

## วัสดุไม้พลาสติกจากไม้ปาล์มและ HDPE

ณัฐชัชฎาภา ธนวัฒนาศิริกุล<sup>1)</sup> ธเนศ รัตนวิไล<sup>2)</sup> และ กลางเดือน โพชนา<sup>3)</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและผลิตวัสดุไม้พลาสติกจากไม้ปาล์มและพลาสติกเหลือใช้ เพื่อเพิ่มคุณค่าของวัสดุเหลือใช้ซึ่งนับได้ว่าเป็นการช่วยประหยัดทรัพยากรในทางอ้อม ซึ่งไม้ปาล์มเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น โดยจะนำผงไม้ปาล์มมาผสมกับเศษผงพลาสติกพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งได้มาจากขวดน้ำดื่มขาวุ่นใช้แล้วและมีการใช้สารเติมแต่งคือ มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (MA) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารช่วยผสม โดยวัตถุดิบทั้งหมดจะถูกผสมกันในอัตราส่วนระหว่างผงไม้กับ HDPE และ MA ที่ 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 2500 psi แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานของ ASTM โดยจะใช้ตัวอย่างในการทดสอบจำนวน 5 ชิ้นตัวอย่างต่อการทดสอบ ซึ่งผลการทดลองพบว่า ความแข็ง ความแข็งแรง ดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้พลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของเศษพลาสติกและอุณหภูมิในการขึ้นรูป โดยที่สัดส่วน 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติกับไม้เทียมทางการค้าพบว่า ไม้พลาสติกมีความแข็งแรงดึงและการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงกว่าไม้เทียมทางการค้า แต่ความแข็งและความแข็งแรงกดน้อยกว่าไม้เทียมทางการค้า ส่วนความแข็งแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับไม้เทียมทางการค้า โดยมีต้นทุนรวมเท่ากับ 52.02 บาทต่อชิ้น สำหรับสัดส่วน 30:67:03 ต้นทุนรวมเท่ากับ 51.60 บาทต่อชิ้น สำหรับสัดส่วน 40:57:03 และสัดส่วน 50:47:03 มีต้นทุนรวมเท่ากับ 51.18 บาทต่อชิ้น

**คำสำคัญ :** ไม้พลาสติก ผงไม้ปาล์ม เศษพลาสติกพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง มาเลอิก แอนไฮไดรด์ วัสดุผสม

<sup>1)</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90112

อีเมลล์: tui\_natchayapa@hotmail.co.th

<sup>2)</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90112

อีเมลล์: thanate.r@psu.ac.th

<sup>3)</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90112

อีเมลล์: klangduen.p@psu.ac.th

\* Corresponding Author

## Wood Plastic Composites from Oil Palm Wood and HDPE

Natchayapa Thanawattanasirikul<sup>1)</sup> Thanate Ratanawilai<sup>2)</sup> and Klangduen Pochana<sup>3)</sup>

### Abstract

The purpose of this research was to study and produce wood plastic composites material from palm wood and waste plastic to increase the value of excessive material which could save resource indirectly. Palm wood is a local material which is easy to obtain. Palm wood flour was combined with high density polyethylene (HDPE) dust from waste drinking water bottles and maleic anhydride (MA) was used as an additive for a compatibilizer at various weight ratios of wood flour, HDPE and MA which were 50:47:03, 40:57:03 and 30:67:03. The mixed materials were manufactured by a hot-press method at temperatures 130, 150 and 170 °C pressure 2,500 psi and investigated the mechanical properties of the composites material according to the American society for testing and materials (ASTM) method which 5 specimens/treatment. The experimental results were found that hardness, flexural strength, tensile strength, compressive strength and impact energy absorption were increased by the ratio of HDPE and forming temperature which increased. The best mechanical property of wood plastic was 30:67:03 at 170 °C. By comparing the best mechanical properties with the commercial wood plastic (CWP), it was found that the tensile strength and impact energy absorption of wood plastic was higher than that of CWP but hardness and compressive strength was lesser. However, the flexural strength was similar to CWP. The total costs were 52.02 bath per piece for 30:67:03, 51.60 bath per piece for 40:57:03 and 51.18 bath per piece for 50:47:03.

**Keywords:** wood plastic composites, oil palm wood flour, HDPE, MA, composites material

---

<sup>1)</sup> Post Graduated Student, Department of Industrial Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, E-mail: tui\_natchayapa@hotmail.co.th

<sup>2)</sup> Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Email: thanate.r@psu.ac.th

<sup>3)</sup> Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, E-mail: klangduen.p@psu.ac.th

