การศึกษาสมบัติทางกายภาพของโพลีโพรพีลีนที่เติมฝ้ายเพื่อเป็นวัสดุทดแทน

A Study on Physical Properties of Recycled Polypropylene-Cotton Composite for Renewable Material

ปิยะวิทย์ โภคาเสริมส่ง (Piyavit Pokasermsong)
กานต์ ลิ่มศรีวิไล (Karn Limsrivilai)
สุภาภรณ์ อ่อนทอง (Supaporn Onthong)
ภรณี ศรีรมรื่น (Paranee Sriromruen)
ศิริวรรณ ศรีสรฉัตร์ (Siriwan Srisorachatr)

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ paranee@swu.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิทโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลกับฝ้ายที่ผ่านการดัดแปรผิวหน้าด้วยกรดสเตียริก โดยเป็นการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของฝ้ายและศึกษาสมบัติทางกายภาพของ โพลีโพรพีลีนรีไซเคิลที่ได้จากถุงพลาสติกร้อนบรรจุอาหารและอัตราส่วนของฝ้ายต่อถุงพลาสติกรีไซเคิลคือ 10, 20, 30, 40 และ 50% โดยน้ำหนักฝ้าย โดยใช้เครื่อง Two-roll mill เป็นเครื่องช่วยผสม ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าสมบัติทางกายภาพของโพลีโพรพีลีนที่เติมฝ้ายมีสมบัติดีขึ้น ทั้งสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการทนการติดไฟ โดยพบว่าถุงพลาสติกรีไซเคิลที่มีปริมาณฝ้าย 40% โดยน้ำหนัก มีผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้งานเกี่ยวกับการรับแรง เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกรีไซเคิลที่ไม่ได้เติมฝ้าย

ABSTRACT This research aims to study the physical properties of composite materials prepared from recycled polypropylene bags and cotton compatibilized by stearic acid. The physical properties of recycled polypropylene-cotton composite were studied and the amount of cotton added to the recycled PP bags were 10, 20, 30, 40 and 50% by weight. A two-roll mill was used as a mixer at the mixing temperature of 190 °C. The results showed that the composition with 40% cotton gave the optimum physical properties in terms of mechanical properties, thermal properties and flammability compared to the recycled PP without the added.

KEYWORDS : Polypropylene, Cotton, Composite, Physical properties

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้ได้มีการนำพลาสติกมาทำการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น โดยการนำพลาสติกมาเสริมแรงโดยใช้วัสดุเสริมแรงประเภทเส้นใย ซึ่งมีทั้งเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ งานวิจัยนี้จะใช้เส้นใยฝ้ายเนื่องจากเส้นใยธรรมชาตินั้นมีน้ำหนักเบา หาได้ง่าย ราคาถูก ไม่สร้างความสึกหรอให้กับเครื่องจักรที่ใช้แปรรูปและที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนพลาสติกที่ใช้คือถุงพลาสติกร้อนบรรจุอาหารผลิตจากโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ จึงเป็นการช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกอีกทางหนึ่ง

ข้อจำกัดในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิทคือเส้นใยธรรมชาติ มีคุณสมบัติดูดซึมความชื้นได้ง่ายและยึดติดกับพลาสติกได้ยาก ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารคู่ควบในการดัดแปรผิวหน้าของเส้นใยธรรมชาติ ในงานวิจัยได้ใช้กรดสเตียริคเพื่อช่วยให้การกระจายตัวของเส้นใยทำได้ง่ายขึ้นในสารนั้น และลดการดูดซึมความชื้นที่ผิวหน้าของเส้นใย [1] จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิทที่มีโพลีโพรพีลีนเป็นสารพื้นโดยใช้เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากชานอ้อย แกลบ และเถ้าแกลบเป็นสารเสริมแรง และใช้กรดสเตียริกเป็นสารคู่ควบ พบว่าค่าพลังงานการกระแทกและความแข็งที่ผิวหน้ามีค่าสูงกว่าโพลีโพรพีลีนบริสุทธิ์ สำหรับวัสดุคอมโพสิทที่ใช้ชานอ้อย 10% พบว่าชานอ้อยที่ผ่านการดัดแปรผิวหน้าด้วยกรดสเตียริกให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าระบบที่ชานอ้อยไม่ได้ผ่านการดัดแปรผิวหน้าด้วยกรดสเตียริก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผิวหน้าที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรดสเตียริก ได้เพิ่มค่าความแข็งที่ผิวหน้า ค่าทนต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิท แต่ค่าความทนต่อแรงดึง และค่ายังส์มอดูลัสก็ยังคงต่ำกว่าโพลีโพรพีลีนบริสุทธิ์ [2]

