ผลของเศษด้ายไหมต่อสัณฐานวิทยาและสมบัติของโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็ง

Effect of Silk Yarn Residues on Morphology and Properties of Rigid Polyurethane Foam

มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ จิรวดี มหาปทุม และวาสนา แสนบัวหลวง

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กทม. 10520

บทคัดย่อ

ใช้เศษด้ายไหมซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมตกแต่งเส้นไหมเป็นสารตัวเติมอินทรีย์ในโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็งปริมาณ 5-30 กรัม สัดส่วนโดยน้ำหนักของไอโซไซยาเนตต่อพอลิออล เป็น 50 : 43 และใช้การผสม 2 วิธี วิธี A ผสมเศษด้ายไหมกับพอลิออลก่อนแล้วจึงเติมไอโซไซยาเนต ส่วนวิธี B ผสมเศษด้ายไหมกับไอโซไซยาเนตก่อนแล้วจึงเติมพอลิออล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเศษด้ายไหมทำให้ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของโฟมพอลิยูริเทนเพิ่มขึ้น แต่ขนาดรูพรุน ความทนทานต่อแรงกดอัด และค่ามอดุลัสกดอัดของโฟมลดลง การย่อยสลายของโฟมพอลิยูริเทนเร็วขึ้น โดยในเวลา 3 เดือนหลังฝังกลบในดินน้ำหนักโฟมพอลิยูริเทนลดลง 14% เทียบกับโฟมที่ไม่ผสมเศษด้ายไหม พบว่าการเตรียมโฟมพอลิยูริเทนทั้งแบบวิธี A และ B ให้ผลในลักษณะเดียวกัน

คำสำคัญ: โฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็ง เศษด้ายไหม การย่อยสลาย

Abstract

Silk yarn residues was used as organic filler in rigid polyurethane foam at 5-30 grams of polyurethane. Ratios of isocyanate and polyol was 50 : 43 and 2 methods of mixing were studied. Method A, premixed silk yarn residues with polyol then added isocyanate. Method B, premixed silk yarn residues with isocyanate then added polyol. The results showed that increasing silk yarn residues led to increase density and water absorption of polyurethane foam. However, pores size, compressive strength and compressive modulus of foam were decreased. Under burial in soil for 3 months, silk yarn mixed polyurethane foam lose weight 14% compare to unmixed silk yarn foam. Moreover, preparation polyurethane foam by method A and method B showed the similar results.

Keywords: polyurethane foam, silk yarn, filler.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

โฟมพอลิยูริเทนมีทั้งชนิดยืดหยุ่นและชนิดแข็ง โฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็งมีพันธะเชื่อมโยงมากจึงไม่สามารถคืนรูปได้หากมีการเสียรูป สมบัติของโฟมพอลิยูริเทนขึ้นกับชนิดและส่วนผสมระหว่างไดไอโซไซยาเนตกับไกลคอล และขึ้นกับเทคนิคกระบวนการทำให้เกิดเป็นโฟม โฟมพอลิยูริเทนที่ผลิตใช้เป็นฉนวนความร้อน ใช้เติมระหว่างช่องว่างภาชนะกับวัสดุเป็นวัสดุกันกระแทกในงานบรรจุภัณฑ์ [1] ปัจจุบันโฟมได้รับความนิยมนำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับเป็นวัสดุกันกระแทกสิ่งของต่างๆได้แก่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ เครื่องแก้ว จาน ชาม หรือแม้กระทั่งผลิตผลทางการเกษตรไม่ว่าจะเป็นแอปเปิ้ล องุ่น ส้ม ลูกแพรและผลไม้ที่มีราคาแพงต่าง ๆ เนื่องจากสามารถป้องกันความเสียหายสิ่งของที่บรรจุภายในได้ แม้ว่าโฟมมีข้อดีหลายประการ เช่น มีน้ำหนักเบา ยืดหยุ่นได้ดี และทนการกัดกร่อน แต่ใช้เวลาในการย่อยสลายนานก่อให้เกิดขยะของแข็งเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม [2] การเติมเส้นใยธรรมชาติที่มีราคาถูก เช่น เส้นใยจากต้นกล้วย [3] เพื่อเป็นสารตัวเติม ทำให้โฟมพอลิยูริเทนสูญเสียความยืดหยุ่นและสมบัติความต้านทานแรงกระแทกลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นแต่เสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น มีรายงานว่าสารอินทรีย์ เช่น เศษไม้ [4] แป้ง [5] montmorillonite [6] และวัสดุสังเคราะห์ เช่น เม็ดโฟมพอลิสไตรีน [7] รวมทั้งสารอนินทรีย์ [8] เช่น แบเรียมซัลเฟต แคลเซียมคาร์บอเนต และแทลคัม สามารถใช้เป็นสารเสริมแรงผสมในพอลิยูริเทนได้