\* Corresponding Author

## 1. บทนำ

ไม้พลาสติก (Wood plastic composites) เป็นวัสดุคอมโพสิตที่ประกอบขึ้นจากวัสดุหลักคือ ไม้และพลาสติก ซึ่งไม้พลาสติกเป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในวงการอุตสาหกรรมไม้และพลาสติกในต่างประเทศมานานแล้ว แต่ค่อนข้างที่จะใหม่ในประเทศไทย โดยไม้พลาสติกเป็นการนำเอาความรู้ของวงการไม้และวงการพลาสติกมารวมกันทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ซึ่งถือได้ว่าเป็นวัสดุทางวิศวกรรมได้อีกชนิดหนึ่ง เมื่อพิจารณาในด้านวัสดุสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ (1) โครงสร้าง (Structure) โครงสร้างของไม้เป็นส่วนที่ไม่สามารถควบคุมคุณสมบัติให้เป็นไปตามต้องการได้ เนื่องจากเนื้อเยื่อของต้นไม้แต่ละชั้นมีความหนาแน่นและการกระจายตัวของเซลล์รูปร่างต่าง ๆ ไม่เหมือนกันจึงทำให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกันไปด้วย การควบคุมให้เนื้อไม้ของต้นไม้มีสมบัติเหมือนกันทุกประการจึงไม่สามารถเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ แต่สามารถควบคุมคุณสมบัติต่าง ๆ กับไม้พลาสติกได้ เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน ในการเลือกใช้ต้องคำนึงถึงสมบัติที่ต้องการ ความเป็นไปได้ในการผลิตและความเข้ากันได้กับไม้ (2) กระบวนการผลิต (Processing) รายละเอียดและขั้นตอนในการผลิตไม้พลาสติก ตลอดจนการเตรียมวัตถุดิบและชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการขึ้นรูปที่เลือกใช้ เนื่องจากในการขึ้นรูปแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดแตกต่างกันไป เช่น บางวิธีอาจสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีขนาดไม้ไม่ต้องละเอียดมาก แต่บางวิธีจำเป็นต้องเตรียมวัตถุดิบให้มีความละเอียดสูง เป็นผลทำให้มีขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบแตกต่างกัน (3) คุณสมบัติ (Properties) เนื่องจากไม้พลาสติกเป็นวัสดุที่นำไม้และพลาสติกมารวมกัน เป็นผลทำให้คุณสมบัติของไม้และพลาสติกเปลี่ยนไป สัดส่วนของไม้และพลาสติกต่างมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของไม้พลาสติก ถ้าปริมาณของวัตถุดิบตัวใดตัวหนึ่งมาก คุณสมบัติโดยรวมของไม้พลาสติกก็จะมีแนวโน้มเพียงไปทางวัสดุที่มีปริมาณมากกว่า (4) สมรรถนะ (Performance) เนื่องจากประเภทของวัตถุดิบที่

หลากหลายทำให้มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันส่งผลให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทำให้การกล่าวถึงสมรรถนะการใช้งานหากมองในภาพรวมแล้วการเพิ่มไม้ลงไปพลาสติกเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวพลาสติก แต่ก็ทำให้มีความเปราะเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม สมบัติด้านอื่น ๆ ก็แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบ ปฏิริยาเคมี กระบวนการผลิต และสารเติมแต่งที่เลือกใช้ ทั้งนี้ จึงควรทำให้สอดคล้องกับการนำไปใช้งานจริง (Sattabongkoch, 2003) ซึ่งไม้พลาสติกนั้นสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ เช่น มีการต้านทานการดูดซับน้ำมากขึ้น ไม่มีปัญหาเรื่องการผุกร่อนจากปลวกและแมลง ทนทานต่อการแตกหักเมื่อตกตะปุด เป็นฉนวนความร้อนที่ดีขึ้น และมีน้ำหนักเบาขึ้น เป็นต้น (Markarian, 2005) นอกจากนี้ ยังสามารถปรับปรุงคุณสมบัติได้ง่าย โดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น (Poonpol et al., 2005; Clemons, 2002)

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งของโลกที่มีศักยภาพในการผลิตปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม ซึ่งไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 2 ล้านไร่ จึงนับได้ว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศปีหนึ่ง ๆ นับหมื่นล้านบาท นอกจากนี้ ผลการสำรวจพบว่า ประเทศไทยยังมีพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมันอีกนับสิบล้านไร่ ซึ่งหากประเทศไทยมีการพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มอย่างจริงจัง และถูกต้องตามความเหมาะสมจะทำให้ไทยมีรายได้เพิ่มขึ้นนับแสนล้านบาท โดยเกือบทุกส่วนของปาล์มน้ำมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ทะลายปาล์มน้ำมันที่เอาผลออกแล้วเกษตรกรนำไปเพาะเห็ดฟางทางปาล์มนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตพาร์ติเคิลบอร์ด ผลปาล์มใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช โดยปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตได้จนถึงอายุ 25 ปี หลังจากนั้นจะโค่น

ทิ้งหรือขายเพื่อนำไปตกแต่งสนามกอล์ฟ หรือตกแต่งบริเวณรอบบ้าน (Jantaraniyom et al., 2007) จะเห็นว่าส่วนของไม้ปาล์มนั้นไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควร อีกทั้งเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจ เช่น ไม้ยางพารา พบว่า ไม้ยางพาราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากและมีความต้องการใช้สูงจนปริมาณไม้ยางพาราไม่เพียงพอสำหรับผู้ผลิต/ส่งออก และใช้ภายในประเทศ ดังนั้น จึงเห็นควรที่จะนำไม้ปาล์มมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น และยังช่วยเพิ่มทางเลือกการใช้ไม้ปาล์ม นอกเหนือจากไม้ยางพาราอีกด้วย ประกอบกับในปัจจุบันมีการใช้พลาสติกอย่างแพร่หลาย เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำมันพืช ถุงพลาสติก เป็นต้น ซึ่งขยะพลาสติกส่วนใหญ่มาจากขยะชุมชน โดยรวมขยะจากบ้านเรือน และธุรกิจขนาดย่อม ส่งผลให้พลาสติกดังกล่าวหลังจากเลิกใช้งานแล้วจะกลายเป็นขยะจำนวนมากจากการสำรวจพบว่า เมื่อปี 2542 ประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 14 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด หรือคิดเป็น 1.9 ล้านตันต่อปี และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด หรือคิดเป็น 2.3 ล้านตันต่อปี เมื่อปี 2544 และปี 2546 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 17.6 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด หรือคิดเป็น 2.5 ล้านตันต่อปี (Pollution Control Department, 2005) จะเห็นได้ว่าปริมาณขยะพลาสติกมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในทุก ๆ ปี ส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาและผลิตวัสดุไม้พลาสติกจากไม้ปาล์มและเศษพลาสติกเหลือใช้ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือใช้ ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติก เพิ่มการใช้ประโยชน์จากไม้ปาล์มให้มากขึ้น และเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งของการใช้ไม้พลาสติก ซึ่งเป็นวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนไม้ได้