คณะผู้วิจัยได้มองเห็นถึงการพัฒนาวัสดุคอมโพสิทที่มีการนำเส้นใยธรรมชาติมาเป็นสารเสริมแรง โดยศึกษาวัสดุคอมโพสิทที่ได้จากโพลีโพรพีลีนผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ได้จากเศษผ้าเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยมีการใช้สารคู่ควบ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณเส้นใยฝ้ายก็มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิท ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาอิทธิพลของปริมาณเส้นใยฝ้ายที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิท เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิทที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานในด้านต่างๆ ตามที่ต้องการและที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

เม็ดพลาสติกโพลีโพรพีลีน (Polypropylene, PP) เกรดฉีด ชนิด Commercial Grade ผลิตโดย บริษัท HMC Polymers, กรดสเตียริก ($CH_3(CH_2)_{16}COOH$, M.W.= 284.49) ชนิด Analytical Reagent ผลิตโดยบริษัท Asia Pacific Speciality Chemicals, เอทธานอล (CH_3CH_2OH, M.W.= 46.07) ชนิด Analytical Reagent ผลิตโดยบริษัท Mallinckrodt Baker Inc., ถุงพลาสติกบรรจุอาหาร (โพลีโพรพีลีน), เส้นด้ายฝ้าย 100%

2.2 วิธีการเตรียม

นำเส้นด้ายฝ้ายมาตัดให้เป็นเส้นเล็กความยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก 3% โดยน้ำหนักฝ้าย [2] โดยใช้เอทธานอลเป็นตัวทำละลาย แล้วจึงนำฝ้าย 50 กรัม ลงไปแช่ โดยให้สารละลายกรดสเตียริกท่วมฝ้ายคนให้ทั่ว แช่ไว้ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและเก็บในเดซิเคเตอร์เพื่อป้องกันความชื้น และรอการขึ้นรูปต่อไป

นำถุงพลาสติกร้อนบรรจุอาหารมาทำความสะอาดและตัดให้ได้ ขนาดประมาณ 30x30 มิลลิเมตร เพื่อรอการผสมและขึ้นรูปต่อไป

2.3 วิธีการผสม

นำฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกแล้วผสมกับโพลีโพรพีลีนจากถุงพลาสติกร้อนบรรจุอาหาร ตามอัตราส่วน 10, 20, 30, 40 และ 50% โดยน้ำหนักของฝ้าย ผสมเข้ากันด้วยเครื่อง Two-roll mill ควบคุม

อุณหภูมิให้คงที่ ณ อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส (ใช้เวลา 10 นาที สำหรับพลาสติก 250 กรัม) แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นอัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression โดยใช้ปริมาณ 150 กรัม เทใส่แบบ 200x200x3 มิลลิเมตร ที่ 190 องศาเซลเซียส [3] จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปตัดด้วยเครื่องตัด (Contour cutting) ให้ได้เป็นชิ้นทดสอบรูปแบบต่างๆ

2.4 วิธีการวิเคราะห์

2.4.1 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล

i) เครื่องทดสอบความแข็งที่ผิวหน้า แบบ shore D (Hardness Tester) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

ii) เครื่องทดสอบความทนแรงดึง (Tensile testing machine) ตามมาตรฐาน ASTM D638 (Type I)

iii) เครื่องทดสอบการทนแรงกระแทก (Pendulum Impact Tester) ตามมาตรฐาน ASTM D256

iv) เครื่องทำรอยบาก (Notching Cutter) ตามมาตรฐาน ASTM D6610

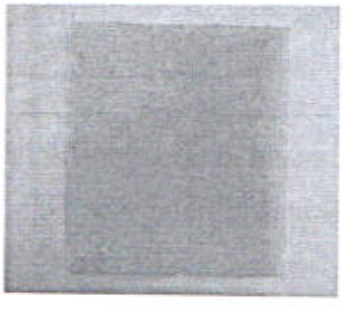
2.4.2 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน

i) เครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimeter) ตามมาตรฐาน ASTM 3417 / ASTM3418

