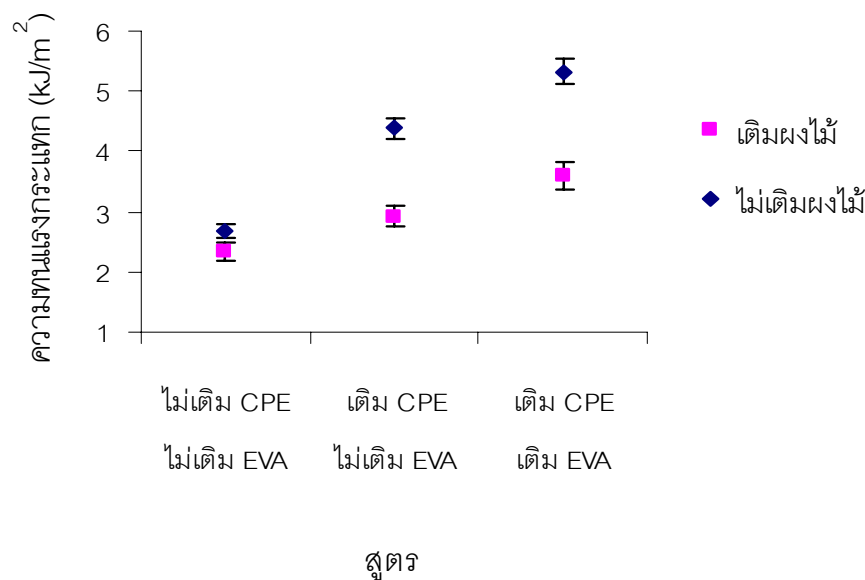


บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของ ผงไม้และ CPE ที่มีต่อสมบัติในการรับแรงกระแทกของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

จากภาพที่ 4.1 เปรียบเทียบ ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่เติมผงไม้และเติมผงไม้ในปริมาณ 30 phr



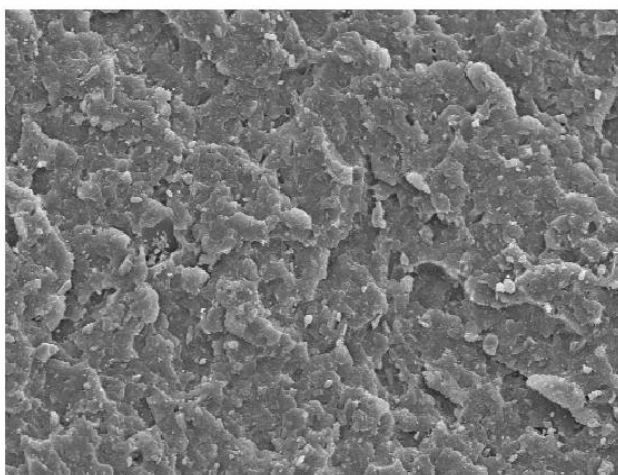
ภาพที่ 4.1

ค่าความทนแรงกระแทก (Impact strength) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้
ไม่เติมผงไม้และเติมผงไม้ 30 phr

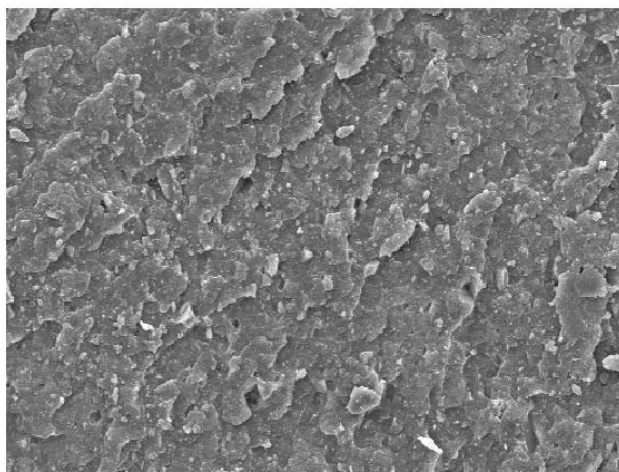
ในสูตรที่ไม่เติม CPE และไม่เติม EVA ค่าที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเติม CPE ซึ่งเป็นสารปรับปรุงสมบัติในการรับแรงกระแทกในปริมาณ 8 phr และเติม EVA ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตพื้นรองเท้า ในปริมาณ 10 phr ทำให้ค่าความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ตามลำดับ และยังพบว่าการเติมผงไม้ส่งผลให้ค่าความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากผงไม้เป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ผงไม้จึงสามารถดูดซับน้ำได้ ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปและในระหว่างการใช้

ทดสอบ เนื่องจากความชื้น สามารถเข้าไปสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในผงไม้ได้ แทนที่การสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่าง สายโซ่ของเซลลูโลสด้วยกันเอง จึงมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมมีค่าลดลง (Matuana, Kamdem และ Zhang, 2001) และอาจมีสาเหตุมาจากจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น ภายในชิ้นงานที่เกิดจากการใช้ผงไม้ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวจึงทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเฟส ผลของค่าความทนแรงกระแทกมีลักษณะคล้ายคลึงกับงานวิจัย ของ Bledzki และ Gassan (Bledzki และ Gassan, 1999) ซึ่งพบการลดลงของค่าความทนแรงกระแทกในวัสดุผสมระหว่างพอลิเมอร์และเส้นใยธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิว เกิดมาจากผลของการแตกออกของพันธะ (Debonding)

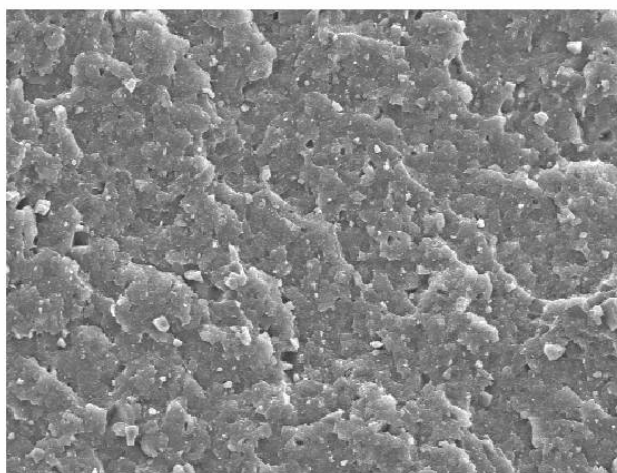
จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ได้ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 พบว่าการเติมผงไม้ในวัสดุผสมที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิว มีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างเฟสของพีวีซีและผงไม้ เนื่องจากพีวีซีและผงไม้มีพันธะระหว่างเฟสที่ไม่แข็งแรง รวมถึงในระหว่างการขึ้นรูปได้มีขั้นตอนการให้ความร้อนและหล่อเย็นวัสดุ ซึ่งวัสดุทั้งสองชนิดมีความสามารถในการหดตัวและขยายตัวที่แตกต่างกัน จึงส่งผลทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเฟส (Karmaker, Hoffmann และ Hinrichsen, 1994) ในส่วน (2c) พบว่าเฟสของ EVA สามารถเชื่อมประสานกับเฟสของพีวีซี ได้ดี ซึ่งภาพที่ได้สอดคล้องกับผลของสมบัติเชิงกล