## 2. วัสดุและวิธีการทดลอง

### 2.1 วัสดุ

#### 2.1.1 ฝงไม้ปาล์ม (Oil palm wood flour)

เป็นไม้ปาล์มที่ได้จากต้นปาล์มที่มีอายุประมาณ 25 ปี โดยเป็นปาล์มที่หมดอายุในการให้ผลผลิตจากสวน

ปาล์ม (Jantaraniyom et al., 2007) แล้วนำมาเลื่อยให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งใบเลื่อยจะคายผงขี้เลื่อยออกมา จากนั้นนำผงขี้เลื่อยมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำมาร่อนด้วยเครื่องร่อน ซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 212 ไมโครเมตร – 600 ไมโครเมตร โดยเป็นช่วงที่มีขนาดเล็กพอที่สามารถผลิตเป็นไม้พลาสติกได้

#### 2.1.2 เศษผงพลาสติก HDPE (HDPE dust)

เป็นพลาสติกที่ได้มาจากขวดน้ำดื่มขาวขุ่นใช้แล้ว ซึ่ง HDPE เป็นพลาสติกที่มีปริมาณมากที่สุดในขยะชุมชน (Pollution Control Department, 2005) โดยจะนำมาผ่านขั้นตอนการย่อยให้มีขนาดเล็กลง แล้วนำมาร่อนด้วยเครื่องร่อน ซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 106 มิลลิเมตร – 425 ไมโครเมตร โดยเป็นช่วงที่มีขนาดเล็กพอที่สามารถผลิตเป็นไม้พลาสติกได้

#### 2.1.3 MA

เป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่ง ซึ่งมีความสมบัติเป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) (Caulfield et al., 2003; Markarian, 2005) โดยนำมาบดให้ละเอียดก่อนนำไปใช้ในการทดลอง ซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 212 ไมโครเมตร – 425 ไมโครเมตร

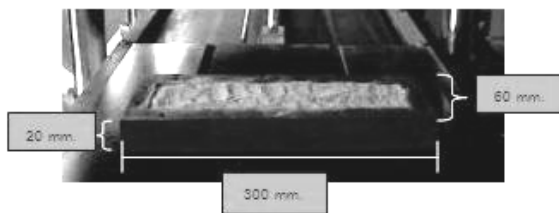
## 2.2 การขึ้นรูปชิ้นงาน

2.2.1 ผสมผงไม้ปาล์ม เศษพลาสติก HDPE และ MA ตามแต่ละอัตราส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 ด้วยเครื่องปั่นผสมแบบความเร็วสูง (High speed mixer) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้วัสดุผสมเข้ากันได้ดี

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของผงไม้ปาล์ม: HDPE: MA

Palm Wood	HDPE	MA
50	47	3
40	57	3
30	67	3

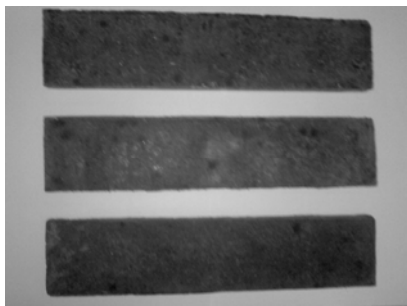
2.2.2 นำวัสดุที่ผ่านการผสมมาใส่ในแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 1 แล้วทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานขนาด 20 มิลลิเมตร x 60 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) แสดงดังรูปที่ 2 โดยใช้วิธีการอัดขึ้นรูปแบบอัดร้อน (Hot pressing) ที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ ดังรูปที่ 3 มาตัดตามขนาดมาตรฐาน ASTM ต่าง ๆ (ASTM, 1998) เพื่อนำไปใช้ทดสอบสมบัติเชิงกล



รูปที่ 1 แม่พิมพ์ขนาด 20 มิลลิเมตร x 60 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร ที่มีวัสดุผสมพร้อมทำการขึ้นรูป



รูปที่ 2 การอัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป



รูปที่ 3 ตัวอย่างชิ้นงานไม้พลาสติกที่ได้

## 2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานไม้พลาสติกและไม้เทียมทางการค้า ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความแข็งแรง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM โดยทำ 5 ซ้ำการทดลอง จากนั้นเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบกับไม้เทียมทางการค้า เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติกที่ได้ กับไม้เทียมทางการค้า และไม้เทียมเป็นไม้ประกอบคอมโพสิตอย่างหนึ่งที่สามารถหาได้ทั่วไปตามท้องตลาด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงใช้ไม้เทียมเป็นตัวเปรียบเทียบ

2.3.1 การทดสอบความแข็ง (ASTM D143) วางชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 70 มิลลิเมตร บนฐานรองกด กดขึ้นตัวอย่างด้วยลูกบอลเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4ก. จากนั้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบวมที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์ นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการที่ 1 Brinell hardness testing (BHN)

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

เมื่อ P = น้ำหนักที่กดชิ้นงาน (kg)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอลเหล็ก (mm)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบวมที่เกิดจากการกดของลูกบอลเหล็ก (mm)

2.3.2 การทดสอบความแข็งแรงดัด (ASTM D6109) วางชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร บนที่รองรับของเครื่องทดสอบ ซึ่งที่รองรับมีระยะห่างกัน 200 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4ข. เดินเครื่องเพื่อเลื่อนลิ้มกดลงบนชิ้นตัวอย่างทดสอบที่กึ่งกลางพอดี โดยใช้ความเร็ว 0.01 mm/sec ออกแรงกดจนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกร้าว อ่านและบันทึกค่าแรงกดสูงสุด

