

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของการศึกษาเส้นใยไผ่ทั้ง ไม่ผ่านและผ่านการดัดแปร ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลบางอย่างของวัสดุผสม

ในการทดลองนี้ทำการผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินกับเส้นใยไผ่ โดยมีการเติมเส้นใยไผ่ในสัดส่วน 20 wt% [1] โดยจะเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการดัดแปร [36] ในวัสดุผสม และเปรียบเทียบกับอีพ็อกซีเรซินที่ไม่เติมเส้นใยไผ่ ผลดังแสดงในตาราง 4.1 พบว่า สมบัติเชิงกลต่างๆ ของวัสดุที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ที่ผ่านการดัดแปร มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ที่ไม่ผ่านการดัดแปร แสดงให้เห็นว่า การดัดแปรเส้นใยก่อนนำไปขึ้นรูปวัสดุผสม จะทำให้เส้นใยไผ่สามารถเปื่อยผิวกับอีพ็อกซีเรซินได้ดีขึ้น โดยการดัดแปรเส้นใยด้วยด่าง (NaOH) จะไปกำจัดพวก เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose), ลิกนิน (Lignin), เพคติน (Pectin), และแว็กซ์ (Wax) ซึ่งการกำจัด เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) จะช่วยลดสมบัติการดูดซึมความชื้น ส่วนลิกนิน (Lignin) จะเป็นตัวที่ช่วยให้ผนังเซลล์ของแต่ละเซลล์ยึดติดกัน ดังนั้นเมื่อดัดแปรเส้นใยจะทำให้เส้นใยแตกออกเป็นเส้นเล็กๆ และทำให้ผิวของเส้นใยขรุขระขึ้น สำหรับ เพคติน (Pectin) และแว็กซ์ (Wax) เมื่อกำจัดออกจะทำให้เส้นใยสะอาดขึ้น [13] ดังแสดงในรูป SEM

ตาราง 4.1 ค่าเฉลี่ยผลจากการวัดค่า ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความต้านทานต่อแรงกดอัด และความหนาแน่นของวัสดุผสม

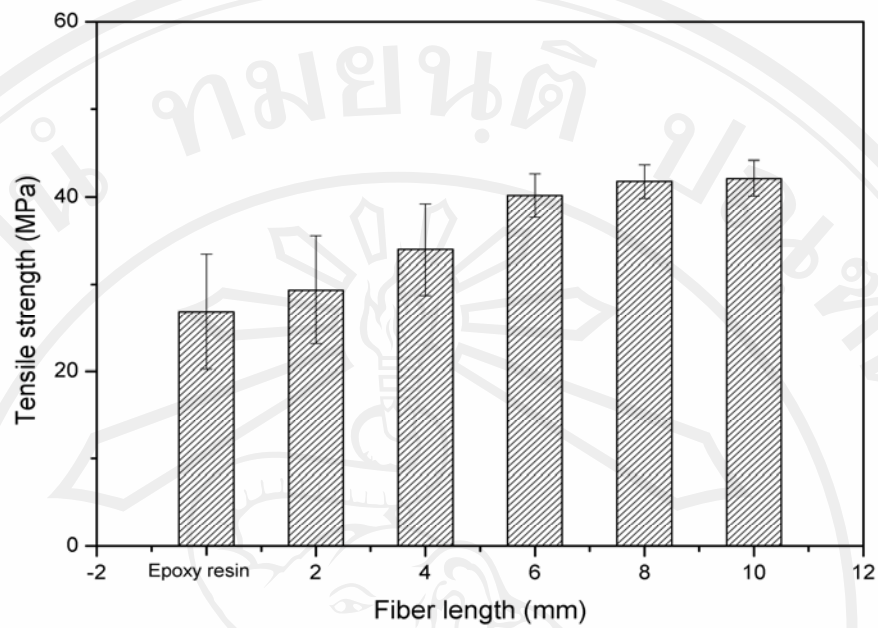
วัสดุผสม	ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (MPa)	ความต้านทานต่อแรงกระแทก (J/m ²)	ค่ามอดุลัสความต้านทานแรงอัด (MPa)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
Epoxy resin (ไม่เติมเส้นใย)	26.80	2974.00	6439.53	1.13
Untreated fiber	32.15	15625.00	6958.99	1.03
Alkaline treated fiber	42.15	45168.80	7865.62	1.03

นอกจากนี้ J gassan และ A.K. Bledzki [7] ได้อธิบายว่า การดัดแปรเส้นใยโดยใช้ด่างจะสามารถทำให้เส้นใยมีสมบัติเป็นโฮโมจีเนียส (Homogeneous) ทำให้การส่งผ่านความเค้นดีขึ้น และการกำจัดเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ออกไปจะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้เกิดการยึดเกาะเชิงกลระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ดีขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มสมบัติเชิงกลที่ดีแก่วัสดุผสมส่วนค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการดัดแปร พบว่า มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากัน อาจเป็นผลมาจากการเติมเส้นใยในสัดส่วนที่เท่ากัน และใช้แรงกดทับชิ้นงานที่สม่ำเสมอ ในส่วนของความหนาแน่นอีพ็อกซีเรซินมีค่าสูงกว่าวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการดัดแปร อาจเป็นผลมาจากการเกาะตัวของอนุภาคอีพ็อกซีเรซินเกิดขึ้นอย่างเหนียวแน่น และมีช่องว่างหรือรูพรุนน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบการผสมกับเส้นใย

