

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล  
ที่เติมเส้นใยกล้วยเพื่อเป็นวัสดุทดแทน

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

ภรณ์ ศิริธรรมรัตน์ และ ศิริวรรณ ศรีสวัสดิ์<sup>1</sup>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลที่เติมเส้นใยกล้วยเพื่อเป็นวัสดุทดแทน โดยใช้พอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารคู่ควบ ผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ซึ่งจะศึกษาปริมาณสารคู่ควบ ที่ร้อยละ 0 2 4 6 8 และ 10 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย เส้นใยกล้วยที่ใช้มีขนาด 100 ถึง 200 ไมโครเมตร จากการศึกษาสมบัติเชิงกล การศึกษาสัญญาณวิทยา และการวิเคราะห์หุ้มฟังก์ชัน พบว่าที่ปริมาณ PP-g-MAH ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด ส่วนการศึกษาเพื่อหาปริมาณของเส้นใยกล้วย ที่ร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก และใช้ปริมาณสารคู่ควบที่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย พบว่าค่าความแข็งที่ผิวหน้า ความทนแรงกระแทก ค่ายังมอดูลัส อัตราการติดไฟ อุณหภูมิการคงรูปภายใต้ความร้อน และอุณหภูมิการอ่อนตัวภายใต้ความร้อนมีค่าดีขึ้น อุณหภูมิหลอมตัวผลึกและอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าที่ปริมาณเส้นใยกล้วยร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้งานเกี่ยวกับการรับแรงได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกกรีไซเคิลที่ไม่เติมเส้นใยกล้วย

คำสำคัญ: พอลิโพรพิลีน/ เส้นใยกล้วย/ พอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์/ สารคู่ควบ/ วัสดุคอมโพสิต/ สมบัติทางกายภาพ

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120 paranee@swu.ac.th

## ABSTRACT

This research is the study of physical properties of recycled polypropylene and banana fiber composite for renewable material. Polypropylene grafted maleic anhydride was used as coupling agent. The materials were mixed by a two-roll mill at 190 °C. The amount of coupling agent was studied at 0 2 4 6 8 and 10% by weight of banana fiber, using 100-200  $\mu\text{m}$  of fiber length. By studying the mechanical properties, morphology and functional groups, the 6 % of PP-g-MAH is the most suitable properties. After that the amount of banana fiber in composite material was studied at 0 10 20 30 40 and 50% by weight. It was found that at 40 % by weight gave the most optimum result in physical properties. Hardness, impact strength, tensile strength, tensile modulus, melt flow index, horizontal burning, heat deflection temperature, vicat softening temperature were significantly improved but crystalline melting temperature and glass transition temperature were not changed.

**Key words:** Polypropylene/ Banana Fiber/ Polypropylene grafted maleic anhydride/ Coupling agent/ Polymer Composite/ Physical Properties

## 1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำพอลิเมอร์หรือพลาสติกมาทำการปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น โดยการนำพลาสติกมาเสริมแรงโดยใช้วัสดุเสริมแรงประเภทเส้นใย ซึ่งมีทั้งเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ ในงานวิจัยนี้เราจะใช้เส้นใยกล้วยในการเสริมแรงวัสดุคอมโพสิต เนื่องจากเส้นใยธรรมชาตินั้นมีน้ำหนักเบา หาได้ง่าย ราคาถูก ไม่สร้างความสึกหรอให้กับเครื่องจักรที่ใช้แปรรูปและที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนพลาสติกที่เรานำมาใช้นั้นคือถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน ซึ่งสามารถนำมารีไซเคิลได้เป็นการช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกได้

การนำเส้นใยกล้วยมาใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์ ซึ่งผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยกล้วยโดยใช้พอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารคู่ควบ โดยปริมาณของเส้นใยกล้วยมีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาอิทธิพลของปริมาณเส้นใยกล้วยเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้