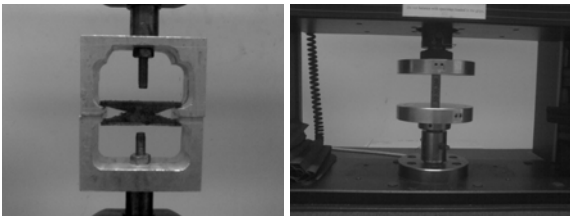
2.3.3 การทดสอบความแข็งแรงดึง (ASTM D638) วางขึ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 70 มิลลิเมตร ที่ปลายทั้งสองข้างบากเป็นรูปตัววี เข้าไประหว่างมือยึดตัวบนและตัวล่างของเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4ค. เดินเครื่องอย่างช้า ๆ เพื่อดึงแยกตัวอย่างออกเป็นสองส่วน บันทึกค่าแรงดึงสูงสุด

2.3.4 การทดสอบความแข็งแรงกด (ASTM D6108) วางขึ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 15 มิลลิเมตร x 15 มิลลิเมตร x 60 มิลลิเมตร บนฐานรองกด โดยให้ด้านยาวอยู่ในแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 4ง. แล้วออกแรงกดโดยเคลื่อนตัวกดลงบนชิ้นตัวอย่างอย่างช้า ๆ จนกระทั่งตัวอย่างแตกร้าวและไม่สามารถรับแรงกดเพิ่มได้อีก บันทึกค่าแรงกดสูงสุด



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

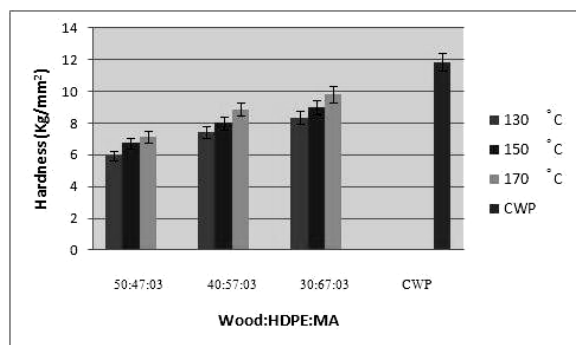
**รูปที่ 4** การทดสอบความแข็งแรงดึง (ก) การทดสอบความแข็งแรงดึง (ข) การทดสอบความแข็งแรงดึง (ค) และการทดสอบความแข็งแรงกด (ง)

2.3.5 การทดสอบการดูดซับพลังงานแรงกระแทก (ASTM D256) วางขึ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร บนที่รองรับตัวอย่างของเครื่องทดสอบ ซึ่งที่รองรับห่างกัน 240 มิลลิเมตร ยกตุ้มให้ค้างอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด แล้วปลดสลักให้ตุ้มตกเหวี่ยงกระแทกตัวอย่างทดสอบจนหัก อ่านค่าที่ได้จากสเกลของเครื่องทดสอบ

### 3. ผลการทดลองและบทวิจารณ์

#### 3.1 ความแข็งแรง (Hardness)

จากการศึกษาและเปรียบเทียบวัสดุไม้พลาสติกที่สัดส่วนผงไม้ปาล์ม: เศษ HDPE: MA ทั้ง 3 สัดส่วน คือ 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส พบว่า ไม้พลาสติกที่สัดส่วน 50:47:03 มีความแข็งแรงอยู่ในช่วง 5.930-7.143 kg/mm<sup>2</sup> ที่สัดส่วน 40:57:03 มีความแข็งแรงอยู่ในช่วง 7.410-8.884 kg/mm<sup>2</sup> และที่สัดส่วน 30:67:03 มีความแข็งแรงอยู่ในช่วง 8.336-9.820 kg/mm<sup>2</sup> ดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นว่า ความแข็งแรงจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง และปริมาณเศษพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Inkaew and Panich (2006) ได้ศึกษาและผลิตวัสดุไม้พลาสติกจากเศษไม้ยางพารา กับพลาสติก LDPE พบว่า วัสดุไม้พลาสติกที่สัดส่วนไม้:พลาสติก 30:70 มีความแข็งแรงสูงกว่าที่สัดส่วน 40:60 และ 50:50 ตามลำดับ อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงจะช่วยให้ HDPE หลอมละลายได้ง่ายขึ้น และสามารถรวมตัวกับผงไม้และ MA ได้ดีขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากผลการทดลองของ ความแข็งแรงที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิ 150 และ 130 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

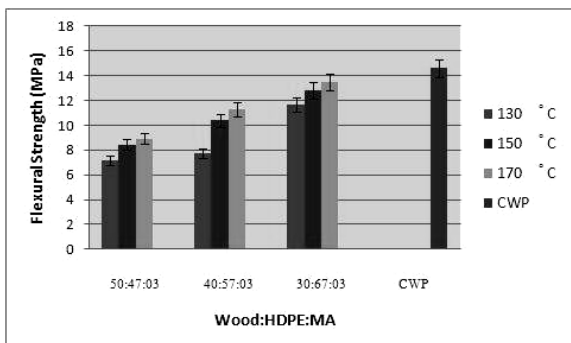


**รูปที่ 5** ความแข็งแรงของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า (CWP)

และเมื่อเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า (CWP) พบว่า ความแข็งของไม้เทียมทางการค้าที่ได้จากการทดลอง เท่ากับ  $11.863 \text{ kg/mm}^2$  ดังนั้น ความแข็งของไม้พลาสติกที่ได้มีค่าน้อยกว่าไม้เทียมทางการค้า ทั้งนี้เนื่องจากไม้เทียมทางการค้ามีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จึงส่งผลให้มีความแข็งสูงกว่าไม้พลาสติก โดยส่วนประกอบของไม้เทียมคือ ผงไม้ พลาสติก ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และทรายซิลิกา