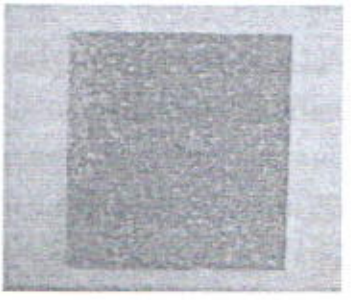
ii) เครื่อง HDT/VICAT (Heat deflection temperature/ Vicat softening temperature) ตามมาตรฐาน ISO 75/ ISO 306

iii) เครื่องทดสอบการติดไฟ (Horizontal Burning Tester) ตามมาตรฐาน UL94

3. ผลการทดลอง



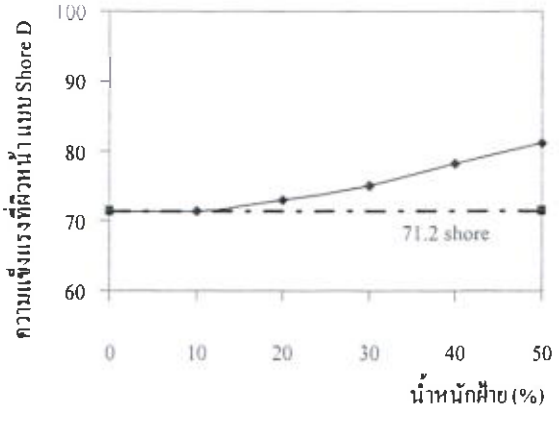
รูปที่ 1 โพลีโพรพีลีนรีไซเคิล



รูปที่ 2 วัสดุคอมโพสิทที่มีปริมาณฝ้าย 40% โดยน้ำหนัก

รูปที่ 1 แสดงโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลที่ผ่านการขึ้นรูปโดยไม่ได้เติมฝ้าย และรูปที่ 2 คือโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลที่ผ่านการขึ้นรูปโดยเติมฝ้ายปริมาณ 40% โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นว่าวัสดุที่มีฝ้ายเป็นส่วนผสมจะมีสีเป็นลายขาวกระจายอยู่ทั่วแผ่นทำให้มีลักษณะคล้ายลายไม้ และจากการสัมผัสจะพบว่าผิวหน้ามีความหยาบกระด้างกว่า และไม่อ่อนนิ่มเหมือนกับโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลที่ไม่ได้เติมฝ้าย

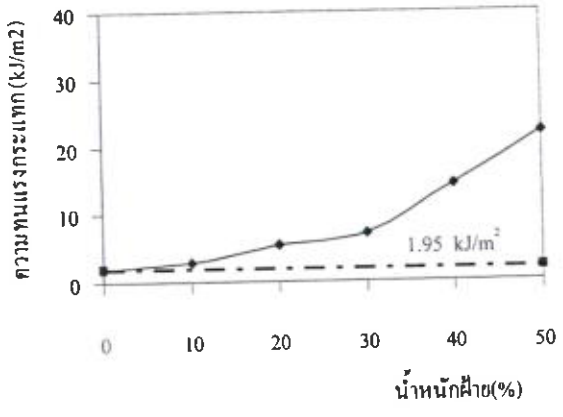
3.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิท



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวหน้าของวัสดุคอมโพสิทกับน้ำหนักฝ้าย

จากรูปที่ 3 และ 4 พบว่าโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลที่เติมฝ้ายในทุกอัตราส่วนมีค่าความแข็งที่ผิวหน้าและความทนแรงกระแทกมากกว่าโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลที่ไม่ได้เติมฝ้าย เป็นเพราะว่ากรดสเตียริกที่เติมลงไปช่วยให้ฝ้ายกับ

