BONE FORMATION OF HYDROXYAPATITE/STEM CELL BIOCOMPOSITES
K.H. Hwang (Gyeongsang National University), S.C. Han, J.K. Lee (Chosun University)
- P1-27** YTRIA, CERIA DOPED ZIRCONIA-ALUMINIA CERAMIC COMPOSITES FOR DENTAL APPLICATIONS
R.A. Lyubushkin, O. Ivanov (Belgorod State University), V. Chuev, A. Buzov (Trading House Ltd Vladmiva)
- P1-28** EFFECT OF ION SURFACE TREATMENT OF NITI ON ADHESION STRENGTH OF NANOSCALE CARBON COATING OBTAINED BY THE PULSED VACUUM ARC TECHNIQUE
K. Marina, A. Kolpakov, A. Poplarsky, V. Sirota, Y. Trusova (Belgorod State University)
- P1-29** SELF-ASSEMBLED NANOSTRUCTURE OF PLGA-GLUCOSAMINE COMPOSITE NANOPARTICLES
M. Marimuthu, S.H. Kim (Kyungwon University)

USB Flash Drive บันทึกถาวรงานการประชุม (Proceeding)



PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FOAMED HDPE-BASED SYNTHETIC RATTAN

A. Phukringsri¹ and N. Hongsriphan^{1, 2*}

¹ Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand

² Center of Excellence for Petroleum, Petrochemical, and Advanced Materials, Bangkok, Thailand

* Corresponding author (nattakar@su.ac.th)

Keywords: *synthetic rattan, chemical foaming agent, EPDM*

1 Introduction

Rattan is a type of climbing palm that is very long with a slender stem which maintains an almost uniform diameter throughout its length. The outer portion of the stem is extremely hard and durable, while the inner portion of the stem is softer and porous. The straight rattan is usually steamed and then bent into the desired shape through the use of specialized shapers. Once the rattan has dried, it will retain its shape forever. These rattan poles are often used to form the frames of what will become rattan woven furniture such as chairs, tables and sofas. Rattan is a very good material mainly because it is lightweight, durable, and somewhat flexible. Nevertheless, natural rattan has been recently shortage and more expensive because rattan collection requires heavy labors and workers have to go deeper into jungles to collect them.

Since rattan furniture has been very popular in abroad due to its exotically tropical looks, its shortage in supply and difficulty to maintenance leads manufacturer to produce synthetic rattan made of plastics to replace natural ones. Most of them are prepared from high-density polyethylene (HDPE). Synthetic rattan offers good properties such as strength, toughness, flexibility, outdoor durability and elimination of risk to insect bite. Moreover, polyethylene-based rattan is waterproof, resistant to moulds, and weather-resistant. Unfortunately, synthetic rattan is usually heavier than natural rattan because of its dense structures (no porosity). Adding wood flour into HDPE to obtain wood-feel texture also reduces flexibility of synthetic rattan since incompatibility between these two materials.

This research aims to prepare light-weight synthetic rattan from composites between high-density polyethylene (HDPE), ethylene-propylene-diene elastomer (EPDM), and pine wood flour. A twin-screw extruder with a rod die was used to blend and

extrude composite strand. Wood flour content and silane coupling agent were varied. A chemical blowing agent with several contents was incorporated in order to produce fine foaming structure inside composite strands. Densities and mechanical properties of composite strands were examined. Color of specimen was measured using a color reader in Lab system. Morphology of fracture surface of the composite strands was studied by a scanning electron microscope.

2 Experimental

2.1 Materials

High-density polyethylene, HDPE (EL-LENETM H5480S, MFI = 0.8 g/10 min, 190°C/2.16 kg) was purchased from SCG Chemicals Co., Ltd. Thailand. Ethylene propylene diene monomer, EPDM (NORDELTM IP3720P) was purchased from Dow Chemical, USA. Pine wood flour (200 mesh size) was supplied by Linpai Co., China. Vinyltriethoxysilane (VTES) 97% from Sigma-Aldrich was used as coupling agent. Dicumyl peroxide (DCP) 98% from Aldrich Chemical Company was used as initiator. Chemical foaming agent (CFA) was azodicarbonamide (with ZnO) supplied by MDR international Co., Thailand. All resins and chemicals were used as received.