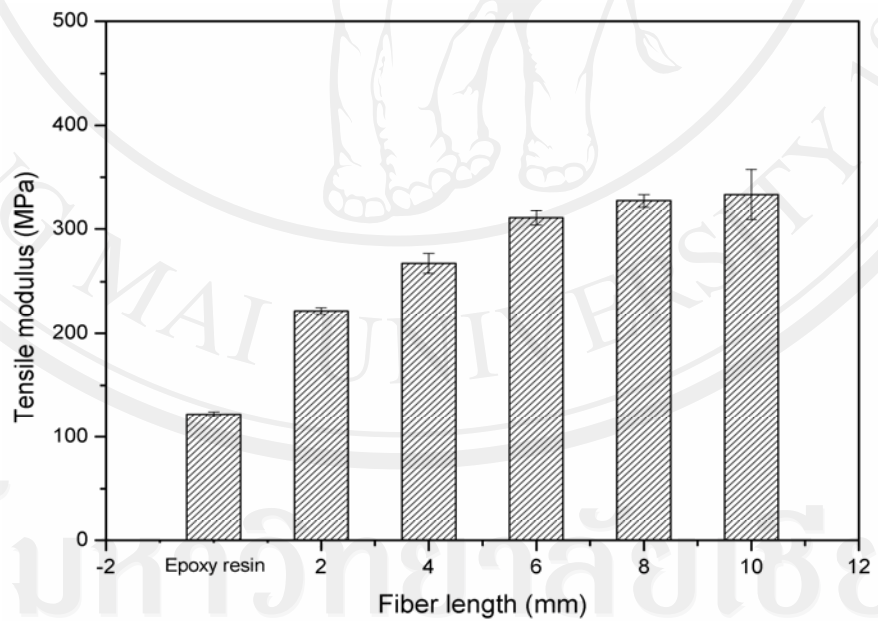
4.2 ผลของการศึกษาวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินและเส้นใยไฟเบอร์ในขนาดความยาวต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลบางอย่าง

4.2.1. ผลของการศึกษาวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินและเส้นใยไฟเบอร์ในขนาดความยาวต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

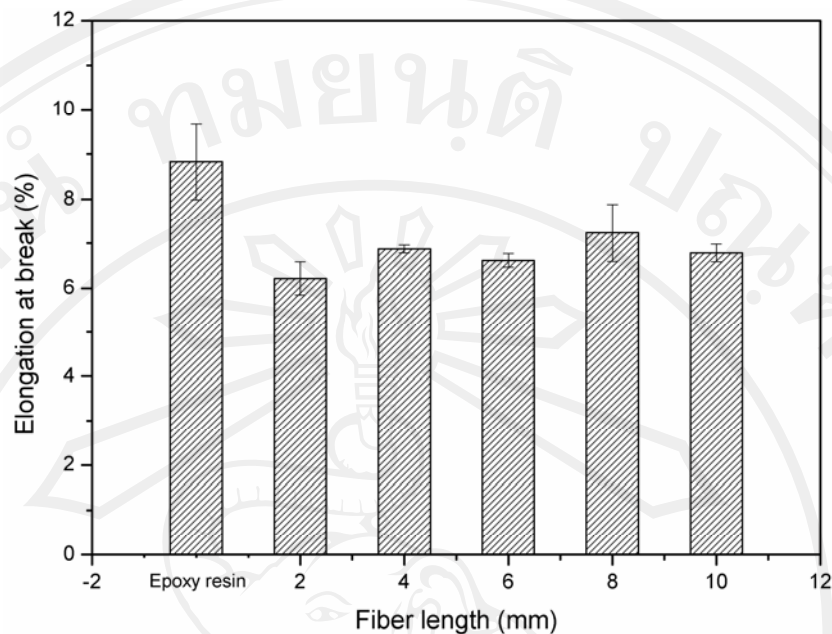
จากรูป 4.1 และ รูป 4.2 พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดุลัสของยัง ของวัสดุผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในลักษณะที่สัมพันธ์กัน แต่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและเริ่มคงที่ เมื่อความยาวเส้นใยมากกว่า 6 mm เนื่องจากพอลิเมอร์เมทริกซ์สามารถถ่ายแรงจากภายนอกไปตามความยาวของเส้นใยจึงทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้น ตามความยาวเส้นใยที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานอีพ็อกซีเรซินจะมีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำกว่า เนื่องจากปัญหาด้านการยึดเกาะระหว่างผิวของเส้นใยกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ เพราะเส้นใยมีสมบัติชอบน้ำ ในขณะที่พอลิเมอร์เมทริกซ์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ แต่อย่างไรก็ตามที่ความยาวของเส้นใยมากกว่า 6 mm พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและเริ่มคงที่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อเส้นใยยาวมากขึ้นจะเกิดการพันกันเอง ทำให้พอลิเมอร์ไม่สามารถเปียกเส้นใยได้ทั่วถึง ส่วนค่ามอดุลัสของยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง ดังนั้นแรงที่ใช้ในการทำวัสดุผสมเปลี่ยนรูปร่างในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่นจำกัดสูง ทำให้ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น [13] และเริ่มคงที่ ที่ความยาวเส้นใยมากกว่า 6 mm ซึ่งอธิบายจากเหตุผลเช่นเดียวกับข้างต้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของวัสดุผสม ดังรูป 4.3 พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของวัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์ในทุกๆขนาดความยาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าน้อยกว่าอีพ็อกซีเรซิน เนื่องจาก เส้นใยจะไปขวางการคลายตัวและการยึดตัวของสายโซ่โมเลกุลของอีพ็อกซีเรซิน นอกจากนี้สายโซ่โมเลกุลจะถูกแบ่งเป็นกลุ่มย่อยลงเมื่อถูกดึงส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์การยึดตัวสูงสุดนั้นมีค่าลดลง [37]