(1a) ไม่เติม CPE และ EVA



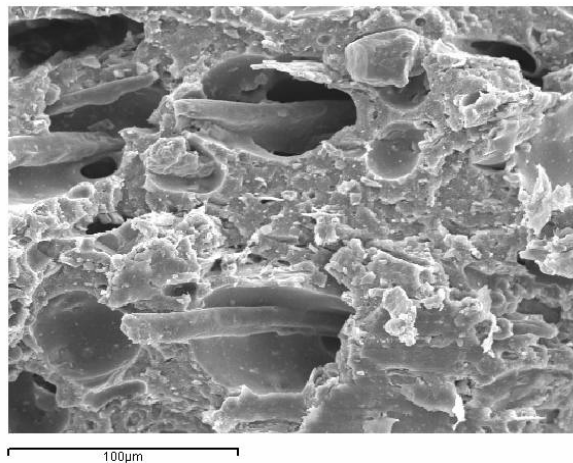
(1b) เต็ม CPE, ไม่เติม EVA



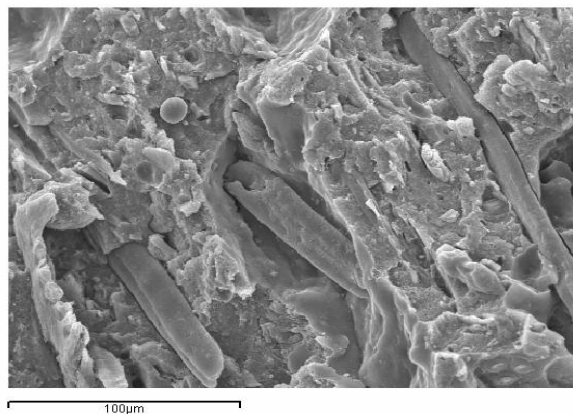
(1c) เต็ม CPE และ EVA

ภาพที่ 4.2

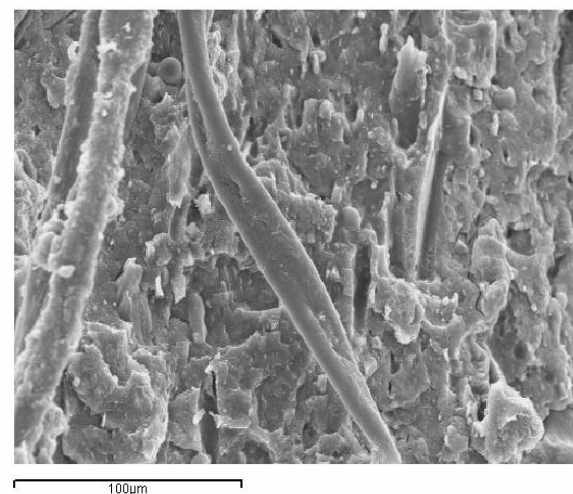
โครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมพีวีซี ที่ผ่านการทดสอบความทนแรงกระแทก
ของสูตรที่ไม่เติมผงไม้ ณ กำลังขยาย 500 เท่า



(2a) ไม่เติม CPE และ EVA



(2b) เติม CPE, ไม่เติม EVA



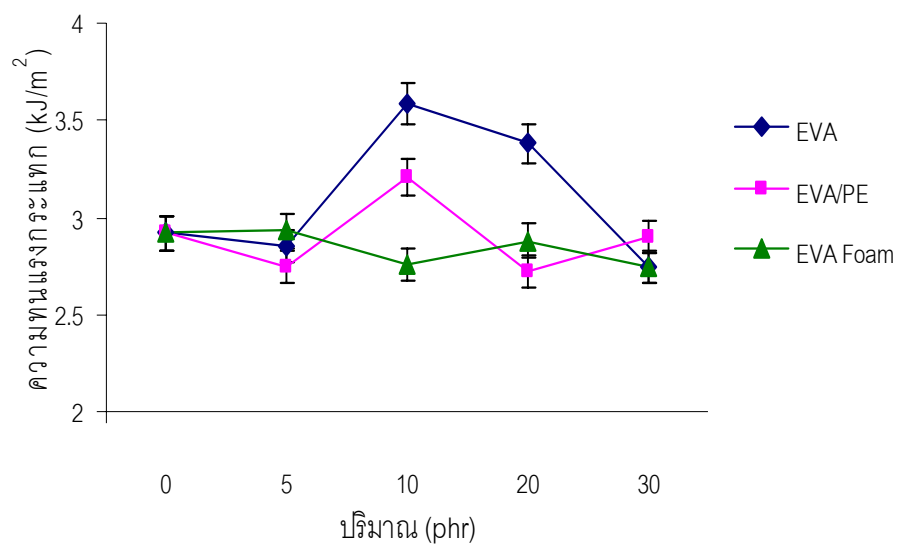
(2c) เติม CPE, เติม EVA

ภาพที่ 4.3

โครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ที่ผ่านการทดสอบความทนแรงกระทำ
ของสูตรที่เติมผงไม้ในปริมาณ 30 phr ณ กำลังขยาย 500 เท่า

4.2 ผลของชนิดและปริมาณของเศษเอทิลีนไวนิลอะซิเตทที่มีต่อสมบัติในการรับแรงกระแทกและการโค้งงอ ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

ได้นำเศษ EVA อีก 2 ชนิด คือ EVA ผสมกับ PE ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ (80/20 โดยน้ำหนัก) และโฟม EVA ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้ว มาเปรียบเทียบกับ การเติม เศษ EVA ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ จากการทดลองในตอนต้น โดยเติมในปริมาณ 0-30 phr ได้ผลการทดลองดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.4



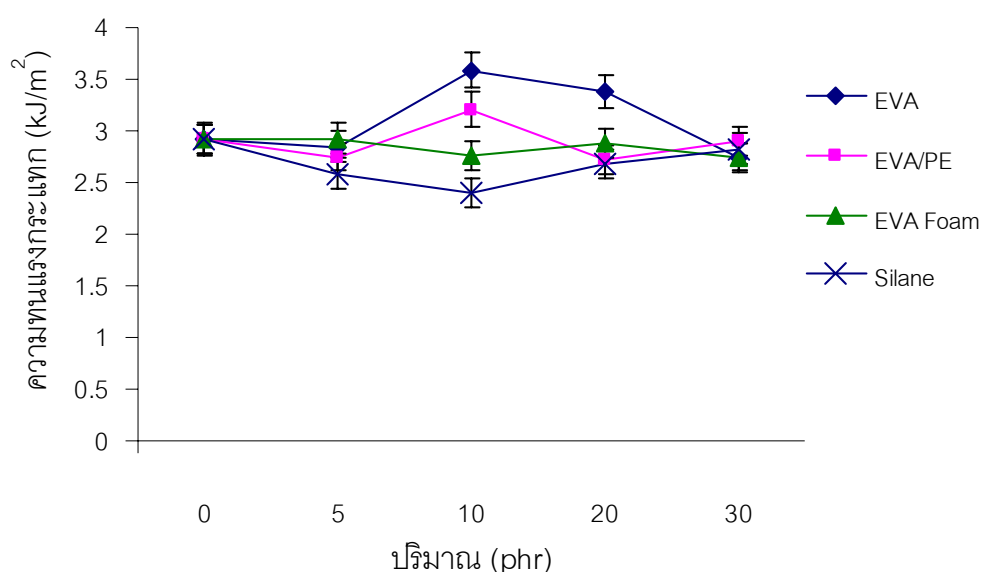
ภาพที่ 4.4

เปรียบเทียบการเติมเศษ EVA, EVA/PE (80/20) Blend และ โฟม EVA กับ
ความทนแรงกระแทก (Impact strength) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

พบว่า การเติมเศษ EVA และ EVA/PE ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ ในปริมาณ 10 phr ให้ค่าความทนแรงกระแทกสูงที่สุดคือ 3.59 kJ/m^2 และ 3.38 kJ/m^2 ตามลำดับ ในขณะที่ การเติม EVA Foam ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้ว ไม่ช่วยทำให้ค่าความทนแรงกระแทก เพิ่มขึ้น แต่กลับมีค่าลดลงเล็กน้อย ตามปริมาณที่ใส่ลงไป เนื่องจากการกระจายตัวของ โฟม EVA ใน พีวีซีเมทริกซ์ น่าจะเกิดขึ้นได้ยากเพราะผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ ซึ่งทำให้เกิดร่างแหใน โครงสร้างของ EVA จึงไม่ทำให้ค่าความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น

4.3 การศึกษาผลของสารผสมระหว่าง EVA กับไซเลนที่มีต่อสมบัติในการรับแรงกระแทกและการโค้งงอ ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

ได้ทำการทดลองโดยการเติม EVA ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์และสารประสาน Silane (N-(2-Aminoethyl)-3- aminopropyltrimethoxysilane) ในปริมาณตั้งแต่ 0-30 phr และทดสอบสมบัติในการรับแรงกระแทกและการโค้งงอ ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.5

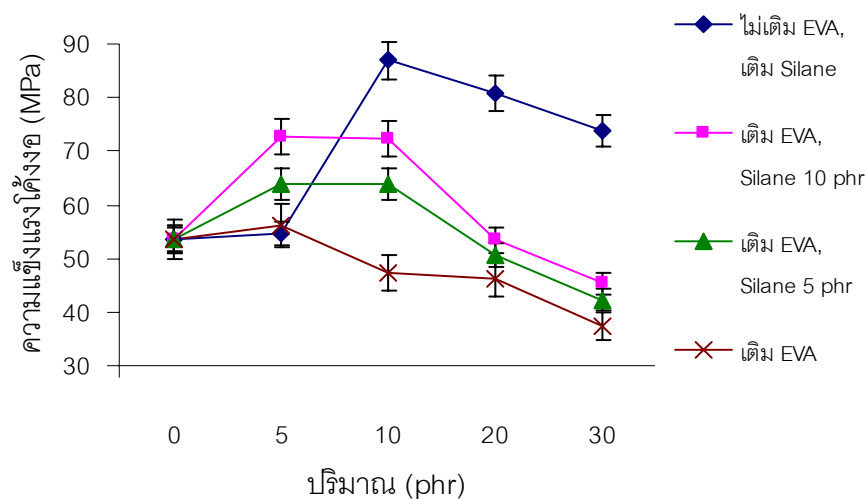


ภาพที่ 4.5

ความทนแรงกระแทก (Impact strength) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ที่เติม Filler 0-30 phr