### 3.2 ความแข็งแรงดัด (Flexural strength)

จากการทดลอง พบว่า ไม้พลาสติกที่สัดส่วน 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ที่อุณหภูมิในการทดลอง 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงดัดอยู่ในช่วง 7.15-8.93 7.76-11.27 และ 11.69-13.48 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6 และเมื่อเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า พบว่า ความแข็งแรงดัดของไม้เทียมทางการค้าที่ได้จากการทดลอง มีค่าเท่ากับ 14.59 MPa ซึ่งเห็นได้ว่า ค่าความแข็งแรงดัดสูงสุดของไม้พลาสติกที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับไม้เทียมทางการค้า ทั้งนี้เนื่องจากไม้พลาสติกมีพลาสติกเป็นตัวช่วยในการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ระหว่างผงไม้กับพลาสติกได้ดี จึงส่งผลให้มีความแข็งแรงดัดสูงเกือบเทียบเท่าไม้เทียมทางการค้าซึ่งมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนผสม



**รูปที่ 6** ความแข็งแรงดัดของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า (CWP)

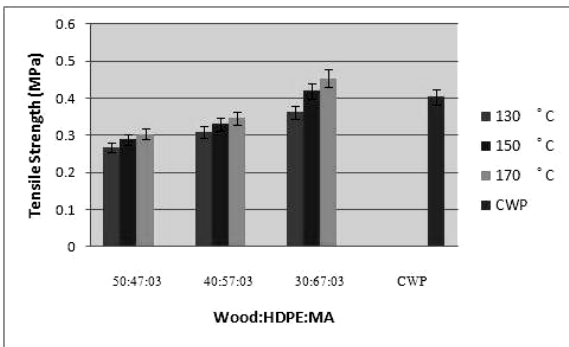
จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงดัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองและปริมาณสัดส่วนพลาสติกที่เพิ่มขึ้น โดยความแข็งแรงดัดที่มากที่สุด คือ สัดส่วน 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

ทั้งนี้เนื่องจาก พลาสติกในปริมาณที่มากจะช่วยให้การยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้มากขึ้น เพื่อส่งถ่ายและกระจายแรงไปสู่บริเวณอื่น ๆ ภายในวัสดุคอมโพสิต ดังนั้น เมื่อให้แรงกระทำจึงสามารถรับแรงได้ดีกว่าสัดส่วนที่มีผงไม้เป็นส่วนประกอบสูง และเนื่องจากว่า ผงไม้ในปริมาณสูงจะทำให้เกิดการกระจายตัวได้ไม่ดี โดยจะมีพื้นที่บางส่วนเกิดการเกาะรวมกันเป็นกลุ่ม ๆ ซึ่งพื้นที่นั้นจะเป็นส่วนที่ไม่มีพอลิเมอร์เมทริกซ์ในการยึดติด จึงเกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน และเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหัก เมื่อให้แรงกระทำจึงไม่สามารถรับแรงได้ดีเท่าที่ควร ซึ่งสัมพันธ์กับ Sombatsompop et al. (2004) ที่กล่าวว่า ผงไม้ในปริมาณที่สูงจะส่งผลให้ความแข็งแรงดัดมีค่าลดลงในผลิตภัณฑ์ไม้พีวีซีจากผงไม้เลื่อยไม้ยางพารา อีกทั้ง Leksakul and Samutkuup (2004) ได้ศึกษารวมวิธีการผลิตและสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ไม้พลาสติก พบว่า สัดส่วนไม้:พลาสติกที่ 50:50 มีความแข็งแรงดัดสูงกว่าที่สัดส่วน 60:40 อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ HDPE หลอมละลายและเกิดเป็นผลึกได้ง่ายขึ้น โดยสามารถรวมตัวกับผงไม้และ MA ได้ดีขึ้น สังเกตได้จากผลการทดลองของ ความแข็งแรงดัดที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงดัดมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิ 150 และ 130 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

### 3.3 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

จากการทดลอง พบว่า ไม้พลาสติกที่สัดส่วน 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ที่อุณหภูมิในการทดลอง 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 0.267-0.304 0.309-0.347 และ 0.362-0.454 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยสัดส่วน 30:67:03 จะมีความแข็งแรงดึงมากกว่าสัดส่วน 50:47:03 และ 40:57:03 ในทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง โดยสอดคล้องกับผลของ Leksakul and Samutkuup (2004)

ที่พบว่า สัดส่วนไม้:พลาสติกที่ 50:50 มีความแข็งแรงดึงสูงกว่าที่สัดส่วน 60:40 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงดึงจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีปริมาณสัดส่วนของพลาสติกเพิ่มขึ้น อีกทั้งสอดคล้องกับผลของ Caulfield et al. (2003) ที่กล่าวว่า ความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงดัดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีปริมาณสัดส่วนของ พอลิเมอร์เพิ่มสูงขึ้นในวัสดุผสมระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยธรรมชาติ อีกทั้ง Sombatsompop et al. (2004) กล่าวว่า ปริมาณผงไม้ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผงไม้ในปริมาณสูงจะทำให้เกิดการกระจายตัวไม่ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์ เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงานเมื่อให้แรงกระทำจึงไม่สามารถรับแรงได้ดีเท่าที่ควร

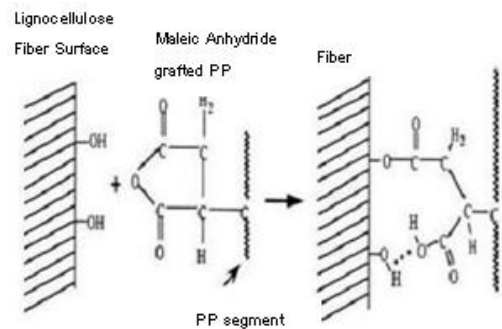


รูปที่ 7 ความแข็งแรงดึงของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า (CWP)