รูป 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดกับเส้นใยไฟเบอร์ขนาดความยาวต่างๆ ของวัสดุผสม



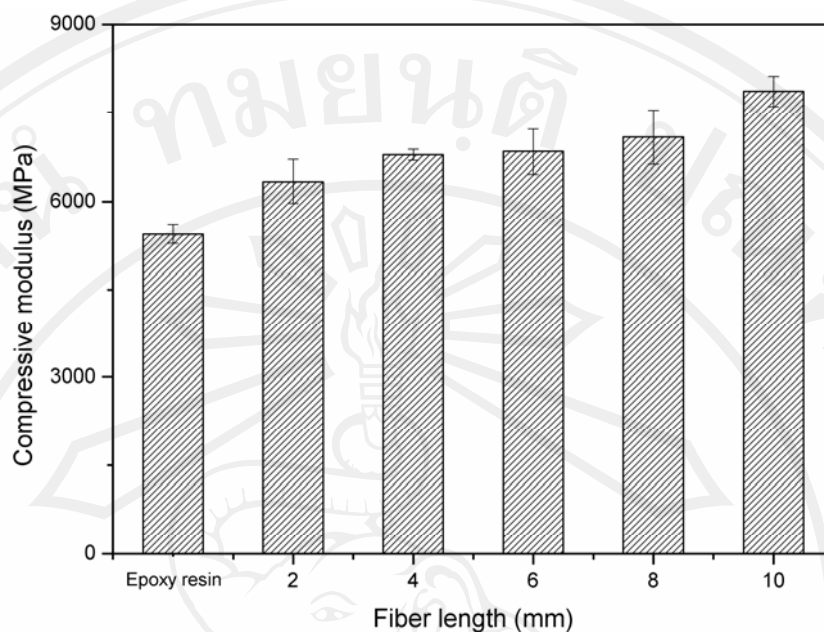
รูป 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังกับเส้นใยไฟเบอร์ขนาดความยาวต่างๆ ของวัสดุผสม



รูป 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับเส้นใยไฟเบอร์ขนาดความยาวต่างๆของวัสดุผสม

4.2.2. ผลของการศึกษาวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินและเส้นใยไฟเบอร์ในขนาดความยาวต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงอัด

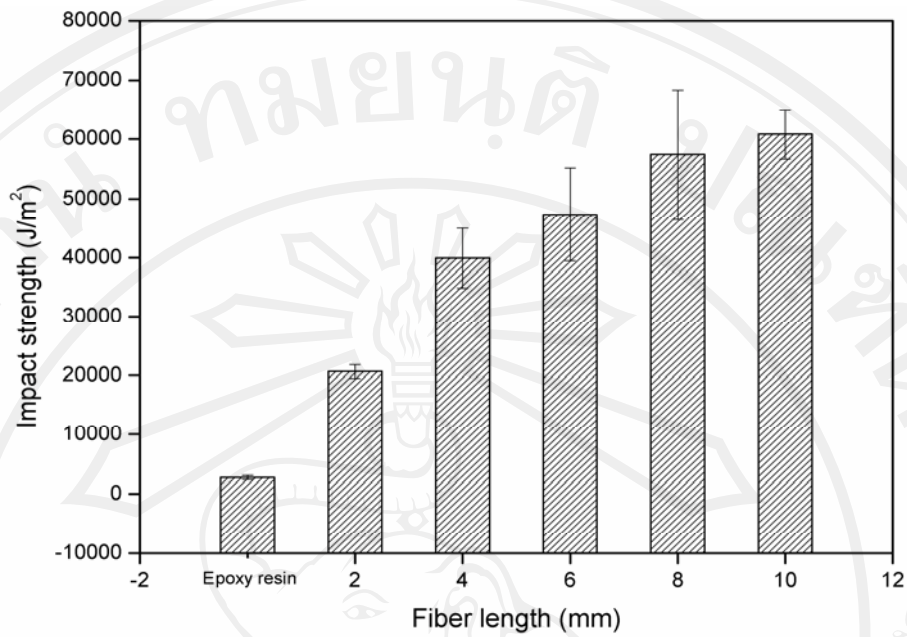
จากรูป 4.4 พบว่า ค่ามอดูลัสของยัง ของความต้านทานแรงอัด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดความยาวเส้นใยไฟเบอร์ในลักษณะที่สัมพันธ์กัน โดยช่วงแรกของกราฟจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงขนาดความยาวเส้นใย 8 mm หลังจากนั้น กราฟจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนที่ขนาดความยาว 10 mm ซึ่งเป็นค่ามอดูลัสความต้านทานแรงอัดสูงสุด เหตุผลในการอธิบายผลดังกล่าว มีลักษณะเช่นเดียวกับ ผลของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด แต่การให้แรงต่อชิ้นทดสอบจะมีลักษณะตรงกันข้ามกัน ซึ่งการทดสอบแต่ละประเภทจะขึ้นอยู่กับนำไปประยุกต์ใช้ในลักษณะงานที่แตกต่างกัน ส่วนผลของค่าความเค้นจุดคราก ความต้านทานแรงอัดสูงสุด ไม่สามารถแสดงผลได้ เนื่องจากเครื่องที่ใช้ในการทดสอบสามารถให้แรงอัดสูงสุดที่ 10,000 N เท่านั้น ซึ่งแรงดังกล่าวยังไม่สามารถทำให้ชิ้นทดสอบเกิดจุดคราก และแตกหักได้ เนื่องจากวัสดุผสมมีความเหนียว และมีความยืดหยุ่นสูง จึงต้องกำหนดค่าแรงอัดของเครื่องทดสอบในระดับหนึ่งขึ้น ดังได้กล่าวใน บทที่ 3