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของสารตัวเติมอินทรีย์ที่มีต่อสมบัติของโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็ง เนื่องจากได้มีแนวคิดที่จะทำโฟมพอลิยูริเทนที่สามารถย่อยสลายได้และมีราคาถูกเพื่อลดปัญหาขยะของแข็งจากวัสดุพลาสติก จึงใช้เศษด้ายไหมที่เป็นวัสดุอินทรีย์ที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมปั่นเส้นไหมเป็นสารตัวเติมลงในโฟมพอลิยูริเทน อันเป็นแนวทางการลดวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยการนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นอีกทางหนึ่งที่ใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่า โดยศึกษาผลของปริมาณเศษด้ายไหมที่ต่างกันที่มีต่อสัณฐานวิทยา สมบัติกายภาพ และสมบัติเชิงกลของโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็ง

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมเศษด้ายไหม

นำเศษด้ายไหมที่ได้จากขั้นการเผาตกแต่งเส้นไหมของบริษัท ชินาโน เคมชิ ประเทศไทย ซึ่งมีสีน้ำตาลอ่อนมาปั่นให้กระจายตัวแยกออกจากกันด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ จากนั้นนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์จนกระทั่งน้ำหนักคงที่และคำนวณหาร้อยละความชื้น ตามสูตรต่อไปนี้ หลังการคำนวณพบว่าเศษด้ายไหมที่ใช้มีความชื้น 0.0053% เก็บเศษด้ายไหมที่อบแล้วไว้ในถุงพลาสติกปิดผนึกไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักของเศษด้ายไหมก่อนอบ - น้ำหนักของเศษด้ายไหมหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของเศษด้ายไหมก่อนอบ}} \times 100$$

2.2 การเตรียมโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็ง

2.2.1. ชั่งสารเคมีแต่ละสูตรตามตารางที่ 1 โดยอัตราส่วนน้ำหนักของไอโซไซยาเนตต่อพอลิออล เป็น 50 : 43

ตารางที่ 1 สูตรของโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็งที่มีการเติมเศษด้ายไหม

	สูตร						
ปริมาณสารที่ใช้ (g)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
ไอโซไซยาเนต	50	50	50	50	50	50	50
พอลิออล	43	43	43	43	43	43	43
เศษด้ายไหม	0	5	10	15	20	25	30

2.2.2. นำเศษด้ายไหมมาผสมกับพอลิออลก่อน ตามอัตราส่วนในตารางที่ 1 และคนให้เข้ากันในภาชนะพลาสติก

2.2.3. เติมไอโซไซยาเนต แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว 1700 รอบ / นาที เป็นเวลา 10 วินาที

2.2.4. เทของผสมลงในแม่แบบสี่เหลี่ยมขนาด 5 x 5 นิ้ว ปล่อยให้ของผสมเกิดการพองตัวเป็นโฟมอย่างสมบูรณ์โดยไม่ยุบตัวทิ้งไว้ 10 นาที แล้วจึงนำออกจากแม่แบบ

2.2.5. ทำซ้ำข้อ 2.2.2 - 2.2.4 จนได้โฟมสูตร A1 - A7 ครบทุกสูตรตามตารางที่ 1

2.2.6. เปลี่ยนวิธีการเตรียมโฟมโดยนำเศษด้ายไหมมาผสมกับไอโซไซยาเนตก่อนตามอัตราส่วนในตารางที่ 1 แล้วดำเนินการตาม 2.2.3 และ 2.2.4 ได้ชิ้นงานโฟมสูตร B2 - B7

**หมายเหตุ วิธี A คือ การเตรียมโฟมโดยผสมเศษด้ายไหมกับพอลิออลก่อน จากนั้นจึงเติมไอโซไซยาเนตลงไป

วิธี B คือ การเตรียมโฟมโดยผสมเศษด้ายไหมกับไอโซไซยาเนตก่อน จากนั้นจึงเติมพอลิออลลงไป

สำหรับอัตราส่วนระหว่างพอลิยูริเทนต่อพอลิออลที่ใช้ในการทดลองเป็นสูตรของบริษัทที่อนุเคราะห์สารเคมีเพื่อใช้ในการทดลอง

3. วิธีการทดสอบ

3.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

นำตัวอย่างเศษด้ายไหมและชิ้นงานโฟมพอลิยูริเทนสูตร A1 - A7 และสูตร B2 - B7 ที่เตรียมได้มาวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของ LEO รุ่น 1450VP เพื่อดูลักษณะทางกายภาพของเศษด้ายไหม โครงสร้างรูพรุนและการกระจายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเศษด้ายไหมในชิ้นงานโฟม โดยใช้กำลังขยาย 50 เท่า จากนั้นใช้ SEM วัดขนาดรูพรุน 10 แห่ง และใช้โปรแกรมการคำนวณของเครื่องหาค่าเฉลี่ยรูพรุน

3.2 สมบัติทางกายภาพ

3.2.1 การตรวจวัดความหนาแน่นชิ้นงานโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็ง (อ้างอิงมาตรฐานASTM D 1622)