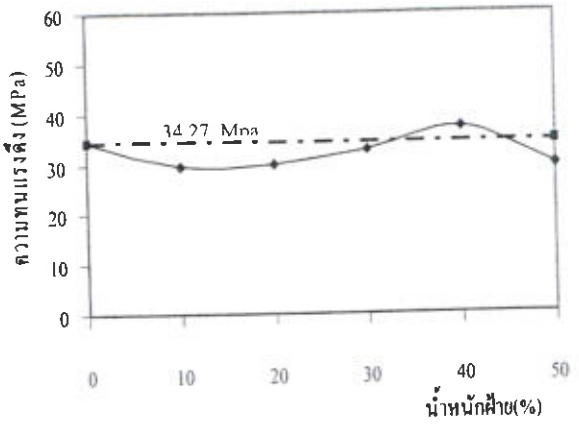
ถุงพลาสติกรีไซเคิลสามารถยึดติดกันได้ดียิ่งขึ้นที่ผิวสัมผัส [1] เมื่อมีแรงมากระทำลงไปบนชิ้นทดสอบจะทำให้โพลีโพรพีลีนสามารถส่งแรงกระทำไปยังเส้นใยฝ้ายได้ดียิ่งขึ้น และเมื่อเส้นใยฝ้ายมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะสามารถรับแรงที่ส่งมาโพลีโพรพีลีนและสามารถกระจายแรงไปยังเส้นใยใกล้เคียงได้มากยิ่งขึ้น จึงทำให้มีความสามารถในการรับแรงได้มากกว่า ดังนั้นจึงมีผลทำให้ค่าความแข็งที่ผิวหน้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฝ้ายเพิ่มขึ้น [5] และความทนแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฝ้ายเพิ่มขึ้น [6]



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความทนแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิทกับน้ำหนักฝ้าย

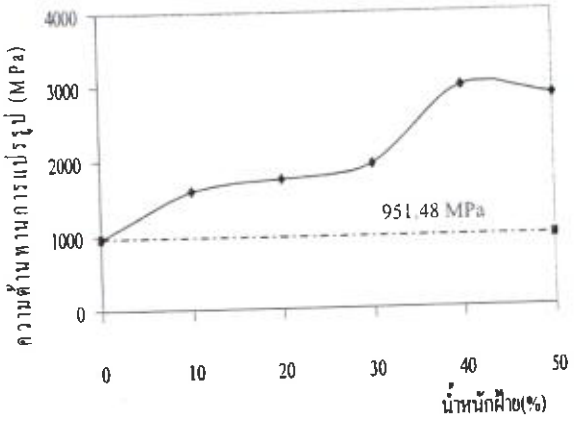
ผลการทดลองพบว่าโพลีโพรพีลีนที่เติมฝ้ายมีความทนแรงกระแทกสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับโพลีโพรพีลีนที่ไม่ได้เติมฝ้าย ดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนั้นวัสดุคอมโพสิทที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้งานในลักษณะที่ทนแรงกระแทกสูงๆ ได้ เช่น การนำไปทำอุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน ซึ่งมีความทนแรงกระแทกประมาณ 15.31 กิโลจูลต่อตารางเมตร ส่วนวัสดุคอมโพสิทของงานวิจัยนี้ที่มีปริมาณฝ้ายร้อยละ 40 และ 50 นั้น มีค่าความทนแรงกระแทกเท่ากับ 14.27 และ 22.01 กิโลจูลต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันจึงสามารถนำไปใช้งานในลักษณะเดียวกันได้

จากรูปที่ 5 สำหรับผลการทดสอบค่าทนแรงดึงนั้นจะเห็นได้ว่า ฝ้ายไม่ได้ช่วยเพิ่มสมบัติทนแรงดึงของโพลีโพรพีลีน ทั้งนี้เนื่องจากว่าเส้นใยฝ้ายนั้นมีขนาดสั้น และตัวเชื่อมประสานก็มีอิทธิพลไม่มากสำหรับสมบัตินี้ ดังนั้นวัสดุคอมโพสิทนี้จึงมีค่าทนแรงดึงใกล้เคียงกับโพรลีโพรพีลีนที่ไม่ได้เติมฝ้าย