จากการเปรียบเทียบไม้พลาสติกที่ได้กับไม้เทียมทางการค้า พบว่า ความแข็งแรงดึงของไม้เทียมทางการค้าที่ได้จากการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.404 MPa ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความแข็งแรงดึงสูงสุดของไม้ที่ได้มีค่ามากกว่าไม้เทียมทางการค้า ทั้งนี้เนื่องจากไม้พลาสติกมีพลาสติกเป็นตัวช่วยในการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี จึงส่งผลให้มีความแข็งแรงดึงสูงกว่าไม้เทียมทางการค้า ซึ่งมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนผสม

และจากการทดลองที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงดึงสูงกว่าอุณหภูมิ 150 และ 130

องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Inkaew and Panich (2006) ที่พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปไม้พลาสติกที่ 150 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงดึงสูงกว่าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจาก อุณหภูมิสูงจะช่วยให้ HDPE หลอมละลายได้ง่ายขึ้น และสามารถรวมตัวกับผงไม้และ MA ได้ดีขึ้น โดย MA จะทำให้เกิดปฏิกิริยาแอนไฮไดรต์ระหว่างพอลิเมอร์กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ผนังเซลล์ของผงไม้ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลเปลี่ยนเป็นพันธะเอสเทอร์ (Ester bond) จากนั้นพอลิเมอร์ PP/PE จะจับและรวมตัวกับพันธะเอสเทอร์กลายเป็นร่างแห ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่ง MA จะทำให้การสร้างพันธะระหว่างผงไม้กับเมทริกซ์เกิดได้ง่ายขึ้น (Caulfield et al., 2003)



รูปที่ 8 ปฏิกิริยาแอนไฮไดรต์ ระหว่าง MAPP กับหมู่ไฮดรอกซิล

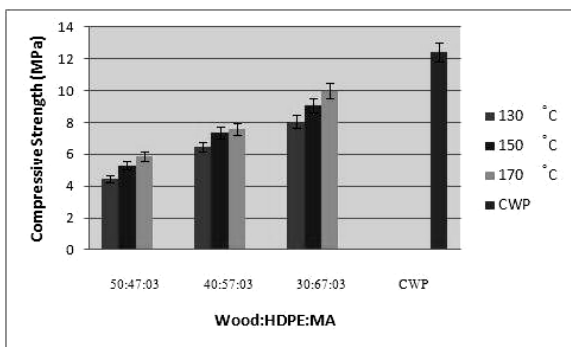
ที่มา : Caulfield et al. (2003)

3.4 ความแข็งแรงกด (Compressive strength)

จากการทดลอง พบว่า ไม้พลาสติกที่สัดส่วน 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ที่อุณหภูมิในการทดลอง 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงกดอยู่ในช่วง 4.45-5.90 6.47-7.61 และ 8.04-9.99 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 9 เห็นได้ว่า ที่สัดส่วน 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงกดสูงที่สุดในทุกสัดส่วนและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง และมีค่าใกล้เคียงกับผลงานวิจัยของ Sombatsompop et al. (2004) ซึ่งมีความแข็งแรงกดเท่ากับ 9 MPa ของไม้พีวีซี



จากผงซีลี้อยู่ไม่อย่างพารา โดยพลาสติกในปริมาณที่มาก จะช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้มากขึ้น เพื่อส่งถ่ายและกระจายแรงไปสู่บริเวณอื่น ๆ ภายในวัสดุ คอมโพสิต ดังนั้น เมื่อให้แรงกระทำจึงสามารถรับแรงได้ ดีกว่าสัดส่วนที่มีผงไม้เป็นส่วนประกอบสูง อีกทั้งอุณหภูมิ ที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ HDPE หลอมละลายและเกิดเป็นผลึก ได้ง่ายขึ้น โดยสามารถรวมตัวกับผงไม้และ MA ได้ดีขึ้น สังเกตได้จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงกตมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิ 150 และ 130 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า พบว่า ความแข็งแรงกตของไม้เทียมทางการค้า ที่ได้จากการทดลอง เท่ากับ 12.42 MPa เห็นได้ว่า ความแข็งแรงกตของไม้ พลาสติกที่ได้มีค่าน้อยกว่าไม้เทียมทางการค้า ทั้งนี้ เนื่องจากไม้เทียมทางการค้ามีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ จึงส่งผลให้มีความแข็งแรงกตสูงกว่าไม้ พลาสติก

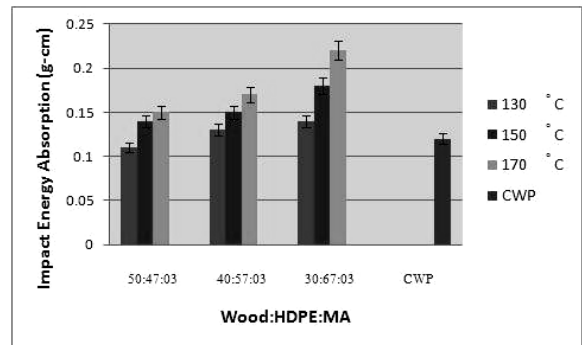


**รูปที่ 9** ความแข็งแรงกตของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า (CWP)

### 3.5 การดูดซับพลังงานแรงกระแทก (Impact energy absorption)

จากการทดลอง พบว่า ไม้พลาสติกที่สัดส่วน 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ที่อุณหภูมิในการทดลอง 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส มีการดูดซับพลังงานแรงกระแทกอยู่ในช่วง 0.11-0.15 0.13-0.17 และ