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความหนาแน่นมีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 1 นิ้ว ยาว 1 นิ้ว หนา 1 นิ้ว จำนวน 5 ชิ้นงาน นำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งมาตรฐาน คำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นงานได้จากสูตร ดังต่อไปนี้ และนำมาหาค่าเฉลี่ย

$$\text{ความหนาแน่น } (g/cm^3) = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นงาน } (g)}{\text{ปริมาตรของชิ้นงาน } (cm^3)}$$

3.2.2 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ

ตัดชิ้นงานให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง 1 นิ้ว ยาว 1 นิ้ว หนา 1นิ้ว จำนวน 5 ชิ้นงาน นำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปแช่น้ำในถุงซิปเติมน้ำให้เต็มแล้วปิดผนึก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นงานโฟมออกมาชั่งและบันทึกน้ำหนัก เปรียบเทียบน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและนำไปคำนวณร้อยละการดูดซึมน้ำจากสูตรดังต่อไปนี้ แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย

$$\%\text{ การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

3.3 สมบัติเชิงกล (อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D1621_00)

นำชิ้นงานโฟมพอลิยูริเทนที่ได้จากการขึ้นรูปในแม่พิมพ์ไปตัดให้มีขนาด กว้าง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว หนา 1 นิ้ว จำนวน 5 ชิ้นงาน นำชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (5K) โดยใช้ความเร็วในการกดชิ้นงานเท่ากับ 2.5 ± 0.25 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อหาค่าแรงกดสูงสุดและมอดุลัสกดอัด

3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

ผสมเศษด้ายไหมประมาณ 2 มิลลิกรัมกับผงโพแทสเซียมโบรไมด์อบแห้งประมาณ 115 มิลลิกรัม และทำการบดสารตัวอย่างให้เข้ากัน แล้วนำมาเข้าเครื่องกดอัดให้เป็นแผ่นวงกลมบาง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR โดยทำการวิเคราะห์ในช่วงเลขคลื่น 4000 – 400 cm^{-1} และบันทึกสเปกตรัมของตัวอย่าง ใช้เทคนิคเดียวกันนี้กับการวิเคราะห์ชิ้นงานโฟมที่เตรียมได้

3.5 การวิเคราะห์ทางความร้อน

ชั่งเศษด้ายไหมประมาณ 10 – 15 มิลลิกรัมลงในภาชนะบรรจุสาร (Pt pan) วางลงในเครื่อง Thermogravimetric analysis, TGA ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส ให้อัตราความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และบันทึกเทอร์โมแกรมของตัวอย่าง ทำเช่นเดียวกันนี้ในการวิเคราะห์ชิ้นงานโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทดสอบการย่อยสลายในดิน

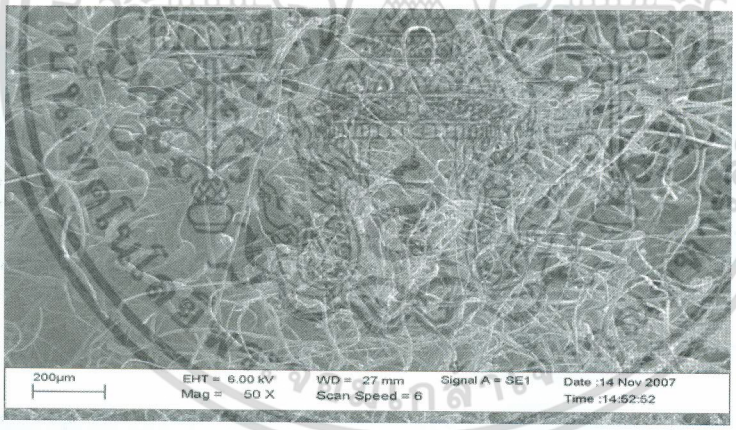
ตัดชิ้นงานให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด กว้าง 1 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว หนา 1 นิ้ว จำนวน 3 ชิ้นงาน ชั่งและบันทึกน้ำหนักทั้ง 3 ชิ้นไว้ นำไปฝังดินซึ่งอยู่ในกระถางขนาด 15 x 74 x 14.5 เซนติเมตร ฝังลึก 10 เซนติเมตร รดน้ำทุกวัน วันละ 2000 มิลลิลิตร (ยกเว้น เสาร์-อาทิตย์) เมื่อครบ 1 เดือน จึงนำขึ้นมาล้างดินออก และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักที่หายไป ทำเช่นนี้ทุกเดือนจนครบเวลา 3 เดือน โดยน้ำหนักที่หายไปในแต่ละเดือนจะนำไปคำนวณเป็นร้อยละการย่อยสลายได้จากสูตร

$$\% \text{ การย่อยสลาย} = \frac{\text{น้ำหนักที่ลดลงในแต่ละเดือน}}{\text{น้ำหนักก่อนฝังดิน}} \times 100$$

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 เท่า แสดงดังรูปที่ 1 ลักษณะของเศษด้ายไหมที่ใช้เป็นสารตัวเติมในโฟมพอลิยูริเทน พบว่า มีลักษณะยาว แต่เส้นผ่านศูนย์กลางแคบ บางส่วนของเส้นด้ายไหมมีปม นอกจากนี้เส้นไหมยังเกี่ยวพันกันอยู่เป็นกลุ่ม