2.2 Fiber treatment

Prior treated with vinyltriethoxysilane (VTES), wood flour was dried in a vacuum oven at 80°C for 24 hrs to get rid of moisture. Eight liters of ethanol/water solution (95/5 wt%) was prepared and acetic acid was added to adjust pH to be 3.5. VTES 2.5 and 3 wt% (respect to the fiber weight) was added into ethanol/water solution with slow stirring for 30 min to generate active groups. Then, 400 g of dried wood flour was poured into VTES solution

and maintained stirring for 6 hrs. After that, silane-treated wood flour was dried in a vacuum oven at 120°C for 24 hrs. Treated wood flour was characterized by FTIR.

2.3 Compounding and fabrication

HDPE (90 wt%) and EPDM (10 wt%) were compounded in a twin-screw extruder (SHJ-25, China) with a temperature profile of 150-160°C at screw speed of 30 rpm and then pelletized. Prior mixing with polymer compounds, silane-treated wood flour was dried in vacuum oven at 80°C for 24 hrs in order to minimize amount of moisture. Polymer compounds, silane-treated wood (at 1, 2 and 3 phr) and DCP (0.5wt% with respect to the fiber weight) were melt blending in a twin-screw extruder with a temperature profile of 150-180°C at screw speed of 30 rpm and a rod die with diameter of 4 mm. Composite strands were cooled in a water bath with controlled water temperature of 40°C. Composite strands were tested their mechanical properties to determine the optimum formula for the next step.

The optimized formula was melt blended in the presence of modified azodicarbonamide (at 0.5, 1, 1.5 and 2 phr) by a twin-screw extruder with a temperature profile of 150-180°C at screw speed of 30 rpm and a rod die with diameter of 4 mm. Strands were cooled in a water bath with controlled water temperature of 40°C. Foamed composite strands were collected and tested.

2.4 Physical and mechanical testing

Prior to testing, composite strands were examined their diameters carefully to select only uniform specimen for physical and mechanical testing. Mechanical properties of composite strands were carried out in a universal testing machine (Instron 5965, Series dual column table frames). Tensile test were performed according to ASTM-D2256 with a crosshead speed of 50 mm/min and 5 kN load cell, gauge length of 10 cm. Ten specimens were performed to determine the average and the standard deviation.

Color was measured by means of a color reader in Lab system. Density was performed according to ASTM D1622 using specimen length of 3 cm. Twenty specimen of each formula were measured in order to calculate the average and the standard deviation.

Cross-sections of natural and foamed synthetic strands were characterized by a scanning electron microscope (JSM-5410LV). Test specimens were prepared by immersing specimen in liquid nitrogen and then breaking them. The fractured surfaces were sputter-coated with gold for observation.

3 Results and discussion

3.1 Infrared spectroscopy analysis (FTIR)

FTIR analysis was used for studying the crosslinking reaction in the composites, i.e. the formation of wood-O-Si bonds and Si-O-Si bonds. Fig.1 shows the FTIR spectra of HDPE-based composites having untreated and VTES treated wood flour. In VTES treated samples, there was no peak at 1,092 cm^{-1} which was related to residual un-hydrolyzed Si-O-CH₃ groups [1]. The broad band between 900 and 1,150 cm^{-1} was related to either covalent bonding between wood and silane (Si-O-C) or polysiloxanes (Si-O-Si) bonding [1]. The peaks at 800 and 1050 cm^{-1} were attributed to polysiloxanes (Si O Si) confirming that there was silane crosslinking during the fiber treatment. Also, the peak at 1,650 cm^{-1} that could be assigned to C=C symmetric stretch from vinyl groups in VTES that would be used to react with HDPE in the compounding step.