0.14-0.22 g-cm ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 10



**รูปที่ 10** การดูดซับพลังงานแรงกระแทกของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า (CWP)

โดย ณ อุณหภูมิเดียวกัน สัดส่วน 50:47:03 มีการดูดซับพลังงานแรงกระแทกน้อยกว่า สัดส่วน 40:57:03 และ 30:67:03 โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Poonpol et al. (2005) ได้ศึกษาการผลิตไม้เทียมจากเศษโพลีพีวีซี และผงไม้ พบว่า สูตรที่มีปริมาณผงไม้ 40 phr. จะมีการดูดซับพลังงานแรงกระแทกน้อยกว่าสูตรที่มีปริมาณผงไม้ 30 phr. อีกทั้งผลงานวิจัยของ Sombatsompop et al. (2004) พบว่า ปริมาณผงไม้ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้การดูดซับพลังงานแรงกระแทกลดลง นั้นเป็นเพราะ ผงไม้ในปริมาณมากจะส่งผลให้การดูดซับพลังงานแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าลดลง เนื่องจากผงไม้เป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ดังนั้น ผงไม้จึงสามารถดูดซับน้ำได้ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป และการทดสอบสมบัติเชิงกล ความชื้นสามารถเข้าไปสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสในผงไม้ แทนที่การสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของเซลลูโลสด้วยกันเอง จึงมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตมีค่าลดลง (Thaitae et al., 2008)

และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า พบว่า การดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้เทียมทางการค้าที่ได้จากการทดลอง เท่ากับ 0.12 g-cm ซึ่งจะเห็นได้ว่า เกือบทุกค่าของการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของ

ไม้พลาสติกที่ได้มีค่ามากกว่าไม้เทียมทางการค้า ทั้งนี้เนื่องจากไม้พลาสติกมีพลาสติกเป็นตัวช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี จึงส่งผลให้มีการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงกว่าไม้เทียมทางการค้า ซึ่งมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนผสม

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สรุปได้ว่า วัสดุไม้พลาสติกที่มีปริมาณผงไม้ปาล์ม: เศษ HDPE: MA ที่สัดส่วน 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงที่สุดในทุกสัดส่วนและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า พบว่า ความแข็งแรงดึงและการดูดซับพลังงานแรงกระแทกมีค่าสูงกว่าไม้เทียมทางการค้า ความแข็งแรงและความแข็งแรงกดมีค่าน้อยกว่าไม้เทียมทางการค้า ส่วนความแข็งแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับไม้เทียมทางการค้า ทั้งนี้เป็นเพราะไม้เทียมทางการค้ามีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จึงส่งผลให้มีความแข็งแรงและความแข็งแรงกดสูงกว่าไม้พลาสติก แต่ค่อนข้างเปราะ ซึ่งเห็นได้จากค่าความแข็งแรงดึงและการดูดซับพลังงานแรงกระแทกน้อยกว่าไม้พลาสติก เนื่องจากไม้พลาสติกมีพลาสติกเป็นส่วนผสม ซึ่งพลาสติกช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีกว่า และพอลิเมอร์จะทำให้มีการส่งผ่านและกระจายแรงระหว่างเส้นใยได้ดี อีกทั้งยังช่วยให้เส้นใยทำงานเป็นกลุ่มในการต้านแรงได้ดีกว่า เห็นได้ว่า พลาสติกที่เป็นส่วนผสมในไม้พลาสติกส่งผลให้มีความแข็งแรงดึง และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงกว่าไม้เทียมทางการค้า ซึ่งมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนผสม

และจากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบว่า สัดส่วนของผงไม้ปาล์ม: เศษ HDPE: MA และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตสำหรับงานวิจัยนี้ คือ สัดส่วน 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นสัดส่วน และอุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ทำให้ได้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จากทุกสัดส่วนและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง อีกทั้งผู้วิจัยได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงกว่า

170 องศาเซลเซียส พบว่า ไม่สามารถขึ้นรูปไม้พลาสติกได้ เนื่องจากเกิดการไหม้ของผงไม้ปาล์มในระหว่างการขึ้นรูป

### 3.6 ต้นทุนการผลิต

#### 3.6.1 การคำนวณต้นทุนวัสดุ

วัสดุหลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด ด้วยกันคือ ผงไม้ปาล์ม เศษผงพลาสติก HDPE และ MA

- ผงไม้ปาล์มเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากปาล์มที่หมดอายุการให้ผลผลิตแล้วจากสวนปาล์มจังหวัดกระบี่ ซึ่งจะมีค่าขนส่งวัสดุ เท่ากับ 1.44 บาท สำหรับผงไม้ปาล์ม ปริมาณ 90 กรัม ที่ใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปไม้พลาสติก สามารถคำนวณได้จากไม้ปาล์ม 30 กิโลกรัม มีต้นทุนการขนส่งวัสดุเท่ากับ 480 บาท ดังนั้น ผงไม้ปาล์ม ปริมาณ 90 กรัม มีราคา  $(480 \times 90) / 30000 = 1.44$  บาท สำหรับปริมาณและสัดส่วนอื่น ๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปแสดงได้ดังตารางที่ 2

- เศษผงพลาสติก HDPE เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากขยะชุมชน ซึ่งสามารถจัดซื้อได้จากโรงรับซื้อของเก่า โดยคิดเป็นราคา 30 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้น เศษผงพลาสติก HDPE ปริมาณ 201 กรัม ที่ใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปไม้พลาสติก จะมีต้นทุนวัสดุเท่ากับ  $(30 \times 201) / 1000 = 6.03$  บาท สำหรับปริมาณและสัดส่วนอื่น ๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ต้นทุนวัสดุของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ

Palm Wood: HDPE:MA	Palm Wood: HDPE:MA (300 g.)	Palm Wood (Bath)	HDPE (Bath)	MA (Bath)	Materials Cost (Bath)
30:67:03	90:201:9	1.44	6.03	13.50	20.97
40:57:03	120:171:9	1.92	5.13	13.50	20.55
50:47:03	150:141:9	2.40	4.23	13.50	20.13