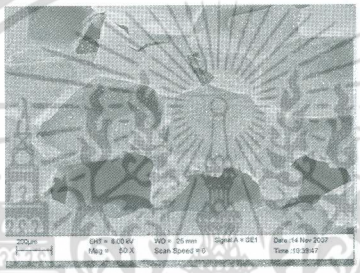


รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเศษด้ายไหม ที่กำลังขยาย 50 เท่า

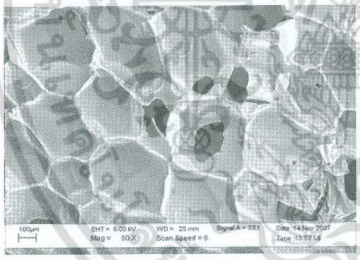
ลักษณะและขนาดรูพรุนของโฟมพอลิยูริเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม (สูตร A1) แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า รูพรุนของโฟมพอลิยูริเทนมีขนาดใกล้เคียงกัน ขนาดเฉลี่ยของรูพรุนประมาณ 675 µm แต่เมื่อเติมเศษด้ายไหม 5 กรัม) ลงในโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็ง (สูตร A2) พบว่าขนาดรูพรุนจะเล็กลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีเศษด้ายไหมขนาดเฉลี่ยของรูพรุนประมาณ 535 µm และโฟมที่มีเศษด้ายไหมเพิ่มขึ้นถึง 30 กรัม (สูตร A7) ลักษณะรูพรุนจะเปลี่ยนไปจากเดิมมาก โดยเศษด้ายไหมจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มอย่างชัดเจน รูพรุนของโฟมพอลิยูริเทนมีขนาดแตกต่างกันและเล็กกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

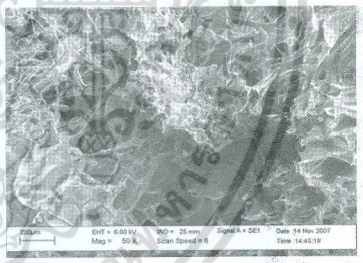
ขนาดรูพรุนของโฟมพอลิยูริเทนที่ไม่ผสมเศษด้ายไหม ขนาดเฉลี่ยของรูพรุนประมาณ 264 μm รูพรุนของโฟมที่อยู่ใกล้เศษด้ายไหมมีขนาดเล็กลง อาจเนื่องมาจากความชื้นของเศษด้ายไหม (แม้จะมีการอบไล่ความชื้นแล้วก็ตาม) จะระเหยออกมาเนื่องจากในขณะที่พอลิออลทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตเกิดพันธะยูริเทนนั้นมีความร้อนคายออกมา ดังนั้นยิ่งมีปริมาณเศษด้ายไหมมากความชื้นที่เศษด้ายไหมดูดซับไว้ก็ยิ่งระเหยออกมามาก จึงทำให้เกิดฟองอากาศรูพรุนเล็กๆมาก [5] เมื่อเปรียบเทียบขนาดรูพรุนที่เกิดจากการเตรียมโฟมวิธี A ที่ผสมเศษด้ายไหมกับพอลิออลก่อน (สูตร A2 - สูตร A7) กับวิธี B ที่ผสมเศษด้ายไหมกับไอโซไซยาเนตก่อน (สูตร B 2 - สูตร B 7) พบว่าขนาดรูพรุนของโฟมไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในตารางที่ 2



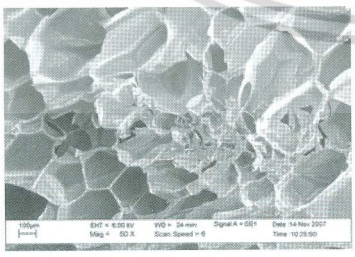
สูตรที่ A1 ไม่มีเศษด้ายไหม



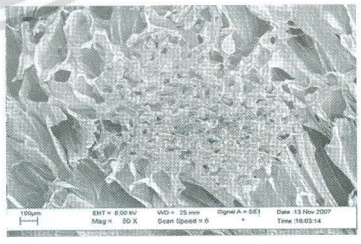
สูตร A2 ผสมเศษด้ายไหม 5 กรัม



สูตร A7 เศษด้ายไหมปริมาณ 30 กรัม



สูตร B2 ผสมเศษด้ายไหม 5 กรัม



สูตร B7 ผสมเศษด้ายไหมปริมาณ 30 กรัม

รูปที่ 2 ลักษณะรูพรุนของโฟมพอลิยูริเทนสูตรต่างๆ ที่กำลังขยาย 50 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ขนาดเฉลี่ยรูพรุนของชิ้นงานโฟมพอลิยูริเทนสูตรต่างๆวัดโดยใช้เครื่อง SEM

ขนาดเฉลี่ยของรูพรุน (μm)							
สูตร	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
A	675.44±0.49	535.07±0.99	372.41±0.69	341.28±0.78	303.44±0.46	275.86±0.10	264.28±0.44
B	-------	514.28±0.24	365.51±0.29	351.72±0.56	307.13±0.25	279.54±0.28	275.86±0.99