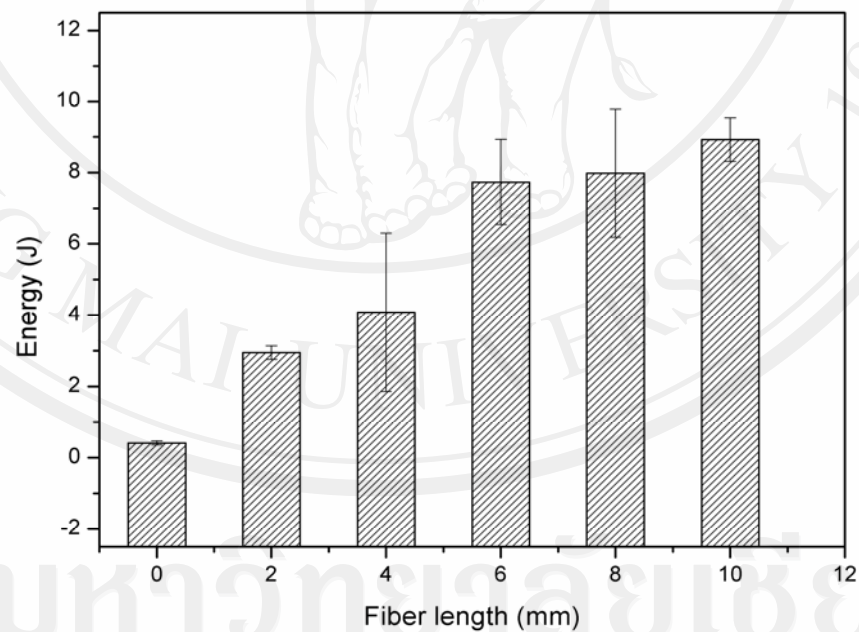
รูป 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสแรงอัดกับเส้นใยไฟเบอร์ขนาดความยาวต่างๆ ของวัสดุผสม

4.2.3. ผลของการศึกษาวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินและเส้นใยไฟเบอร์ขนาดความยาวต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงกระแทก

จากรูป 4.5 และรูป 4.6 พบว่า ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด แสดงว่า ค่าพลังงานที่ใช้ทำให้ชิ้นงานแตกหักของวัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดความยาวเส้นใย และเป็นค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักดีกว่าอีพ็อกซีเรซินธรรมดา เนื่องจาก เมื่อขนาดความยาวเส้นใยเพิ่มขึ้น พลังงานที่ใช้ในการทำลายแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์มีค่าสูงขึ้น และการใช้เส้นใยที่ผ่านการตัดแปรรูปจะทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างวัฏภาคเส้นใยและเมทริกซ์ดีขึ้น ทำให้วัสดุผสมมีลักษณะเหนียวขึ้น นอกจากเส้นใยจะทำหน้าที่ช่วยในการรับถ่ายโอนแรงต่อมาจากเมทริกซ์ที่ได้ถูกรับแรงกระแทกจากภายนอกแล้ว กลไกการเสียสภาพของวัสดุผสมยังเป็นตัวช่วยดูดซับพลังงานหรือแรงที่ได้รับมา ทำให้ไม่เกิดการแตกหักของชิ้นงานทันทีที่ได้รับแรง แต่ถ้าเป็นอีพ็อกซีเรซินธรรมดา เมื่อได้รับแรงกระแทกจากภายนอกจะเกิดการแตกหักทันที [37]



รูป 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกระแทกกับเส้นใยไฟเบอร์ความยาวต่างๆของวัสดุผสม

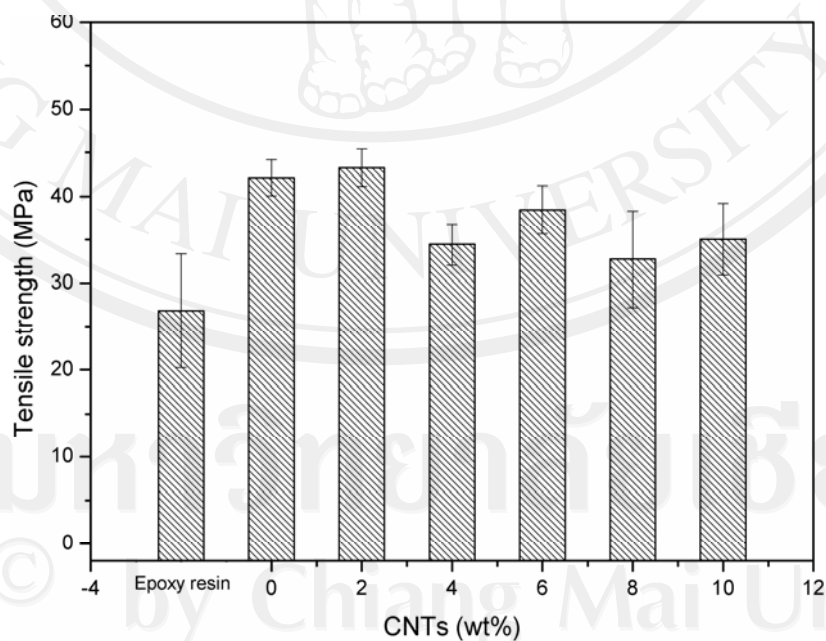


รูป 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานต้านทานแรงกระแทกกับเส้นใยไฟเบอร์ความยาวต่างๆของวัสดุผสม