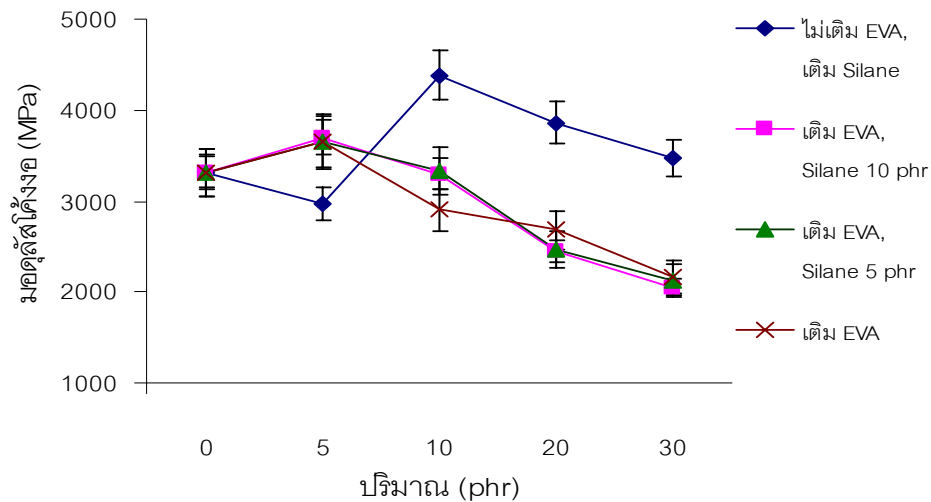
จากภาพที่ 4.5 แสดงค่าความทนแรงกระแทก (Impact strength) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ที่เติม Filler 0-30 phr พบว่า การเติม Silane ไม่ได้ช่วยเพิ่มค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ เนื่องจากไซเลนเข้าไปช่วยในการยึดเกาะระหว่างเฟสของพีวีซีกับผงไม้ จึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ (Interfacial strength) ของเฟสพีวีซีกับผงไม้ เป็นผลให้ค่าความทนแรงกระแทกของสูตรที่เติม Silane ที่ 5 phr และ 10 phr มีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติม Silane กรณีการเติม Silane ที่ 20 phr และ 30 phr ค่าความทนแรงกระแทกมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณการเติม Silane มากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณ Silane ที่มีมากเกินไปทำให้เกิดเฟสของพอลิไซลอคเซนขึ้นส่งผลให้แรงดึงดูดระหว่างเฟสลดลง ซึ่งเฟสดังกล่าวมีส่วนช่วยทำให้วัสดุผสมมีความยืดหยุ่นมากขึ้นจึงสามารถดูดซับแรงได้มากขึ้น และสารคู่ควบที่มี

น้ำหนัก โมเลกุลสูงนั้นมีโอกาสเกิดการพันกันกับเมทริกซ์ได้ช่วยทำให้วัสดุสามารถรับแรงกระแทกได้ดีขึ้น (Chiang และ Hu, 1999) แต่เมื่อนำค่าความทนแรงกระแทกที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติม Silane ค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าอยู่ดี การใช้เศษ EVA (Ethylene-vinyl acetate) ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ ในปริมาณน้อย คือ 10 phr และ 20 phr ไม่ต้องใส่ไซเลน เพราะการเติมเศษ EVA อย่างเดียวก็สามารถเพิ่มค่าความทนแรงกระแทกได้สูงกว่าการเติมไซเลน ที่ปริมาณ 5 phr และ 10 phr อาจเนื่องมาจาก เป็นปริมาณการเติมเศษ EVA ที่อัตราส่วนเหมาะสมในการรับแรงกระแทก ทำให้การส่งผ่านแรงระหว่างเฟสของวัสดุผสมดีขึ้น ส่วนการผสมเศษ EVA กับ Silane (N-(2-Aminoethyl)-3- aminopropyltrimethoxysilane) ทำให้ทราบว่า ถ้าใช้ เศษ EVA ในปริมาณมาก คือปริมาณ 30 phr ควรใส่ไซเลน ในปริมาณ 5 phr เพื่อเพิ่มค่าความทนแรงกระแทก



ภาพที่ 4.6

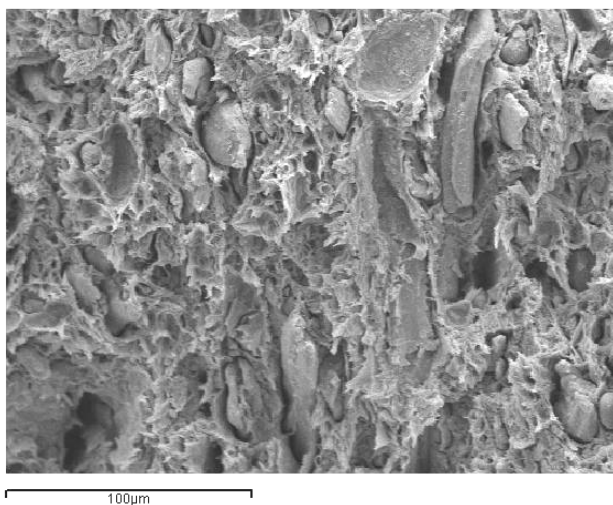
ค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ที่เติม Filler 0-30 phr



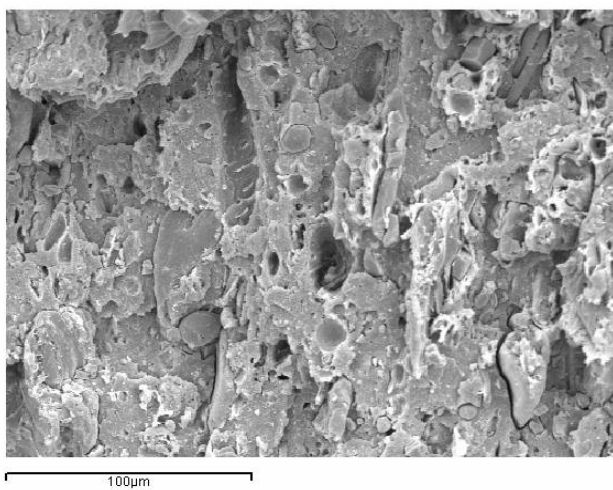
ภาพที่ 4.7

ค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ที่เติม Filler 0-30 phr

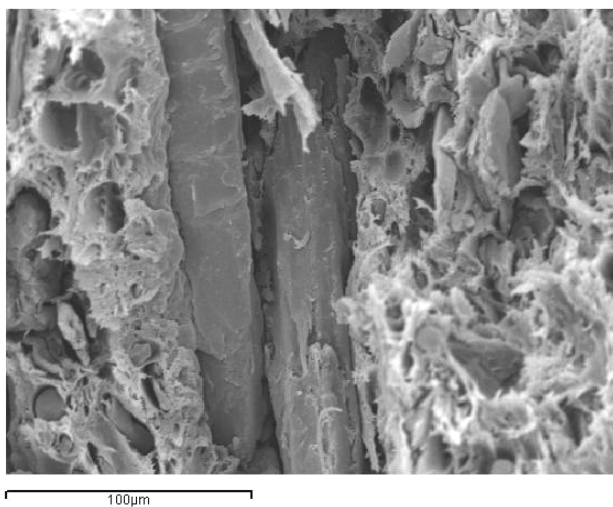
จากภาพที่ 4.6 ถึง ภาพที่ 4.7 พบว่า การเติม Silane (N-(2-Aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane) ทำให้ค่า ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) มีค่าเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณ ไสเลนมากกว่า 10 phr, 20 phr และ 30 phr ตามลำดับ การที่ค่า ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจาก ไสเลนเข้าไปช่วยในการยึดเกาะระหว่างเฟสของ พีวีซีกับผงไม้ จึงต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำใหวัสดุโค้งงอ นับได้ว่าไสเลนช่วยเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ (Interfacial strength) ของเฟสพีวีซีกับผงไม้ได้ เป็นผลให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ ของวัสดุผสมเพิ่มขึ้น ส่วนช่วงที่ค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ เริ่มลดลงเมื่อปริมาณไสเลนมากกว่า 10 phr นั้น เนื่องจากปริมาณไสเลนอาจมีมากเกินไป ทำให้ไสเลנדังกล่าวเกิดปฏิกิริยาควบแน่นกันเองที่ตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เกิดเป็นเฟสของพอลิซิลอกเซน (Polysiloxane) ไปแทรกระหว่างเฟสของพีวีซีกับผงไม้ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการสร้างพันธะ เป็นไปยากขึ้นจึงทำให้วัสดุรับแรงกระทำได้น้อยลง (Sombatsompop และ Chaochanchaikul, 2005) โดยการเติม ไสเลนที่ปริมาณ 10 phr ให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ สูงที่สุด คือ 86.99 MPa, 4386.23 MPa ตามลำดับ การเติมเศษ EVA ที่ 5 phr ให้ค่าสมบัติความต้านทานการโค้งงอ (Flexural properties) สูงกว่าการเติมเศษ EVA ที่ 0 phr, 10 phr, 20 phr และ 30 phr ส่วนการเติมไสเลน ที่ปริมาณ 10 phr มีผลทำให้ ค่าสมบัติความต้านทานการโค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน



(4a) EVA 10 phr



(4b) Silane 10 phr



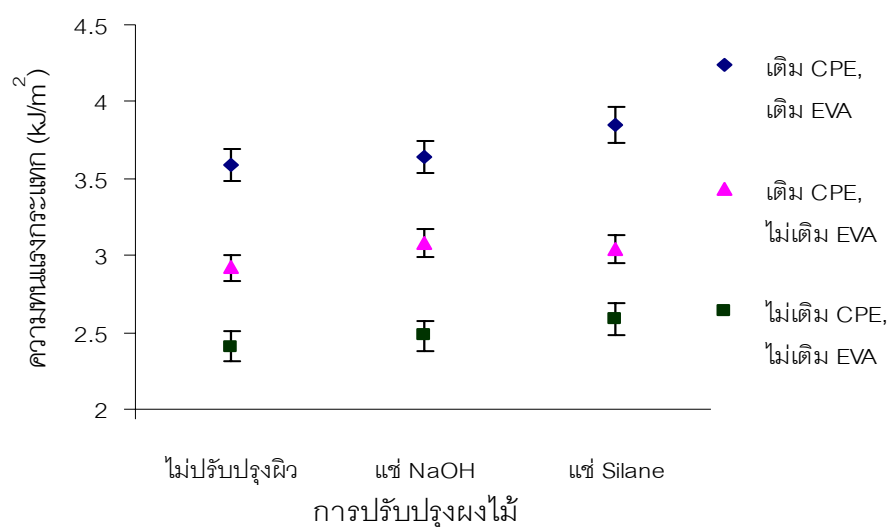
(4c) EVA 10 phr+Silane 10 phr

ภาพที่ 4.8

โครงสร้างจุลภาคของสูตรที่เติม EVA และ Silane ที่ผ่านการทดสอบการดึงจนกระทั่งการดึง 500 เท่า (3a) สูตรที่เติม EVA 10 phr (3b) สูตรที่เติม Silane 10 phr และ (3c) สูตรที่เติม EVA 10 phr และเติม Silane 10 phr ณ กำลังขยาย 500 เท่า ภาพ (4a) เป็นภาพของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่ไม่ได้เติม Silane พบว่ามีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างเฟสของพีวีซีและผงไม้ ภาพ (4b) เป็นภาพของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่เติม Silane พบว่าการยึดกันระหว่างเฟสมีมากขึ้นสังเกตได้จากการหักและขาด ออกของเส้นผงไม้เป็นไปในลักษณะสั้นและเรียบรวมถึงเนื้อพีวีซีเมทริกซ์ที่เรียบสม่ำเสมอกว่าภาพ (4a) ส่วนภาพ (4c) เป็นภาพของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่เติม EVA ผสมกับ Silane พบว่ามีลักษณะของผิวที่คล้ายกับภาพ (4a) คือ มีเนื้อของพีวีซีเมทริกซ์และ EVA เกิดการห่อหุ้มเฟสของผงไม้ค่อนข้างต่อเนื่อง แต่ไม่ปรากฏการเกิดช่องว่าง (Void) ระหว่างเฟสของพีวีซีและผงไม้ที่มากเท่ากับ ภาพ (4a) ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติทางกลตามที่ได้กล่าวไปแล้ว

4.4 ผลของการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane และ NaOH ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

จากผลการทดลองในข้อที่ 4.1 พบว่า วัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวมีแนวโน้มของสมบัติเชิงกลที่ไม่สูงมาก เนื่องจากพีวีซีกับผงไม้มีการยึดเกาะกันไม่ดี ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้สารประสาน Silane และ NaOH ซึ่งสารที่เลือกมาใช้นี้ทำหน้าที่เป็นสารช่วยในการยึดเกาะระหว่างเฟสของพีวีซีและผงไม้

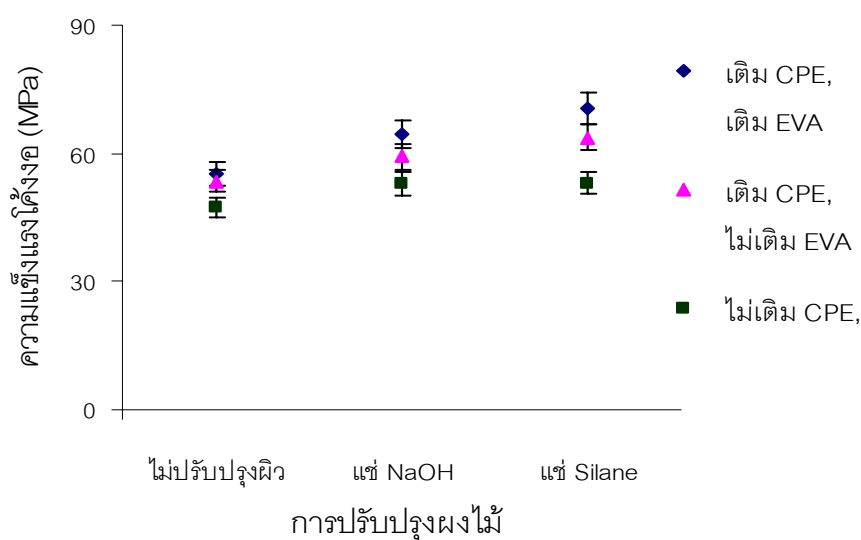


ภาพที่ 4.9

ค่าความทนแรงกระแทก (Impact strength) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ก่อนและหลัง

การปรับปรุงผิวไม้ด้วยวิธีต่างๆ (1% โดยน้ำหนักของผิวไม้)