งานในด้านต่างๆ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ ธินวัชร และคณะ [1] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลกับฝ้ายที่ผ่านการตัดแปรผิวหน้าด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์ พบว่า สมบัติเชิงกลของพลาสติกรีไซเคิลผสมที่เหมาะสมในการนำมาเติมฝ้าย คือ อนุพลาสติกรีไซเคิล ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก เนื่องจากให้ความแข็งแรงที่ผิวหน้า ความทนแรงดึง และดัชนีการไหลสูงสุด เมื่อนำอนุพลาสติก รีไซเคิลผสมฝ้ายที่อัตราส่วนต่างๆ มาศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าอนุพลาสติกรีไซเคิลที่มีปริมาณฝ้ายร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก มีค่าเหมาะสมที่สุด วัสดุคอมโพสิตที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี วราภรณ์ และศิริพร [2] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนที่เติมเส้นใยผักตบชวา โดยมีพอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารช่วยผสม พบว่าสารช่วยผสมช่วยให้เส้นใยผักตบชวากระจายตัวในพอลิโพรพิลีนพื้นได้ดีขึ้น ทำให้เกิดการกระจายแรงได้มากขึ้นส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรง Bledzki and Faruk [3] ได้ศึกษาเปรียบเทียบวัสดุคอมโพสิตที่มีเส้นใยไม้ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก โดยเลือกชนิดของเส้นใยที่ต่างกัน คือ เส้นใยไม้เนื้อแข็ง เส้นใยไม้เนื้ออ่อน เส้นใยที่มีขนาดยาว และเศษของเส้นใยไม้ โดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสาร คู่ควบ พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่ผสมเส้นใยไม้ เนื้อแข็งจะสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดี

จากงานวิจัยที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยได้มองเห็นถึงการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตที่มีการนำเส้นใยธรรมชาติมาเป็นสารเสริมแรง โดยในงานวิจัยนี้ศึกษาวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากพอลิโพรพิลีนผสมกับเส้นใยกล้วยที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น โดยมีการใช้พอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารคู่ควบ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณเส้นใยกล้วยก็มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิต ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาปริมาณสารคู่ควบและศึกษาปริมาณเส้นใยกล้วยที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิต เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตให้มีต้นทุนการผลิตต่ำ มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานในด้านต่างๆ ตามที่ต้องการ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 สารเคมี

พอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MAH) บริษัท Crompton ประเทศสหรัฐอเมริกา โทลูอิน ( $C_7H_8$ , M.W. = 92.13) บริษัท J.T. Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา อนุพลาสติก

ร้อนบรรจุอาหารเป็นพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน บริษัท ดนุเดชอุตสาหกรรม ประเทศไทย เส้นใยกล้วย จากสวนคุณตลอดม ราศี ต.โพธิ์เก้าต้น อ.เมือง จ.ลพบุรี

## 2.2 วิธีการเตรียมวัตถุดิบ

นำกากกล้วยส่วนของลำต้นไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสาร แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส คัดให้ได้ขนาด 100 ถึง 200 ไมโครเมตร แล้วนำมาปรับปรุงด้วย PP-g-MAH ร้อยละ 0 2 4 6 8 และ 10 โดยน้ำหนักเส้นใยกล้วย คัมสารละลายโทลูอิน 1 ลิตร ควบคุมอุณหภูมิ ประมาณ 100 องศาเซลเซียส ใส่ PP-g-MAH ลงไปคนให้ละลายจนหมด แล้วนำเส้นใยกล้วยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ลงไปแช่ควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมารองด้วยชุดกรองสุญญากาศ อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของ PP-g-MAH มาทดลอง โดยใช้อัตราส่วนของเส้นใยกล้วยที่ผ่านการปรับปรุงแล้วต่อถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน รีไซเคิลร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก

## 2.3 วิธีการขึ้นรูป

นำแต่ละอัตราส่วนมาผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส จากนั้นอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติก โดยช่วงผลิตภัณฑ์ประมาณ 250 กรัม เทใส่แบบขนาดกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนเริ่มแรกเป็นเวลา 6 นาที นำแบบที่มีผลิตภัณฑ์ที่จะขึ้นรูปใส่ในช่องใส่แบบ ให้แรงดัน 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เวลาสำหรับไล่อากาศ 5 นาที เวลาสำหรับการทำให้เย็น 5 นาที รอจนเสร็จเป็นชิ้นงาน นำไปตัดด้วยเครื่องตัดให้ได้เป็นชิ้นทดสอบ

## 2.4 วิธีการวิเคราะห์

การทดสอบพื้นฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทร โฟโตมิเตอร์ ความแข็งที่ผิวหน้า (ASTM D2240) ความทนแรงกระแทก (ASTM D256) ความทนแรงดึง (ASTM D638) ดัชนีการไหล (ASTM D1238) อัตราการติดไฟ (UL94) ร้อยละการดูดซับน้ำ (ASTM D570) อุณหภูมิการคงรูปภายใต้ความร้อน (ISO 75) อุณหภูมิการอ่อนตัวภายใต้ความร้อน (ISO 306) อุณหภูมิการหลอมตัวผลึก (DSC) และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (DSC)

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 3.1 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณสารก่อกวน

จากการทดสอบสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นที่หน้าตัดตามขวางของวัสดุคอมโพสิต ดังรูปที่ 1 พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่ทำการปรับปรุงเส้นใยกล้วยด้วย PP-g-MAH จะมีการกระจายตัวของเส้นใยกล้วยในเนื้อพอลิโพรพิลีนได้ดีกว่าเส้นใยกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุง เนื่องจาก PP-g-MAH จะเป็นตัวประสานทำให้พลาสติกสารพื้นที่ไม่มีขั้วกับเส้นใยเซลลูโลสที่มีขั้วมีการยึดติดกันได้ดีที่ผิวหน้าสัมผัสของทั้ง 2 องค์ประกอบ และ PP-g-MAH ยังทำหน้าที่ลดแรงกระทำระหว่างเส้นใยกล้วยกับเส้นใยกล้วยทำให้เส้นใยกล้วยไม่เกาะกัน ทำให้มีจำนวนช่องว่างระหว่างเส้นใยกล้วยและพอลิโพรพิลีนน้อยลงเมื่อเติมสารก่อกวนลงไป



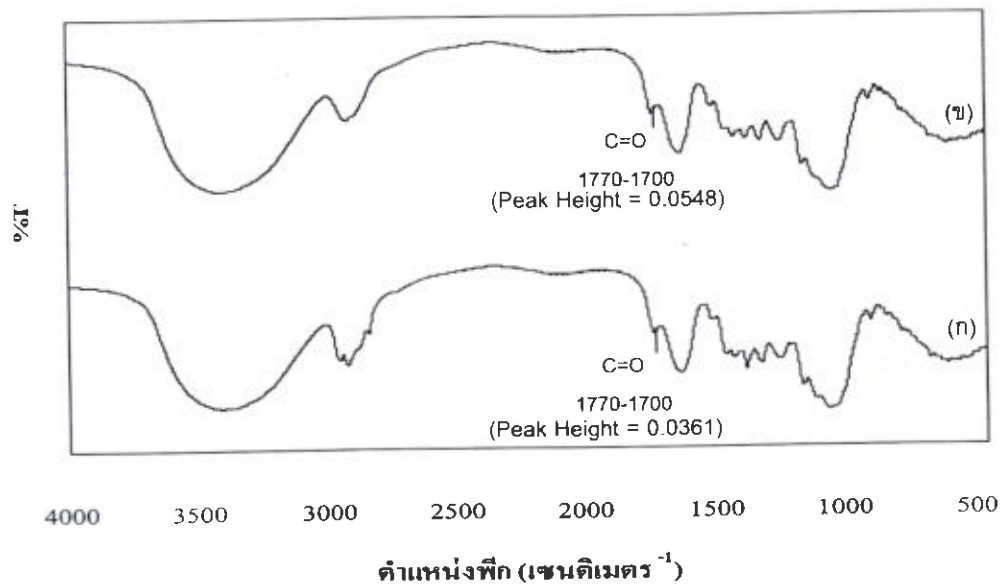
(ก)



(ข)

**รูปที่ 1** ภาพถ่ายสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นที่หน้าตัดตามขวางวัสดุคอมโพสิต (ก) ที่ไม่ได้ปรับปรุงเส้นใยด้วย PP-g-MAH (ข) ปรับปรุงเส้นใยด้วย PP-g-MAH ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย

จากการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ดังรูปที่ 2 พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยกล้วย ที่พีคช่วง 1770 ถึง 1700 เซนติเมตร<sup>-1</sup> เป็นพีคของหมู่ เอสเทอร์ (C=O Stretching) ที่เกิดปฏิกิริยาขึ้นระหว่าง PP-g-MAH กับไฮดรอกซิลของลิกนินในเส้นใยกล้วย ซึ่งพีคช่วงนี้จะอยู่ในตำแหน่งเดียวกับพีค C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิลในลิกนินในเส้นใยกล้วย จึงทำให้สังเกตได้ไม่ชัดเจนนัก แต่ความเข้มและความสูงของพีคของเส้นใยกล้วยที่ปรับสภาพแล้วนั้นให้ค่าสูงกว่า ซึ่งจะมีค่าความสูงของพีคเท่ากับ 0.0548 โดยมีค่ามากกว่าเส้นใยกล้วยที่ไม่ได้ปรับสภาพซึ่งมีค่าความสูงของพีคเท่ากับ 0.0361 จากผลการทดลองนี้อาจบอกได้ว่าเส้นใยกล้วยได้ผ่านการดัดแปรสภาพผิวหน้าด้วยสารกุ่มควบ [5]