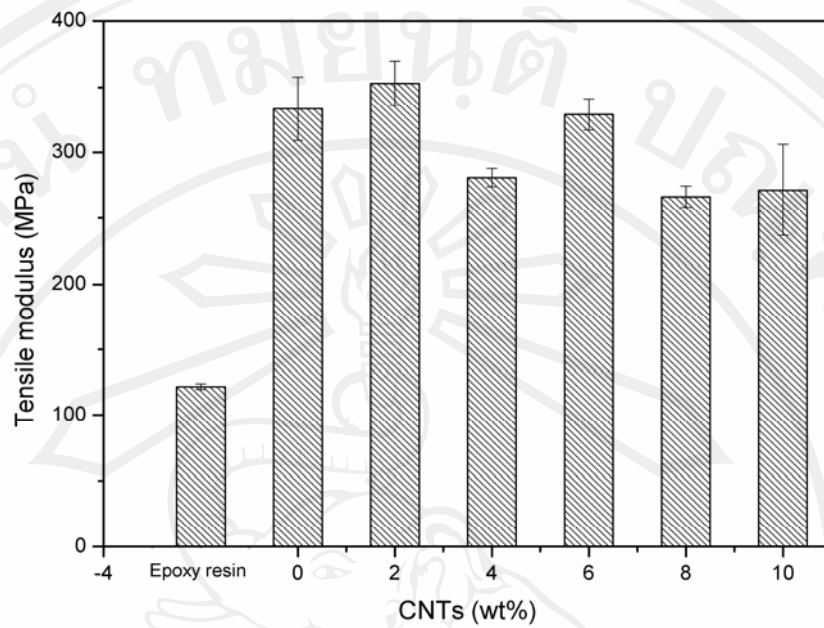
4.3 ผลของการศึกษาวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินกับเส้นใยไฟเบอร์และท่อนาโนคาร์บอน ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลบางอย่าง

4.3.1 ผลของการศึกษาวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินกับเส้นใยไฟเบอร์และท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) ในสัดส่วนต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

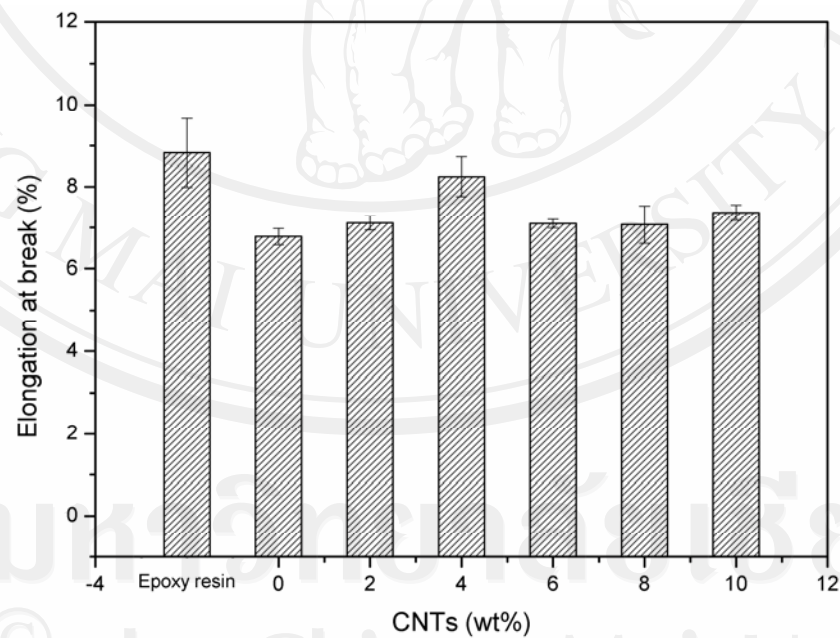
จากรูป 4.7 และ รูป 4.8 เมื่อผสมท่อนาโนคาร์บอนในสัดส่วน 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 wt % พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังของวัสดุผสมที่สัดส่วนท่อนาโนคาร์บอน 2 wt % มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากการเติมสัดส่วนท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณน้อยทำให้แรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับเส้นใย เกิดได้มากกว่าแรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับอนุภาค ส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับท่อนาโนคาร์บอนเกิดได้มากขึ้น จึงทำให้ผลการทดสอบสมบัติค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อเพิ่มสัดส่วนท่อนาโนคาร์บอนแนวโน้มค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังมีค่าลดลง เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนจะเกิดการจับกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้เกิดแรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับอนุภาค ซึ่งเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals force) ได้มากกว่าแรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับเส้นใย ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง [38] ส่วนเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของวัสดุผสม ดังรูป 4.9 พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของวัสดุผสมเส้นใยไฟเบอร์ผสมท่อนาโนคาร์บอนในสัดส่วนต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าน้อยกว่าอีพ็อกซีเรซิน ดังเหตุผลเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2.1



รูป 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดกับสัดส่วนของท่อนาโนคาร์บอนของวัสดุผสม