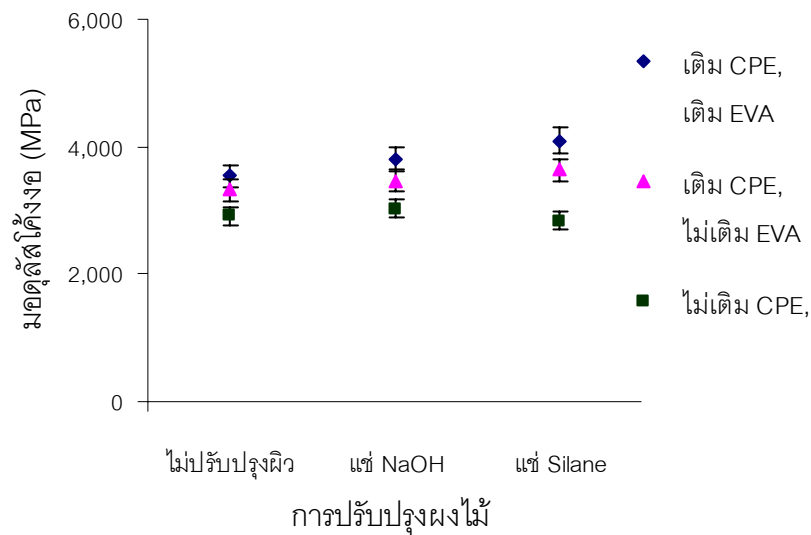
จากภาพที่ 4.9 ค่าความทนแรงกระแทก (Impact strength) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผิวไม้ ก่อนและหลังการปรับปรุงผิวไม้ด้วยวิธีการ แช่ NaOH และ แช่ Silane ที่ปริมาณสารปรับปรุง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผิวไม้โดยทั่วไปพบว่า การปรับปรุงผิวไม้ด้วยวิธีการแช่ NaOH ค่าความทนแรงกระแทก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สาเหตุที่ทำให้ค่าความทนแรงกระแทก ไม่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจนอาจเนื่องมาจากกระบวนการ ที่ทำให้เส้นใยเกิดการบวมและกำจัดเฮมิเซลลูโลส ออกจากเส้นใยผิวไม้ไม่สมบูรณ์ ถ้ากระบวนการดังกล่าวนี้เกิดสมบูรณ์จะมีผลทำให้บริเวณไฟบริล มีความหนาแน่นและความแข็งแรงลดลง เมื่อเส้นใยถูกดึงยืด จึงมีผลทำให้ไฟบริลจัดเรียงตัวตาม ทิศทางแรงดึงได้มากขึ้น การจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบของไฟบริลมีผลทำให้เส้นใยสามารถรับแรง ได้มากขึ้นนอกจากนี้การปรับปรุงผิวด้วย NaOH ยังมีส่วนทำให้มุมการบิดเกลียวมีมุมลดลงส่งผล ทำให้การส่งผ่านแรงเกิดได้ง่ายขึ้น เส้นใยมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น (Bledzki and Gassan, 1999) และการปรับปรุงผิวไม้ด้วยวิธีการแช่ Silane ค่าความทนแรงกระแทก ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เล็กน้อยเช่นกัน อาจเนื่องมาจาก จำนวนหมู่ Methoxy มีน้อย ส่งผลให้มีการเชื่อมโยงกันด้วย พันธะทางเคมีระหว่างเฟสมีปริมาณน้อย และโอกาสที่สารปรับปรุง ส่วนเกินเกิดเป็นพอลิไซ ลอคเซน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ มีโอกาสน้อย ส่งผลทำให้โอกาสการพันกัน (Entanglement) ของ พอลิไซลอคเซนกับพีวีซีเมทริกซ์มีน้อย (Chiang, และ Hu, 1999) ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้ค่า ความทนแรงกระแทกมีแนวโน้มไม่ชัดเจนมากนัก ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10

ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผิวไม้ ก่อนและหลัง

การปรับปรุงผงไม้ด้วยวิธีต่างๆ (1% โดยน้ำหนักของผงไม้)

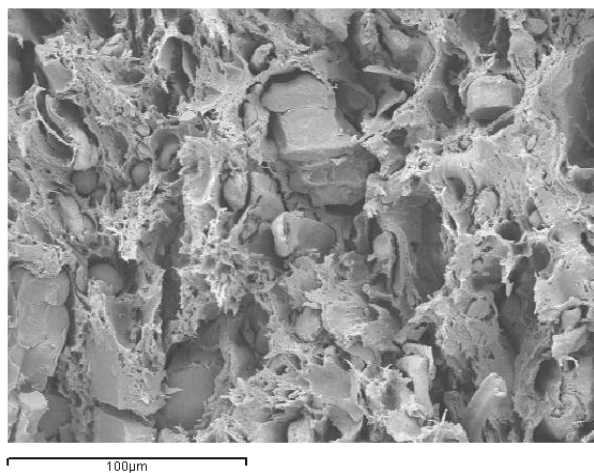


ภาพที่ 4.11

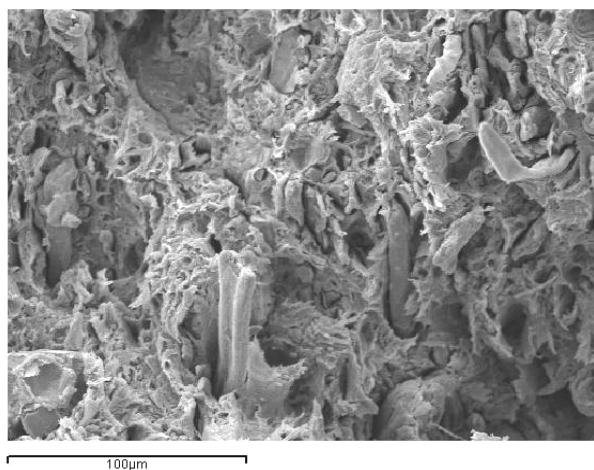
ค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ก่อนและหลัง

การปรับปรุงผงไม้ด้วยวิธีต่างๆ (1% โดยน้ำหนักของผงไม้)

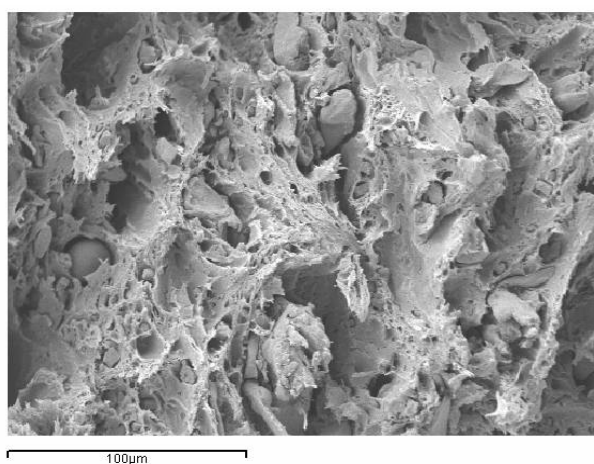
จากภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 ค่าการโค้งงอของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ก่อนและหลังการปรับปรุงผงไม้ด้วยวิธีการ แช่ NaOH และ แช่ Silane ที่ปริมาณสารปรับปรุง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้โดยทั่วไปพบว่า ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) มีค่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง สาเหตุที่ทำให้ค่าการโค้งงอของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ไม่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน มีสาเหตุในทำนองเดียวกันกับค่าความทนแรงกระแทก



(3a) ไม่ปรับปรุงผิว



(3b) ปรับปรุงผิวด้วย NaOH



(3c) ปรับปรุงผิวด้วย Silane

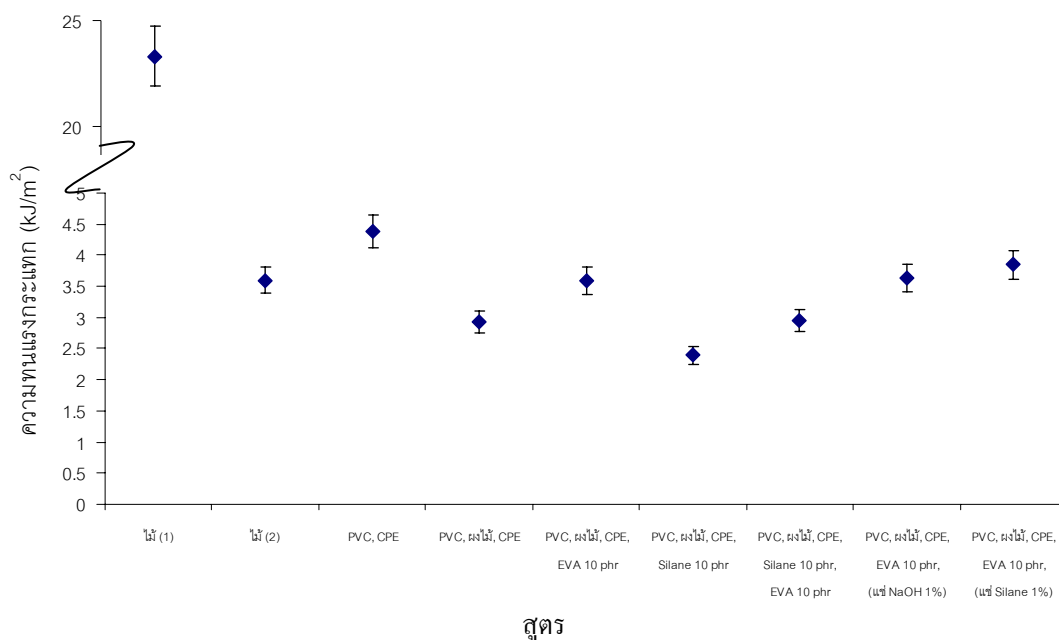
ภาพที่ 4.12

โครงสร้างจุลภาค สูตรที่เติม CPE ไม่เติม EVA ที่ผ่านการทดสอบสมบัติการโค้งงอ ณ ลังขยาย 500 เท่า

จากภาพที่ 4.12 โดยภาพที่ (3a) ไม่ปรับปรุงผิว (3b) ปรับปรุงผิวด้วย NaOH ที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ และ (3c) ปรับปรุงผิวด้วย Silane ที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ ณ กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าภาพที่ (3a), (3b) และ (3c) ภาพทั้งสามยังไม่สามารถอธิบายได้ชัดเจนถึงสมบัติเชิงกลที่ได้จาก การทดสอบสมบัติความทนแรงกระแทกและการทดสอบสมบัติการโค้งงอของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11

4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดกับไม้ยางพารา

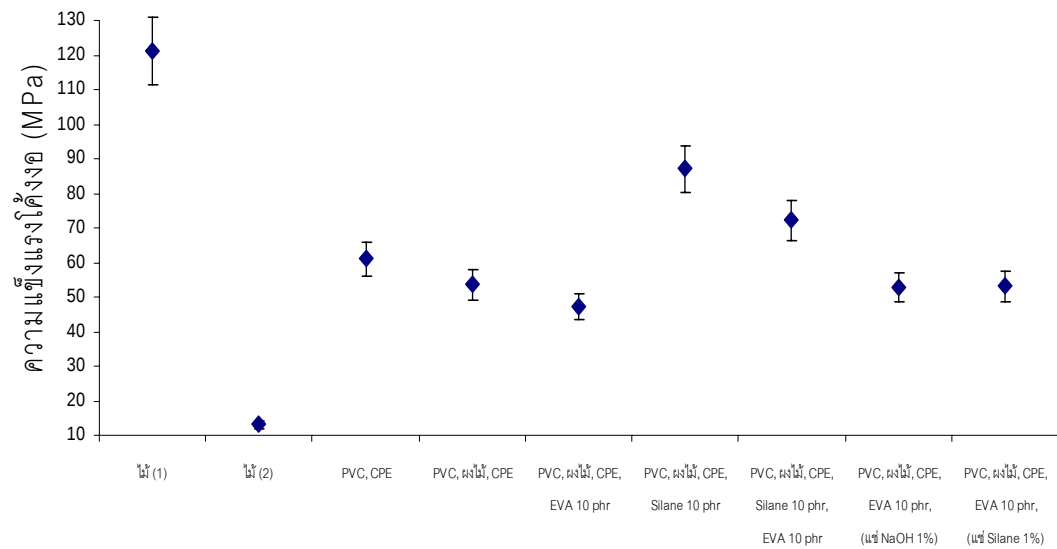
จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.1, 4.2, 4.3 และหัวข้อที่ 4.4 ได้เลือกสูตรของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดี มาทำการเปรียบเทียบกับไม้ (ไม้ (1) คือ ไม้ตามเส้นและไม้ (2) คือ ไม้ทางขวาง) โดยทำการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงกระแทก การโค้งงอและความแข็งแรงกด สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและความหนาแน่น สันฐานวิทยา ได้แก่ SEM รายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.13

ค่าความทนแรงกระแทก ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้

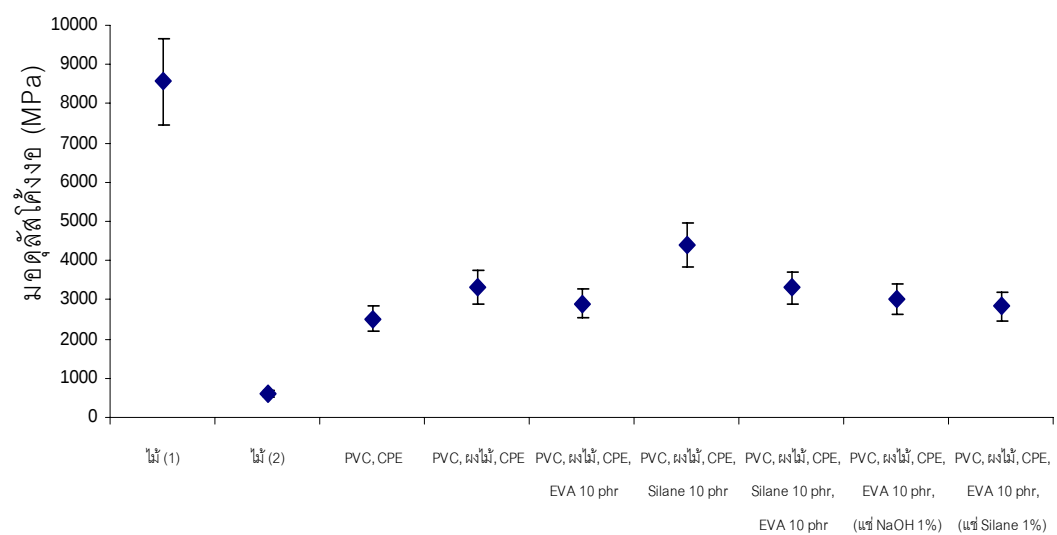
จากภาพที่ 4.13 ค่าความทนแรงกระแทก ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้ พบว่าไม้ทั้งสองแบบให้ค่าความทนแรงกระแทก (Impact strength) อยู่ในช่วงที่ต่างกันคือ ไม้แบบตามเส้นมีค่าความทนแรงกระแทก 23.31 kJ/m^2 และไม้ทางขวาง 0.6 kJ/m^2 ค่าที่แตกต่างกันมากอาจเนื่องมาจาก ทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยไม้ที่แตกต่างกัน ในส่วนของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ สูตรที่เติม PVC, CPE ให้ค่าความทนแรงกระแทก 4.38 kJ/m^2 เมื่อทำการเติมไม้ (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE) ให้ค่าความทนแรงกระแทก ลดลงเป็น 2.92 kJ/m^2 เนื่องมาจากผงไม้เป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ดังนั้น ผงไม้จึงสามารถดูดซับน้ำได้ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป และ ระหว่างการทดสอบ เนื่องจากความชื้น สามารถเข้าไปสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในผงไม้ได้ แทนที่การสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่าง สายโซ่ของเซลลูโลสด้วยกันเอง จึงมีผลทำให้ สมบัติเชิงกลของวัสดุผสม มีค่าลดลง (Matuana, Kamdem และ Zhang, 2001) เมื่อทำการเติม EVA 10 phr (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr) ให้ค่าความทนแรงกระแทก เพิ่มขึ้นเป็น 3.59 kJ/m^2 เนื่องมาจาก EVA มีความยืดหยุ่นตัวสูงเมื่อทำการเติมลงในวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ จึงทำ EVA เข้าไปแทรก กระจายตัวอยู่ในเฟสของพีวีซี ส่งผลให้วัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้เพิ่มความสามารถในการดูดซับแรงกระแทก (Energy absorption) ขึ้น (Folkes และ Hope, 1993) จึงทำให้ค่าความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น การเติม Silane ในสูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, Silane 10 phr และสูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr, Silane 10 phr) ให้ค่าความทนแรงกระแทกลดลงเป็น 2.40 kJ/m^2 และ 2.95 kJ/m^2 ตามลำดับ เนื่องมาจาก Silane มีผลต่อการเข้าไปยึดเกาะระหว่างเฟสของพีวีซีและผงไม้ไม่ดีจึงทำให้การส่งผ่านแรงระหว่างเฟสดังกล่าวเป็นไปได้ยากส่งผลให้ค่าความทนแรงกระแทกลดลง การปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย NaOH และ Silane ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ พบว่าค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุผสมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย NaOH ให้ค่าความทนแรงกระแทก 3.64 kJ/m^2 มีค่าต่ำกว่าการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane ซึ่งมีค่าความทนแรงกระแทก 3.85 kJ/m^2