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิทกับน้ำหนักฝ้าย

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานการแปรรูปของวัสดุคอมโพสิทมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฝ้ายเพิ่มขึ้น โดยความต้านทานการแปรรูปเพิ่มขึ้นถึง 2-3 เท่า เมื่อเทียบกับโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลที่ไม่ได้เติมฝ้าย



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความทนแรงดึงของวัสดุคอมโพสิทกับน้ำหนักฝ้าย

ทั้งนี้เนื่องจากกรดสเตียริกที่เติมลงไปช่วยให้ฝ้ายสามารถยึดเกาะกับพลาสติกรีไซเคิลได้ดียิ่งขึ้น และ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนและสมบัติการติดไฟของโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลที่เติมฝ้าย

อัตราส่วน ฝ้าย:พลาสติก รีไซเคิล	HDT (°C)	VST (°C)	T_g(°C)	T_m(°C)	อัตราการติดไฟ (มม./นาที)
0:100	73.03±1.03	98.52±1.31	-16.52	167.86	48.59±1.06
10:90	70.40±1.65	110.65±1.09	-18.38	166.66	51.06±1.64
20:80	81.51±2.45	117.80±2.3	-21.33	169.83	33.88±1.17
30:70	82.33±2.47	126.38±3.59	-18.04	170.86	29.97±0.85
40:60	98.18±8.42	142.19±1.89	-23.90	168.58	22.94±0.51
50:50	97.40±8.14	136.11±7.71	-17.02	167.26	22.43±0.73

เนื่องจากเส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง โมเลกุลของพลาสติกที่ต่ออยู่กับเส้นใยจะสูญเสียส่วนของการเคลื่อนที่ จึงทำให้วัสดุคอมโพสิทมีความแข็งซึ่งเมื่อให้แรงเค้นเข้าไปมากๆ ระยะยืดไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง จึงมีความต้านทานการแปรรูปสูง

3.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิท

จากตารางที่ 1 พบว่าอุณหภูมิการคงรูปภายใต้ความร้อน (HDT) และอุณหภูมิการอ่อนตัวภายใต้ความร้อน (VST) ของวัสดุคอมโพสิทมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฝ้ายเพิ่มขึ้น ในทุกๆ อัตราส่วนของฝ้าย ทั้งนี้เนื่องจากกรดสเตียริกที่เติมลงไปนั้นช่วยทำให้ฝ้ายกับพลาสติกรีไซเคิลมีการยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้น [1] จึงมีผลทำให้ที่ผิวหน้ามีความแข็งเพิ่มขึ้น และเนื่องจากฝ้ายมีสมบัติความแข็งแรงสูง เมื่อให้ความร้อนกับวัสดุจะทำให้วัสดุมีการคงทนต่อความร้อนมากยิ่งขึ้น แต่ที่ปริมาณฝ้าย 50% พบว่าอุณหภูมิการคงรูปและการอ่อนตัวภายใต้ความร้อนลดลง เมื่อเทียบกับที่มีปริมาณฝ้าย 40% ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากมีปริมาณฝ้ายที่มากเกินไปจึงทำให้ฝ้ายและพลาสติกมีความเข้ากันได้ลดน้อยลง ทำให้เกิดความอ่อนแอที่ผิวสัมผัส จึงทำให้วัสดุคอมโพสิทสูญเสียการต้านทานความร้อน

สำหรับค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(T_g) ของวัสดุคอมโพสิท พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -15 ถึง -24 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลอมตัวผลึก(T_m) ของวัสดุคอมโพสิทพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 165 ถึง 170 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุคอมโพสิทที่ได้จะสามารถนำไปใช้งานได้ใกล้เคียงกับโพลีโพรพีลีนทั่วไป ซึ่งมีค่า T_g ประมาณ -20 องศาเซลเซียส และค่า T_m ประมาณ 176 องศาเซลเซียส และโพลีโพรพีลีนที่มีอุณหภูมิหลอมตัวผลึก (T_m) สูงสามารถนำไปใช้งานในลักษณะงานที่ทนความร้อนสูงได้