รูปที่ 2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุง (ข) เส้นใยกล้วยที่ปรับปรุงด้วย PP-g-MAH ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย

ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลผสมกับเส้นใยกล้วยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ปรับปรุงด้วย PP-g-MAH ร้อยละ 0 2 4 6 8 และ 10 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย จากการศึกษาชั้นฐานวิทยาคู่กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และผลของการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าการปรับปรุงเส้นใยกล้วยด้วย PP-g-MAH เป็นผลสำเร็จ เป็นผลช่วยให้วัสดุคอมโพสิตมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่น ความแข็งที่ผิวหน้า ความทนแรงกระแทก ความทนแรงดึง ค่ายังมอดูลัส และร้อยละการยืด ณ จุดคราก ดังตารางที่ 1

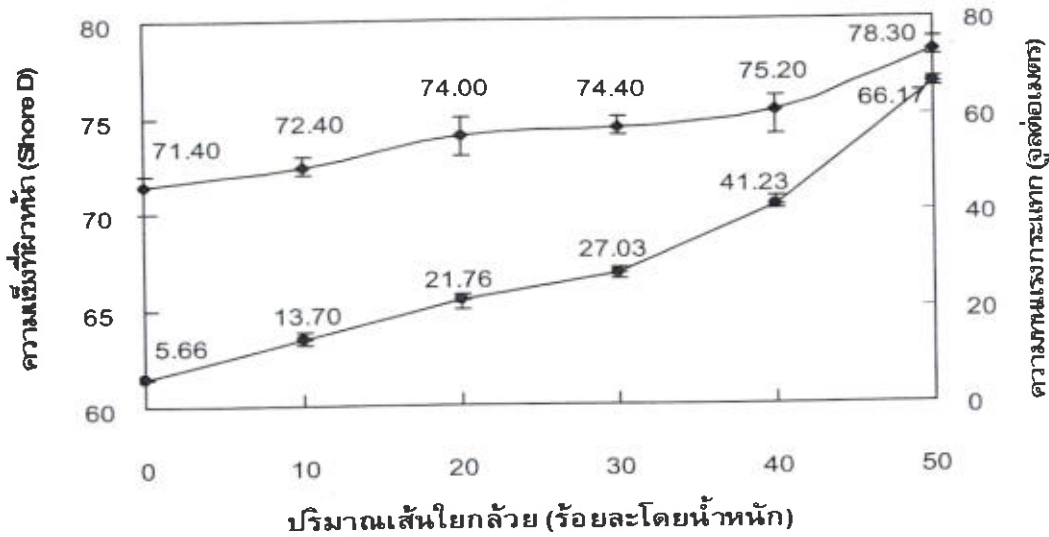
จากผลการทดลองนี้จึงสามารถสรุป ได้ว่า PP-g-MAH ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกล้วยกับพอลิโพรพิลีนได้ดี โดยปริมาณ PP-g-MAH ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วยมีความเหมาะสมที่สุด

### 3.2 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณเส้นใยกล้วยในพอลิเมอร์คอมโพสิต

ผลการทดสอบของวัสดุคอมโพสิตที่เติมเส้นใยกล้วยร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก โดยใช้สารคู่ควมร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย พบว่าความแข็งที่ผิวหน้าและความทนแรงกระแทก ดังรูปที่ 3 จะมีค่าความแข็งที่ผิวหน้าและความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อ เพิ่มปริมาณของเส้นใยกล้วย โดยจะแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานทดสอบนั้นสามารถต้านทานการกดหรือเจาะทะลุได้เพิ่มขึ้น และมีความสามารถในการรับแรงได้ดีมาก เมื่อมีแรงมากระทำต่อชิ้นงานจะมีการถ่ายเทพลังงานและการกระจายพลังงาน เนื่องจาก PP-g-MAH ที่เติมลงไปช่วยให้เส้นใยกล้วยสามารถกระจายตัวผสมกับพลาสติกรีไซเคิลได้ดี สามารถยึดติดกันได้ดียิ่งขึ้นที่ผิวสัมผัส จึงทำให้พอลิโพรพิลีนสามารถส่งแรงกระทำไปยังเส้นใยกล้วยได้ดียิ่งขึ้น