สูตร

ภาพที่ 4.14

ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้

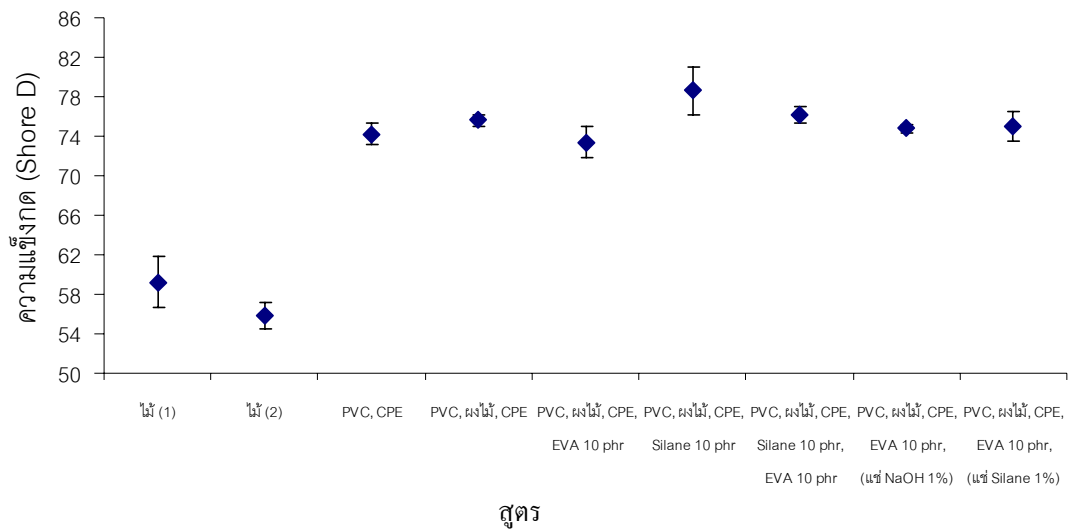


สูตร

ภาพที่ 4.15

ค่ามอดุลัสโค้งงอ ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้

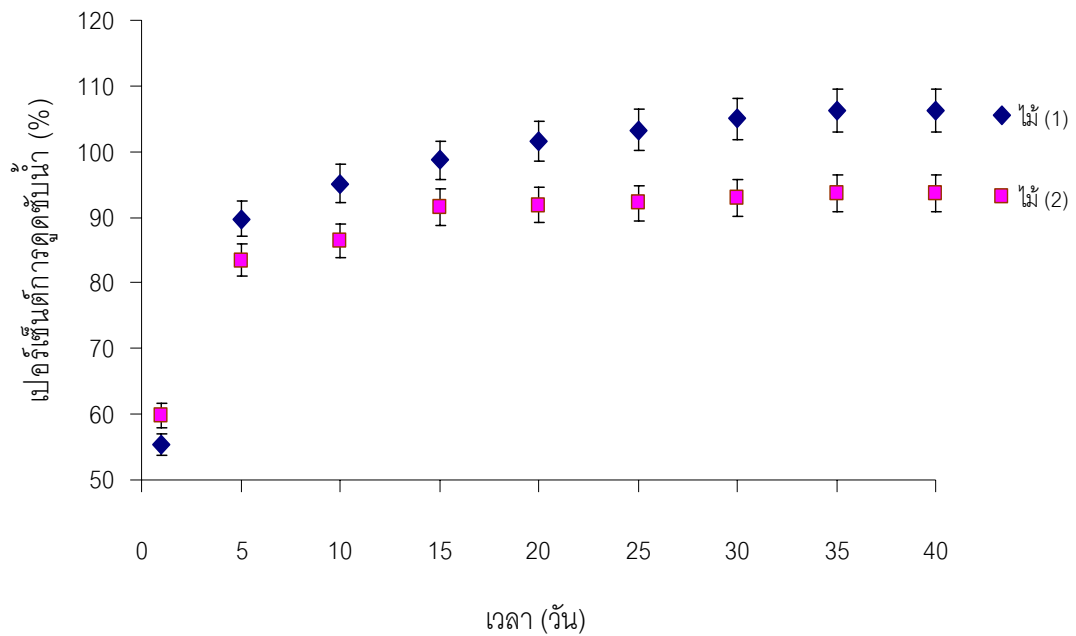
จากภาพที่ 4.14 และจากภาพที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้ พบว่าไม้ทั้งสองแบบให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) อยู่ในช่วงที่ต่างกันมาก คือ ไม้แบบตามเส้น มีค่าความแข็งแรงโค้งงอ 121.15 MPa ค่ามอดุลัสโค้งงอ 8557.37 MPa และไม้ทางขวาง 13.09 MPa ค่ามอดุลัสโค้งงอ 609.34 MPa ค่าที่แตกต่างกันมากอาจเนื่องมาจาก ทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยไม้ที่แตกต่างกัน ในส่วนของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ สูตรที่เติม PVC, CPE ให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ 61.11 MPa ค่ามอดุลัสโค้งงอ 2509.54 MPa เมื่อทำการเติมไม้ (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE) ให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอลดลงเป็น 53.55 MPa ค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มเป็น 3320.14 MPa เนื่องจากผงไม้เป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ดังนั้นผงไม้จึงสามารถดูดซับน้ำได้ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปและระหว่างการทดสอบ เนื่องจาก ความชื้น สามารถเข้าไปสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในผงไม้ได้ แทนที่การสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่าง สายโซ่ของเซลลูโลสด้วยกันเอง จึงมีผลทำให้ สมบัติเชิงกลของวัสดุผสม มีค่าลดลง (Matuana, Kamdem และ Zhang, 2001) นอกจากนี้ความชื้นยังมีผลทำให้พันธะระหว่างเฟส (Interfacial bonding) มีลดลงเนื่องจากความชื้นลดโอกาสที่ทั้งสองเฟสจะเกิดพันธะระหว่างเฟสในเชิงฟิสิกส์ (Physical bonding) ซึ่งก็คือ การพันกันให้มีลดลง ความชื้นทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็นสารหล่อลื่นระหว่างเฟสของพีวีซีและผงไม้ (Sombatsompop และ Sims, 1997) และความชื้นยังส่งผลทำให้ผงไม้มีความคงรูปลดลง ทำให้วัสดุผสมสามารถถูกดัดงอได้ง่ายขึ้น เมื่อทำการเติม EVA 10 phr (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr) ให้ค่าลดลง คือค่าความแข็งแรงโค้งงอ 47.35 MPa ค่ามอดุลัสโค้งงอ 2907.26 MPa เนื่องจาก EVA มีความยืดหยุ่นตัวสูงเมื่อทำการเติมลงในวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ทำให้วัสดุผสมสามารถถูกดัดงอได้ง่ายขึ้นจึงทำให้ค่าที่ได้ลดลง การเติม Silane ในสูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, Silane 10 phr ให้ค่าเพิ่มขึ้น คือค่าความแข็งแรงโค้งงอ 86.99 MPa ค่ามอดุลัสโค้งงอ 4386.23 MPa เนื่องจาก Silane มีผลต่อการเข้าไปยึดเกาะระหว่างเฟสของพีวีซีและผงไม้ จึงทำการดัดงอทำได้ยากขึ้น เมื่อทำการเติม EVA ลงไปเพิ่ม (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr, Silane 10 phr) ให้ค่าลดลง คือค่าความแข็งแรงโค้งงอ 72.25 MPa ค่ามอดุลัสโค้งงอ 3299.18 MPa สาเหตุที่ทำให้ค่าลดลงเป็นเพราะคุณสมบัติของ EVA ที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ส่วนการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย NaOH และ Silane ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ พบว่าค่าความแข็งแรงโค้งงอ ของวัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ค่ามอดุลัสโค้งงอมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับสูตร PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวผงไม้



ภาพที่ 4.16

ค่าความแข็งกต ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้

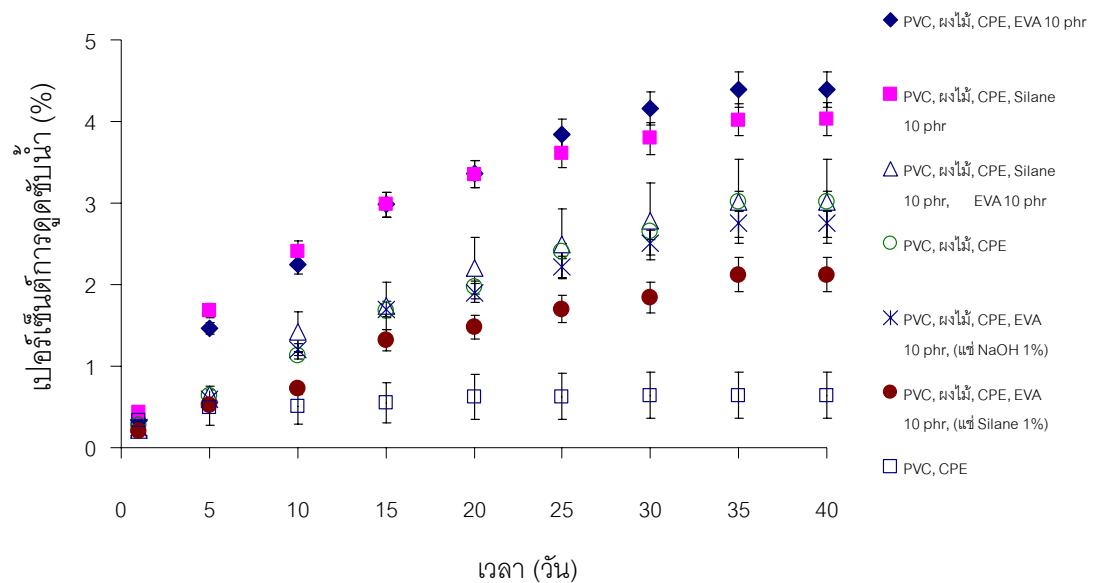
จากภาพที่ 4.16 ค่าความแข็งกต ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้ พบว่าไม้ทั้งสองแบบให้ค่าความแข็งกต (Hardness) อยู่ในช่วงเดียวกันคือ ไม้แบบตามเส้นมีค่าความแข็งกต 59.20 Shore D และไม้ทางขวาง 55.80 Shore D ในส่วนของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ สูตรที่เติม PVC, CPE ให้ค่าความแข็งกต 74.20 Shore D เมื่อทำการเติมไม้ (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE) ให้ค่าความแข็งกตเพิ่มขึ้นเป็น 75.60 Shore D เนื่องมาจากเส้นใยในผงไม้เป็นวัสดุที่มีความแข็งจึงช่วยรับแรงและกระจายแรงกตที่ส่งมาจากพีวีซีเมทริกซ์ (นพวรรณ อนันตธนวิชัย และคณะ, 2544 และ สมภพ เลิศลักษณ์ากุล, 2544) เมื่อทำการเติม EVA 10 phr (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr) ให้ค่าความแข็งกตลดลงเป็น 73.40 Shore D เนื่องมาจาก EVA มีความยืดหยุ่นตัวสูงเมื่อทำการเติมลงในวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้แล้วจึงทำให้วัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้มีความนิ่มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้รับแรงกตได้มากขึ้น จึงทำให้ค่าความแข็งกตมีค่าลดลงจากเดิม เมื่อทำการเติม Silane 10 phr (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, Silane 10 phr) ให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 78.60 Shore D เนื่องมาจาก Silane มีผลต่อการเข้าไปยึดเกาะระหว่างเฟสของพีวีซีและผงไม้ จึงทำให้การส่งผ่านแรงระหว่างเฟสดังกล่าวดีขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE เมื่อทำการเติม EVA 10 phr ลงไปเพิ่ม (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr, Silane 10 phr) ค่าความแข็งกตลดลงเป็น 76.20 Shore D ส่วนการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย NaOH และ Silane ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ พบว่าค่าความแข็งกตของวัสดุผสมมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตร PVC, ผงไม้, CPE, EVA 10 phr ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวผงไม้



ภาพที่ 4.17

ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของไม้

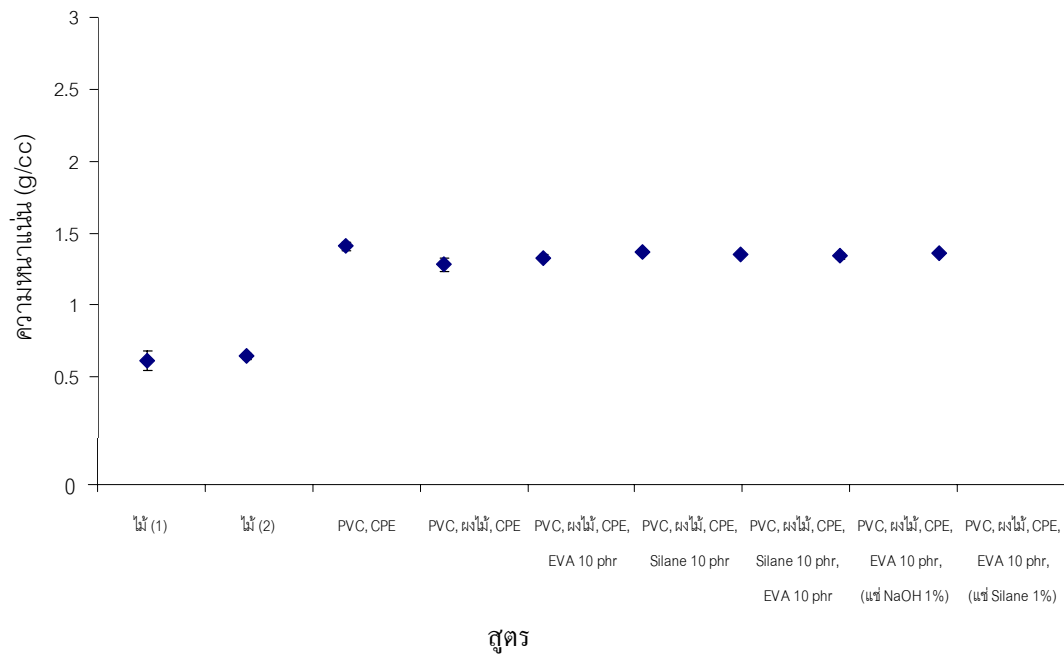
จากภาพที่ 4.17 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของไม้ พบว่าไม้ ทั้งไม้แบบตามเส้น และไม้ทางขวาง ให้ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%Water absorption) แตกต่างกันอย่างเล็กน้อย คือ ไม้ทางขวางในช่วง 1 วันแรกของการแช่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่สูงกว่าไม้แบบตามเส้น หลังจากการแช่ 5 วัน ไม้แบบตามเส้นให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่สูงกว่าไม้ทางขวางตลอดระยะเวลาการแช่ 40 วัน ซึ่งจะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของไม้ทั้งสองแบบมีแนวโน้มเริ่มคงที่เมื่อการแช่ที่ 30 วัน, 35 วัน และ 40 วัน การให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของไม้ที่แตกต่างกัน เป็นผลมาจากทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยไม้ที่แตกต่างกันทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำไม่เท่ากัน



ภาพที่ 4.18

ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ

จากภาพที่ 4.18 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ สูตร ที่ เติม PVC, CPE ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่ต่ำที่สุดและค่อนข้างคงที่ เมื่อทำ การเติม ไม้ในสูตรอื่นๆ จะพบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ทำให้ทราบได้ว่า ไม้เป็น วัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ทั้งนี้เพราะว่าการเติมผงไม้ที่มีองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) กับโมเลกุลของน้ำ นอกจากนี้ การเติมผงไม้ยังเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสการดูดซับน้ำ ส่งผลให้วัสดุผสมสามารถดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.19

ค่าความหนาแน่น ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้

จากภาพที่ 4.19 ค่าความหนาแน่นไม้แบบตามเส้นกับไม้แบบทางขวางมีความหนาแน่น 0.61 g/cc และ 0.64 g/cc ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก อาจเนื่องมาจากไม้แบบทางขวาง มีวงปีของไม้ยางพาราในช่วงที่กว้างและมากกว่าไม้แบบตามเส้น จึงทำให้มีความหนาแน่นที่มากกว่าไม้แบบตามเส้นเล็กน้อย ส่วนค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ พบว่า ค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกันมาก อาจเนื่องมาจากไม้แบบตามเส้นกับไม้แบบทางขวางมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.61 g/cc – 0.64 g/cc และสูตร PVC, CPE มีความหนาแน่น 1.41 g/cc ทำให้ค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ มีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกันมาก

4.6 การวิเคราะห์ต้นทุนของวัตถุดิบวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ และไม้ยางพารา

การวิเคราะห์ต้นทุนของวัตถุดิบวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ และไม้ยางพารา โดยคิดต้นทุนของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดี ซึ่งแสดงรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนของวัตถุดิบวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ในภาคผนวก จ ดังตารางที่ ๔.1 ถึงตารางที่ ๔.6 สามารถนำมาเปรียบเทียบราคาต้นทุนของวัตถุดิบวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ และไม้ยางพารา ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

เปรียบเทียบ วิเคราะห์ต้นทุนของวัตถุดิบวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ และไม้ยางพารา

สูตร	สมบัติเชิงกล			บาท/กก.
	Impact strength	Flexural strength	Flexural modulus	
PVC Scrap	2.92 ± 0.38	53.55 ± 2.21	3320.14 ± 212.67	24.98
PVC Scrap เติม EVA 10 phr	3.59 ± 0.29	47.35 ± 2.79	2907.15 ± 94.05	23.85
PVC Scrap เติม Silane 10 phr	2.40 ± 0.12	86.99 ± 1.84	4386.23 ± 189.40	176.11
PVC Scrap ที่ปรับปรุงผิวผงไม้ ด้วย NaOH 1% โดยน้ำหนักผงไม้	3.64 ± 0.22	52.93 ± 2.70	3031.27 ± 204.33	24.81
PVC Scrap ที่ปรับปรุงผิวผงไม้ ด้วย Silane 1% โดยน้ำหนักผงไม้	3.85 ± 0.30	53.07 ± 4.41	2839.98 ± 389.11	28.26
ไม้ตามเส้น	23.31 ± 10.47	121.15 ± 17.32	8557.37 ± 2640.55	30.00
ไม้ทางขวาง	0.60 ± 0.03	13.09 ± 0.55	609.34 ± 36.98	30.00