3.3 ผลการทดสอบสมบัติการติดไฟของวัสดุคอมโพสิท

จากตารางที่ 1 พบว่าอัตราการติดไฟของวัสดุคอมโพสิทมีค่าลดลงเมื่อปริมาณฝ้ายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากฝ้ายมีสมบัติในการติดไฟได้ช้ากว่าโพลีโพรพีลีนรีไซเคิล จึงส่งผลให้วัสดุคอมโพสิทที่ได้มีความสามารถในการติดไฟได้น้อยกว่าโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลด้วย

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบทางกายภาพของโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลที่เติมฝ้าย พบว่าเมื่อปริมาณฝ้ายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ทั้งสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และการต้านทาน

การติดไฟ มีแนวโน้มไปในทางที่ดีขึ้น จึงทำให้วัสดุคอมโพสิทนี้สามารถนำไปใช้งานในการประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตกแต่งบ้าน อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในครัวเรือน ในสำนักงาน เช่น เก้าอี้ ชุดรับแขก โต๊ะทำงาน บอร์ด และวัสดุภัณฑ์ต่างๆ เป็นต้น และพบว่าที่ปริมาณฝ้าย 40% โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ในการเลือกไปใช้งาน เนื่องจากมีค่าความแข็งที่ผิวหน้าความทนแรงกระแทก ความทนแรงดึง ความต้านทานการแปรรูป อุณหภูมิความคงรูปภายใต้ความร้อน อุณหภูมิอ่อนตัวภายใต้ความร้อน มีค่าสูงกว่าวัสดุคอมโพสิทตัวอื่นๆ และยังมีช่วงการใช้งานของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วกับอุณหภูมิหลอมตัวผลึกที่กว้างพอสมควร

วัสดุคอมโพสิทที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้รวมข้อดีของโพลีโพรพีลีนและเส้นใยฝ้ายไว้ด้วยกัน จึงทำให้ได้วัสดุที่มีความแข็งแรงสูง มีน้ำหนักเบา ติดไฟช้า ต้านทานความร้อนได้ดี อีกทั้งผิวของวัสดุยังมีลักษณะคล้ายผิวของไม้ มีลักษณะแข็งทึบแสงสามารถนำไปใช้ทดแทนวัสดุประเภทไม้ได้เป็นอย่างดี จึงเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า และสามารถใช้ประโยชน์จากพลาสติกที่เหลือใช้แล้วซึ่งย่อยสลายได้ยากจึงเป็นการลดปริมาณขยะพลาสติกอีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังเป็นการประหยัดพลังงาน ลดการใช้ปริมาณโพลีเมอร์ลงได้อย่างมาก และสามารถนำวัสดุคอมโพสิทที่ได้นำไปพัฒนาต่อเพื่อใช้กับงานด้านวิศวกรรมตามความต้องการได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Raj R.G. and Kokta B.V., 1989. Compounding of cellulose fibers with polypropylene effect of fiber treatment on dispersion in the polymer matrix. , Journal of Apply Polymer Science., 38 : 1987-1996.

[2] Nattasapol Kiattipanich; et al, 2546. Mechanical properties of polypropylene reinforced with sugarcane bagasse, rice hush, and rice hush charcoal. The Third Thailand Materials Science and Technology Conference, Miracle Grand Convention Hotel, Thailand, 388-391.

[3] อรพินท์ วงศ์ภูดีและคณะ, 2546. การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของโพลีโพรพีลีนรีไซเคิลที่เติมฝ้ายเป็นวัสดุทดแทน. การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 15. ชลบุรี.

[4] ฐิติยา ไพจิตรสาคร, ศิริวรรณ ศรีสรณัคร์ และ ชวลิต แสงสวัสดิ์, 2545. การศึกษาสมบัติการไหลของโพลิเอทธิลีนที่ผ่านการรีไซเคิลในสถานการณ์จริง. ปริญญานิพนธ์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, นครนายก.

[5] Wang, B.; et al, 2003. Flax fiber reinforced thermoplastic composites. In 2003 CSAE/ASAE annual intersectional meeting. Oct. 3-4 North Dakota. USA.

[6] Rowell, R.M., 1997. Utilization of nature fibers in plastic composites: problems and opportunities. Lignocellulosic-Plastics Composites. 23-51.

[7] Gregorova, A.; et al, 2005. Stabilization effect of lignin in polypropylene and recycled polypropylene Polymer Degradation and Stability. 89 : 553-558.