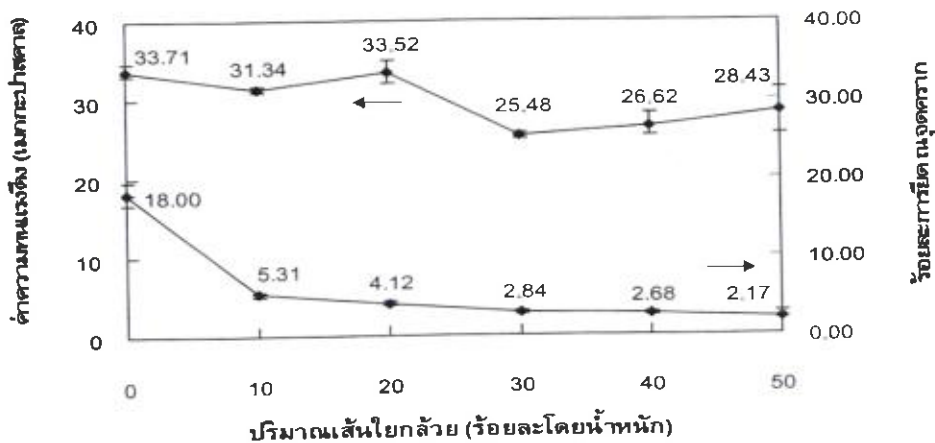
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลที่เติมเส้นใยกล้วยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก กับปริมาณของ PP-g-MAH

การทดสอบ	ปริมาณ PP-g-MAH (ร้อยละ โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย)					
	0	2	4	6	8	10
ความแข็งที่ผิวหน้า (Shore D)	71.80	72.60	73.40	73.80	74.40	74.60
ความทนแรงกระแทก (จุดต่อเมตร)	22.07	23.56	28.95	28.67	33.54	42.28
ความทนแรงดึง (เมกกะปาสคาล)	22.80	29.96	30.85	34.48	38.08	34.99
ค่ายังมอดูลัส (เมกกะปาสคาล)	1954	2002	1848	1975	1865	1851
ร้อยละการยึด ฉ จุดคราก	2.39	3.07	3.64	3.86	4.36	3.61



รูปที่ 3 ผลการทดสอบความแข็งที่ผิวหน้าและความทนแรงกระทำของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีน ไซเคิลที่เติมเส้นใยกล้วย

จากการทดสอบความทนแรงดึง และร้อยละการยืด ณ จุดคราก ดังรูปที่ 4 พบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีน ไซเคิลผสมกับเส้นใยกล้วย จะมีค่าความทนแรงดึงและร้อยละการยืด ณ จุดครากลดลงเมื่อเติมเส้นใยกล้วยในปริมาณที่มากขึ้น เนื่องจากเส้นใยกล้วยไปแทรกตัวอยู่ในพอลิเมอร์ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกัน ตรงรอยต่อระหว่างพื้นที่ผิวต่ำ เมื่อให้แรงดึงแก่ชิ้นทดสอบจะสามารถทนแรงดึงได้เพียงนิดเดียวชิ้นทดสอบก็จะขาด แสดงให้เห็นว่าวัสดุคอมโพสิตมีความสามารถในการยึดตัวได้น้อยมากเมื่อปริมาณเส้นใยกล้วยมากๆ ซึ่งผลของปริมาณเส้นใยกล้วยมีอิทธิพลมากกว่าผลของการเชื่อมด้วยสารคู่ควบ

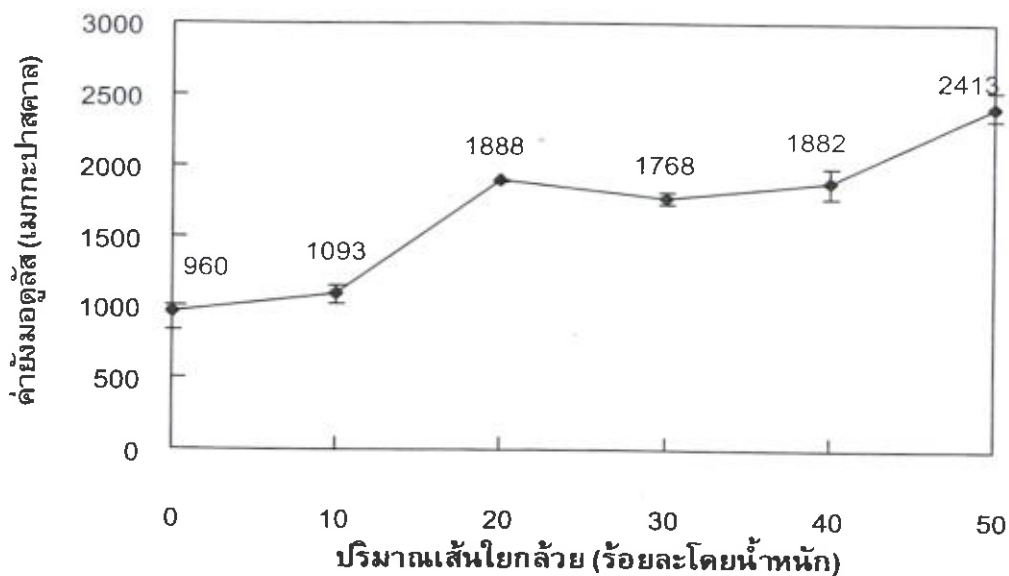


รูปที่ 4 ผลการทดสอบความทนแรงดึงและร้อยละการยืด ณ จุดคราก ของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีน ไซเคิลที่เติมเส้นใยกล้วย