3.2 Optimized wood content and silane treatment

Fig.2 (a) shows that HDPE-based composite strands had much lower Young's modulus compared to natural rattan but they offered better flexibility considered from percent of ultimate strains as presented in Fig.2 (b). Composite strands with VTES treated wood had higher Young's modulus and higher strain at ultimate stress than those with untreated wood. It can be seen that Young's modulus increased with respect to wood contents. From color measurement, it found that all composite strands were light brown but their lightness (L^*) was darker than natural rattan as presented in Fig. 2(c). Considering results of mechanical properties and color, the optimized wood content was 2 phr with silane treatment of 2.5 wt% of wood weight. SEM revealed good adhesion between wood fibers and polymer matrix after treated fibers with VTES silane. After foaming, it is found that mechanical properties such as tensile modulus and tensile strength did not affect much by porous cross-

sections. Ultimate strains of foamed composite strands were in the same range of non-foamed or

even better. This is due to EPDM phases which could improve ductility of HDPE [2].

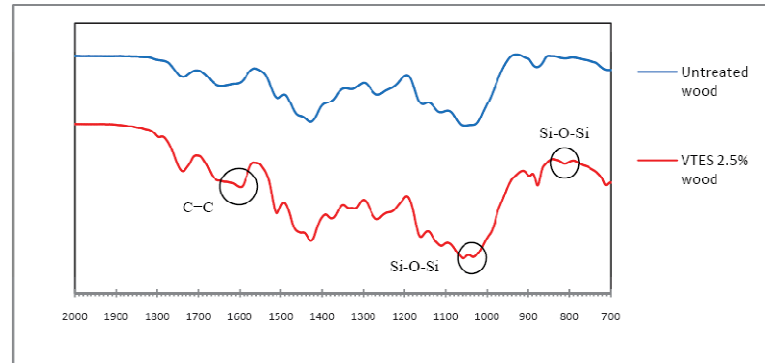


Fig.1. FTIR spectra of untreated and VTES treated pine wood.

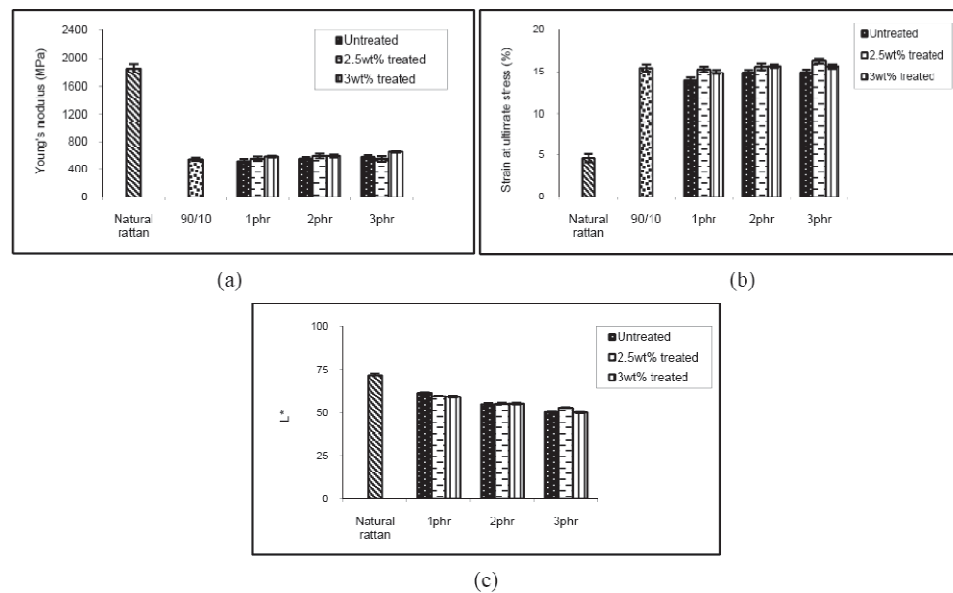


Fig.2. (a) Young's modulus (b) Strain at ultimate stress (%), (c) Lightness (L^*); of natural rattan and composite strands synthetic rattan with varied pine wood contents and silane treated.

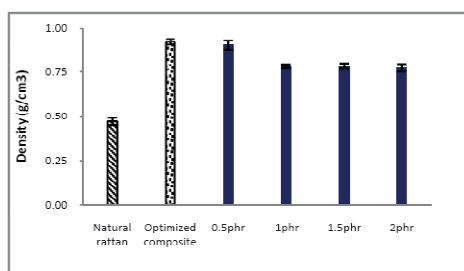


Fig.3. Densities of natural and foamed synthetic rattan with varied CFA contents.