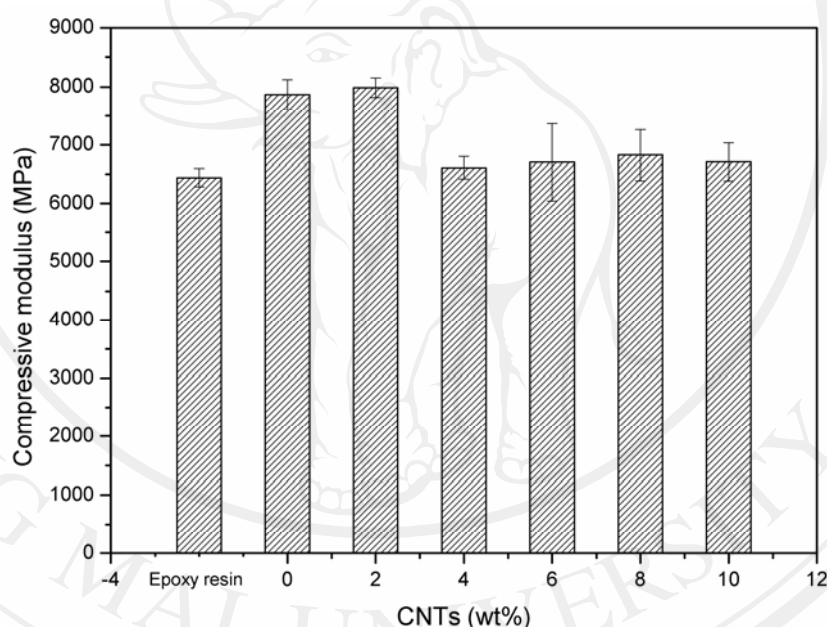
รูป 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังกับสัดส่วนของท่อนาโนคาร์บอนของวัสดุผสม



รูป 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับสัดส่วนของท่อนาโนคาร์บอนของวัสดุผสม

4.3.2. ผลของการศึกษาวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินกับเส้นใยไฟเบอร์และท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) ในสัดส่วนต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงอัด

จากรูป 4.10 เมื่อผสมท่อนาโนคาร์บอนในสัดส่วน 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 wt % พบว่าค่ามอดูลัสของความต้านทานแรงอัดของวัสดุผสมที่สัดส่วนท่อนาโนคาร์บอน 2 wt % มีค่าสูงที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับวัสดุผสมที่ไม่เติมท่อนาโนคาร์บอน อาจเนื่องมาจากมีการเติมท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณน้อยทำให้แรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับเส้นใย เกิดได้มากกว่าแรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับอนุภาค ส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับท่อนาโนคาร์บอนเกิดได้มากขึ้น ดังกล่าวในหัวข้อ 4.3.1 แต่เมื่อสัดส่วนท่อนาโนคาร์บอนเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 4 wt% จนถึง 10 wt% กราฟจะมีลักษณะคงที่ และเริ่มลดลงเล็กน้อย อธิบายเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.1 และ 4.2.2

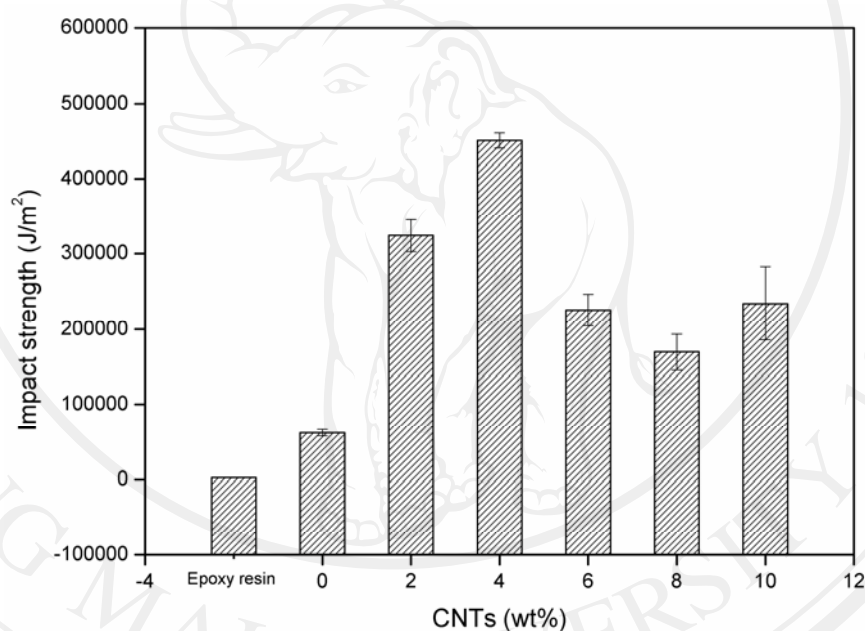


รูป 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวกับสัดส่วนของท่อนาโนคาร์บอนของวัสดุผสม

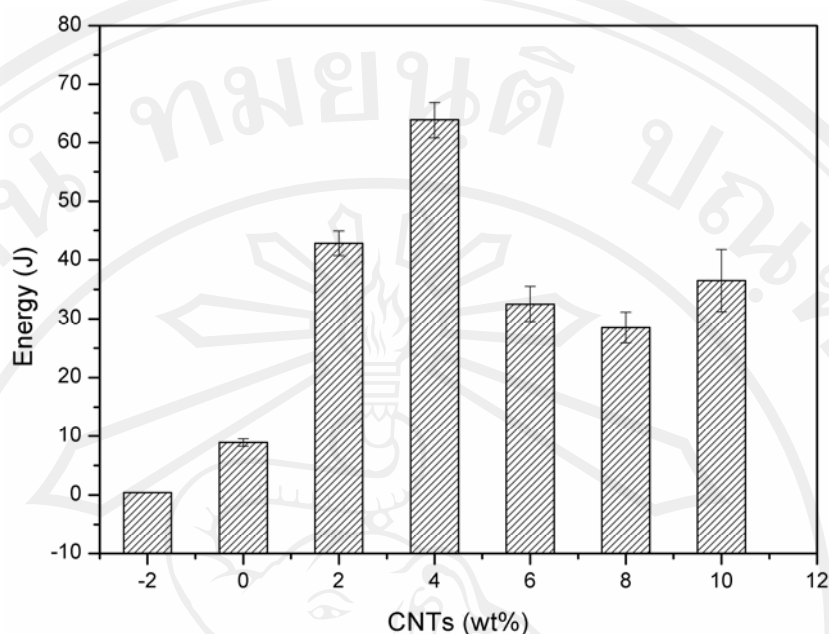
4.3.3. ผลของการศึกษาวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินกับเส้นใยไฟเบอร์และท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) ในสัดส่วนต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงกระแทก

จากรูป 4.11 และ 4.12 พบว่า ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนท่อนาโนคาร์บอนเพิ่มขึ้นจาก 2 wt% ถึง 4 wt% โดยที่สัดส่วนท่อนาโนคาร์บอน 4 wt% มีค่าความต้านทานแรงกระแทกสูงสุด ซึ่งแตกต่างจากค่าความต้านทานแรงดึง อาจเนื่องมาจากการกระจายตัวของชิ้นงานที่ใช้สัดส่วนท่อนาโนคาร์บอน 4 wt% มีการกระจายตัวดีกว่าทำให้แรง

อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับเส้นใยเกิดได้มากกว่าแรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับอนุภาค ส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับท่อนาโนคาร์บอนเกิดได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าพลังงานที่ใช้ทำให้ชิ้นงานแตกหักเพิ่มขึ้นทำให้วัสดุผสมมีลักษณะเหนียวขึ้น หลังจากนั้นค่าความต้านทานแรงกระแทกจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการเติมท่อนาโนคาร์บอนมากเกินไป ทำให้แรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับอนุภาคซึ่งเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals force) เกิดได้มากกว่าแรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับเส้นใย ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.1



รูป 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกระแทกกับสัดส่วนของท่อนาโนคาร์บอนของวัสดุผสม

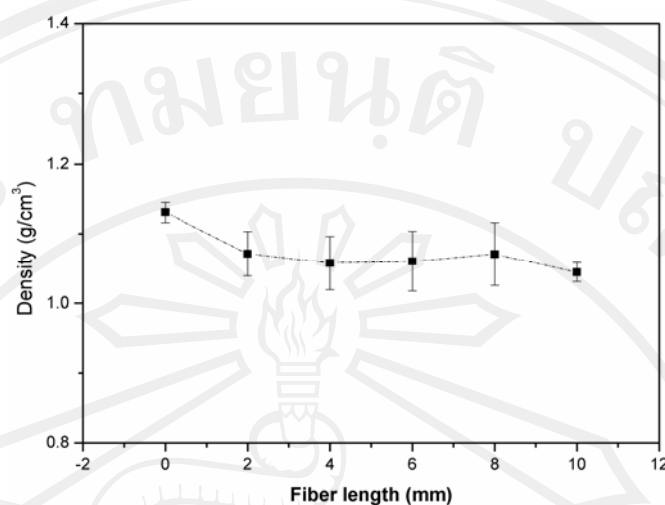


รูป 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานความต้านทานแรงกระทำกับสัดส่วนของท่อนาโนคาร์บอนของวัสดุผสม

4.4 ผลของการศึกษาความหนาแน่นของวัสดุผสม ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า

4.4.1 ผลการศึกษาความหนาแน่นของวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินและเส้นใยไฟเบอร์ในขนาดความยาวต่างๆ

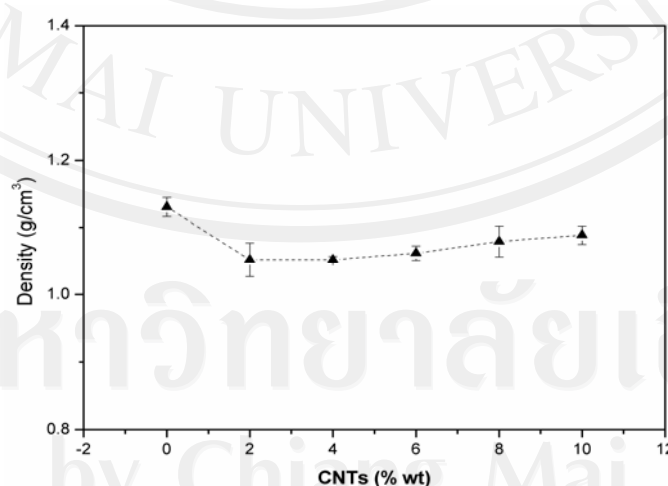
จากรูป 4.13 พบว่า ความหนาแน่นของวัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีขนาดความยาวต่างๆมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการกดทับขึ้นรูปวัสดุผสมใช้น้ำหนักที่เท่ากันจึงช่วยให้อนุภาคเคลื่อนที่สัมผัสกันได้ดีและสม่ำเสมอ ซึ่งความหนาแน่นจะสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักของวัสดุ เมื่อปริมาณของเส้นใยเท่ากันขึ้นทดสอบที่ได้จะมีน้ำหนักเท่ากัน ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของขึ้นทดสอบเท่ากันหรือใกล้เคียงกันด้วย อีกเหตุผลหนึ่งอาจมาจากชิ้นงานที่นำมาทดสอบนั้นมีการกระจายตัวของเส้นใยไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้เมื่อนำไปทดสอบจะได้ค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย แต่ยังมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับอีพ็อกซีเรซิน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเส้นใยธรรมชาติมีค่าความหนาแน่นต่ำและการไม่ยึดเกาะของพอลิเมอร์กับเส้นใย เพราะพอลิเมอร์เป็นพวกไม่ชอบน้ำ