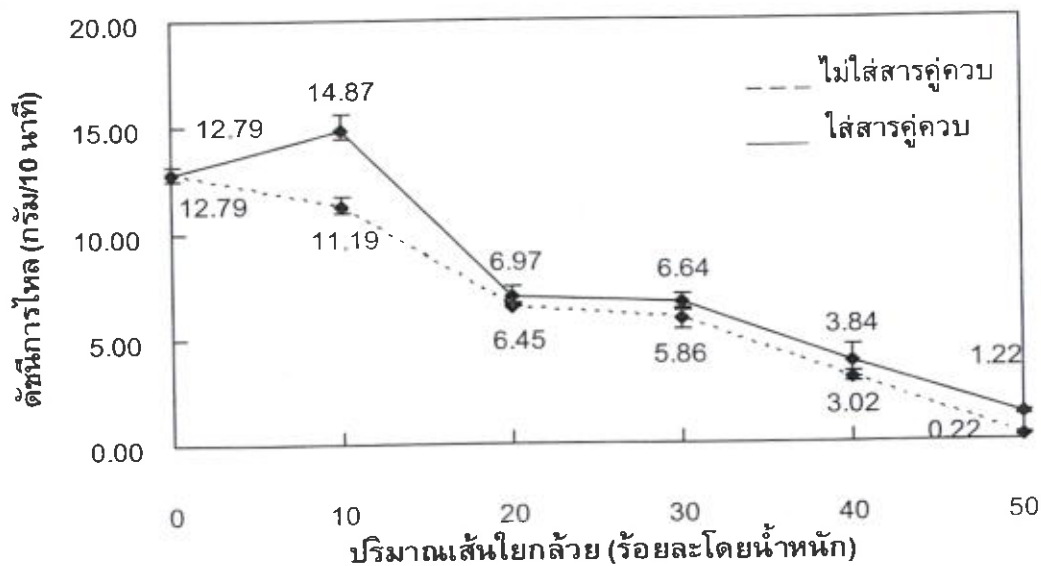
จากการทดสอบค่ายังมอดูลัส ดังรูปที่ 5 พบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลผสมกับเส้นใยกล้วยจะมีค่ายังมอดูลัสมากขึ้นเมื่อเติมปริมาณเส้นใยกล้วยมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าวัสดุคอมโพสิตที่มีความแข็งแรงและทนต่อการเปลี่ยนรูปได้ดี เนื่องจากเส้นใยกล้วยเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง โมเลกุลของพลาสติกที่ต่ออยู่กับเส้นใยจะสูญเสียส่วนของการเคลื่อนที่ จึงทำให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรง

จากการทดสอบดัชนีการไหล ดังรูปที่ 6 พบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลผสมกับเส้นใยกล้วย จะมีค่าดัชนีการไหลลดลงเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของเส้นใยกล้วยโดย เมื่อเติมเส้นใยกล้วยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะมีค่าดัชนีการไหลมากกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ได้เติมเส้นใยกล้วย เนื่องจากเส้นใยกล้วยไปแทรกตัวอยู่ในพอลิเมอร์ทำให้การยึดติดกันระหว่างเส้นใยกล้วยและพอลิโพรพิลีนลดลงจึงทำให้ไหลได้ง่าย แต่เมื่อเติมเส้นใยกล้วยที่ร้อยละ 20 ถึง 50 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเส้นใยกล้วยมีคุณสมบัติการไหลที่ไม่ดีไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของพอลิโพรพิลีนทำให้ไหลได้ยากขึ้น



รูปที่ 5 ผลการทดสอบความค่ายังมอดูลัสของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลที่เติมเส้นใยกล้วย

และเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงเส้นใยด้วย PP-g-MAH พบว่า ค่าดัชนีการไหลน้อยกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงเส้นใย เนื่องจากมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่อยู่บน PP-g-MAH จะเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลในพอลิโพรพิลีน ทำให้สายโซ่ของพอลิโพรพิลีนเกิดช่องว่างการจัดเรียงตัวผลึกเป็นแบบหลวมๆ ส่งผลให้ความสามารถในการไหลดีขึ้น และไหลได้ดีมากกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงเส้นใยด้วยสารคู่ควบ แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างมี ไม่มากนักจึงอาจสรุปได้ว่า สารคู่ควบแทบไม่มีผลต่อดัชนีการไหล และค่าดัชนีการไหลที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการฉีดขึ้นรูป คือ 3.5 ถึง 15 กรัมต่อ 10 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเติมเส้นใยด้วยในวัสดุคอมโพสิตที่ร้อยละ 0 ถึง 40 โดยน้ำหนัก มีค่าดัชนีการไหลที่สามารถใช้ในการฉีดขึ้นรูปได้



รูปที่ 6 ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลที่เติมเส้นใย

จากการทดสอบอัตราการติดไฟ ดังตารางที่ 2 พบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลผสมกับเส้นใย จะม้อัตราการติดไฟของวัสดุคอมโพสิต ลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยมีคุณสมบัติในการลุกติดไฟได้ช้ากว่าพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล จึงส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นมีความสามารถในการติดไฟได้น้อยกว่าที่ไม่ได้เติมเส้นใย

กล้วย ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปใช้งานในวัสดุสำนักงานต่างๆ คือมีความปลอดภัยเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีอัตราการติดไฟน้อยหรือไม่ติดไฟต่อเนื่อง

จากการทดสอบร้อยละการดูดซับน้ำ ดังตารางที่ 2 พบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลผสมกับเส้นใยกล้วย ร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยกล้วยเพิ่มขึ้นและดูดซับน้ำได้มากกว่าพอลิโพรพิลีน เพราะพอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ แต่เส้นใยกล้วยมีสมบัติชอบน้ำ และในเส้นใยกล้วยมีเซลลูโลสที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นส่วนประกอบ จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของน้ำได้ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของเส้นใยกล้วยในพอลิโพรพิลีนทำให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของหมู่ไฮดรอกซิลให้กับเส้นใยกล้วย [4] ส่วนลักษณะภายนอกของชิ้นงานยังมีลักษณะคงสภาพเดิมไม่มีการบวมหรือพองตัว

จากการทดสอบอุณหภูมิการคงรูปภายใต้ความร้อน และอุณหภูมิการอ่อนตัวภายใต้ความร้อน ดังตารางที่ 2 พบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีน รีไซเคิลผสมกับเส้นใยกล้วย จะมีอุณหภูมิการคงรูปภายใต้ความร้อน และอุณหภูมิการอ่อนตัวภายใต้ความร้อนของวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยกล้วยเพิ่มขึ้น เนื่องจาก PP-g-MAH ช่วยทำให้เส้นใยกล้วยกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลมีการยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้น จึงมีผลทำให้วัสดุคอมโพสิตมีสมบัติความแข็งแรงสูง เมื่อให้ความร้อนแก่วัสดุจะทำให้วัสดุมีความคงทนต่อความร้อนมากยิ่งขึ้น

จากการทดสอบอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วและอุณหภูมิการหลอมตัวผลึกดังตารางที่ 2 พบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของวัสดุคอมโพสิตตามมาตรฐานของพอลิโพรพิลีน มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -5 ถึง -20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิการหลอมตัวผลึกมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 165 ถึง 175 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตที่มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของเส้นใยกล้วยนั้นไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วและอุณหภูมิการหลอมตัวผลึก ซึ่งวัสดุคอมโพสิตที่ได้จะสามารถนำไปใช้งานได้ใกล้เคียงกับพอลิโพรพิลีน และนำไปใช้ในงานที่ทนความร้อนสูงๆ ได้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลที่เติมเส้นใยกล้วย

การทดสอบ	อัตราส่วนเส้นใยกล้วย : พลาสติกรีไซเคิล					
	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50
การดึงไฟตามแนวนอน (มิลลิเมตรต่อนาที)	45.18	32.19	31.46	30.13	29.94	28.91
ร้อยละการดูดซับน้ำ	0.24	1.69	6.04	9.61	14.66	16.18
อุณหภูมิความคงรูปภายใต้ความร้อน (องศาเซลเซียส)	72.76	75.14	79.06	83.40	93.92	98.10
อุณหภูมิอ่อนตัวภายใต้ความร้อน (องศาเซลเซียส)	96.72	108.26	117.98	119.24	126.58	134.24
อุณหภูมิการหลอมตัวผลึก (องศาเซลเซียส)	165.33	164.67	163.83	164.50	164.50	162.17
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (องศาเซลเซียส)	-27.74	-18.16	-18.88	-28.06	-28.39	-28.01