รูปที่ 3 ภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิตอลแสดงลักษณะของโฟมพอลิสไตรีนที่เตรียมได้จากวิธี A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเศษด้ายไหมเป็น 30 กรัม เช่นที่สูตร A7 และ B7 (มองเห็นสีน้ำตาลเข้มกว่าเนื้อโฟม) เส้นใยจะรวมกันเป็นกลุ่มแทนที่จะกระจายทั่วไปในโฟม ทำให้เกิดการแยกวัฏภาคระหว่างรอยต่อของโฟมกับเศษด้ายไหม ลักษณะรูพรุนของโฟมไม่สม่ำเสมอและมีช่องว่างขนาดใหญ่เกิดขึ้นในโฟม เป็นแห่งๆ นั่นคือเศษด้ายไหมรบกวนขนาดของรูพรุน

4.3 สมบัติทางกายภาพ

ค่าความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของเส้นไหมและโฟมสูตรต่างๆแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็งสูตรต่างๆ

สูตรที่	ด้ายไหม (g)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	การดูดซึมน้ำ (%)	สูตรที่	ความหนาแน่น (g/cm^3)	การดูดซึมน้ำ (%)
A1	-	0.0254±0.0005	110.16±0.0200	-	-	-
A2	5	0.0275±0.0006	141.97±0.0100	B2	0.0381±0.0002	139.02±0.0100
A3	10	0.0295±0.0008	159.09±0.0300	B3	0.0312±0.0003	162.52±0.0200
A4	15	0.0351±0.0004	170.72±0.0300	B4	0.0331±0.0006	173.66±0.0100
A5	20	0.0387±0.0004	198.23±0.0100	B5	0.0381±0.0003	203.71±0.0100
A6	25	0.0472±0.0003	228.61±0.0100	B6	0.0542±0.0002	221.06±0.0100
A7	30	0.0695±0.0004	288.26±0.0000	B7	0.0565±0.0003	274.51±0.0100

จากตารางที่ 2 พบว่าความหนาแน่นของโฟมพอลิยูริเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมมีค่า 0.0254 g/cm^3 เมื่อเติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5-30 กรัม พบว่าความหนาแน่นของโฟมจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในช่วง 5-10 กรัม และเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อมีปริมาณเศษด้ายไหม 15-30 กรัม แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของโฟมจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเศษด้ายไหมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นคำนวณจากมวลต่อปริมาตร ในขณะที่ชิ้นงานตัวอย่างมีขนาดเท่ากันแต่มวลของเศษด้ายไหมเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของชิ้นงานจึงเพิ่มขึ้นด้วย ลักษณะเช่นนี้พบในโฟมพอลิยูริเทนที่ผสมเส้นใยกล้วยน้ำว้าเช่นกัน [3] พบว่า การเตรียมโฟมพอลิยูริเทนทั้งวิธี A และวิธี B ให้ผลในทำนองเดียวกัน

จากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำในตารางที่ 2 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของโฟมพอลิยูริเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม มีค่าประมาณร้อยละ 110 กรณีการเตรียมวิธี A เมื่อเติมเศษด้ายไหม 5 กรัมลงในโฟมทำให้ค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นจาก 110 เป็น 141 ค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นเป็น 288 เมื่อเติมเศษด้ายไหม 30 กรัม ซึ่งเป็นผลมาจากเศษด้ายไหมสามารถดูดซึมน้ำได้เมื่อปริมาณเพิ่มขึ้นจึงทำให้การดูดซึมน้ำของโฟมมากขึ้นด้วย ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำของโฟมพอลิยูริเทนที่มีการเตรียมวิธี A และวิธี B ให้แนวโน้มในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สมบัติเชิงกล

ค่าแรงกดอัดสูงสุดและค่ามอดุลัสกดอัดของโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็งสูตรต่างๆที่เตรียมได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการรับแรงกดอัดและมอดุลัสกดอัดของโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็งสูตรต่างๆ