- ส่วน MA ปริมาณ 9 กรัม ที่ใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปไม้พลาสติก มีต้นทุนวัสดุ เท่ากับ 13.50 บาท ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก MA ปริมาณ 1000 กรัม มีราคา 1500 บาท ดังนั้น MA ปริมาณ 9 กรัม ก็จะมีราคา  $(1500 \times 9) / 1000 = 13.50$  บาท

3.6.2 การคำนวณต้นทุนพลังงาน

ค่าไฟฟ้าของการอัดขึ้นรูปชิ้นงานไม้พลาสติกด้วยเครื่องอัดเบา โดยใช้กำลังไฟฟ้า 7.46 Kw เวลาในการอัด 50 นาที จะใช้พลังงานเท่ากับ  $7.46 \times 0.83 = 6.21$  หน่วย ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 5 บาท ดังนั้น จะเสียค่าไฟฟ้า  $6.21 \times 5 = 31.05$  บาท

\*\*\*ค่าไฟฟ้า 1 หน่วย = กิโลวัตต์/ชั่วโมง

3.6.3 การคำนวณต้นทุนรวม

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนรวม} &= \text{ต้นทุนวัสดุ} + \text{ต้นทุนพลังงาน} \\ &= 20.97 + 31.05 = 52.02 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ดังนั้น ไม้พลาสติกมีต้นทุนเท่ากับ 52.02 บาทต่อชิ้น สำหรับไม้พลาสติกที่สัดส่วนผงไม้ปาเลียมต่อเศษพลาสติก HDPE ต่อ MA 30:67:03 และสำหรับที่สัดส่วนอื่น ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ต้นทุนรวมของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ

Palm Wood: HDPE:MA	Materials Cost (Bath)	Electric Energy Cost (Bath)	Total Cost (Bath)
30:67:03	20.97	31.05	52.02
40:57:03	20.55	31.05	51.60
50:47:03	20.13	31.05	51.18

4. สรุปผลการทดลอง

วัสดุไม้พลาสติกที่มีปริมาณของผงไม้ปาเลียม: เศษ HDPE: MA ที่สัดส่วน 30:67:03 คุณสมบัติ 170 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็ง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงที่สุดในทุกสัดส่วนและคุณสมบัติที่ใช้ในการทดลอง และเมื่อนำค่าสมบัติเชิงกลสูงสุดที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า พบว่าความแข็งแรงดึงและการดูดซับพลังงานแรงกระแทกมีค่าสูงกว่าไม้เทียมทางการค้า ความแข็งและความแข็งแรงกดมีค่าน้อยกว่าไม้เทียมทางการค้า ส่วนความแข็งแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับไม้เทียมทางการค้า อีกทั้งผลที่ได้จากการ

คำนวณต้นทุนการผลิต พบว่า ต้นทุนรวมของไม้พลาสติกที่สัดส่วน 30:67:03 มีค่าเท่ากับ 52.02 บาทต่อชิ้น สัดส่วน 40:57:03 มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 51.60 บาทต่อชิ้น และที่สัดส่วน 50:47:03 มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 51.18 บาทต่อชิ้น

เอกสารอ้างอิง

Inkaew Kittisak and Panich Paisuch (2006). The study and produce wood plastic composites from scraps of rubber-wood (Project), Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University (In Thai).

Jantaraniyom Therapong, Tongkum Prakrit, Nilnon Chairat and Eaksomtrameth Thera (2007). Efficiently Management of Oil Palm Garden. Research and Development Center of Oil Palm Production. Faculty of Natural and Resources, Prince of Songkla University (In Thai).

Leksakul Komgrit and Samutkuup Aattapol. (2004). The study of process production and mechanical properties of wood plastic, IE Network Conference, The 13<sup>th</sup> Industrial Engineering Network Conference, Chiangmai, by Chiang Mai university (In Thai).

Pollution Control Department. (2005). The project reduction of using plastic and foam, Research journal, Ministry of natural resources and environment, 12-20 (In Thai).

Poonpol Pensri, Thaitae Kraisorn, Sumritvanichcha Chaiwat, Sangsawat Chawalit and Meemon Anint (2005). Production of Wood-Plastic Composite from PVC Foam Scrap and Wood Dust (Thesis), Materials and Metallurgy Engineering, Rajamangara University of Technology Thanyaburi (In Thai).

- Sattabongkoch Thanadol. (2003). Wood composites and Wood plastic composites, Engineering journal, Kasetsart university, Vol. 49, 1-10 (In Thai).
- Sombatsompop Narongrith, Phomjirasuk Jakkarin, Inrith Seksan, Wimolmala Eakkachai and Kantala Chatchawan. (2004). Production and Development of natural rubber roofs and PVC wood from wood sawdust particles, Bangkok, by King Mongkut's university of technology Thonburi, 53-60 (In Thai).
- Thaitae Kraisor, Chaiwuttinan Podsawan, Tajan Monchai, Kangsumrith Wararat and Leejakpai Thanawadee. (2008). Effects of ethylene vinyl acetate wastes and silane coupling agent on impact and flexural properties of recycled PVC/wood flour composites, PEC, The 6<sup>th</sup> PSU-Engineering Conference, Songkhla, by Prince of Songkla university 8-9 May. (In Thai).
- American Society for Testing and Materials (ASTM) International (1998). West Conshohocken, PA, United States.
- Caulfield, D. F., Clemons, C., Jacobson, R. E. and Rowell, R. M. (2003). *Wood Thermoplastic Composites*. In Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites: 365-378.
- Clemons, C. (2002). Wood-Plastic composites in the United States. *Forest Products*. Vol. 52, 10-18.
- Markarian, J. (2005). Wood-Plastic composites: current trends in materials and process. *Plastics Additives & Compounding*, 20-25.