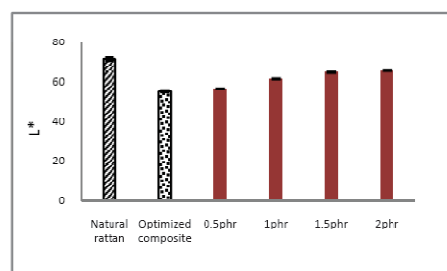


Fig.4. Lightness (L*) of natural and foamed synthetic rattan with varied CFA contents.



Fig.5. Cross-sectional morphology of natural rattan (a), and foamed synthetic rattan with CFA of 0.5 (b), 1.0 (c), 1.5 (d), and 2.0 (e) phr.

3.3 Density of foamed synthetic rattan

Fig.3 shows that densities of foamed composite strands synthetic rattan had lower non-foamed ones due to adding CFA creates foam cells starting in the middle of the composite strands. Increasing contents of CFA up to 2 phr reduced strand densities due to higher content of CFA produced more foam cells [3]. Unfortunately, these densities were still higher than natural rattan. Creating foam cells inside composite strands lowered their densities up to 16%.

3.4 Color measurement

It is seen that creating foamed cells inside composite strands improved appearance of synthetic rattan. By naked eyes, their color looked closed to natural rattan. When measured in Lab system, L* of foamed composite strands was somewhat higher than non-foamed ones and were closed to natural rattan. The reason is more lights could pass through composite masses having small voids inside.

3.5 Morphology of foamed synthetic rattan

Fig.5 shows cross-sectional morphology of foamed composite strands compared with natural rattan. It is seen that natural rattan has porous structure from xylem (water ducts) in its longitudinal orientation. Adding CFA creates foam cells starting in the middle of the composite strands. Foam cells with low CFA contents (0.5, 1.0 phr) were all closed cells, and open foamed cells occurred when using higher CFA contents (1.5, 2.0 phr). Unstable pull-out of composite strands was happened if higher than 2.0 phr CFA was attempted because strand surface was exploded. Too cool water temperature was prohibited due to occurrence of central voids from excessive shrinkage of polymer matrix inside.

4. Conclusions

Based on Young's modulus, strains at ultimate stress and its color, the optimized wood content was 2 phr with silane treatment of 2.5 wt% of wood weight. Densities of foamed composite strands synthetic

rattan had lower non-foamed ones. L* in Lab system of foamed composite strands was somewhat higher than non-foamed ones and were closed to natural rattan. Adding CFA, foam cells with low CFA contents (0.5, 1.0 phr) were all closed cells, and open foamed cells occurred when using higher CFA contents (1.5, 2.0 phr).

5. References

- [1] M. Bengtsson and K. Oksman "Silane crosslinked wood plastic composites: Processing and properties", *Composites Science and Technology*, Vol. 66, pp 2177-2186, 2006.
- [2] C. Clemons "Elastomer modified polypropylene-polyethylene blends as matrices for wood flour-plastic composite", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 41, pp 1559-1569, 2010.
- [3] Laurent M. Matuana, Omar Faruk, Carlos A. Diaz "Cell morphology of extrusion foamed poly(lactic acid) using endothermic chemical foaming agent". *Bioresource Technology*, Vol.100, No.23, pp 5947-5954. (2009).

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายอรุณ ภูกริ่งศรี
 ที่อยู่ 148/56 ซ.วัดภาวนา ถ.บางขุนนนท์ แขวงบางขุนนนท์ เขตบางกอกน้อย
 จังหวัดกรุงเทพฯ 10700

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรม
 พลาสติก จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี
 พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการและ
 วิศวกรรมพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ทุนที่ได้รับระหว่างการศึกษ

พ.ศ. 2552-2553 ทุนผู้ช่วยอาจารย์รายวิชา Polymer Technology Laboratory, Polymer
 Science Laboratory และ Chemical Engineering Laboratory ภาควิชา
 วิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
 อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร