การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว

Study of Polymer Composites as Artificial Wood from Coconut fiber

วรธรรม อุ่นจิตติชัย[1] **(WORATHAM OONJITTICHAI)**
วรวิทย์ พลทัสสะ[2] **(WORAWITH PHONTASSA)**
เพ็ญภัสสร เสมอใจ[3] **(PENBHUSSORN SAMERJAI)**

บทคัดย่อ

การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้หรือไม้เทียม ก่อนการปฏิบัติได้ศึกษาขนาดของเส้นใยมะพร้าว พบว่า มีขนาดเส้นใยที่ค้างอยู่บนตะแกรง 60 เมช มีปริมาณโดยน้ำหนักมากที่สุดคือ 31.60 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนความเพรียวเท่ากับ 56.72 มีการผ่อนความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่าไม้อะเคเซีย คราสซิคาร์ปา และไม้อะเคเซีย ออลาโคคาร์ปา แต่น้อยกว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส ส่วนความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนความเป็นกรดมีค่าสูงกว่าไม้ทุกชนิดที่นำมาเปรียบเทียบ และการผ่อนความเป็นด่างมีค่าต่ำกว่าไม้ทุกชนิดที่นำมาเปรียบเทียบ

คุณสมบัติของแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวที่ระดับความหนาแน่น 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้พลาสติก 4 ปัจจัย ที่ปริมาณต่างๆ กันเป็นตัวประสาน คือ 1. โพลีเอททีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene; LLDPE) อัตราส่วนพลาสติก 50 30 และ 20 2. LLDPE ผสม WF 107 (W) Anox 20 (A_{20}) Alkanox 24 (A_{240}) อัตราส่วนพลาสติก 30 และ 20 3. LLDPE ผสม WF 107 (W) Anox 20 (A_{20}) Akanox 240 (A_{240}) Enhance (E) อัตราส่วนพลาสติก 50 และ 4. โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene; MDPE) อัตราส่วนพลาสติก 50 จากผลการศึกษา พบว่า แผ่นทดสอบที่มีปริมาณโพลิเมอร์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าการพองตัวหลังแช่น้ำ การดูดซึมหลังแช่น้ำ 1 และ 24 ชั่วโมง มอดุลัสยืดหยุ่น และความชื้นมีค่าลดลง แต่ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าและความหนาแน่น จะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908–1994 :

---

[1] ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ
e-mail : woratham@hotmail.com

[2] นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ งานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

[3] ผู้ช่วยนักวิจัย งานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ

Particleboards (Type 13) พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ยกเว้นค่าความชื้น และค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่มีค่าไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

คำหลัก : พอลิเมอร์คอมโพสิต โพลีเอททีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง เส้นใยมะพร้าว

คำนำ

ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต (Wood Polymer Composites: WPC) เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบหลัก คือ พอลิเมอร์และไม้ (ยุทธพงษ์, 2549) จัดเป็นวัสดุชนิดใหม่ที่ปัจจุบันได้รับความสนใจใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ เนื่องจากไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีสมบัติเชิงกลที่ดีและหลากหลาย สามารถเลือกชนิดพอลิเมอร์และไม้เตรียมเป็นคอมโพสิตที่มีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถตัด เลื่อย หรือตอกตะปูได้ มีน้ำหนักเบา ดูดซับน้ำน้อย อายุการใช้งานนาน ไม่ถูกทำลายโดยมอด ปลวก หรือ แมลงอื่นๆ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต เพื่อใช้เป็นวัสดุแผ่นไม้เทียม โดยพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ 1. โพลีเอททีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene ; LLDPE) 2. LLDPE ผสม WF 107 (W) Anox 20 (A_{20}) Alkanox 240 (A_{240}) 3. LLDPE ผสม WF 107 (W) Anox 20 (A_{20}) Akanox 240 (A_{240}) Enhance (E) และ 4. โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene ; MDPE) และมีปริมาณที่ใช้ในการอัดแผ่นแตกต่างกันซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในทางวิชาการในการใช้ประโยชน์เส้นใยมะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิต และศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายสมบัติ และกลสมบัติของแผ่นไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิต เพื่อให้ได้คุณภาพของแผ่นตามมาตรฐานและเป็นแนวทางการเลือกใช้วัตถุดิบอื่นทดแทนวัตถุดิบไม้ที่ใช้ในปัจจุบัน

วิธีการศึกษา

การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของผงพลาสติก 4 ชนิด ได้แก่ 1. โพลีเอททีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene ; LLDPE) 2. LLDPE ผสม WF 107 (W) Anox 20 (A_{20}) Alkanox 240 (A_{240}) 3. LLDPE ผสม WF 107 (W) Anox 20 (A_{20}) Akanox 240 (A_{240}) Enhance (E) และ 4. โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่น ปานกลาง (Medium density polyethylene ; MDPE) และปริมาณที่ใช้ในการอัดแผ่นต่อน้ำหนักแห้งของเส้นใยมะพร้าวที่แตกต่างกัน แล้วนำแผ่นไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้มาเปรียบเทียบค่าทางกายสมบัติและทางกลสมบัติโดยใช้มาตรฐาน JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD Particleboards (JIS A 5908–1994 : Particleboards) โดยกำหนดให้ แผ่นไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิต มีความหนาแน่น ระดับ 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตและทดสอบคุณสมบัติแผ่นไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวได้ปฏิบัติดำเนินงาน ณ ห้องปฏิบัติการของงานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องบดชิ้นไม้ (Hammer mill)
2. เครื่องร่อนพร้อมตะแกรง (Screening machine)
3. เครื่องทดสอบกำลังวัสดุ (Universal testing machine)
4. เครื่องอัดเย็นแบบไฮดรอลิก (Hydrolic cold press)
5. เครื่องอัดร้อน (Hot–press)
6. เตาอบ (Electric oven)
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electric balance)
8. แผ่นสแตนเลสรองอัด (Caul–plate)

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. การเตรียมวัสดุ

1.1 การเตรียมเส้นใยมะพร้าว เพื่อจะนำไปใช้ในกระบวนการอัดแผ่นพลาสติก โดยสรุปเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

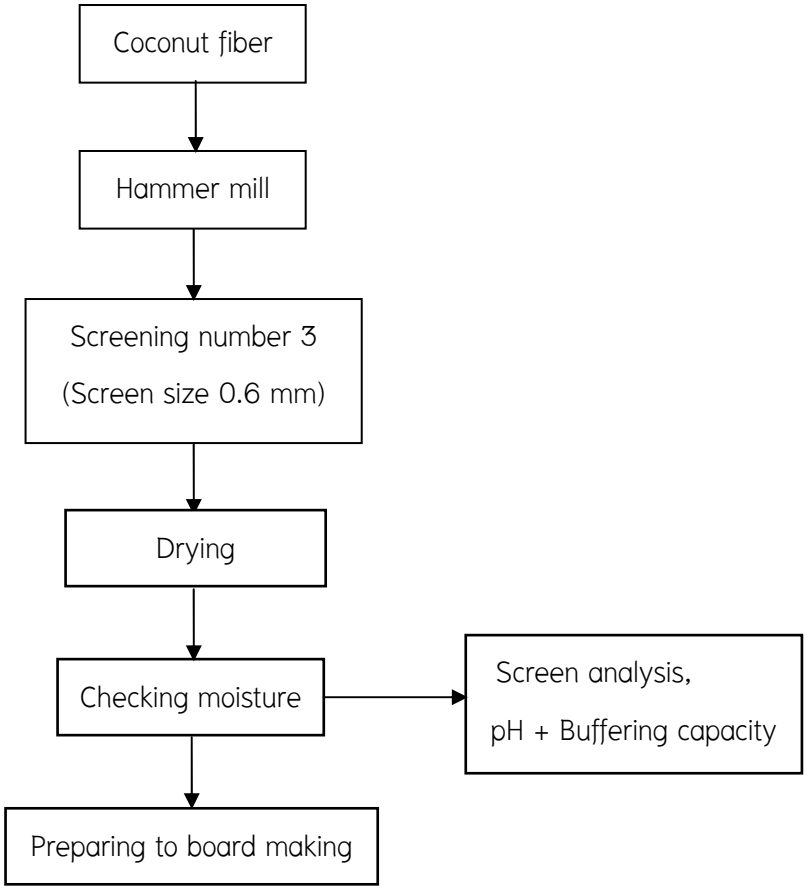


Figure 1. Preparation of coconut fiber before product.

1.2 การเตรียมผงพลาสติกการวิจัยครั้งนี้ใช้ผงพลาสติก 4 ชนิดได้แก่ 1.โพลีเอททีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene; LLDPE) 2. LLDPE ผสม WF 107 (W) Anox 20 (A_{20}) Alkanox 240 (A_{240}) 3. LLDPE ผสม WF 107 (W) Anox 20 (A_{20}) Akanox 240 (A_{240}) Enhance (E) และ 4. โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene; MDPE) โดยกำหนดระดับปริมาณเปอร์เซ็นต์ผงพลาสติกต่อน้ำหนักแห้งของเส้นใยมะพร้าวตามอัตราส่วนที่กำหนดในแต่ละสภาวะ

2. การผลิตแผ่นไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว

คำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการอัดแผ่น โดยกำหนดขนาดแผ่น 35x35x1.5 เซนติเมตร ความหนาแน่น 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นำผงพลาสติกและเส้นใยมะพร้าวไปชั่งน้ำหนักให้ได้ปริมาณตามที่คำนวณไว้ แล้วนำเส้นใยมะพร้าวและเม็ดพลาสติกมาคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนนำเข้าเครื่องบดย่อยเพื่อผสมให้เข้ากันอีกครั้งจากนั้นนำมาโรยลงบนแผ่นสแตนเลสขนาด 350x350 มิลลิเมตร เมื่อโรยหมดวางแผ่นสแตนเลสทับอีกครั้ง แล้ววางแท่งเหล็กหนา (Stopper) 15 มิลลิเมตร ด้านข้างทั้ง 2 ด้าน จากนั้นนำเข้าเครื่องอัดร้อนที่

อุณหภูมิด้านบน 190 องศาเซลเซียส และด้านล่าง 150 องศาเซลเซียส ที่ระดับแรงดัน 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลา 30 นาที จากนั้นอัดเย็นเป็นเวลา 15 นาที นำแผ่นที่ได้เข้าโมลที่มีแท่งเหล็กหนา 15 มิลลิเมตร นำเข้าเครื่องอัดร้อนอีกครั้ง ที่อุณหภูมิด้านบน 190 องศาเซลเซียส และด้านล่าง 150 องศาเซลเซียส ที่ระดับแรงดัน 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลา 10 นาที นำแผ่นที่ได้เข้าเครื่อง Clamp ทิ้งไว้ 10 นาที แล้วจึงนำมาแกะออกจากโมล และปรับสภาวะของแผ่นเป็นระยะเวลา 7 วัน แล้วจึงนำแผ่นไม้เทียมไปทดสอบคุณสมบัติทางกายสมบัติและทางกลสมบัติต่อไป

2.1 ในการผลิตแผ่นไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวมีการกำหนดสภาวะต่างๆ ดังนี้

เส้นใยมะพร้าว	เบอร์ 3
ความหนาแน่น	900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ความหนาของแผ่น	15 มิลลิเมตร
ขนาดของแผ่น	350 x 350 มิลลิเมตร
โพลีเอททีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น*	20, 30, 50 เปอร์เซ็นต์
โพลิเอทิลีนโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง*	50 เปอร์เซ็นต์
WF 107*	1.5 เปอร์เซ็นต์
Anox 20*	0.05 เปอร์เซ็นต์
Alkanox 240*	0.05 เปอร์เซ็นต์
Enhance*	7 เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิในการอัด ด้านบน	190 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิในการอัด ด้านล่าง	150 องศาเซลเซียส
แรงดันในการอัด	100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ระยะเวลาในการอัดร้อน ครั้งที่ 1	30 นาที
ระยะเวลาในการอัดร้อน ครั้งที่ 2	10 นาที
ระยะเวลาในการอัดเย็น	15 นาที

หมายเหตุ *เทียบเป็นน้ำหนักต่อน้ำหนักแห้งของเส้นใยมะพร้าว

2.2 การผลิตแผ่นไม้เทียมโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว

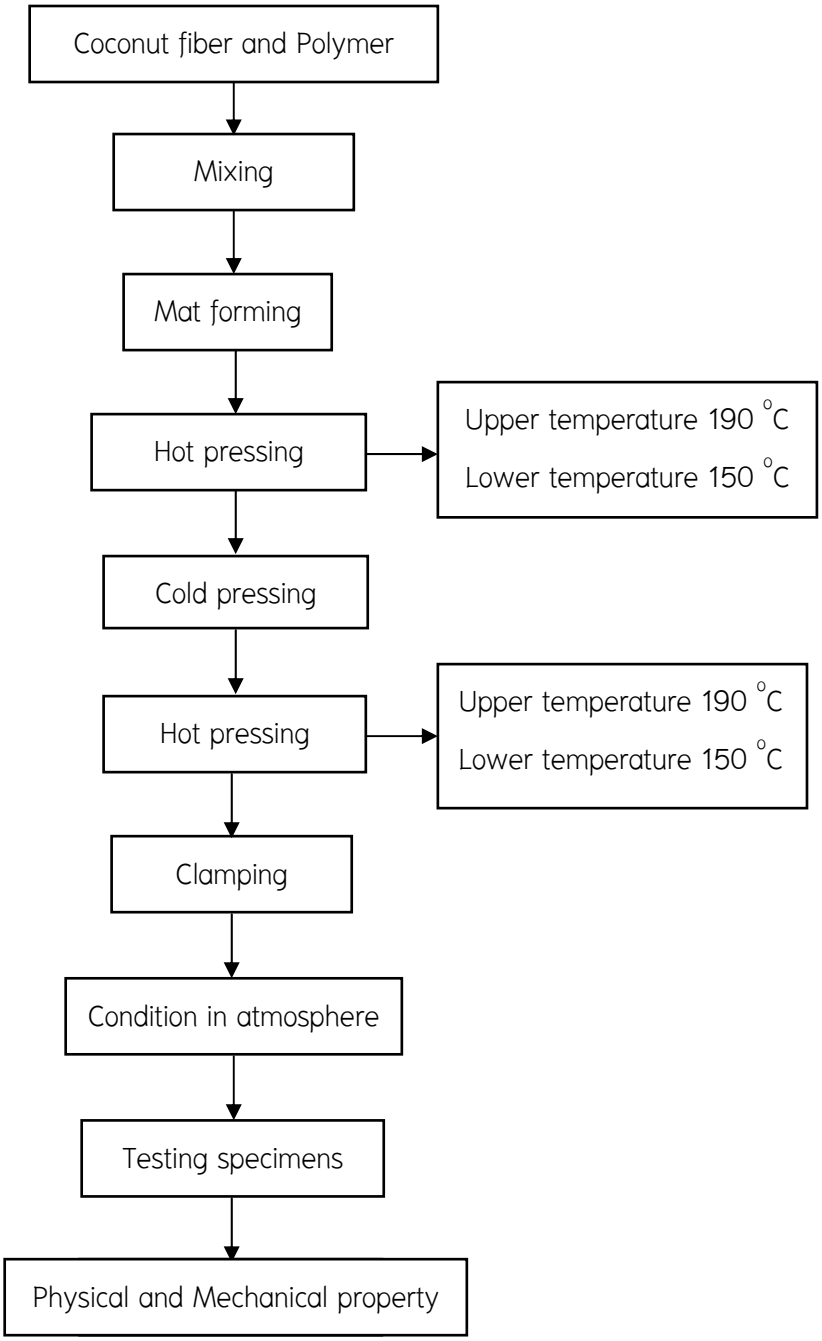
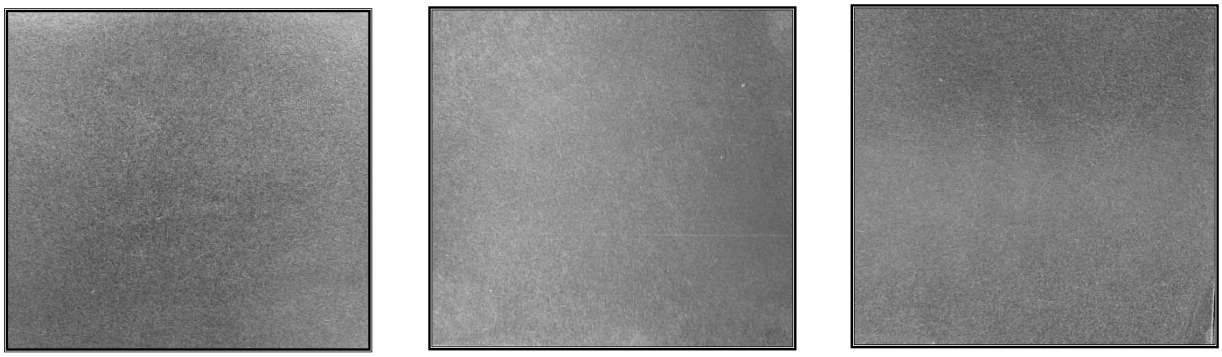


Figure 2. Production of Polymer composites from coconut fiber.

3. การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นไม้ประกอบพลาสติก

3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบในการทดสอบทางกายสมบัติและทางกลสมบัติ

นำแผ่นไม้ประกอบพลาสติกจากเส้นใยมะพร้าวที่ผลิตได้ทั้งหมด แต่ละแผ่นมีขนาด 350X350 มิลลิเมตร ไปตัดขอบออกทั้ง 4 ด้าน แล้วนำไปตัดเป็นชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 –1994: Particleboards



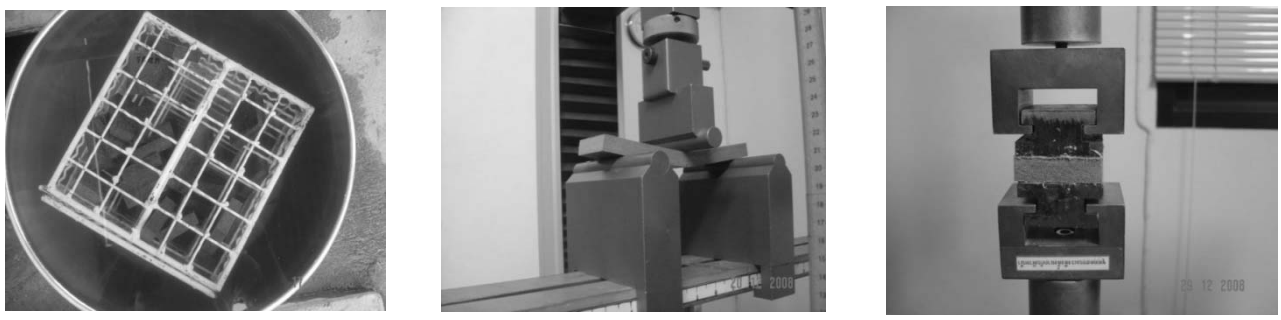
(1) (2) (3)

Figure 3. Surface of wood plastic composite (1) 20 (2) 30 (3) 50% by dried coconut fiber weight.

3.2 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นตามมาตรฐาน JIS A 5908–1994: Particleboards

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การดูดซึมหลังแช่น้ำ 1 และ 24 ชั่วโมง และการพองตัวหลังแช่น้ำ 1 และ 24 ชั่วโมง

การทดสอบคุณสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดัด มอดุลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า



(1) (2) (3)

Figure 4. Testing of wood plastic composite. (1) Thickness swelling and Water absorption. (2) Modulus Of Rupture and Modulus Of Elasticity. (3) Internal bond.

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. การวิเคราะห์ขนาดของเส้นใยมะพร้าว (Screen analysis of coconut fiber**)**

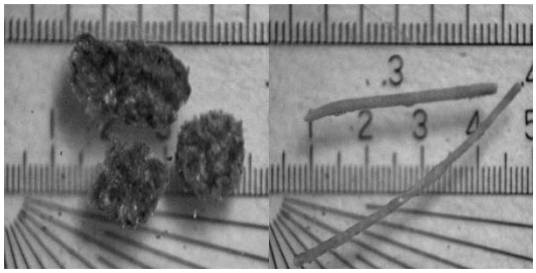
Table 1. Screen analysis of coconut fiber number 3.

Mesh No.	Average mesh aperture (mm)	Average particle dimension 1/			Slenderness ratio	Amount of particle 2/ (%)
		Width (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)		
–12 + 20	1.275	1.30	3.86	0.06	43.38	3.73
–20 + 40	0.638	1.20	3.63	0.05	45.28	30.73
–40 + 60	0.337	0.31	3.19	0.05	56.72	31.60
–60 + 80	0.215	0.15	2.36	0.04	64.83	11.87
–80 +100	0.165	0.13	2.12	0.03	66.43	7.20
–100+120	0.135	0.11	1.91	0.03	67.51	6.07
– 120	0.120	0.09	1.43	0.02	77.70	8.47

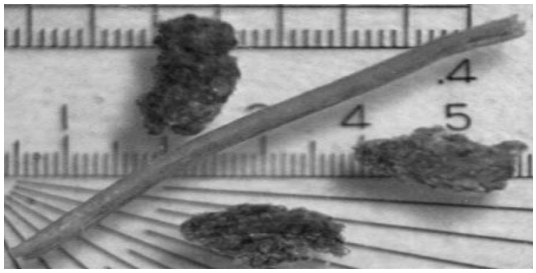
1/ Each average value was measured from 100 particles.

2/ Percentage value based on the weight of total particles.

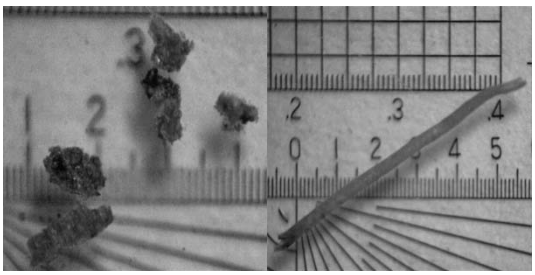
จากตารางที่ 1 พบว่า เส้นใยมะพร้าวมีขนาดที่ใช้ในการผลิตแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตกว้างเฉลี่ย 0.31 มิลลิเมตร ยาวเฉลี่ย 3.19 มิลลิเมตร และหนาเฉลี่ย 0.05 มิลลิเมตร มีสัดส่วนความเพรียว 56.72 และมีปริมาณมากที่สุดถึง 31.60 เปอร์เซ็นต์



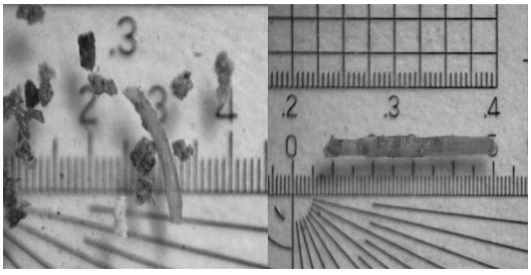
Coconut fiber pass the screen mesh –12 + 20



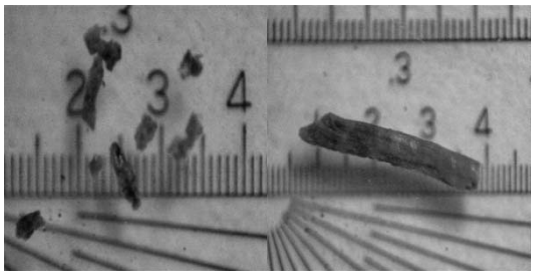
Coconut fiber pass the screen mesh –20 + 40



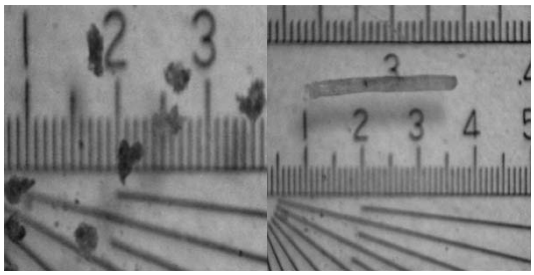
Coconut fiber pass the screen mesh –40 + 60



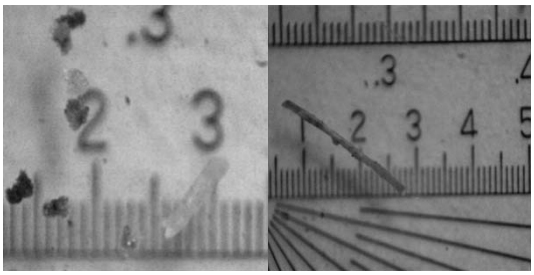
Coconut fiber pass the screen mesh –60 + 80



Coconut fiber pass the screen mesh –80 + 100



Coconut fiber pass the screen mesh –100 + 120



Coconut fiber pass the screen mesh –120

Figure 5. Dimension of particle of coconut fiber.

2. ผลการวัดความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเส้นใยมะพร้าว

Table 2. The analysis of pH and acid–alkaline buffering capacity of coconut fiber compared with *Acacia crassicarpa, Acacia aulacocarpa* and *Eucalyptus camaldulensis.*

Sample	pH average	Acid buffering capacity, milliequivalent ($\times 10^{-2}$)	Alkali buffering capacity, milliequivalent ($\times 10^{-2}$)	Acid–Alkaline buffering capacity, milliequivalent ($\times 10^{-2}$)
Coconut fiber	5.83	22.00	7.08	29.08
Acacia aulacocarpa	4.57	13.57	8.63	22.20

Table 2. Continuous

Sample	pH average	Acid buffering capacity, milliequivalent ($\times 10^{-2}$)	Alkali buffering capacity, milliequivalent ($\times 10^{-2}$)	Acid–Alkaline buffering capacity, milliequivalent ($\times 10^{-2}$)
Acacia crassicarpa	5.01	18.10	8.17	26.27
Eucalyptus camaldulensis	4.88	16.47	21.70	38.17

(* Oonjittichai , 2543)

เส้นใยมะพร้าวมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.83 และการผ่อนความเป็นกรด 22.00 ซึ่งมีค่าสูงกว่าไม้ทุกชนิดที่นำมาเปรียบเทียบ ส่วนการผ่อนความเป็นด่างมีค่า 7.08 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าไม้ทุกชนิดที่นำมาเปรียบเทียบ และการผ่อนความเป็นกรดเป็นด่างมีค่า 29.08 ซึ่งมีค่าสูงกว่าไม้อะเคเซียคราสซิคาร์ปา และไม้อะเคเซีย ออลาโคคาร์ปา แต่มีค่าน้อยกว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส

3. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายสมบัติของแผ่นไม้ประกอบพลาสติก

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายสมบัติและกลสมบัติของแผ่นไม้ประกอบพลาสติกที่ผลิตจากเส้นใยมะพร้าวได้ผลการทดสอบ ดังนี้

Table 3. The result average properties of wood plastic composite from coconut fiber at ratio plastic 50, 30 and 20 % by dried weight.

Ratio Coconut fiber : Polymer (%)	TS (%) 1 hr	TS (%) 24 hrs	WA (%) 1 hr	WA (%) 24 hrs	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	Density (kg/m^3)	Moisture Content (%)
1.) 50 : 50 (LLDPE)	0.17 a	0.90 a	1.45 a	6.92 a	17.91 bc	873 ab	> 1.25 d	871.27 a	2.22 a
2.) 50 : 50 (LLDPE mix W+A_{20} +A_{240}+E)	0.20 a	0.88 a	1.28 a	6.22 a	17.74 bc	770 a	> 1.35 d	919.71 c	2.13 a
3.) 50 : 50 (MDPE)	0.24 a	0.85 a	1.32 a	5.93 a	20.37 d	849 ab	> 1.23 d	907.21 bc	2.13 a

Table 3. Continuous

Ratio Coconut fiber : Polymer (%)	TS (%) 1 hr	TS (%) 24 hrs	WA (%) 1 hr	WA (%) 24 hrs	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	Density (kg/m^3)	Moisture Content (%)
4.) 70 : 30	0.80	4.20	4.52	15.72	17.14	968	> 0.97	878.44	2.80
(LLDPE)	ab	b	c	b	abc	bc	bc	ab	b
5.) 70 : 30	1.80	4.14	3.10	13.86	15.69	965	> 1.18	885.50	2.65
(LLDPE mix W+A_{20} +A_{240})	c	b	b	b	a	bc	cd	ab	b
6.) 80 : 20	1.83	8.61	6.25	25.73	16.34	930	0.42	872.48	4.29
(LLDPE)	c	c	d	d	ab	b	a	a	c
7.) 80 : 20	1.21	6.59	4.56	19.42	18.68	1069	0.80	859.72	4.35
(LLDPE mix W+A_{20} +A_{240})	c	c	c	c	cd	c	b	a	c
JIS A 5908 –1994 (Type 13)	–	≤ 12	–	–	≥ 13	≥ 2500	≥ 0.2	400–900	5 – 13

Same letter (a, b, c) in each column means the none differ significantly at 95 %.

The internal bond test using Epoxy resin but sample not torn.

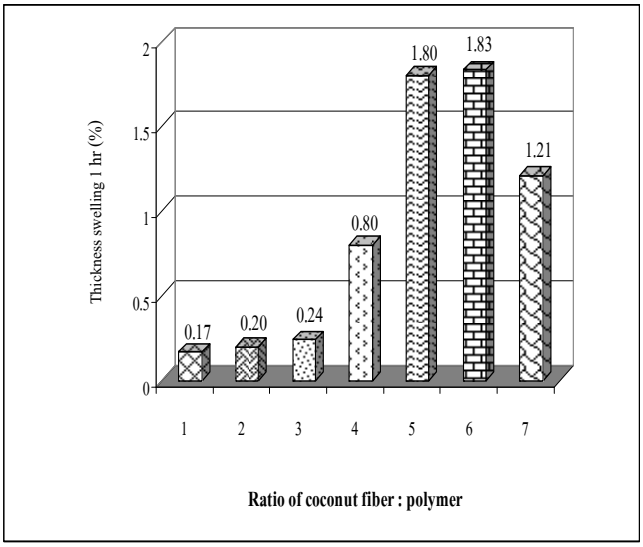
Table 4. Analysis of variances of wood plastic composite from coconut fiber at ratio polymer 50, 30 and 20% by dried weight.

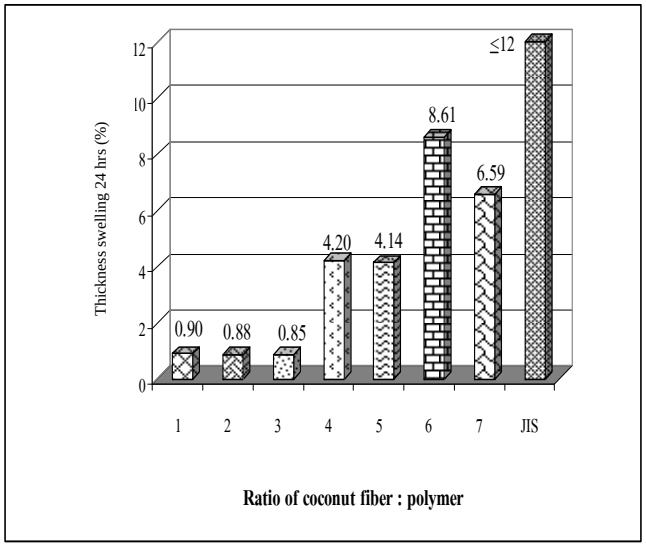
Properties		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TS 1 hr	Between Groups	29.261	6	4.877	12.192	0.000*
	Within Groups	22.399	56	.400		
	Total	51.660	62			
TS 24 hrs	Between Groups	510.753	6	85.126	45.771	0.000*
	Within Groups	104.151	56	1.860		
	Total	614.904	62			

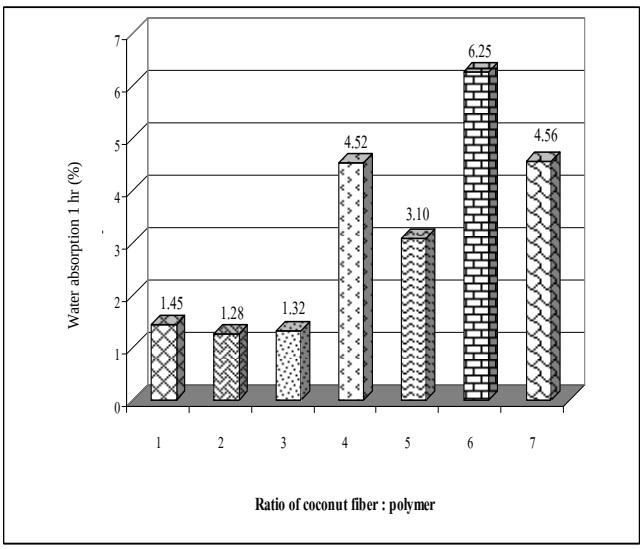
Table 4. Continuous

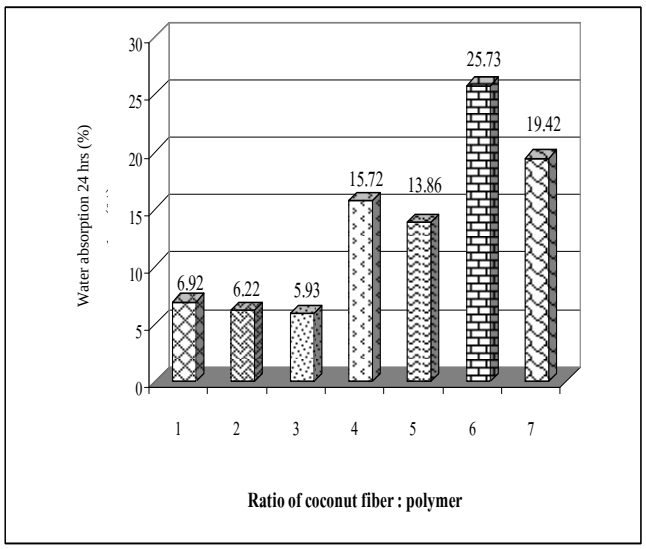
Properties		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
WA 1 hr	Between Groups	208.191	6	34.699	30.40	0.000*
	Within Groups	63.908	56	1.141	5	
	Total	272.099	62			
WA 24 hrs	Between Groups	3090.551	6	515.092	45.901	0.000*
	Within Groups	628.419	56	11.222		
	Total	3718.970	62			
MOR	Between Groups	128.893	6	21.482	5.673	0.000
	Within Groups	212.063	56	3.787		
	Total	340.955	62			
MOE	Between Groups	506593.714	6	84432.286	5.404	0.000*
	Within Groups	875025.556	56	15625.456		
	Total	1381619.270	62			
IB	Between Groups	5.805	6	0.968	14.421	0.000*
	Within Group	3.757	56	6.709E-02		
	Total	9.562	62			
Density	Between Groups	24529.913	6	4088.319	3.870	0.003*
	Within Groups	59161.491	56	1056.455		
	Total	83691.404	62			
MC	Between Groups	51.514	6	8.586	50.271	0.000*
	Within Groups	9.564	56	0.171		
	Total	61.078	62			

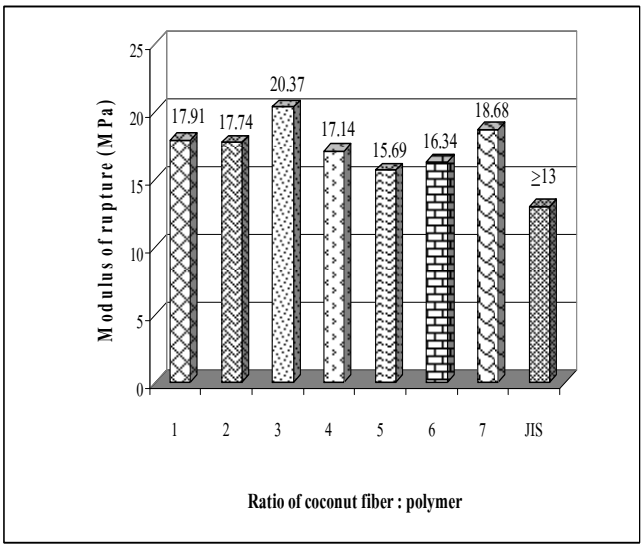
*significant at 5% probability level. ^{ns} non significant at 5% probability level.

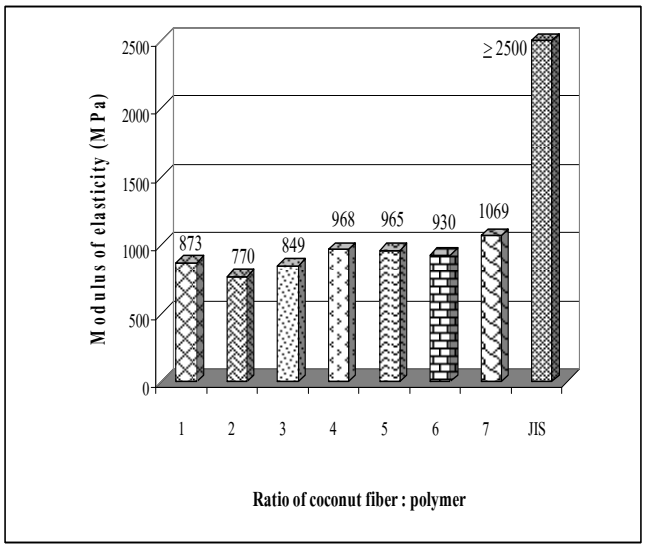

Thickness swelling 1 hr (%)
0.17
0.20
0.24
0.80
1.80
1.83
1.21
1 2 3 4 5 6 7
Ratio of coconut fiber : polymer


Thickness swelling 24 hrs (%)
0.90
0.88
0.85
4.20
4.14
8.61
6.59
≤12
1 2 3 4 5 6 7 JIS
Ratio of coconut fiber : polymer


Water absorption 1 hr (%)
1.45
1.28
1.32
4.52
3.10
6.25
4.56
1 2 3 4 5 6 7
Ratio of coconut fiber : polymer


Water absorption 24 hrs (%)
6.92
6.22
5.93
15.72
13.86
25.73
19.42
1 2 3 4 5 6 7
Ratio of coconut fiber : polymer


Modulus of rupture (MPa)
17.91
17.74
20.37
17.14
15.69
16.34
18.68
≥13
1 2 3 4 5 6 7 JIS
Ratio of coconut fiber : polymer


Modulus of elasticity (MPa)
873
770
849
968
965
930
1069
≥ 2500
1 2 3 4 5 6 7 JIS
Ratio of coconut fiber : polymer