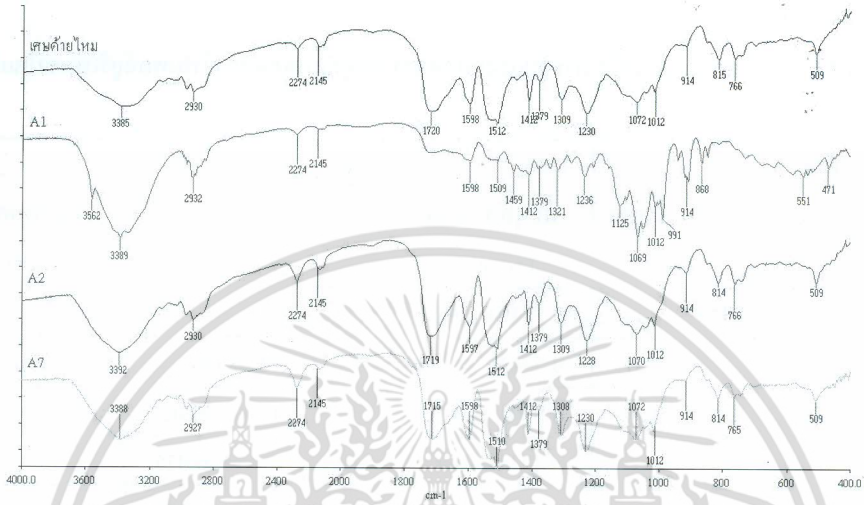
สูตรที่	ด้ายไหม (g)	แรงกดอัดสูงสุด (N)	มอดุลัสกดอัด (N/mm^2)	สูตรที่	แรงกดอัดสูงสุด (N)	มอดุลัสกดอัด (N/mm^2)
A1	-	143.98±0.02	0.5549±0.0003	-	-	-
A2	5	142.71±0.01	0.5443±0.0004	B2	142.82±0.01	0.5412±0.0003
A3	10	139.27±0.05	0.5408±0.0003	B3	141.27±0.02	0.5113±0.0002
A4	15	127.34±0.15	0.4728±0.0002	B4	138.97±0.025	0.4515±0.0002
A5	20	108.24±0.01	0.4017±0.0002	B5	119.97±0.028	0.4172±0.0003
A6	25	67.18±0.09	0.2918±0.0003	B6	73.46±0.037	0.2881±0.0001
A7	30	46.24±0.02	0.2376±0.0003	B7	45.28±0.034	0.2276±0.0002

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าโฟมพอลิยูริเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหม สามารถรับแรงกดอัดสูงสุดได้ 143.98 นิวตัน แต่เมื่อเติมเศษด้ายไหมลงไป จะทำให้สามารถรับแรงกดอัดได้น้อยลงตามปริมาณเศษด้ายไหมที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโฟมที่มีปริมาณเศษด้ายไหม 30 กรัม แรงกดอัดลดลงเหลือเพียง 46.24 นิวตัน (วิธี A) และ 45.28 นิวตัน (วิธี B) เนื่องจากเศษด้ายไหมกระจุกตัวเป็นกลุ่มๆ กระจายอยู่ในเนื้อโฟม ซึ่งเห็นได้ชัดจากภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิตอล (ดังรูปที่ 3) เมื่อโฟมพอลิยูริเทนได้รับแรงกดจึงส่งผ่านแรงได้ไม่ดี ดังนั้นความสามารถในการรับแรงกดอัดของโฟมพอลิยูริเทนที่มีปริมาณเศษด้ายไหมมากจึงลดลง ซึ่งการเตรียมโฟมทั้งวิธี A และวิธี B ให้ผลในทำนองเดียวกัน

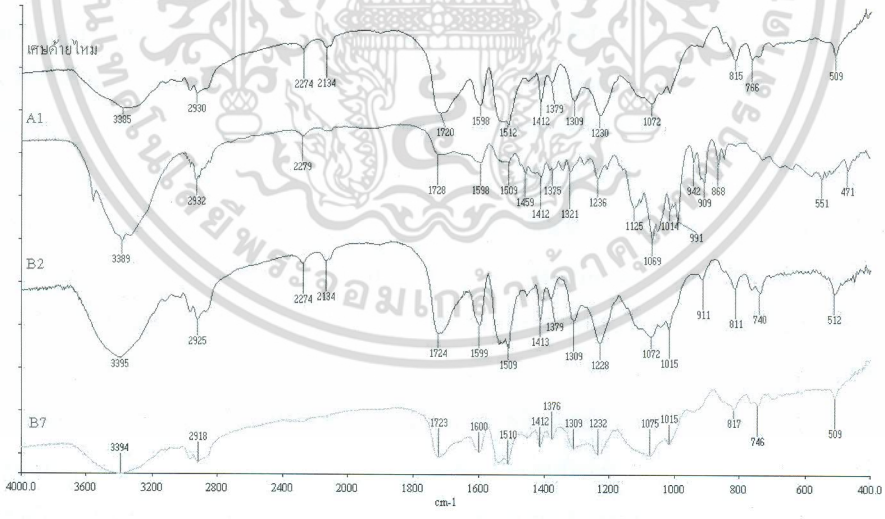
จากตารางที่ 3 พบว่าค่ามอดุลัสกดอัดของโฟมพอลิยูริเทนที่ไม่มีการเติมเศษด้ายไหมและเติมเศษด้ายไหมมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความสามารถในการรับแรงกดอัด ค่ามอดุลัสกดอัดจะลดลงอย่างมากเมื่อเติมเศษด้ายไหม จากการทดลองสรุปได้ว่า การเติมเศษด้ายไหมทำให้สมบัติเชิงกลของชิ้นงานโฟมที่เตรียมได้นั้นลดลง เศษด้ายไหมที่ได้จากการเผาตกแต่งเส้นไหมจึงเป็นสารตัวเติมที่ไม่ช่วยเสริมแรง การเตรียมโฟมทั้งวิธี A และวิธี B นั้นให้ผลไปในทำนองเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโคปี



รูปที่ 4 FTIR ของเศษด้ายไหม โฟมพอลิยูริเทน สูตร A1 สูตรA2 และ สูตร A7



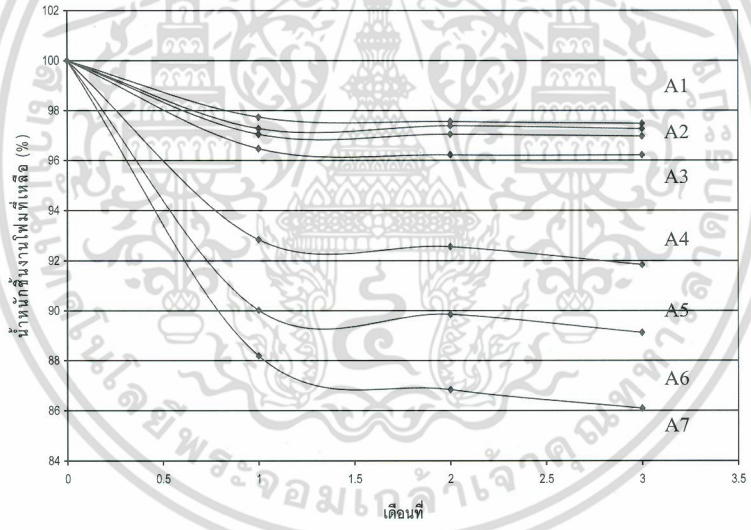
รูปที่ 5 FTIR ของเศษด้ายไหม โฟมพอลิยูริเทน สูตร A1 สูตร B2 และ สูตร B7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากทั้งเศษด้ายไหมและโฟมพอลิยูริเทนมีพันธะเอไมด์ (–CO-NH-) อยู่เป็นจำนวนมากในโครงสร้าง เมื่อวิเคราะห์ด้วย FTIR ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 จึงพบพีคที่เลขคลื่นประมาณ 3385 cm^{-1} แสดง N-H stretching และพีคที่เลขคลื่นประมาณ 1700 cm^{-1} แสดงหมู่ -C=O ของเศษด้ายไหมและของพันธะยูริเทน ทั้งสองพีคนี้จะเป็นพีคหลักที่จะบ่งบอกถึงเอกลักษณ์ทางเคมีของโฟมพอลิยูริเทนและเศษด้ายไหม นอกจากนี้ที่เลขคลื่นประมาณ 1400-1300 cm^{-1} แสดงหมู่ -C-O stretching ของพอลิยูริเทน และที่เลขคลื่น 1125 – 1012 cm^{-1} แสดงหมู่ -C-N stretching ซึ่งเป็นพีคที่แสดงเอกลักษณ์ทางเคมีของเศษด้ายไหมเช่นกัน จะปรากฏชัดขึ้นในโฟมพอลิยูริเทนที่มีการผสมเศษด้ายไหม 5 กรัม (สูตร A2 และ B2) และ 30 กรัม (สูตร A7 และ B7) เมื่อเปรียบเทียบ FTIR ของโฟมพอลิยูริเทนที่เตรียมได้จากวิธีเตรียมวิธี A และวิธี B พบว่าไม่แตกต่างกัน

4.6 การทดสอบการย่อยสลาย

เมื่อนำชิ้นงานโฟมสูตรต่างๆที่เตรียมได้ไปทดลองย่อยสลาย 3 เดือน จะได้ร้อยละน้ำหนักที่เหลือของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 6 (สูตร A) และ รูปที่ 7 (สูตร B)

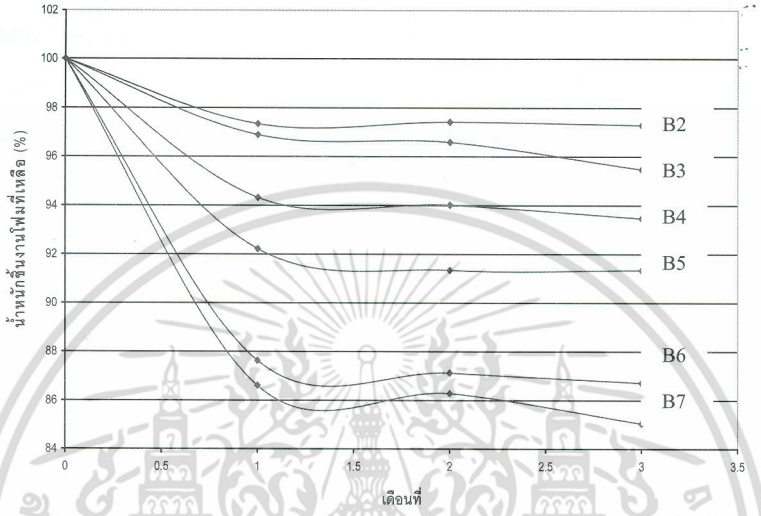


รูปที่ 6 ร้อยละน้ำหนักที่เหลือของชิ้นงานโฟมพอลิยูริเทนสูตรต่างๆ ที่เตรียมด้วยวิธี A หลังจากนำไปทดสอบการย่อยสลาย 3 เดือน