#### 4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปริมาณสารคู่ควบที่ร้อยละ 0 2 4 6 8 และ 10 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย พบว่าที่ปริมาณ PP-g-MAH ร้อยละ 6 8 และ 10 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย จะมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น จากผลการทดสอบโดยรวมที่ PP-g-MAH ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย มีสมบัติเชิงกลอยู่ในเกณฑ์ดี โดยเฉพาะค่ายังมอดูลัสมีมากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรงสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำมาก และยังเป็นการประหยัดต้นทุนลดค่าใช้จ่ายของปริมาณสารคู่ควบได้อีกด้วย ดังนั้นการเลือกใช้ PP-g-MAH ที่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย จึงมีความเหมาะสมที่สุด

จากการศึกษาปริมาณของเส้นใยกล้วยที่ร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ที่ปรับปรุงด้วย PP-g-MAH ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของเส้นใยกล้วย ลงในวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีน พบว่าการเติมเส้นใยกล้วยที่ร้อยละ 20 40 และ 50 โดยน้ำหนัก จะมีสมบัติเชิงกลและสมบัติทางด้านความร้อนโดยรวมอยู่เกณฑ์ดีกว่าเส้นใยกล้วยร้อยละ 10 และ 30 โดยน้ำหนัก แต่อย่างไรก็ตามเส้นใยกล้วยร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จะไม่สามารถนำไปใช้งานฉีดขึ้นรูปได้ เนื่องจากมีค่าดัชนีการไหลที่ต่ำมาก ดังนั้นปริมาณเส้นใยกล้วยร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จึงมีความเหมาะสมที่สุด

เนื่องจากสมบัติเชิงกลโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี และการเติมเส้นใยกล้วยในปริมาณมากจะสามารถเข้าไปช่วยเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตและยังเป็นการลดต้นทุนในการใช้พลาสติกโดยการนำเส้นใยกล้วยซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติมาทดแทนเพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายแทนที่จะเลือกเติมเส้นใยกล้วยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้พลาสติกปริมาณมาก วัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนที่เสริมแรงด้วยเส้น

ใยกล้วยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตกแต่งบ้าน และอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในครัวเรือนได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติที่แข็งแรง เช่น ความแข็งที่ผิวหน้า ความทนแรงกระแทก ค่ายังมอดูลัส อุณหภูมิ ความคงรูปภายใต้ความร้อน และอุณหภูมิความอ่อนตัวภายใต้ความร้อนมีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าวัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรง มีช่วงการใช้งานของอุณหภูมิการหลอมตัวผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่กว้างพอสมควร และมีค่าอัตราการคิดไฟแวนอนลดลงแสดงให้เห็นว่าวัสดุคอมโพสิตนั้นมีความปลอดภัยซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปใช้ในวัสดุสำนักงาน คือ ติดไฟได้ช้า

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอุดหนุนงานวิจัยเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีการศึกษา 2549 และขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ชรินทร์ญา เผ่าเมือง และ นิดยา เยาว์แสง

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธินวัชร กลับคุณ, สุกัญญา ฤทธิภาชัย และ อรพินท์ วงศ์ภูดี, “การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลที่เติมฝ้าย,” *โครงการวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 2546.
- [2] วราภรณ์ คันทรง, และ ศิริพร สังสะโอภาส, “การศึกษาสมบัติทางกลของพอลิโพรพิลีนที่เติมเส้นใยผักตบชวาโดยมีพอลิโพรพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารช่วยผสม,” *งานวิจัยหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 2544.
- [3] Bledzki, A.K., and Faruk, O., “Wood Fibre Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Fibre Geometry and Coupling Agent on Physico Mechanical Properties,” *Springer Netheriands*, 365-379, 2003.
- [4] อธิพิล แจ่งชัด, ชีรพัฒน์ อุณหโชค, พงนิษฐ์ ศรธรรมมติ และวรรณ อุ่นจิตติชัย, “การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยผักตบชวาและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ใช้พอลิเทลิโนกราฟท์-มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เป็นสารช่วยผสม,” *การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2545, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2545.
- [5] Ahtong, D., and Puttana, T., “Effects of Surface Modification on Mechanical Properties of Polypropylene/Newspaper Pulp Composites,” *Journal Scientific Research, Chulalongkorn University*, 27(1), 25-42, 2002.