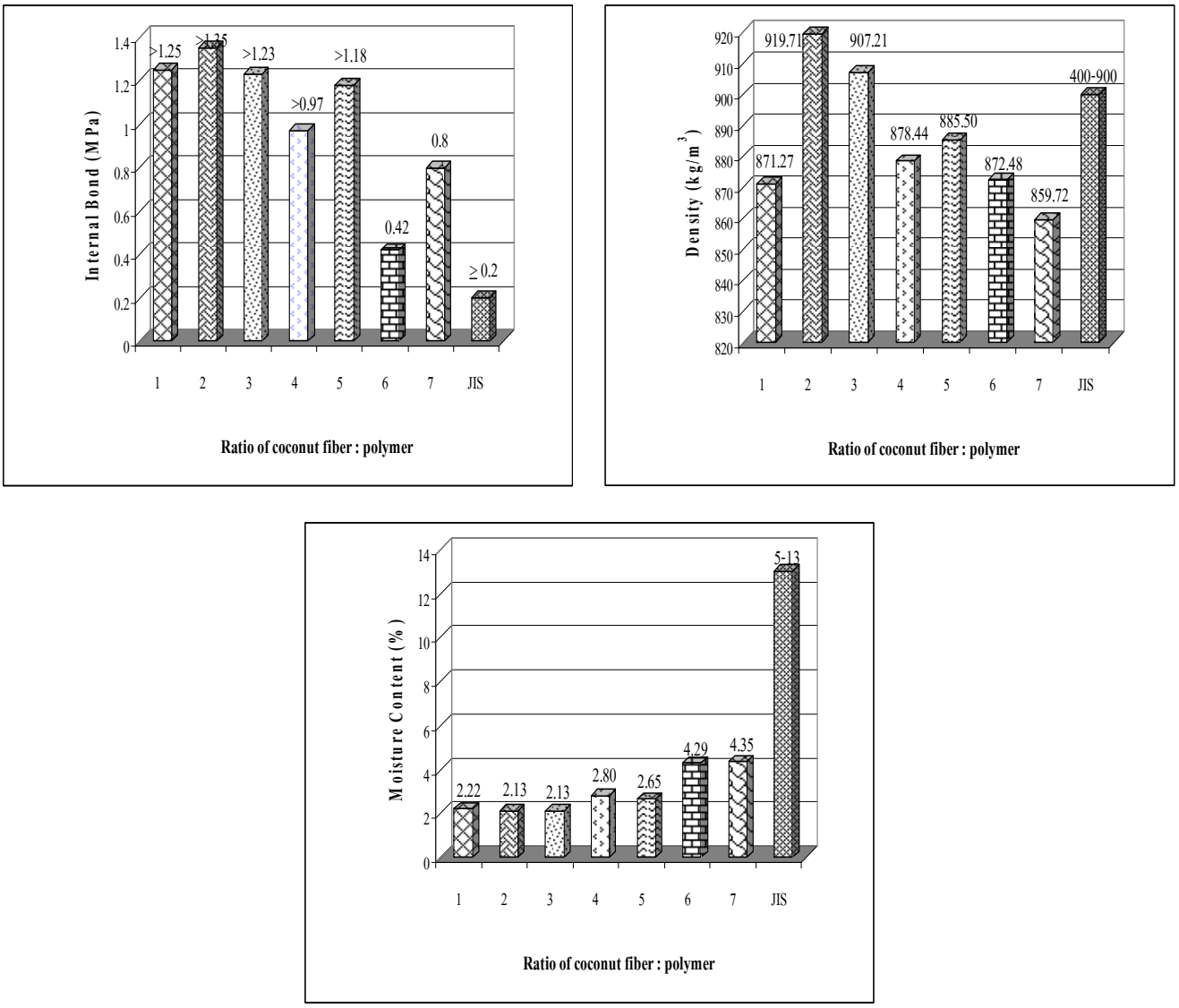


Figure 6. The properties of Wood Plastic Composite from coconut fiber.

3.1 ค่าการพองตัวหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง (Thickness swelling 1 hr)

ค่าการพองตัวหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง ของแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวผสมกับโพลีเอททีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) อัตราส่วนพลาสติก 20 30 และ 50 มีค่า 1.83 0.80 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance และโพลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) อัตราส่วนพลาสติก 50 มีค่า 0.20 และ 0.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อแผ่นทดสอบมีปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้นมีผลทำให้การพองตัวหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง มีค่าลดลง แต่พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 ที่อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30 มีค่า 1.21 และ 1.80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าแผ่นทดสอบมีปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้นกลับมีผลทำให้การพองตัวหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวผสมEnhance และ MDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 50 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ LLDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 20 และ LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 ที่อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30

3.2 ค่าการพองตัวหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (Thickness swelling 24 hrs)

ค่าการพองตัวหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ของแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวผสมกับ LLDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 20 30 และ 50 มีค่า 8.61 4.20 และ 0.90 เปอร์เซ็นต์ และที่ใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30 มีค่า 6.59 และ 4.14 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance และพลาสติก MDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีค่า 0.88 และ 0.85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อแผ่นทดสอบมีปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้นมีผลทำให้การพองตัวหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง มีค่าลดลง

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวผสมกับ LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติกชนิด LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance และ MDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 50 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติก LLDPE และ LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 ที่อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30

และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908–1994: Particleboards (Type 13) พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว ทุกอัตราส่วนมีค่าการพองตัวหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

3.3 การดูดซึมหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง (Water absorption 1 hr)

แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวที่ผสมกับพลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 20 30 และ 50 มีค่า 6.25 4.52 และ 1.45 เปอร์เซ็นต์ และที่ใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30 มีค่า 4.56 และ 3.10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลาสติกชนิด LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance และพลาสติก MDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีค่า 1.28 และ 1.32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อแผ่นทดสอบมีปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้น มีผลทำให้การดูดซึมหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง มีค่าลดลง

แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิต ที่ใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 Enhance และ MDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 50 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติก LLDPE และ LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30

3.4 การดูดซึมหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (Water absorption 24 hrs)

แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวที่ผสมกับพลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 20 30 และ 50 มีค่า 25.73 15.72 และ 6.92 เปอร์เซ็นต์ และพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30 มีค่า 19.42 และ 13.86 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance และพลาสติกชนิด MDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีค่า 6.22 และ 5.93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อแผ่นทดสอบมีปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้น มีผลทำให้การดูดซึมหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง มีค่าลดลง

แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิต ที่ใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติกชนิด LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance และ MDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติก LLDPE และ LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 ที่อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30

3.5 ความต้านทานแรงดัด (Modulus of rupture)

การนำแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในด้านต่างๆ เช่น นำไปประกอบเป็นเฟอร์นิเจอร์หรือเครื่องใช้ในครัวเรือนนั้น มีความจำเป็นที่จะพิจารณาคุณสมบัติในเรื่องการรับแรงของแผ่นด้านความต้านทานแรงดัด ซึ่งการใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 20 30 และ 50 มีค่า 16.34 17.14 และ 17.91 เมกะพาสคาล ส่วนพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 Enhance และพลาสติก MDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีค่า 17.74 และ 20.37 เมกะพาสคาล จากการศึกษาพบว่าเมื่อแผ่นทดสอบมีปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความต้านทานแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่พลาสติกชนิด LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 ที่อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30 มีค่า 18.68 และ 15.69 เมกะพาสคาล ซึ่งแผ่นทดสอบกลับมีค่าลดลง เมื่อมีปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้พลาสติกชนิด LLDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 30 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติกชนิด MDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 50 แต่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติกชนิด LLDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 20 50 LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 Enhance ที่อัตราส่วนพลาสติก 50 และ LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 ที่อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908–1994: Particleboards (Type 13) พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว ทุกอัตราส่วนมีค่าความต้านทานแรงดัด อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

3.6 มอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)

ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นที่ใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20 30 มีค่า 1069 965 เมกะพาสคาล ส่วนพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Alkanox 240 Enhance และพลาสติก MDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีค่า 770 และ 849 เมกะพาสคาล จากผลการศึกษา

พบว่า เมื่อแผ่นทดสอบมีปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น มีค่าลดลง แต่การใช้พลาสติก LLDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 30 มีค่า 968 เมกะพาสคาล ซึ่งมีค่ามากกว่าการใช้พลาสติก 20 และ 50 ที่มีค่า 930 และ 873 เมกะพาสคาล ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 20 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 30 50 พลาสติก MDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 50 และพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 30 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance อัตราส่วนพลาสติก 50 และ LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908–1994: Particleboards (Type 13) พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว ทุกอัตราส่วนมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

3.7 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bond)

การศึกษาความสามารถในการยึดเหนี่ยวกันภายในแผ่นโดยพิจารณาจากคุณสมบัติความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า พบว่าแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 20 30 และ 50 มีค่า 0.42 >0.97 และ >1.25 เมกะพาสคาล และที่ใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20 30 มีค่า 0.80 และ >1.18 ส่วนพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Akanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20 30 มีค่า 0.80 และ >1.18 ส่วนพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Akanox 240 Enhance และพลาสติก MDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีค่า >1.35 และ >1.23 เมกะพาสคาล ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า เมื่อแผ่นทดสอบมีปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance และ MDPE ที่อัตราส่วนพลาสติก 50 และพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 ที่อัตราส่วนพลาสติก 30 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 20 30 และพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908–1994: Particleboards (Type 13) พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว ทุกอัตราส่วนมีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

3.8 ความหนาแน่น (Board density)

ความหนาแน่นของแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวที่ผลิตได้มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นที่กำหนดไว้ในการทดลองโดยแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 20 30 และ 50 มีค่า 872.48 878.44 และ 871.27 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพลาสติก 30 มีค่า 885.50 และ 859.72 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240, LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20 30 มีค่า 0.80 และ >1.18 ส่วนพลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance มีค่า 919.71 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพลาสติก MDPE มีค่า 907.21 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 20 30 และ 50 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20 30 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance และพลาสติก MDPE อัตราส่วนพลาสติก 50

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908–1994: Particleboards (Type 13) พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวทุกอัตราส่วนมีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ยกเว้นการใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance และพลาสติก MDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 ที่มีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้

3.9 ความชื้น (Board moisture content)

จากการทดสอบความชื้นของแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว พบว่า เมื่อแผ่นทดสอบมีปริมาณพลาสติกที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ความชื้นภายในแผ่นมีค่าลดลง

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่าแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้พลาสติก LLDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลาสติก LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 Enhance และพลาสติก MDPE อัตราส่วนพลาสติก 50 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้พลาสติก LLDPE และ LLDPE ผสม WF 107 Anox 20 Akanox 240 อัตราส่วนพลาสติก 20 และ 30

และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908–1994: Particleboards (Type 13) พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว ทุกอัตราส่วนมีค่าความชื้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

สรุปผล

การวิเคราะห์ขนาดเส้นใยมะพร้าวมีขนาดเส้นใยที่ค้างอยู่บนตะแกรง 60 เมช มีปริมาณโดยน้ำหนักมากที่สุดคือ 31.60 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนความเพรียวเท่ากับ 56.72

เส้นใยมะพร้าวมีการผ่อนความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่าไม้อะเคเซีย คราสซิคาร์ปา และไม้อะเคเซีย ออลาโคคาร์ปา แต่น้อยกว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส ส่วนความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนความเป็นกรดมีค่าสูงกว่าไม้ทุกชนิด และการผ่อนความเป็นด่างมีค่าต่ำกว่าไม้ทุกชนิดที่นำมาเปรียบเทียบ

คุณสมบัติของแผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวที่ระดับความหนาแน่น 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้พลาสติก 4 ปัจจัย ที่ปริมาณต่างๆกัน เป็นตัวประสานคือ 1.โพลีเอททีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene; LLDPE) อัตราส่วนพลาสติก 50, 30 และ 20 2. LLDPE ผสม WF 107 (W) Anox 20 (A_{20}) Alkanox 240 (A_{240}) อัตราส่วนพลาสติก 30 และ 20 3. LLDPE ผสม WF 107 (W) Anox 20 (A_{20}) Akanox 240 (A_{240}) Enhance (E) อัตราส่วนพลาสติก 50 และ 4. โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene; MDPE) อัตราส่วนพลาสติก 50 จากผลการศึกษา พบว่า แผ่นทดสอบที่มีปริมาณโพลิเมอร์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าการพองตัวหลังแช่น้ำ 1 และ 24 ชั่วโมง การดูดซึมหลังแช่น้ำ 1 และ 24 ชั่วโมง ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น และความชื้น มีค่าลดลง แต่ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าและความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908–1994: Particleboards (Type 13) พบว่า แผ่นโพลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ยกเว้นค่าความชื้น และค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่มีค่าไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จากเจ้าหน้าที่ของงานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ และขอขอบคุณบริษัท เอ็ม.บี.เจ. เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบเส้นใยมะพร้าวมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง. 2549. “วัสดุทดแทนไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและเยื่อความร้อนเชิงกลจากไม้ยางพารา” โครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วรธรรม อุ่นจิตติชัย และคณะ. 2545. “Biological Composites from Vetiver Grass as Wood Meterial Substitute” การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2545 กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรณ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

Japanese Industrial Standard, Japanese Standards Association. 1994. JIS A 5908 Standard Specification for Particleboards. Hohbunsha Publ. Co. Inc. Tokyo. 21 p.