

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาวัดคุณสมบัติของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene: MDPE) และเส้นใยไม้ยางพาราชนิดเชื่อมความร้อนเชิงกล (Thermo-mechanical pulp: TMP) ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาไว้ดังนี้

4.1 การศึกษาผลของเกรด MDPE

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) ที่ใช้ในการทดลองมี 2 เกรด คือ EL-Lene[®] M3204 RWP และ EL-Lene[®] M3804 RWP ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันเล็กน้อย (แสดงดังตารางที่ 3.1) โดย EL-Lene[®] M3804 RWP มีความหนาแน่น และ โมดูลัสโค้งงอสูงกว่า แต่มีความแข็งแรงกระแทกต่ำกว่า EL-Lene[®] M3204 RWP หรือกล่าวได้ว่าเมื่อนำ MDPE ทั้ง 2 เกรดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จะพบว่า EL-Lene[®] M3804 RWP จะมีความแข็งแรงมากกว่าแต่จะเปราะกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก EL-Lene[®] M3204 RWP ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาถึงสมบัติต่างๆ ของ MDPE ทั้ง 2 เกรด เพื่อเลือกนำไปใช้ในการทำวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต โดยการนำเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP ปริมาณ 40 phr (part per hundred of polymer) ผสมกับ MDPE ทั้ง 2 เกรด และนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของ MDPE เกรด EL-Lene[®] M3204 RWP และ

EL-Lene[®] M3804 RWP

Properties	Unit	EL-Lene [®] M3204 RWP	EL-Lene [®] M3804 RWP
Tensile strength	MPa	16.80	22.09
Elongation @ break	%	21.73	25.08
Modulus	MPa	255.87	288.76
Impact	kJ/m ²	5.61	5.27
Hardness	shore D	51.7	55.9
Flexural stress	MPa	24.74	30.69
Flexural modulus	MPa	886.34	1030.58

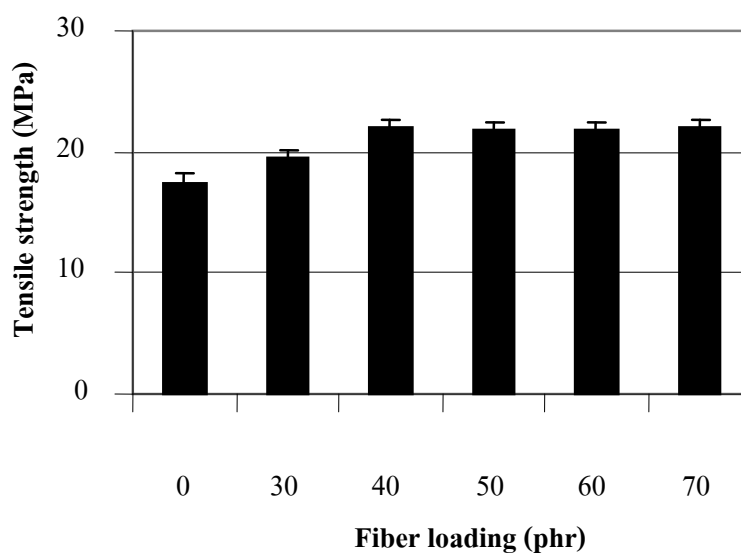
จากการทดลองพบว่า เมื่อผสมเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP กับ MDPE ทั้ง 2 เกรดแล้วจะทำให้สมบัติต่างๆลดลงจากเดิมทั้งหมด เนื่องจากเส้นใยไม้อย่างพารามีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซี (-OH) เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว แต่ MDPE มีโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งไม่มีขั้วจึงทำให้ความสามารถในการยึดระหว่างวัฏภาคระหว่างวัสดุทั้ง 2 ชนิดได้ไม่ดี กล่าวคือมีการยึดเกาะระหว่างวัฏภาค (Interfacial bonding) มีค่าต่ำ นอกจากนี้เส้นใยไม้อย่างพาราทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม (Fillers) ทำให้ความต่อเนื่องของพอลิเมอร์เมทริกซ์ (Matrix) ลดลงด้วย จึงเป็นผลทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆ ลดลง โดยเฉพาะความแข็งแรงที่จุดเสียดสภาพ เช่น เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทก

เมื่อพิจารณาสมบัติต่างๆ ระหว่าง MDPE ทั้ง 2 เกรด เมื่อผสมเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP ปริมาณ 40 phr พบว่า EL-Lene® M3804 RWP ให้สมบัติต่างๆสูงกว่า EL-Lene® M3204 RWP เช่น ความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ ส่วนค่าความแข็งแรงกระแทก ความแข็งกด และ เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ไม่แตกต่างกัน คาดว่าเนื่องจากเส้นใยที่ใช้เป็นชนิดและปริมาณเดียวกันดังนั้นสมบัติโดยรวมของวัสดุจึงขึ้นกับสมบัติของเมทริกซ์เป็นหลัก และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลของผลิตภัณฑ์ (Data sheet) พบว่า EL-Lene® M3804 RWP มีองค์ความเป็นผลึกมากกว่าส่งผลให้ความหนาแน่นมากกว่า เป็นสาเหตุให้วัสดุมีอัตราส่วนของผลึกซึ่งเป็นบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากกว่า ทำให้วัสดุมีความสามารถในการรับแรงได้มากกว่า จากการทดลองนี้ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไปในการทำวิจัยวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต เนื่องจากในการใช้งานไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตต้องการความแข็งแรงของวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ ซึ่ง EL-Lene® M3804 RWP มีค่าเหล่านี้สูงกว่า แม้ว่าค่าความแข็งแรงกระแทกจะต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ก็มีค่าที่สูง สำหรับงานวิจัยนี้คาดว่าจะใช้งานวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในรูปแบบ ไม้พื้น (Decking) ไม้กระดาน ไม้กรอบหน้าต่างหรือเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ซึ่งต้องการสมบัติเชิงกลด้านการต้านการโค้งงอมากกว่าความแข็งแรงกระแทก

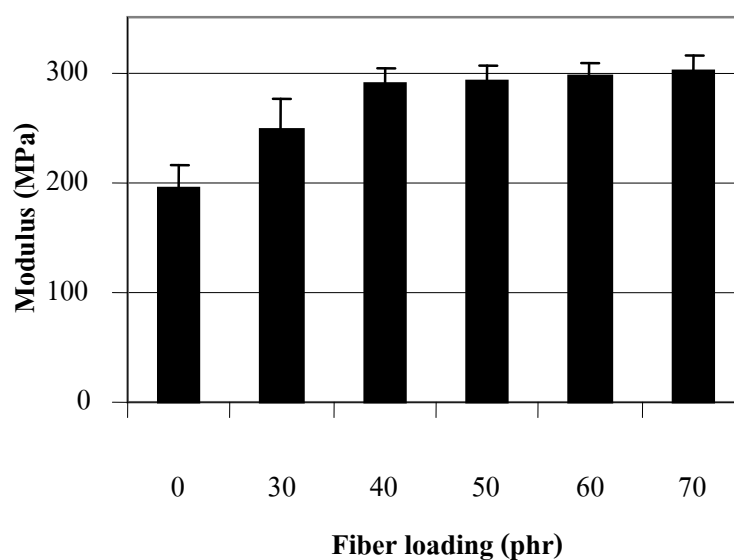
4.2 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา

ต่อไปเป็นการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP ที่เหมาะสมที่สามารถเติมเข้าไปใน MDPE เกรด EL-Lene[®] M3804 RWP โดยศึกษาปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราที่ 30 40 50 60 และ 70 phr ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่ ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด โมดูลัส ความแข็งแรงกระแทก ความแข็งกด ความแข็งแรงโค้งงอ และ โมดูลัสโค้งงอ โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.7

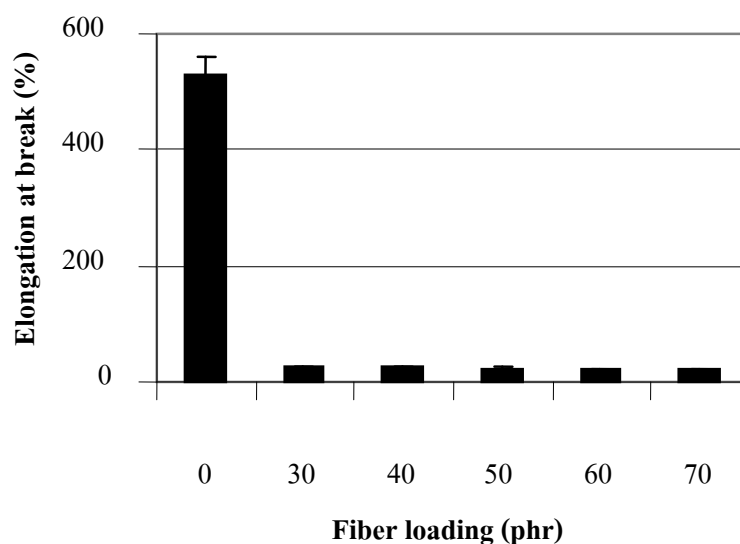
เมื่อพิจารณาสมบัติความแข็งแรงดึงและโมดูลัสกับปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP (รูปที่ 4.1-4.2) พบว่า ปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและโมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากหลักฐานวิทยาพบว่าเส้นใยมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างสูง (Aspect ratio: L/d) จึงคาดว่าเส้นใยชนิดนี้จะเป็นเส้นใยที่สามารถช่วยในการเสริมแรง จากกราฟพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึงและโมดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยเฉพาะที่ 0 – 40 phr อย่างไรก็ตามเมื่อเส้นใยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงและโมดูลัสมีแนวโน้มคงที่ คาดว่าเนื่องจากเส้นใยมีความหนาแน่นรวมต่ำ ดังนั้นการใส่เส้นใยไม้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดความยากในการผสม เนื่องจากในงานวิจัยใช้เครื่องผสมในห้องปฏิบัติการซึ่งมีแรงเฉือนที่ต่ำทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่ดี เกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใย ซึ่งจะเป็จุดริเริ่มของการเสียสภาพ ส่งผลให้เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงและโมดูลัสจึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก



รูปที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณต่างๆ

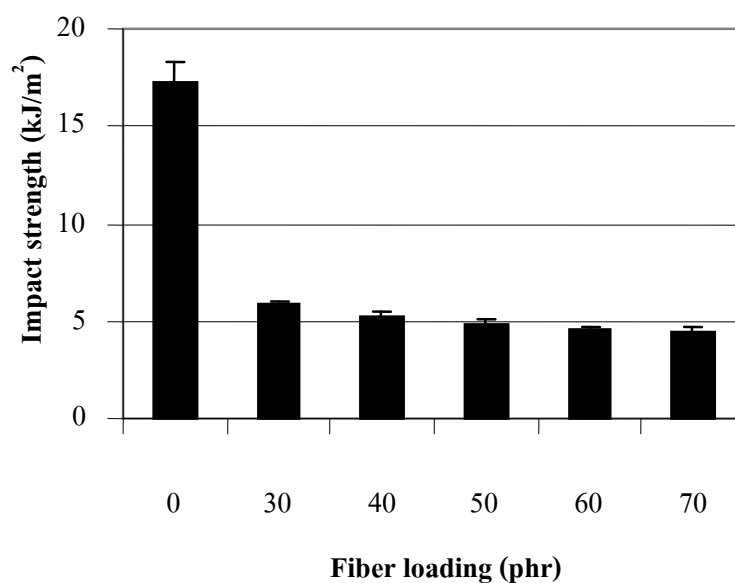


รูปที่ 4.2 ค่ามอดุลัสของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณต่างๆ

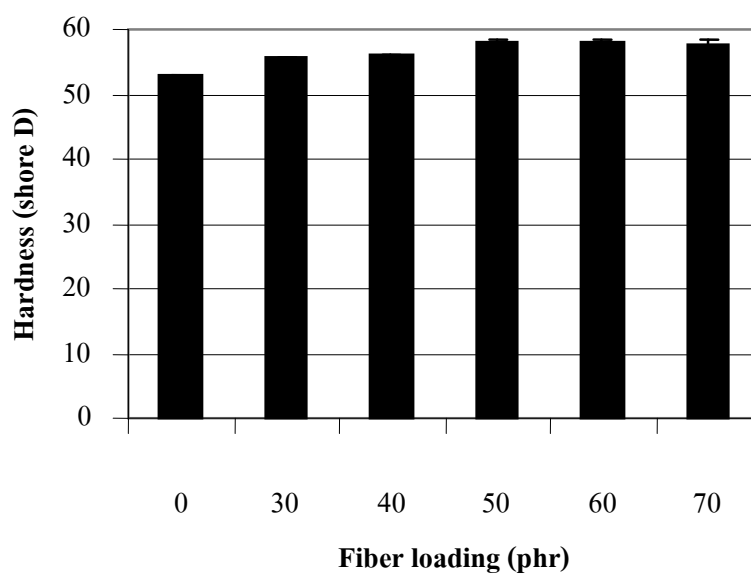


รูปที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ MDPE เกรด EL-Lene[®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ

MDPE เป็นพอลิเมอร์ที่เหนียวเมื่อทำการดึงยืดจะทำให้เกิดคอคอด (Neck) ขึ้น โดยความยาวของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการขาดออกจากกัน (Fracture) ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ของ MDPE ที่ไม่ใส่เส้นใยไม้ยางพารามีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้ยางพารา และพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยไม้ยางพารามากขึ้น พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีค่าลดลง (รูปที่ 4.3) เนื่องจากเส้นใยเป็นส่วนที่มีความแข็งและเปลี่ยนรูปร่างยากกว่าพอลิเมอร์ เส้นใยจะแทรกตัวในเนื้อพอลิเมอร์ทำให้ความต่อเนื่องของพอลิเมอร์ลดลง นอกจากนี้ความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ทำให้เกิดจุดบกพร่องบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิว (Interface) ของเส้นใยและพอลิเมอร์ ซึ่งจุดบกพร่องนี้จะเป็นจุดริเริ่มการขาดหรือแยกออกจากกันเมื่อได้รับแรงดึงยืด ทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลง



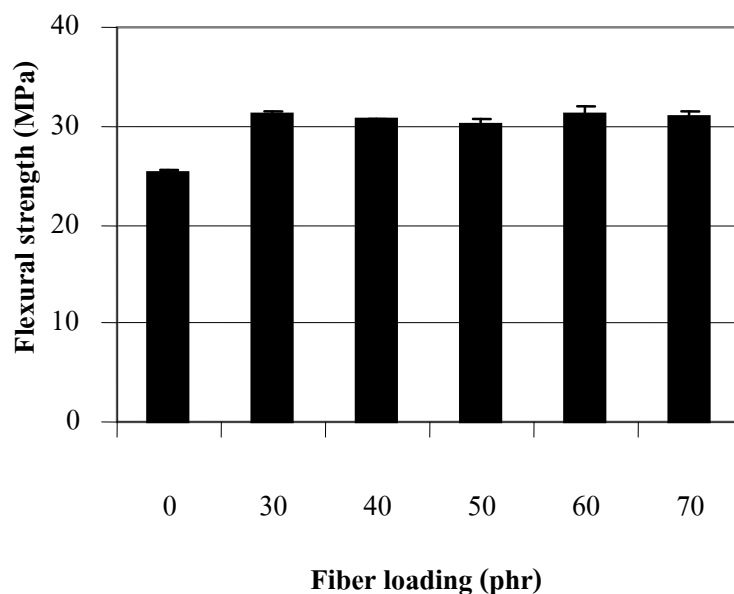
รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ



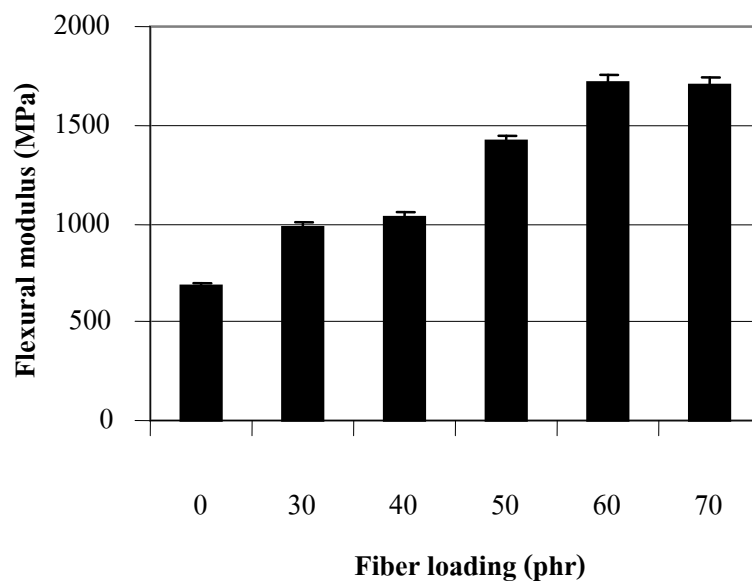
รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งกดของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ

ค่าความแข็งแรงกระแทกเมื่อปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 4.4) พบว่ามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเส้นใยและพอลิเมอร์มีความสามารถเข้ากันได้ไม่ดี เมื่อผสมกันแล้วจะเกิดรอยต่อระหว่างผิวของเส้นใยและพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน และเมื่อปริมาณเส้นใย

มากขึ้นจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจะมากขึ้นด้วยจึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงกระแทกลดลง ส่วนค่าความแข็งแรงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา (รูปที่ 4.5) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการวัดค่าความแข็งแรงเป็นการให้แรงกดบนผิวของวัสดุให้ยุบตัว (Indentation) แต่ไม่ทะลุ ดังนั้นปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงมากนัก



รูปที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ



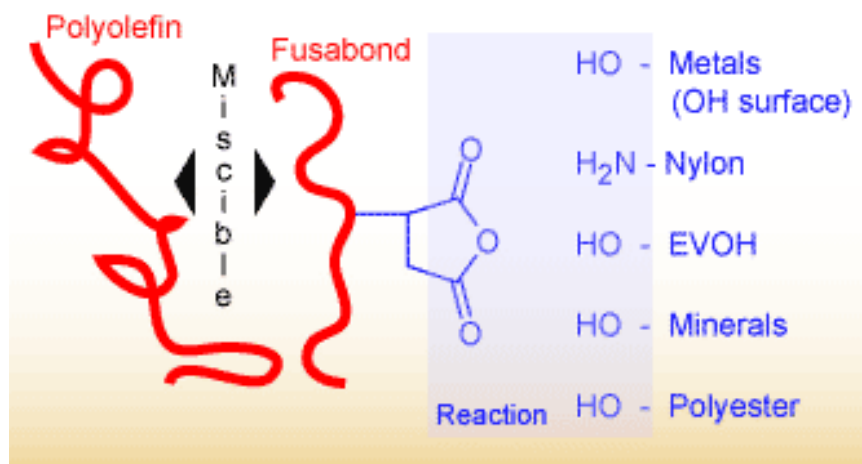
รูปที่ 4.7 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ

ค่าความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดุลัสโค้งงอเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยยางพารา (รูปที่ 4.6-4.7) พบว่าค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยไม้ยางพาราที่เติมลงไปทำหน้าที่เสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิต และแรงกดที่ทำให้ตั้งฉากกับการจัดเรียงตัวของเส้นใยทำให้เส้นใยสามารถรับและกระจายแรงที่มากระทำได้ ทำให้วัสดุคอมโพสิตรับแรงกดได้มาก และมอดุลัสโค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุคอมโพสิต

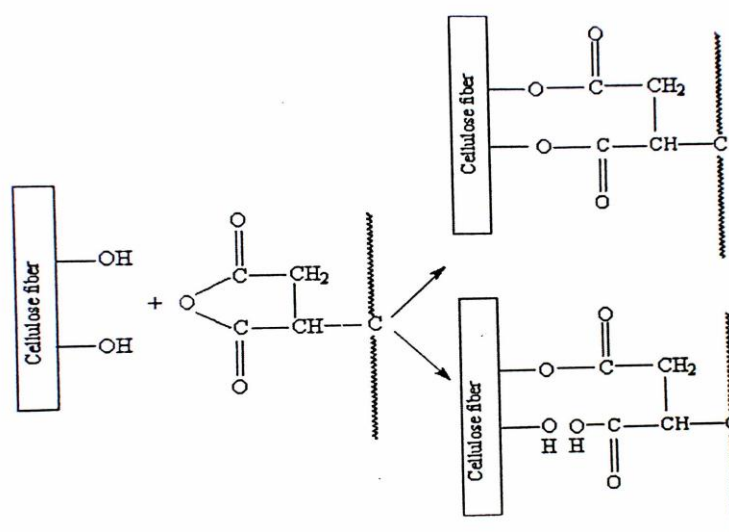
จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตเมื่อทำการเติมเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP ในปริมาณ 30 40 50 60 และ 70 phr พบว่า เส้นใยไม้ยางพาราสามารถเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิตได้โดยส่งผลต่อสมบัติบางอย่างให้มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ MDPE ที่ไม่ได้ใส่เส้นใย เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอ และส่งผลให้สมบัติบางอย่างลดลง เช่น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงกระแทก เมื่อพิจารณาปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราเพื่อใช้ในการทำการวิจัยในขั้นต่อไป พบว่าปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา 40 phr เหมาะสมที่จะนำไปใช้ เนื่องจากให้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น และการใส่เส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณมากจะมีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อย ยากต่อการผสมให้เกิดความเข้ากันระหว่าง MDPE กับเส้นใย อาจทำให้เส้นใยเกิดการเปื่อยได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลให้ลดลง

4.3 การศึกษาปริมาณของสารช่วยผสม มาเลอิกแอนไฮไดรยกราฟท์พอลิเอทิลีน

พอลิเมอร์ที่ในงานวิจัยนี้เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วเมื่อนำมาผสมกับเส้นใยซึ่งเป็นวัสดุที่มีขั้วทำให้เกิดการผสมเข้ากันได้ไม่ดี ระหว่างวัสดุทั้งสอง แต่สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการเติมสารที่เพิ่มสมบัติการเข้ากันได้คือสารช่วยผสม (Compatibilizer) ลงไป ซึ่งสารช่วยผสมจะช่วยให้เกิดการยึดติดระหว่างกันดีขึ้น โดยสารช่วยผสมจะมีปลายด้านหนึ่งเป็นส่วนที่มีขั้ว สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ของเส้นใยไม้ได้ และมีส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันกับเมทริกซ์ที่ใช้ ทำให้สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ซึ่งลักษณะและกลไกของสารช่วยผสมที่ทำให้เกิดการยึดเกาะกันของเส้นใยและพอลิเมอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.8 – 4.9



รูปที่ 4.8 ส่วนต่างๆ ของสารช่วยผสมที่ช่วยให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่าง พอลิเมอร์และเส้นใย [54]

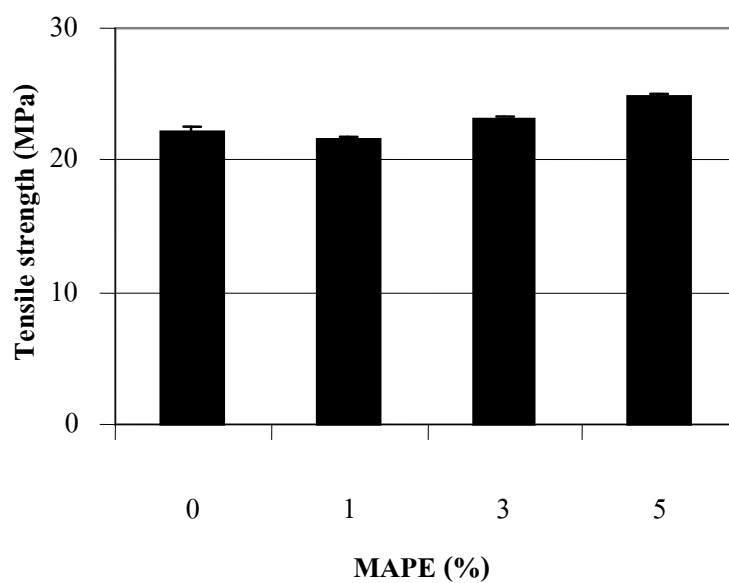


รูปที่ 4.9 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชัน ระหว่าง หมู่ไฮดรอกซี (-OH) ของ เส้นใยไม้ กับหมู่ แอนด์ไฮดราย (C₄H₃O₃) ของสารช่วยผสม MAPE [54]

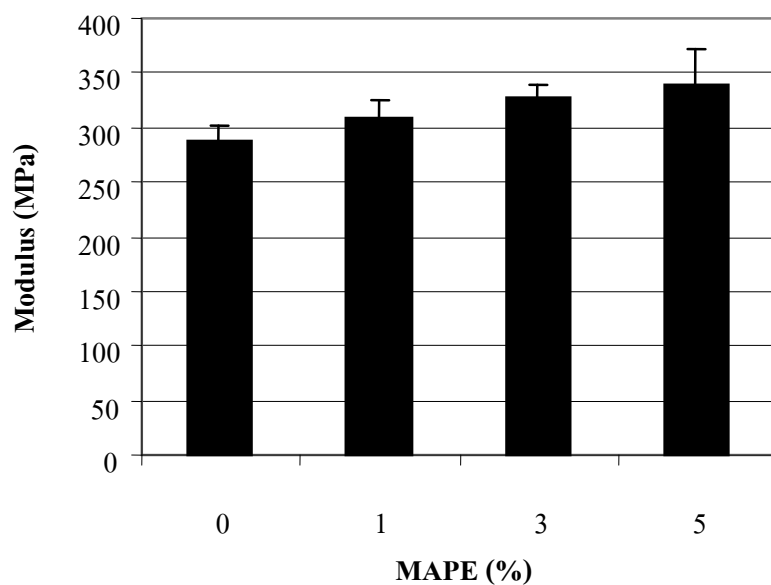
ในการทดลองนี้จะใช้ มาเลอิกแอนด์ไฮดรายกราฟท์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride graft polyethylene: MAPE) เกรด Fusabond[®] MB 226D เป็นสารช่วยผสม โดยศึกษาที่ปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และทำการเปรียบเทียบกับวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ได้ผสมสารช่วยผสม โดยศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 – 4.16 พบว่า เมื่อใส่สารช่วยผสม MAPE สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง มอดุลัสความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจาก สารช่วยผสมสามารถช่วยให้เส้นใยและพอลิเมอร์เข้ากันได้ดีขึ้น มีความต่อเนื่องมากขึ้น และลดช่องว่างระหว่างพื้นผิวของเส้นใยและเมทริกซ์ ได้ ดังนั้นจึงทำให้สมบัติดังกล่าวเพิ่มขึ้น และพบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่า

มอดูลัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ MAPE เพิ่มขึ้น เนื่องจาก MAPE ที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสของ หมู่ฟังก์ชันที่จะทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เกิดการยึดเกาะกันมากขึ้น พื้นที่ว่างระหว่างพื้นผิวลดลง จึงทำให้สามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาด และค่าความแข็งแรงกระแทกของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารช่วยผสม MAPE พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสาร MAPE ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาด และค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก MAPE เป็นสารช่วยให้เส้นใยพาราและ MDPE สามารถยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง วัสดุมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จึงทำให้การยึดลดลง แต่จะแตกหักง่ายขึ้นเมื่อได้รับแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงกดของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม ค่าความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดูลัสโค้งงอ เมื่อทำการเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับเหตุผลข้างต้น ในงานวิจัยนี้ความแข็งแรงโค้งงอและมอดูลัสโค้งงอจะมีความสำคัญต่อการนำไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตไปใช้งาน เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถรับแรงได้ในระดับหนึ่งโดยไม่เกิดการแตกหัก

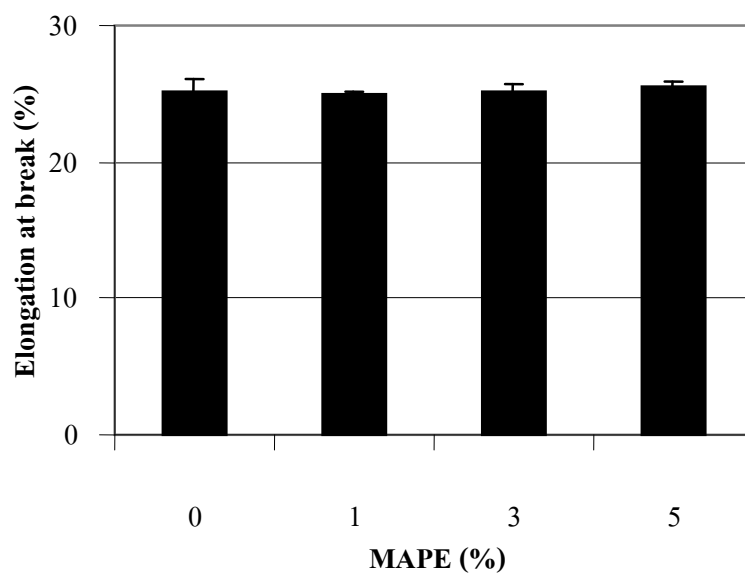
จากการศึกษาปริมาณสารช่วยผสม MAPE ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวิจัยขั้นต่อไปพบว่า MAPE ที่ปริมาณ 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยพารา เหมาะสมที่จะเลือกใช้ในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากสารช่วยผสมเป็นสารที่ช่วยให้เส้นใยพาราและ MDPE สามารถเข้ากันได้ดีขึ้นทำให้สมบัติของวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตดีขึ้น [28] [30] [31] [33] และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณทั้ง 3 แล้วพบว่า สมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ MAPE จาก 1% เป็น 3% มากกว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ MAPE จากปริมาณ 3% เป็น 5% หรือกล่าวได้ว่า สารช่วยผสมควรใส่ในปริมาณที่เหมาะสมถ้าใส่ในปริมาณที่มากเกินไปก็ไม่ได้ช่วยเพิ่มสมบัติให้ดีขึ้นมากนัก และจะเป็นการเพิ่มต้นทุนวัตถุดิบอีกด้วย



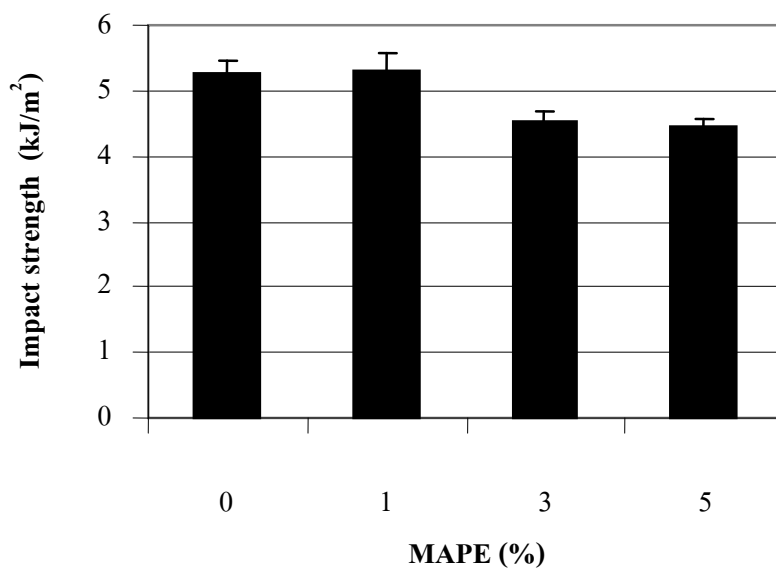
รูปที่ 4.10 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



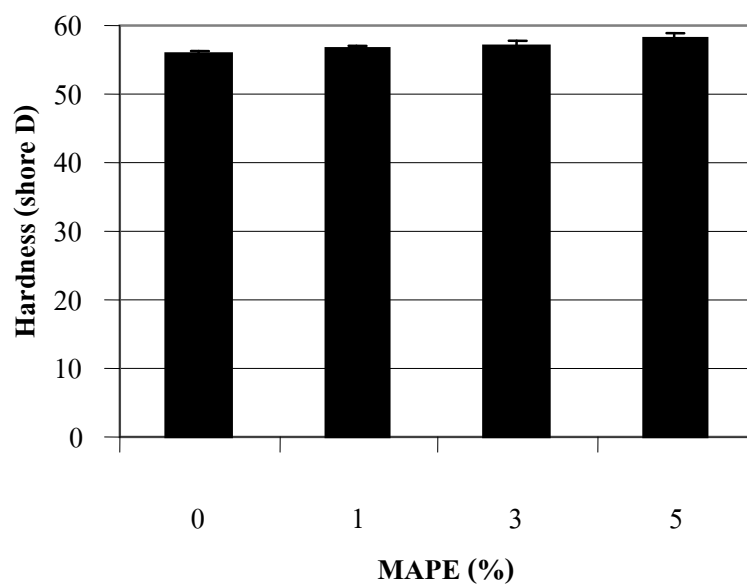
รูปที่ 4.11 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



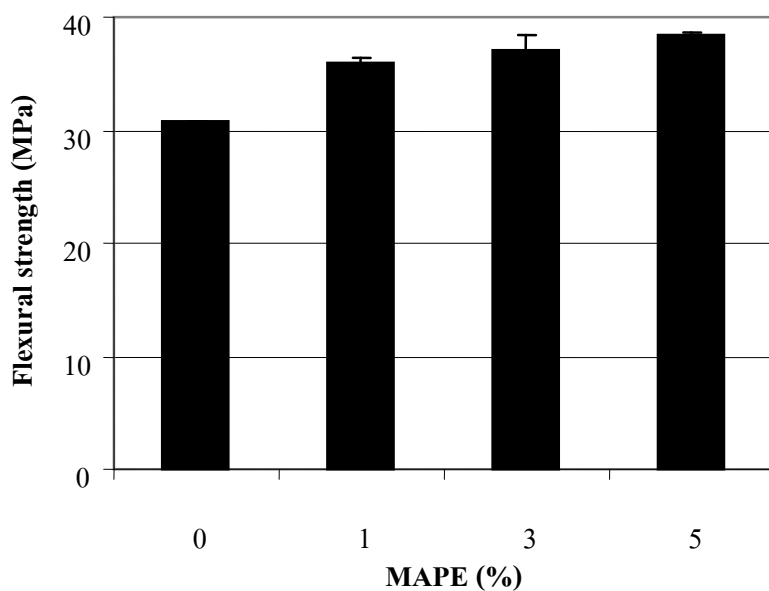
รูปที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของMDPEที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



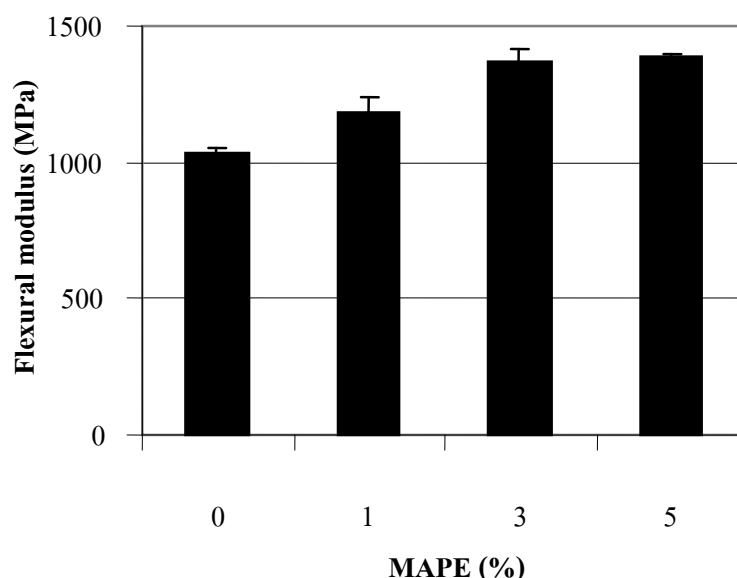
รูปที่ 4.13 ค่าความแข็งแรงกระแทกของMDPEที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



รูปที่ 4.14 ค่าความแข็งกดของMDPEที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



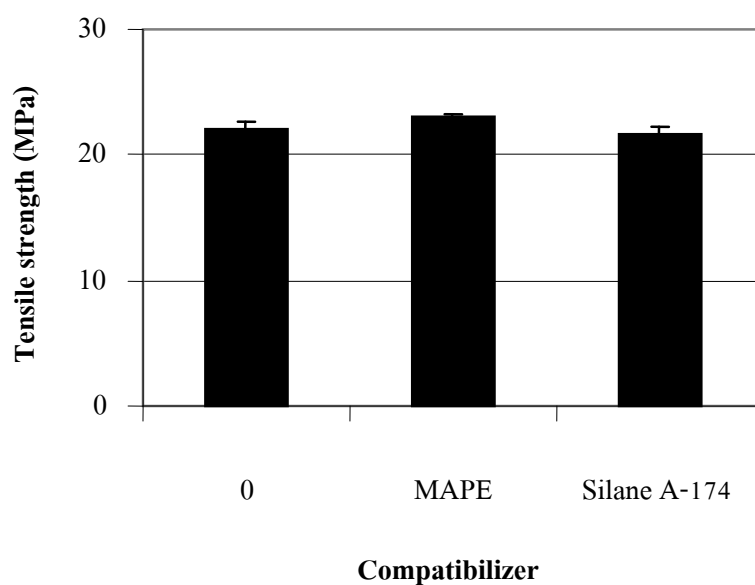
รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



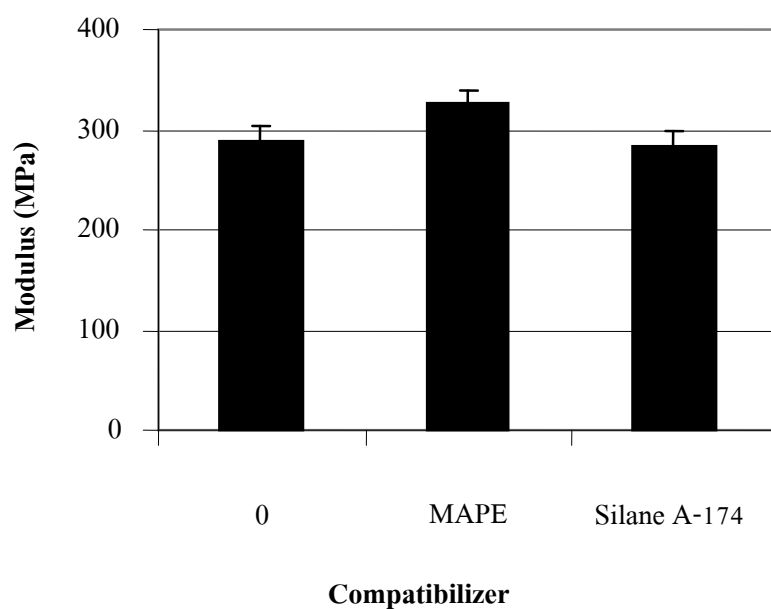
รูปที่ 4.16 ค่ามอดุลัสโค้งงอของMDPEที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr

4.4 การศึกษาชนิดของสารช่วยผสม

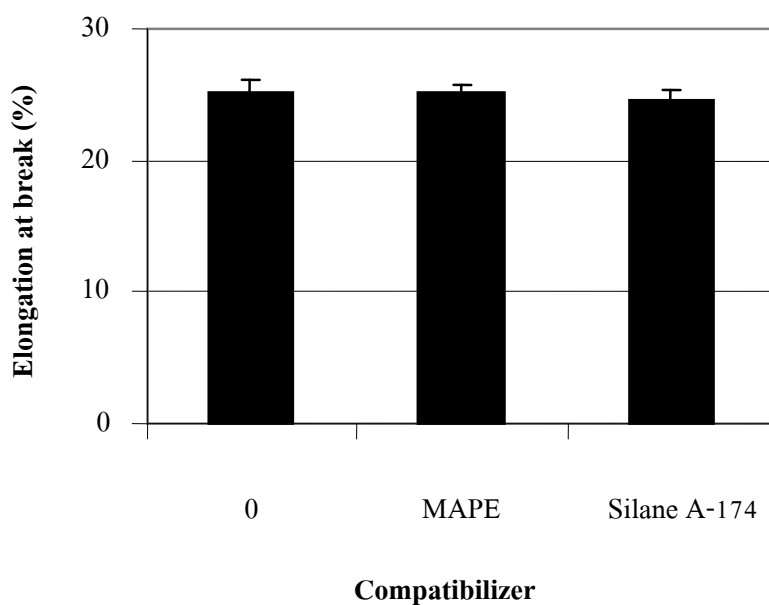
สารช่วยผสมที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับพอลิเมอร์และสารที่ต้องการผสมเข้าไปในพอลิเมอร์ ถ้าเลือกใช้ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง และไม่ช่วยให้เกิดการผสมเข้ากันได้อย่างที่ต้องการ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าสารช่วยผสมที่เป็น มาเลอิกแอนด์ไฮดรอกซี กราฟท์พอลิเอทิลีน (MAPE) เกรด Fusabond[®] MB226D และ Silane coupling agent เกรด Silquest[®] A-174 silane โดยการทดลองนี้จะใช้ปริมาณสารช่วยผสมที่ 3% ของน้ำหนักเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และศึกษาเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ เพื่อเลือกสารช่วยผสมที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งผลการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 4.17 – 4.23 จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบชนิดของสารช่วยผสมระหว่าง MAPE และ silane ที่ปริมาณ 3% ของน้ำหนักเส้นใยไม้อย่างพารา พบว่าสมบัติเชิงกลโดยรวมของ MAPE ให้ค่าสูงกว่า silane เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ นอกจากนั้นกระบวนการเตรียมสารช่วยผสมเพื่อใช้ในการงานวิจัยของ MAPE ยังสะดวกและประหยัดเวลาในการเตรียมมากกว่า silane เนื่องจาก MAPE มีลักษณะเป็นเม็ดสามารถผสมรวมในขั้นตอนการผสมได้เลย แต่ silane มีลักษณะเป็นของเหลวจึงต้องเตรียมด้วยวิธีการเตรียมในบทที่ 3 ซึ่งทำได้ยากและใช้เวลานาน ดังนั้นในการศึกษาชนิดของสารช่วยผสมที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการงานวิจัยในขั้นตอนต่อไปคือ MAPE



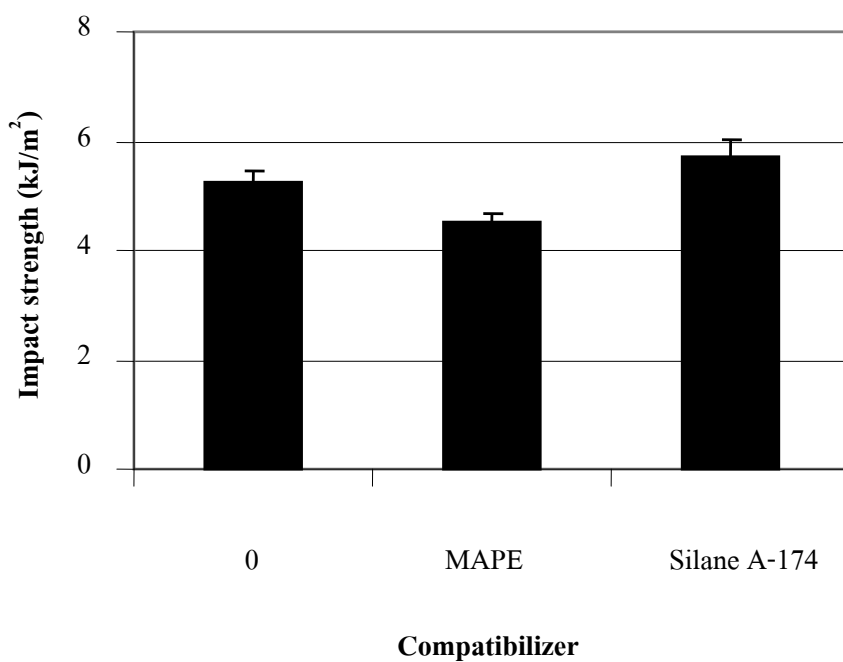
รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไผ่อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



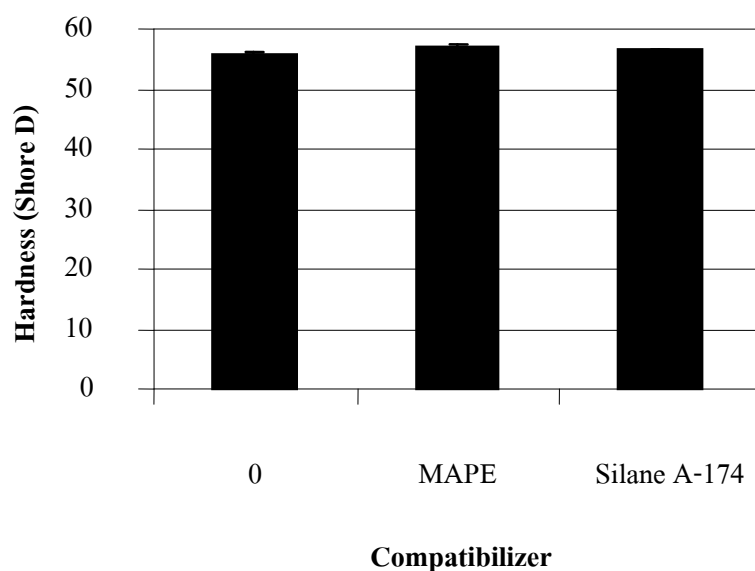
รูปที่ 4.18 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไผ่อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



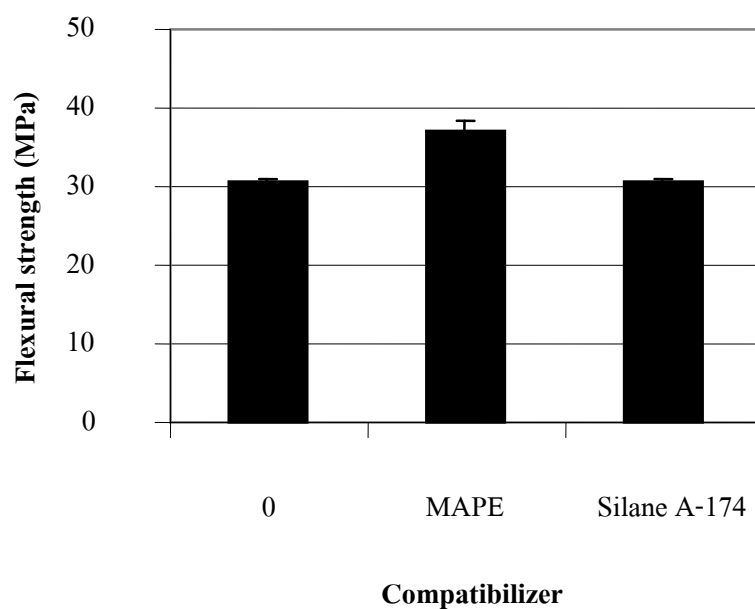
รูปที่ 4.19 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



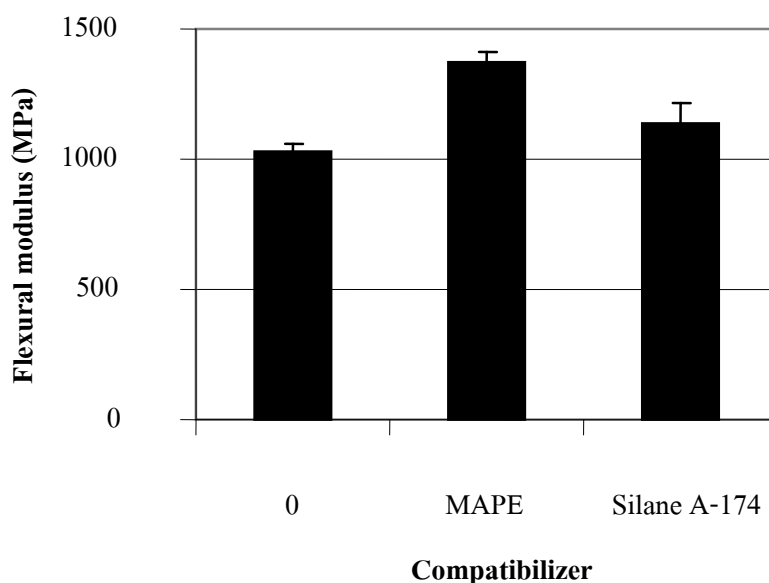
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



รูปที่ 4.21 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



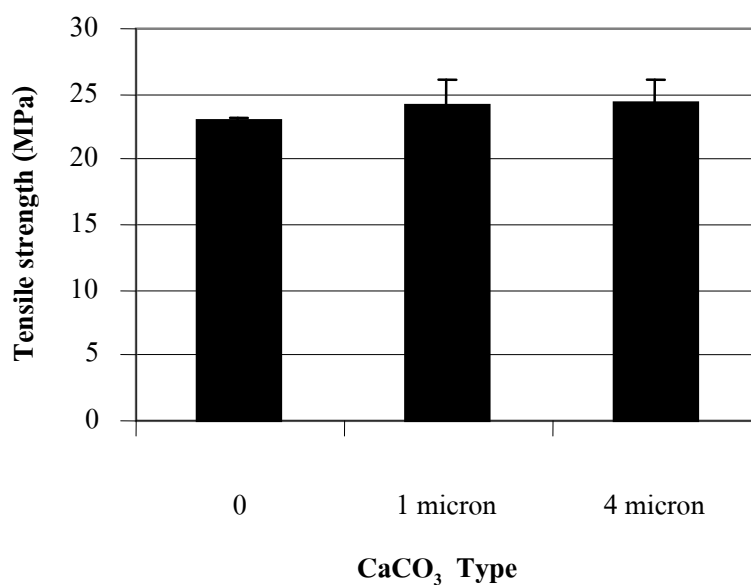
รูปที่ 4.22 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



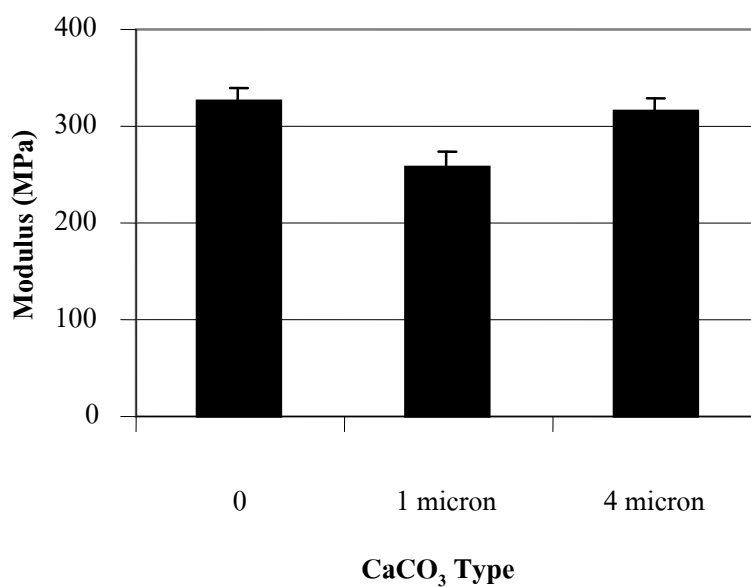
รูปที่ 4.23 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr

4.5 การศึกษาชนิดของสารตัวเติม แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

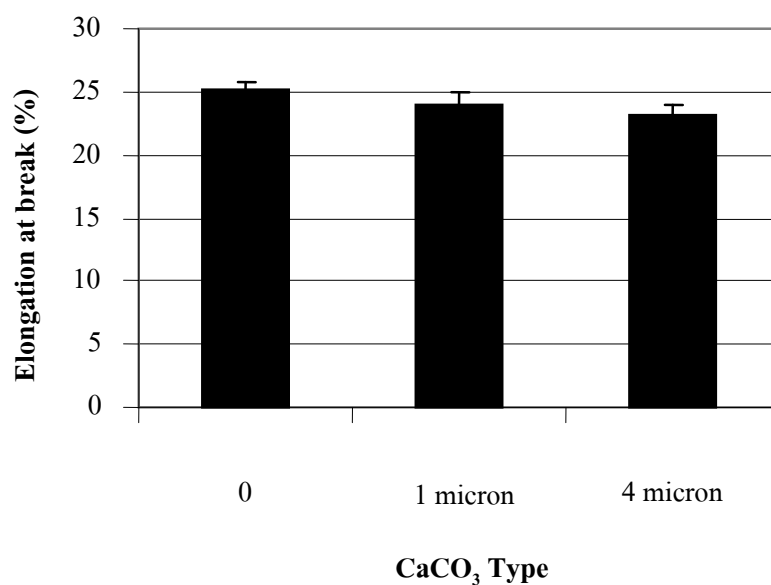
CaCO_3 จัดเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) นิยมนำมาใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า CaCO_3 ที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเคลือบสารช่วยกระจายตัวคือ กรดสเตียริก ปริมาณ 1 % จะทำให้เกิดการกระจายตัวในพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้ดี และลดการจับกันเป็นกลุ่มก้อน ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ CaCO_3 จากบริษัท ควอลิตี้ มีเนอรัล จำกัด (มหาชน) โดยมี 2 เกรดคือ เกรดขนาดอนุภาค 1 ไมครอน และขนาดอนุภาค 4 ไมครอน ซึ่งทั้ง 2 เกรดนี้ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วย กรดสเตียริก 1 % ดังนั้นงานวิจัยส่วนนี้จะทำการศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาคที่เหมาะสม โดยศึกษาที่ปริมาณ 20 phr ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ ดังรูปที่ 4.24 – 4.30 พบว่า CaCO_3 เพิ่มความแข็ง ความต้านทานการเสียวรูป และ น้ำหนักให้แก่งาน จากการศึกษสมบัติเชิงกลพบว่าสมบัติส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน และพบว่า CaCO_3 เกรดขนาดอนุภาค 4 ไมครอน มีแนวโน้มให้ค่าสมบัติต่างๆ สูงกว่า อาจเนื่องจากความสามารถในการกระจายตัวที่ดีกว่าเกรดขนาดอนุภาค 1 ไมครอน ซึ่งมีโอกาสเกิดการจับรวมเป็นกลุ่มก้อนได้มากกว่า เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่า ดังนั้น CaCO_3 ขนาดอนุภาค 4 ไมครอนจึงเหมาะสมที่จะใช้ในงานวิจัยต่อไป



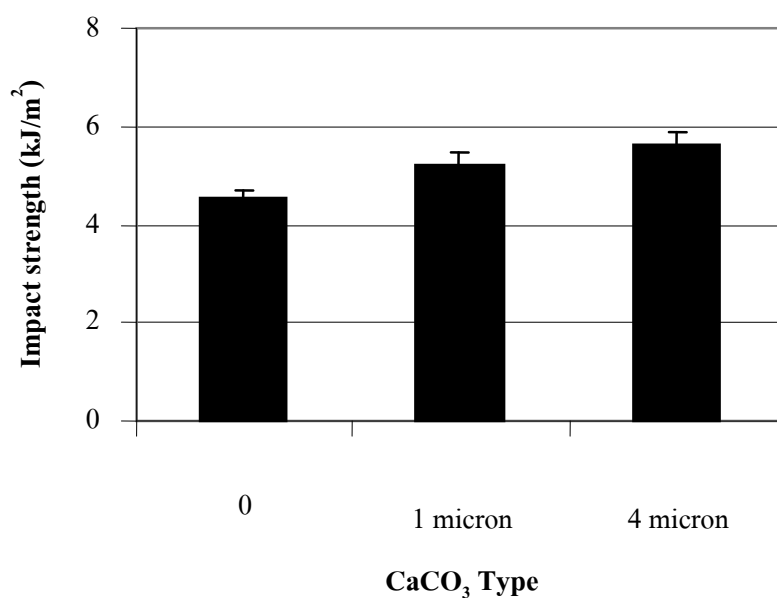
รูปที่ 4.24 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



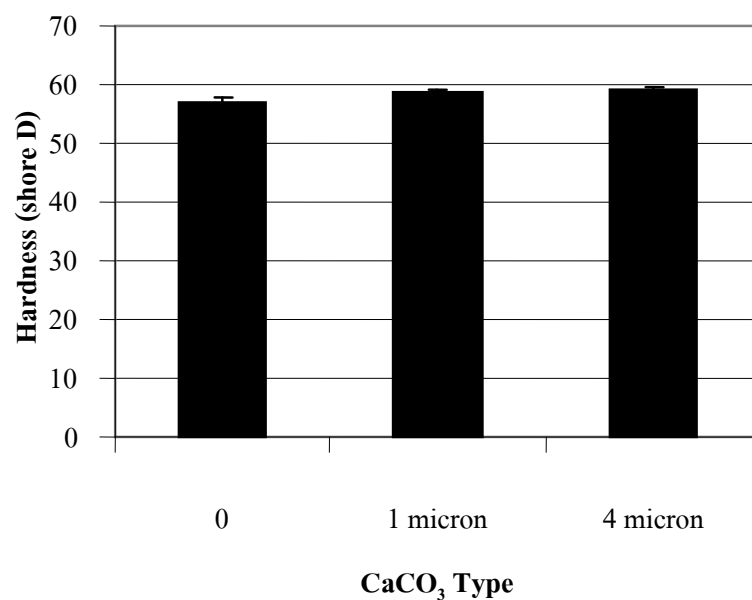
รูปที่ 4.25 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



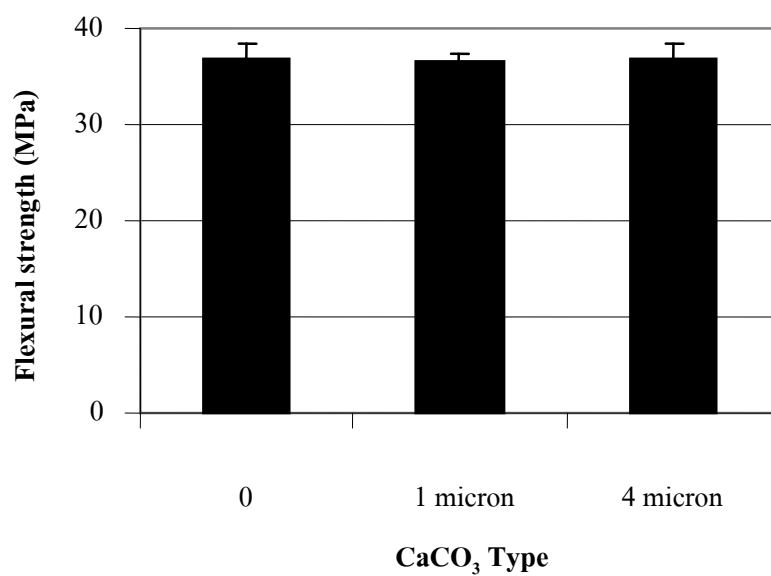
รูปที่ 4.26 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



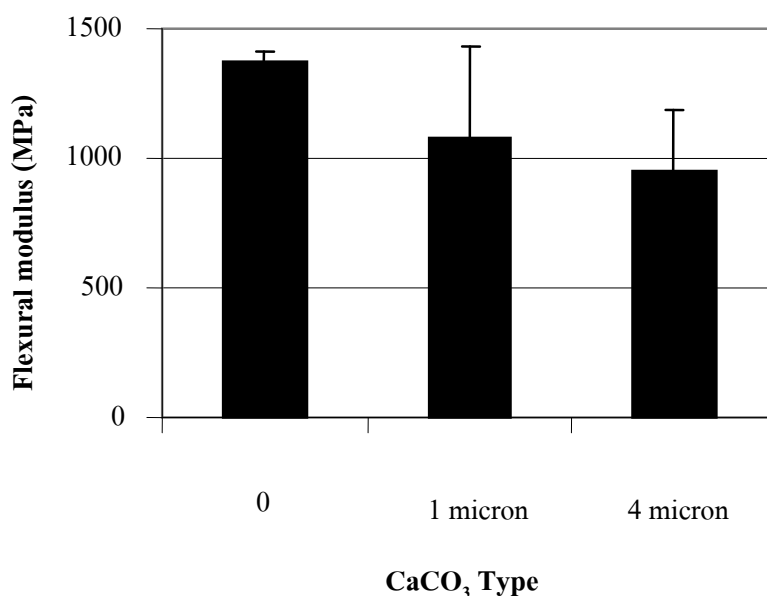
รูปที่ 4.27 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



รูปที่ 4.28 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่ MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



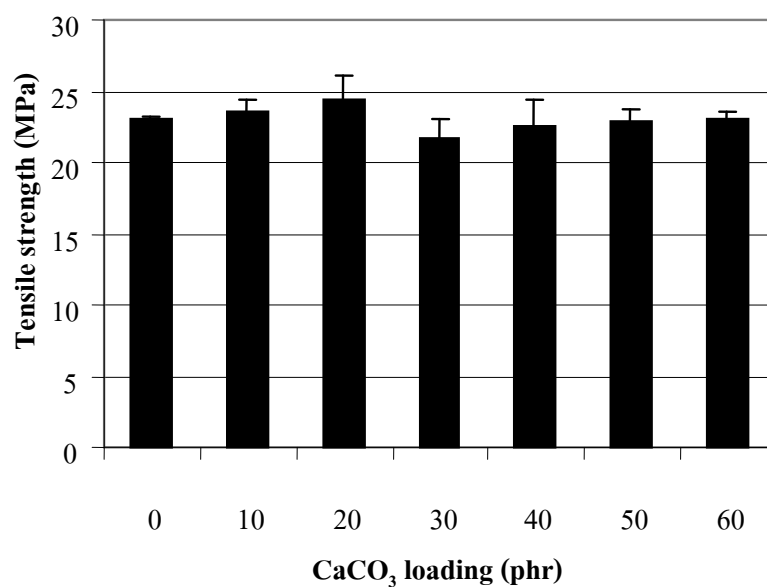
รูปที่ 4.29 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



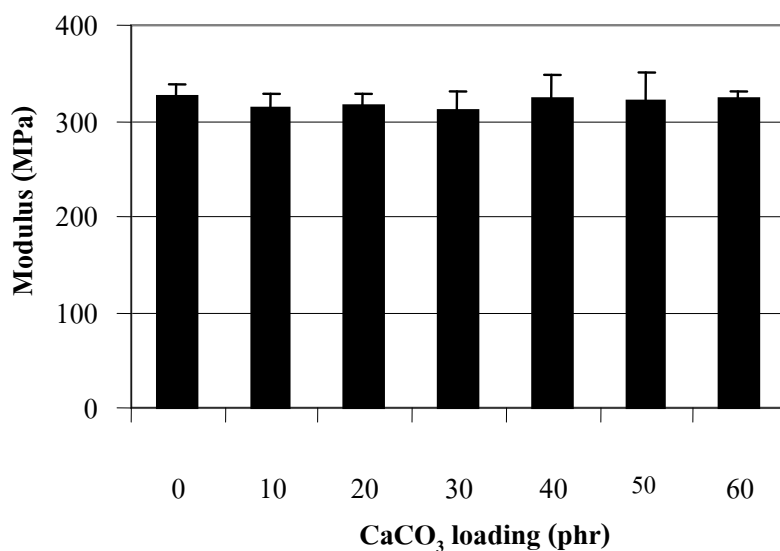
รูปที่ 4.30 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr

4.6 ศึกษาปริมาณสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃)

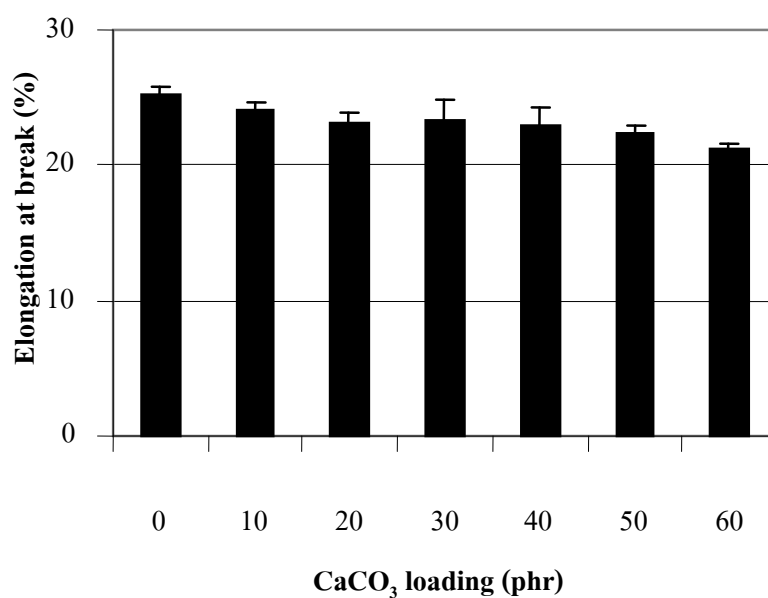
CaCO₃ นำมาใช้กับพลาสติกเพื่อลดต้นทุนในการผลิตและยังช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลบางอย่างให้ดีขึ้น เช่น มอดุลัส และความทนทานต่อแรงกระแทก นอกจากนั้น CaCO₃ ก็ช่วยปรับปรุงผิวของพลาสติก โดยทำให้พลาสติกมีความเงาหรือความมันเพิ่มขึ้น ความต้านทานไฟฟ้าดีขึ้น ทนทานต่อแรงบีบอัด ควบคุมการหดตัวของพลาสติก ทำให้ผลิตภัณฑ์จากพลาสติกทนทานต่อสภาพภูมิอากาศมากขึ้น ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเป็นการศึกษาถึงปริมาณ CaCO₃ ที่เหมาะสมที่สามารถเติมลงในวัสดุคอมโพสิตได้โดยไม่ทำให้สมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยศึกษาปริมาณ CaCO₃ ที่ 10 20 30 40 50 และ 60 phr ใช้ CaCO₃ เกรดขนาดอนุภาค 4 ไมครอน ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.31 – 4.37 พบว่า ปริมาณ CaCO₃ ที่เติมลงไปในวัสดุคอมโพสิต ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ใส่ CaCO₃ แต่ถ้าใส่ในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลได้ เนื่องจาก CaCO₃ ที่มากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์เมตริกซ์ไม่สามารถห่อหุ้มสารตัวเติมได้หมด ทำให้ความต่อเนื่องของเมตริกซ์ลดลง เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงานทำให้สมบัติเชิงกลลดลง แต่จากการทดลองนี้พบว่า CaCO₃ ที่ปริมาณ 60 phr ยังให้สมบัติเชิงกลที่ไม่ต่ำไปกว่าสูตรที่ยังไม่ได้ใส่ CaCO₃ หมายความว่า วัสดุคอมโพสิตนี้สามารถใส่ CaCO₃ ได้มากถึง 60 phr โดยไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลมากนัก และยังสามารถลดต้นทุนได้อีกด้วย



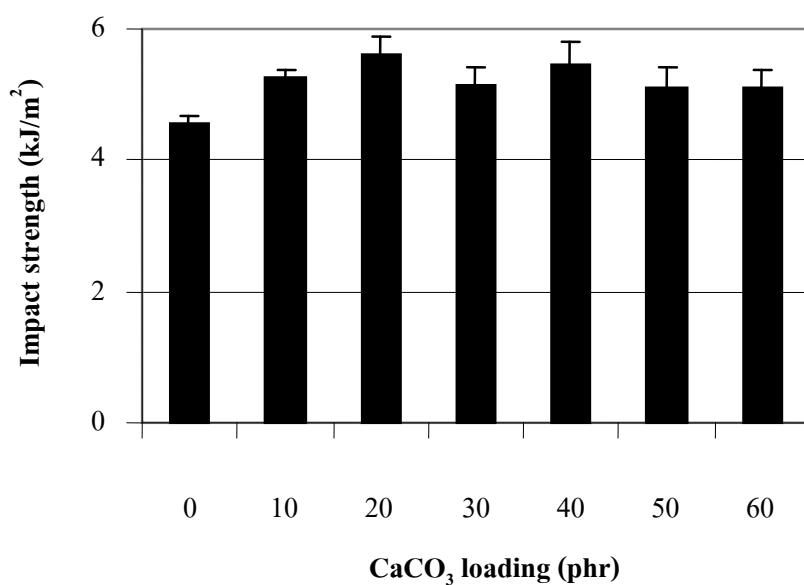
รูปที่ 4.31 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ



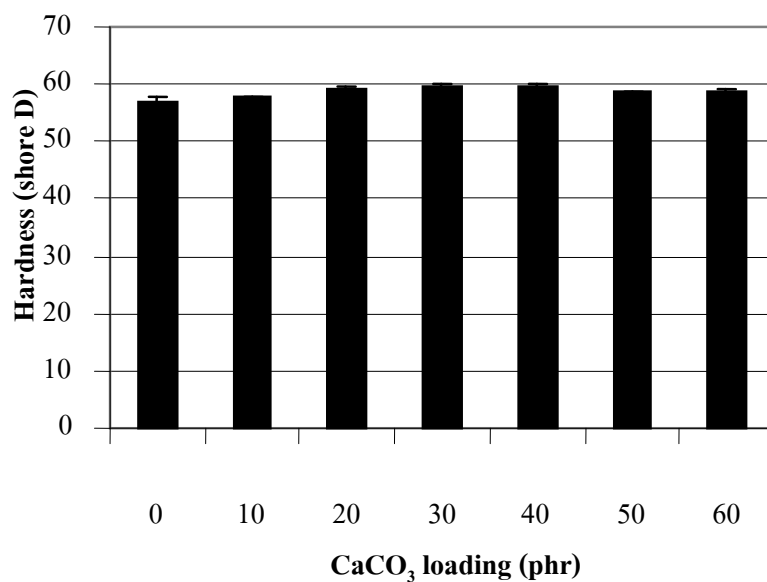
รูปที่ 4.32 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ



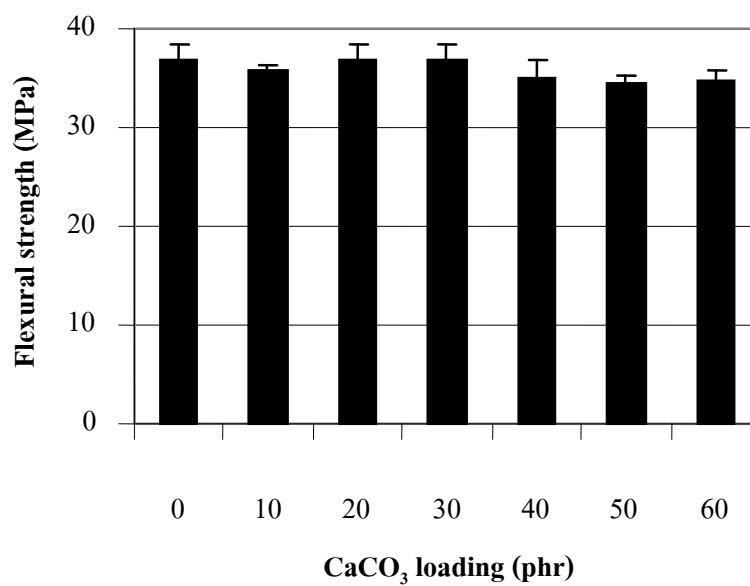
รูปที่ 4.33 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ



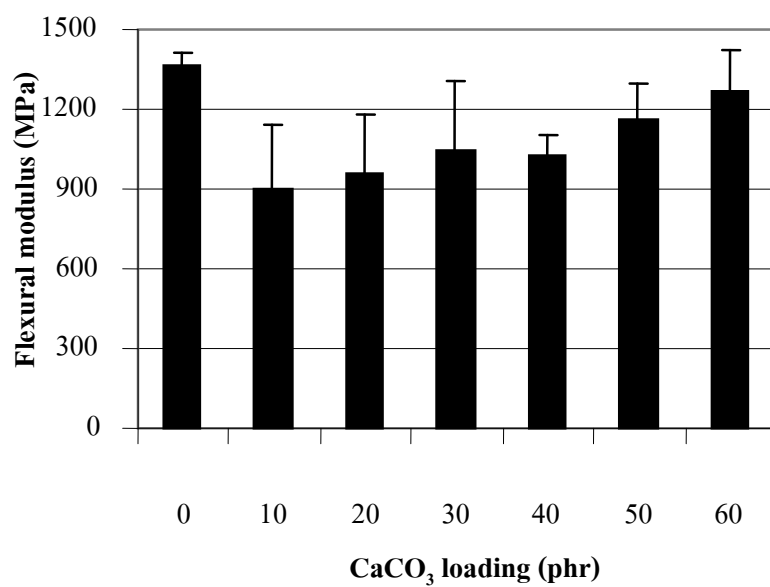
รูปที่ 4.34 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.35 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ

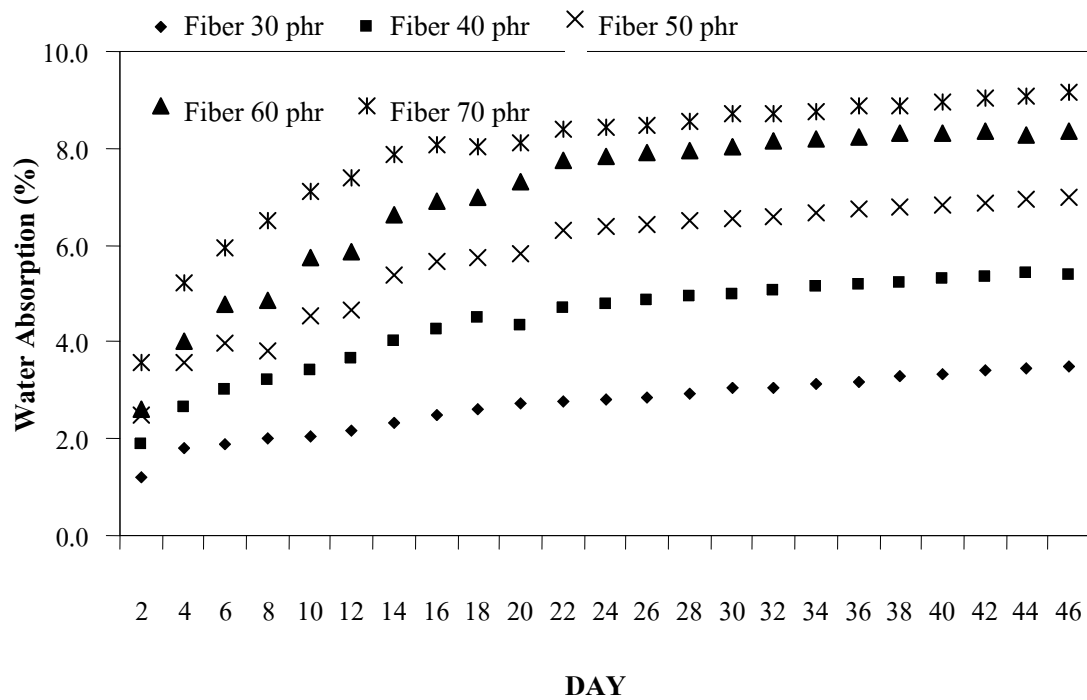


รูปที่ 4.36 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ



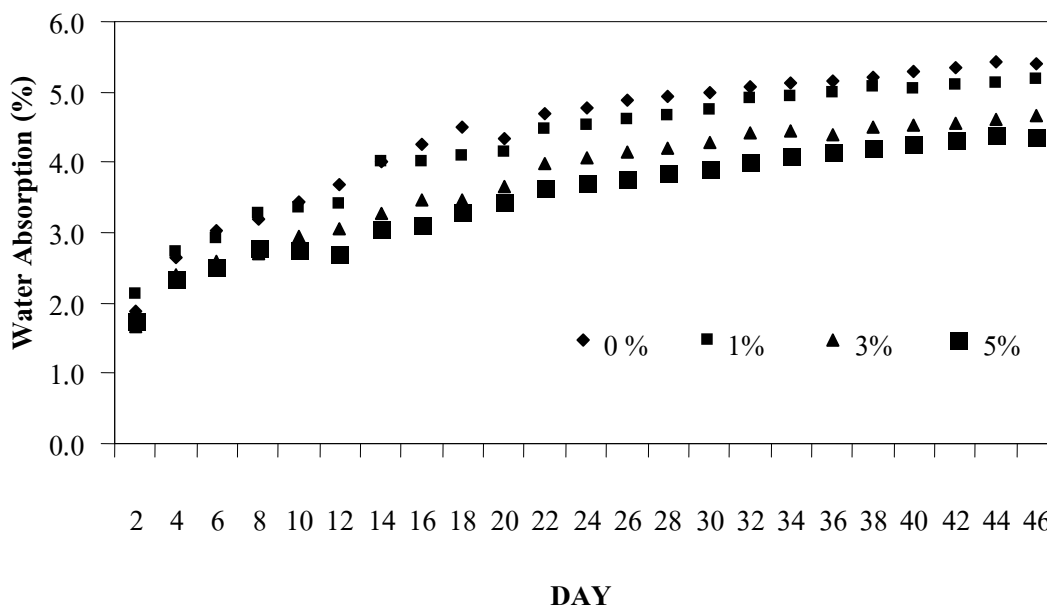
รูปที่ 4.37 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ

4.7 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ



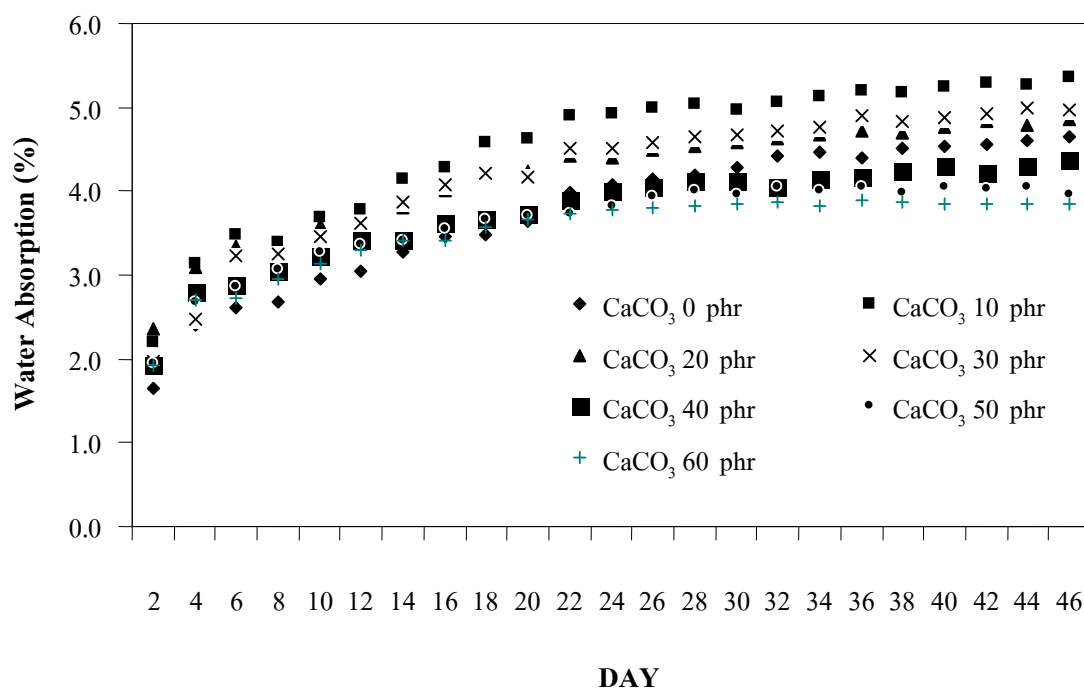
รูปที่ 4.38 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.38 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นใยเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากเส้นใยไม่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสซึ่งประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ซึ่งมีความเป็นขั้ว หมู่ไฮดรอกซีสามารถดูดซับน้ำได้ดีโดยเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นเมื่อปริมาณเส้นใยไม้ในวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้เกิดการดูดซับน้ำได้มากขึ้นด้วย แต่เมื่อเวลาผ่านไปการดูดซับน้ำจะมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากมีการดูดซับน้ำจนถึงจุดอิ่มตัวทำให้ไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก



รูปที่ 4.39 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของMDPEที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณ 40 phr และ MAPE ในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.39 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณ 40 phr และสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณต่างๆ พบว่า MAPE สามารถช่วยให้การดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตลดลงเนื่องจาก MAPE เป็นสารช่วยผสมระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์และเส้นใยโดยด้านหนึ่งสามารถเข้ากับพอลิเมอร์ได้ดีส่วนอีกด้านหนึ่งจะเข้าจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของไม้ ทำให้ปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลลดลง นอกจากนี้ยังช่วยลดช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ ทำให้น้ำเข้าสู่ช่องว่างได้น้อยลง จึงมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตลดลง



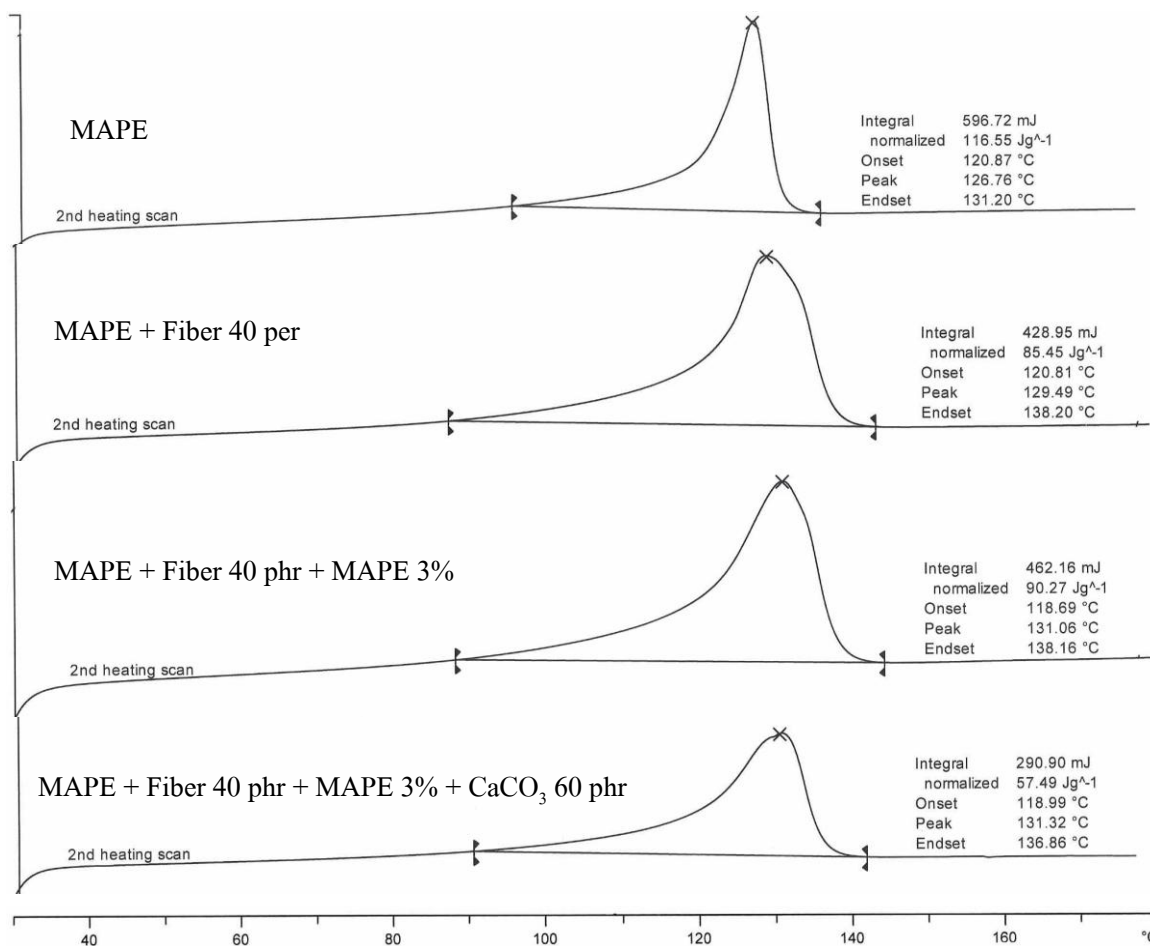
รูปที่ 4.40 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณ 40 phr

MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา และ แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.40 แสดง เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณ 40 phr สารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา และ แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ พบว่าการดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตจะทำให้ปริมาณของเส้นใยไม้อย่างพาราซึ่งเป็นส่วนที่ดูดซับน้ำในวัสดุมีสัดส่วนที่ลดลง

4.8 ผลจากเครื่องทดสอบทางความร้อน DSC

การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC จะทำการศึกษาถึง อุณหภูมิหลอมผลึก (T_m) และองศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) ซึ่งแสดงดัง รูปที่ 4.41 และ ตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.41 ผลการทดสอบทางความร้อน DSC

ตารางที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิหลอมผลึกและองศาความเป็นผลึกของวัสดุคอมโพสิต

สูตร	T_m (°C)	%Crystallinity
MDPE	126.8	39.7
MDPE + Fiber 40 phr	129.5	40.7
MDPE + Fiber 40 phr + MAPE 3%	131.1	42.8
MDPE + Fiber 40 phr + MAPE 3% + CaCO ₃ 60 phr	131.3	38.8

อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิที่ทำให้ผลึกเกิดการหลอมเหลว โดยจะสัมพันธ์กับขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น เช่น ผลึกที่มีขนาดเล็กจะมีค่า T_m ต่ำ เป็นต้น จากการทดลองสมบัติทางความร้อนสามารถแสดงผลดังตารางที่ 4.2 พบว่า อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก นั่นคือเมื่อเติมเส้นใยไม้ยางพารา สารช่วยผสม MAPE และ สารตัวเติม CaCO_3 ไม่ส่งผลต่อขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาจาก T_m อาจกล่าวได้ว่า ขนาดของผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกัน ค่าองศาความเป็นผลึกซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของผลึกที่เกิดขึ้น จากตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อทำการเติมเส้นใยไม้ยางพารา สารช่วยผสม และ CaCO_3 ในไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ไม่ส่งผลต่อองศาความเป็นผลึกให้มีค่าเปลี่ยนแปลงมากนัก หรือกล่าวได้ว่าปริมาณผลึกที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังใส่เส้นใยไม้ยางพารา สารช่วยผสม และ CaCO_3 มีปริมาณใกล้เคียงกัน

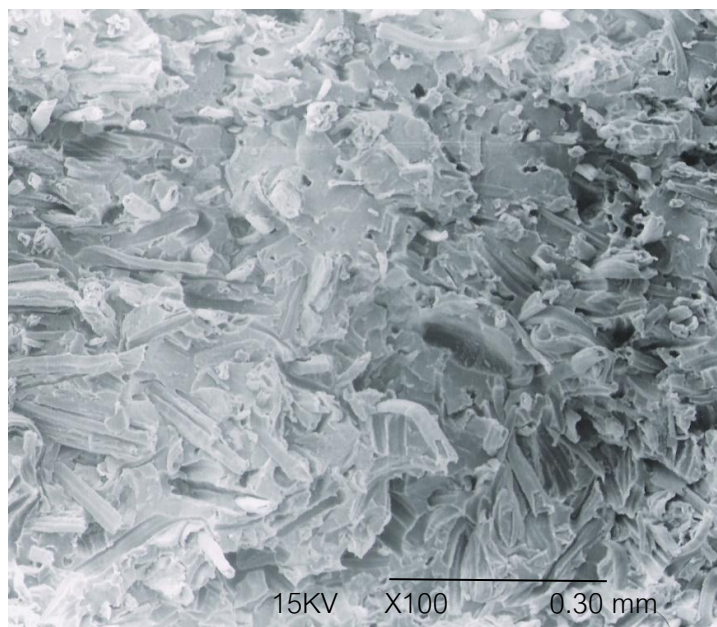
4.9 การศึกษาพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

SEM เป็นการศึกษาพื้นฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุ ที่เตรียมได้จากการหักที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างแช่ในไนโตรเจนเหลว จากนั้นจึงทำการหักชิ้นงาน ในการทดลองนี้จะทำการศึกษา SEM ของชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการศึกษาปริมาณเส้นใยที่เหมาะสม ปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสม และปริมาณสารตัวเติมที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นสูตรผสมที่เลือกเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป ซึ่งสามารถศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวเมื่อมีการเติมสารช่วยผสม MAPE และสารตัวเติม CaCO_3 โดยผลการศึกษา SEM แสดงดังรูปที่ 4.42 – 4.44

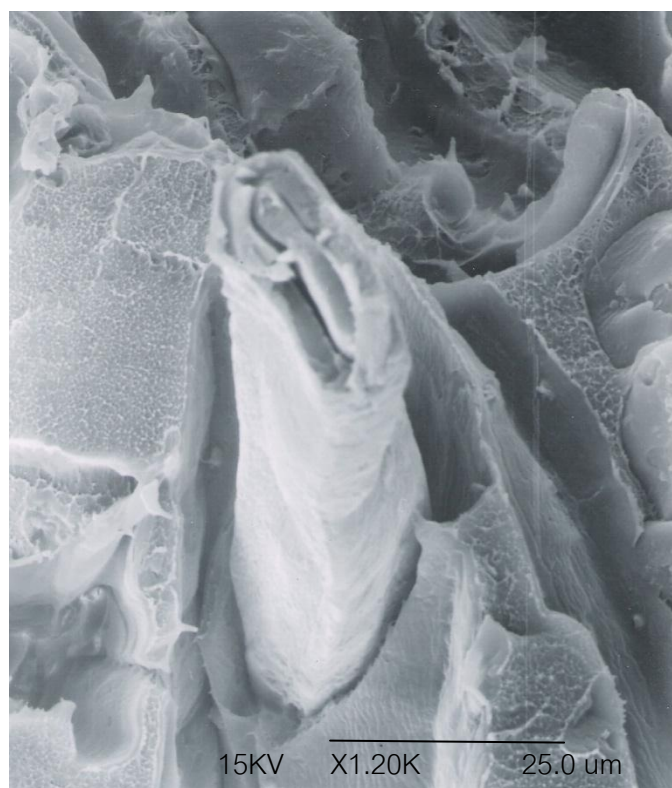
จากรูปที่ 4.42 แสดงภาพ SEM ของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE และเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ภาพ (ก)) และ 1200 เท่า (ภาพ (ข)) ซึ่งจากภาพ (ก) การกระจายตัวของเส้นใยได้ดีในพอลิเมอร์ นอกจากนี้ยังพบช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการหลุดออกของเส้นใยจากพอลิเมอร์ ในขณะที่เตรียมตัวอย่างโดยการหักที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งช่องว่างนี้แสดงให้เห็นว่าเส้นใยกับพอลิเมอร์มีการยึดเกาะกันได้ไม่ดีและจากภาพ (ข) เมื่อทำการขยายที่ 1200 เท่า เพื่อศึกษาการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ พบว่า เกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Interface) ของพอลิเมอร์กับเส้นใย ซึ่งช่องว่างนี้จะเป็นจุดบกพร่องในชิ้นงานโดยจะส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลให้ลดลง และเกิดการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.43 แสดงภาพ SEM ของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และสารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 1200 เท่า (แสดงดังภาพ (ก) และ ภาพ (ข) ตามลำดับ) จากภาพ (ก) แสดงการกระจายตัวของเส้นใยที่ดี เมื่อเติมสารช่วยผสม MAPE แต่ยังพบช่องว่างกระจายอยู่ทั่วไปเนื่องจากหุ้มมาเล็ก ของสารช่วยผสมไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซีของเส้นใยได้หมด แต่เมื่อเพิ่มกำลังขยาย ดังภาพ (ข) พบว่าช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์และเส้นใย มีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้นและการดูดซับน้ำลดลง

จากรูปที่ 4.44 แสดงภาพ SEM ของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr สารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราและสารตัวเติม CaCO_3 60 phr ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 600 เท่า (แสดงดังภาพ (ก) ภาพ และภาพ (ข) ตามลำดับ) พบว่า CaCO_3 มีการกระจายตัวที่ดี มีอยู่ทั่วไปในพอลิเมอร์ การยึดเกาะกันระหว่าง พอลิเมอร์กับ CaCO_3 ไม่ดีเท่าที่ควร และ CaCO_3 บางส่วนเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน แต่จากการศึกษาสมบัติเชิงกล การเติม CaCO_3 ในปริมาณ 60 phr ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก และไม่เพิ่มเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

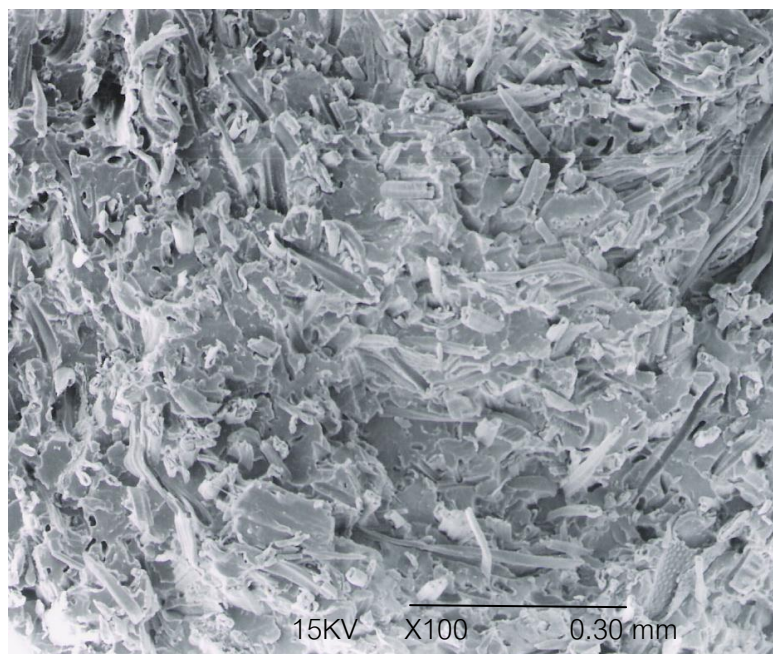


(ก) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า

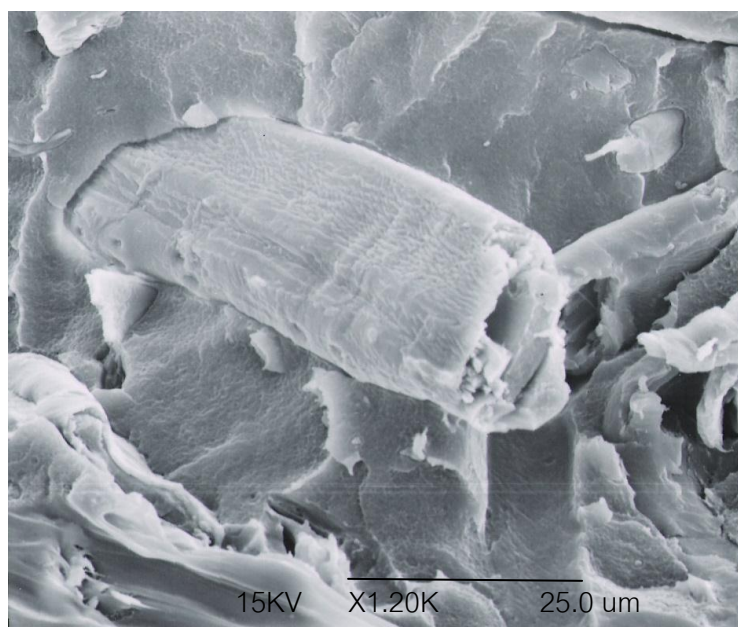


(ข) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 1200 เท่า

รูปที่ 4.42 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE และ เส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr

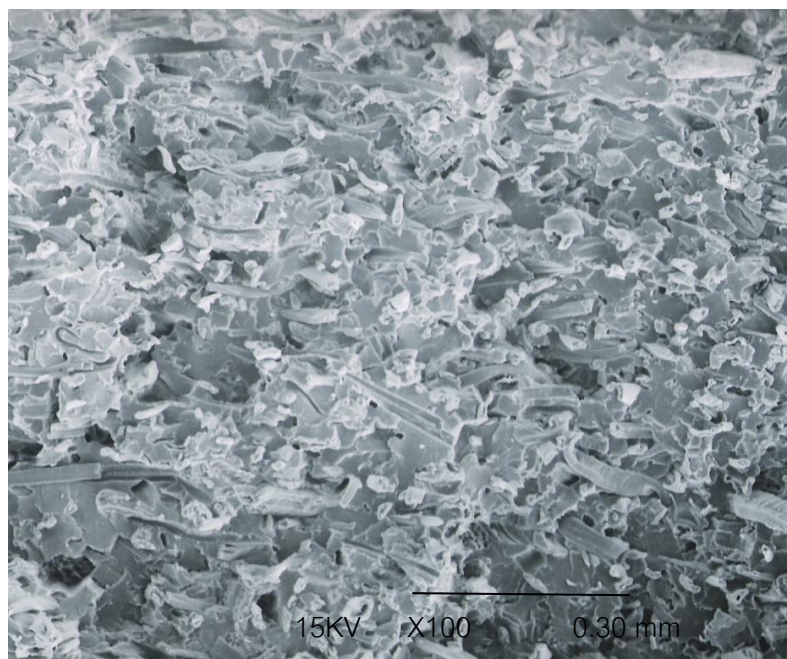


(ก) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า

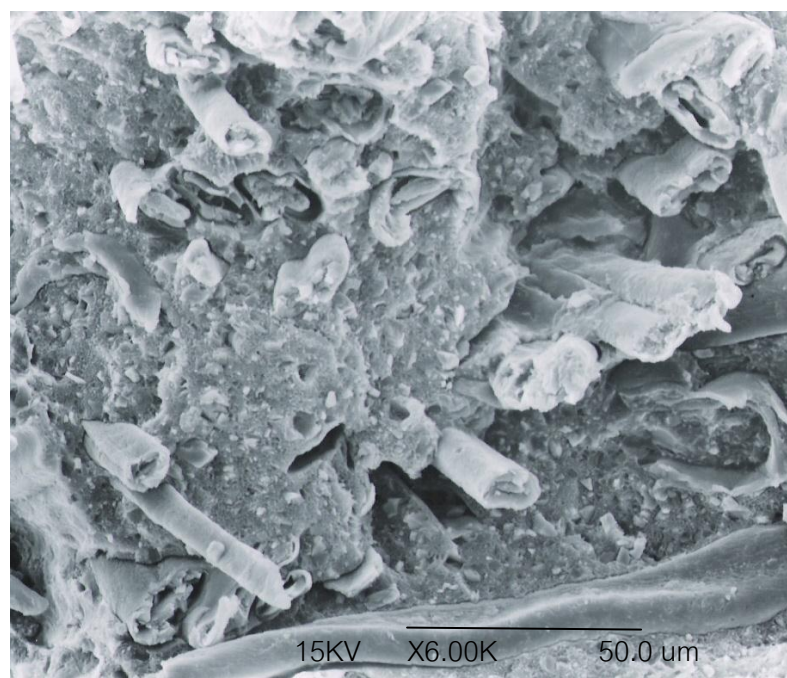


(ข) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 1200 เท่า

รูปที่ 4.43 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และสารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพารา



(ก) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า



(ข) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 600 เท่า

รูปที่ 4.44 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr สารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา และ สารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอน ปริมาณ 60 phr

4.10 การศึกษาความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวก

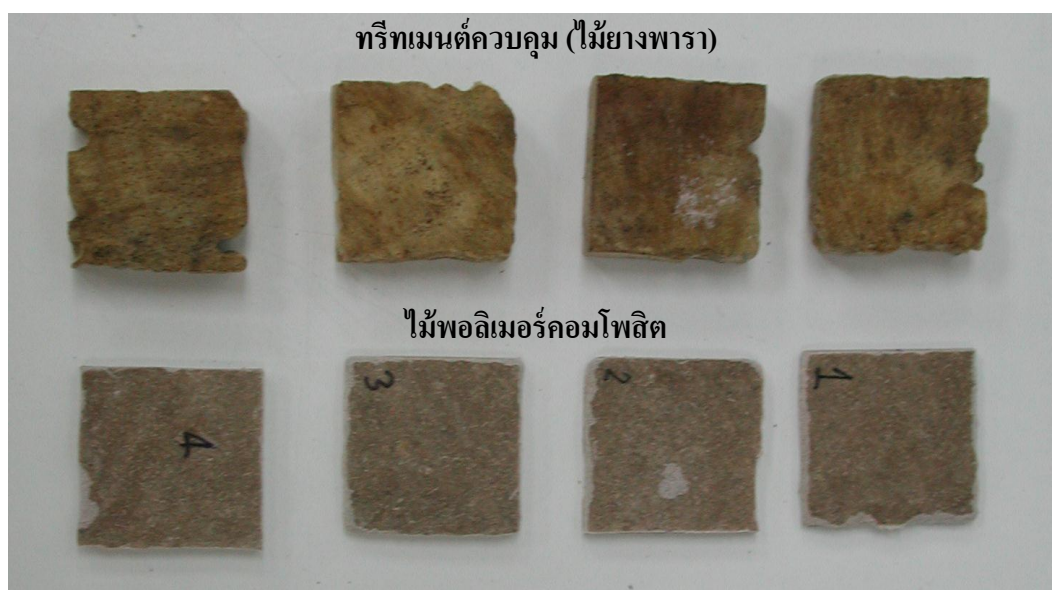
ปลวกเป็นแมลงที่มีความสำคัญในแง่เศรษฐกิจมากโดยเป็นทั้งผู้สร้างและผู้ทำลายในระบบนิเวศน์ ปลวกเป็นแมลงที่ต้องการเซลลูโลสเป็นอาหารหลักในการดำรงชีวิต ซึ่งเซลลูโลสนั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อไม้ ดังนั้นเราจึงพบปลวกเข้าทำความเสียหายอย่างรุนแรงให้แก่ไม้หรือโครงสร้างไม้ภายในอาคารบ้านเรือน รวมถึงเครื่องเรือน เครื่องใช้ต่างๆ ที่ทำมาจากไม้ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวกในสูตร MDPE เกรด EL-Lene[®] M3804RWP ปริมาณ 100 phr เส้นใยไม้อย่างพารา ปริมาณ 40 phr แคลเซียมคาร์บอเนต เกรดขนาดอนุภาค 4 ไมครอน ปริมาณ 60 phr และ สารช่วยผสม MAPE ปริมาณ 3% ของเส้นใยไม้อย่างพารา ซึ่งเป็นสูตรที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต โดยวิธีการทดสอบได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 และหลักเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพในการทดสอบความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวกต้องสามารถป้องกันให้อยู่ในเกณฑ์ ดี หรือ ดีมาก คือพบความเสียหายจากการเข้าทำลายของปลวกบนชิ้นงานทดสอบไม่เกิน 10% จึงถือว่าผ่านการทดสอบ

จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.45 พบว่าแผ่นวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความเสียหายจากการทำลายของปลวก 0.5% ความเสียหายอยู่ในระดับ 1 คือ เสียหายน้อยกว่า 10% แสดงว่าสามารถทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกได้ดินได้ในเกณฑ์ ดี ในขณะที่ที่ทรีทเมนต์ควบคุม (ไม้อย่างพารา) มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลายของปลวกสูงกว่า 10% มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง แต่ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของแผ่นวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต และทรีทเมนต์ควบคุม (ไม้ยางพารา)

ชนิดของวัสดุทดแทนไม้	ค่าเฉลี่ยความเสียหาย (%)	ระดับความเสียหาย
ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต	0.5	1
ทรีทเมนต์ควบคุม (ไม้ยางพารา)	12.5	2



รูปที่ 4.45 ลักษณะความเสียหายของแผ่นวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตกับทรีทเมนต์ควบคุม (ไม้ยางพารา)

4.11 ศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากการขึ้นรูป

ในงานวิจัยนี้การขึ้นรูปตัวอย่างไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในการทดสอบสมบัติเชิงกล ในตอนแรกจะขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป เพื่อทดลองความเป็นไปได้ของผลงานวิจัยนี้ในการใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ที่สามารถผลิตได้ในเชิงพาณิชย์และสามารถใช้งานได้จริง จึงได้ขอความอนุเคราะห์ไปยัง บริษัท เบสท์ โพลีเมอร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด เพื่อทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาดใหญ่ด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการขึ้นรูปได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำการขึ้นรูป มีขนาด 380*3000*25 mm และ 380*3000*10 mm แสดงได้ดังรูปที่ 4.46 โดยสูตรผสมที่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ได้เลือกจากผลการทดลองตอนที่ 4.1 – 4.9 สูตรที่ได้คือ MDPE เกรด EL-Lene[®] M3804RWP ปริมาณ 100 phr เส้นใยไม้ยางพารา ปริมาณ 40 phr สารช่วยผสม MAPE 3%ของน้ำหนักเส้นใย และแคลเซียมคาร์บอเนต ขนาด 4 ไมครอน ปริมาณ 60 phr



รูปที่ 4.46 แผ่นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่น

หลังจากขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตแล้ว ได้นำมาเลื่อยตัดเป็นชิ้นๆ ส่วนหนึ่งนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ตามมาตรฐาน ASTM และอีกส่วนหนึ่งนำไปประกอบเป็นเฟอร์นิเจอร์ตัวอย่าง เพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้งานได้จริง ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เก้าอี้ ตู้จดหมาย ไม้แผ่น

ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตส่วนที่นำมาทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM สามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4.4 จากนั้นนำสมบัติที่ทดสอบได้เปรียบเทียบกับไม้จริง และวัสดุทดแทนไม้อื่นๆ ที่มีจำหน่ายในประเทศ ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.4 สมบัติบางประการของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ขึ้นรูปในงานวิจัยนี้

สมบัติ	หน่วย	ค่าที่วัดได้	ASTM
ความแข็งแรงกดอัด	MPa	23.9	D 6108-97
ความต้านทานการถอน			D 6117-97
- ตะปู	N	483.4	
- สกรู	N	2254.6	
ความแข็งแรงโค้งงอ	MPa	67.7	D 6109-97
โมดูลัสโค้งงอ	MPa	5223.8	D 6109-97
ความหนาแน่น	g/cm ³	1.85	D 1505-58

ตารางที่ 4.5 สมบัติบางประการของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในงานวิจัยนี้กับไม้จริงบางชนิด

สมบัติ	หน่วย	ไม้พอลิเมอร์ คอมโพสิตที่ ได้จากงานวิจัย	ไม้ ยางพารา
ความแข็งแรงกดอัด	MPa	23.9	51.5
ความต้านทานการถอน			
- ตะปู	N	483.4	-
- สกรู	N	2254.6	-
ความแข็งแรงโค้งงอ	MPa	67.7	187.1
มอดุลัสโค้งงอ	MPa	5224	19663
ความหนาแน่น	g/cm ³	1.85	0.6-0.7

ตารางที่ 4.6 สมบัติของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในงานวิจัยนี้และวัสดุทดแทนไม้จำพวกไม้พลาสติกที่มีจำหน่ายในประเทศ

สมบัติ	หน่วย	ไม้พอลิเมอร์ คอมโพสิตที่ได้ จากงานวิจัย	A	B
ความแข็งแรงกดอัด	MPa	23.9	9	41
ความต้านทานการถอน				
- ตะปู	N	483.4	1440	225
- สกรู	N	2254.6	1070	2894
ความแข็งแรงโค้งงอ	MPa	67.7	1	93
มอดุลัสโค้งงอ	MPa	5223.8	-	5486
ความหนาแน่น	g/cm ³	1.85	1.17	1.08

หมายเหตุ : A บริษัท วี. พี. วู้ด จำกัด

B บริษัท เบสท์โพลิเมอร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

จากตารางที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบสมบัติของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตกับไม้จริงที่มีขายและใช้งานในท้องตลาด พบว่า สมบัติของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตต่ำกว่าไม้จริง ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการนำไปใช้งานแล้วอาจกล่าวได้ว่าไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถที่จะผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ได้ หรืออาจผลิตเป็นกรอบหน้าต่าง กรอบประตู ไม้ระแนง เป็นต้น แต่ไม่สามารถใช้ในส่วนองไม้โครงสร้างซึ่งต้องรับแรงสูง เช่น คาน เสา เป็นต้น และจากตารางที่ 4.6

เป็นการเปรียบเทียบกับวัสดุทดแทนไม้ที่มีจำหน่ายในประเทศ ซึ่งโดยมากจะผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์กรอบประตู หน้าต่าง เป็นต้น สมบัติต่างๆของวัสดุทดแทนไม้ของแต่ละบริษัทมีความแตกต่างกัน เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้มีความแตกต่างกัน เช่น พอลิเมอร์ที่ใช้ ชนิดของเส้นใย และสารเติมแต่งอื่นๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่วัดได้ ทำให้วัสดุทดแทนไม้ของแต่ละบริษัทมีจุดเด่นในผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

4.12 การวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis)

การวิเคราะห์ต้นทุนเป็นการแจกแจงถึงค่าใช้จ่ายต่างๆในการผลิตวัสดุหนึ่งๆ เพื่อใช้ในการประมาณราคาสินค้าเพื่อขาย และใช้เปรียบเทียบกับราคาต้นทุนที่ต้องการแข่งขัน ซึ่งการวิเคราะห์ต้นทุนในงานวิจัยนี้จะแยกเป็น 2 ส่วน คือ 1. การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบ โดยวิเคราะห์เทียบที่น้ำหนักของวัตถุดิบ 1 กิโลกรัม และ 2. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต โดยวิเคราะห์เทียบกับการผลิตวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตใน 1 รอบการผลิต ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 -4.8

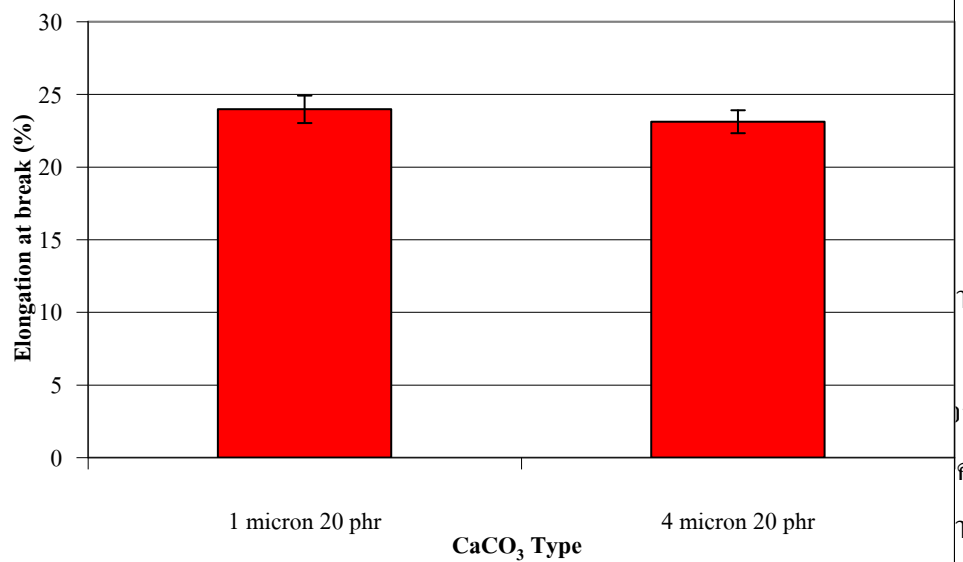
ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต 1 กิโลกรัม

รายการ	ปริมาณที่ใช้ (g)	ราคาต่อหน่วย ^a	คิดเป็นเงิน (บาท)
1. MDPE	505	50 บาท/ กก.	20.20
2. เส้นใยไม้อย่างพารา	200	5 บาท/ กก. ^b	2.00
3. CaCO ₃	300	4 บาท/ กก.	3.00
4. MAPE	6	270 บาท/ กก.	1.62
5. Antioxidant	1.2	300 บาท/ กก.	0.60
รวมราคาค่าต้นทุนวัตถุดิบของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต 1 กิโลกรัม			27.42

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต

รายการ	ปริมาณที่ใช้	ราคาต่อหน่วย ^a	คิดเป็นเงิน (บาท)
1. วัตถุดิบ	100 กิโลกรัม	27.50 บาท/ กก.	2750.00
2. ค่าแรง	2.5 ชั่วโมง	180 บาท/ วัน ^c	56.25
3. ค่าไฟฟ้า	10 unit	2.5 บาท/ unit	25.00
4. เบ็ดเตล็ด	-	-	10.00
รวมราคาค่าต้นทุนการผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ใน 1 รอบการผลิต (100 กิโลกรัม) ^d			2841.25
ราคาค่าต้นทุนการผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต 1 กิโลกรัม			28.41

หมายเหตุ : ^a เป็นราคาโดยประมาณเดือน มีนาคม พ.ศ. 2549



บริษัทโพลีมีราคาประมาณ 28
ครั้งนี้ ซึ่งถ้ามีการผลิตจริงจะทำ
านมากกว่าที่ได้จากการทดลอง