จากรูปที่ 6 และรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าการเติมเศษด้ายไหมจะทำให้โฟมพอลิยูริเทนที่เตรียมจากทั้งวิธี A และวิธี B เกิดการย่อยสลายได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับโฟมที่ไม่ได้เติมเศษด้ายไหม โดยพิจารณาจากน้ำหนักของโฟมที่เหลือ พบว่าโฟมที่เติมเศษด้ายไหมปริมาณ 5 และ 10 กรัม มีค่าการย่อยสลายประมาณร้อยละ 4 และการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในชิ้นงานโฟมพอลิยูริเทนที่มีการเติมเศษด้ายไหมตั้งแต่ 15 กรัมขึ้นไป โดยโฟมสูตร A7 และ B7 มีค่าการย่อยสลายประมาณร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละ 14 หลังนำไปฝังดิน 3 เดือน การเตรียมโฟมทั้งสองวิธีให้ผลการทดสอบการย่อยสลายไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 7 ร้อยละน้ำหนักที่เหลือของชิ้นงานโฟมพอลิยูริเทนสูตรต่างๆ ที่เตรียมด้วยวิธี B หลังจากนำไปทดสอบการย่อยสลาย 3 เดือน

5.สรุป

การผสมเศษด้ายไหมกับพอลิออลก่อน หรือผสมกับไอโซไซยาเนตก่อนไม่ทำให้โฟมพอลิยูริเทนที่เตรียมได้มีสมบัติต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การเติมเศษด้ายไหมลงในโฟมพอลิยูริเทนทำให้ขนาดรูพรุนและความสม่ำเสมอของรูพรุนในโฟมพอลิยูริเทนจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายตัวของเศษด้ายไหมไม่ดี เมื่อปริมาณเศษด้ายไหมเพิ่มขึ้น เศษด้ายไหมจะมีการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนเกิดแยกวัฏภาค ทำให้ความสามารถรับแรงกดอัดของโฟมลดลง อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นและการดูดซับน้ำของโฟมพอลิยูริเทนจะเพิ่มขึ้นอย่างมากตามปริมาณเศษด้ายไหม การชั่งน้ำหนักของโฟมหลังฝังดิน 3 เดือน พบว่า น้ำหนักหายไปร้อยละ 4-14 นั่นคือ การเติมเศษด้ายไหมลงในโฟมช่วยให้โฟมพอลิยูริเทนเสียสภาพได้เร็วขึ้น จากการทดลองนี้พบว่าควรเติมเศษด้ายไหมไม่มากกว่า 10 กรัม เพราะไม่ทำให้สมบัติเชิงกลลดลงมากและชิ้นงานไม่หนักเกินไป รวมทั้งยังค่อยๆย่อยสลายได้ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ชินาโนเคนชิประเทศไทยที่ให้ความอนุเคราะห์เศษด้ายไหมและ บริษัทไทยมิตซุยสเปเชียลตี้เคมีคอลที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Blaga, A., *Rigid Thermosetting Plastic Foams*, Canadian building digest. 1974.

[2] Bledzki , A. K., Zhang, W., and Chate, A. "Natural-fiber-reinforce Polyurethane Microforms." **Composite Science and Technology**, 2001, 61, 2405-2411 .

[3] มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ วรัญญู อิศราธิกูล และ อรุณ ชิงห์. สัณฐานวิทยาและสมบัติของโฟมพอลิยูริเทนชนิดแข็งผสมเส้นใยกล้วย. **วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง,** 2551, 17(1), 86-97.

[4] Rials, T. G., Wolcott, M. P., and Nassar, J. M. "Interfacial Contributions in Lignocellulosic Fiber-Reinforced Polyurethane Composites." **Journal of Applied Polymer Science,** 2001, 80, 546-555.

[5] Duclerc, F. P., Lauea, G. C., Patricia, P., Carmen, C. T., and Lugao, A. B. "Biodegradable Foams made of Cassava Starch and Fibers: Influence in the Mechanical Properties." Proceeding of the 2nd CIGR Section VI International Symposium on Future of Food Engineering, 26-28 April 2006, Warsaw, Poland.

[6] Shishan, W., Aimin, C., Hongyan, H. and Jian, S. "A Study on Structure and Mechanical properties of Polyurethane/organic-Montmorillonite Nanocomposites." **Polymer-Plastics Technology and Engineering.**, 2006, 45(4-6), 685-689.

[7] Bahradwaj, S. S., Krishnamurthi, B., Sergeeva T., and Shutov, F. "Macro- and Microfillers as Reinforcing agents for Polyurethane Elastomers." **Journal of Elastomers and Plastics**, 2003, 35(4), 325-334.

[8] Hatakeyama, H., Tanamachi , N., Matsumura, H., Hirose, S., and Hatakeyama , T. " Bio-based polyurethane composite foams with inorganic fillers studied by thermogravimetry " **Thermochimica acta**, 2005, 434(1-2), 155-160.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้