รูป 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์คาร์บอนยาวต่างๆ

4.4.2 ผลการศึกษาความหนาแน่นของวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินกับเส้นใยไฟเบอร์และท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) ในสัดส่วนต่างๆ

จากรูป 4.14 พบว่า ความหนาแน่นของวัสดุผสมมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.1 ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตามสัดส่วนท่อนาโนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอนุภาคของท่อนาโนคาร์บอนเกิดการเชื่อมต่อกันแน่นขึ้น ส่งผลให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลง

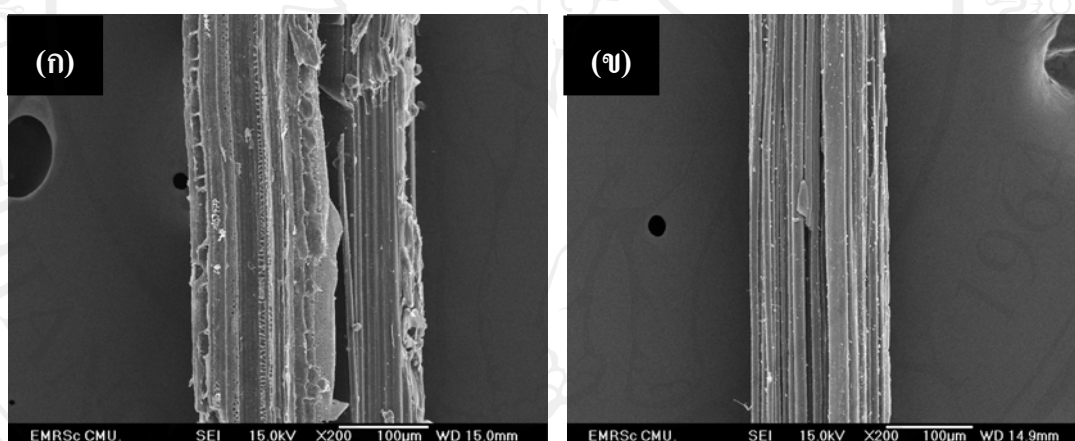


รูป 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับวัสดุผสมระหว่างเส้นใยไฟเบอร์และอีพ็อกซีเรซินผสมท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) ในปริมาณต่างๆ

4.5 ผลของการศึกษาลักษณะพื้นผิวเส้นใยและพื้นผิวที่เสถียรภาพของวัสดุผสม โดยวิธี Scanning electron microscopy (SEM)

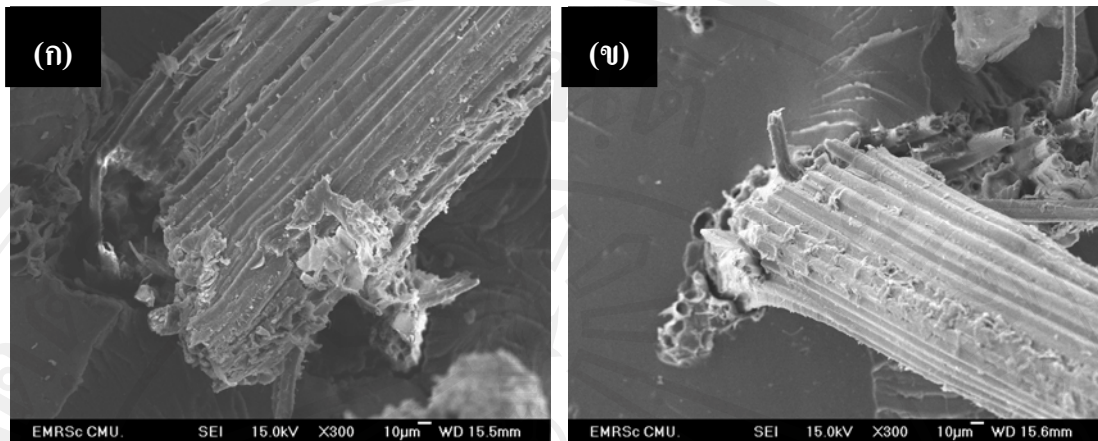
4.5.1. ผลของการศึกษาพื้นผิวเส้นใยและพื้นผิวที่เสถียรภาพของวัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ทั้งที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร (Untreated fiber) และเส้นใยที่ผ่านการดัดแปร (Alkaline treated fiber)

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยทั้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร (รูป 4.15 ก) และผ่านการดัดแปร (รูป 4.15 ข) พบว่าเส้นใยที่ผ่านการดัดแปร จะมีการกำจัดสารยึดติดอื่นๆ เช่น เพคติน (Pectin) ลิกนิน (Lignin) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะระหว่างไมโครไฟบริล (Microfibril) ออกไป ซึ่งจะเห็นได้จากภาพ SEM จะเห็นเส้นใยแตกออกเป็นเส้นเล็กๆ (Microfibril) ผิวของเส้นใยมีความขรุขระมากขึ้น



รูป 4.15 เส้นใยไผ่ที่ไม่ผ่านการดัดแปร (Untreated fiber; ก) และเส้นใยไผ่ที่ทำการดัดแปร (Alkaline treated fiber; ข) ที่กำลังขยาย 200 เท่า

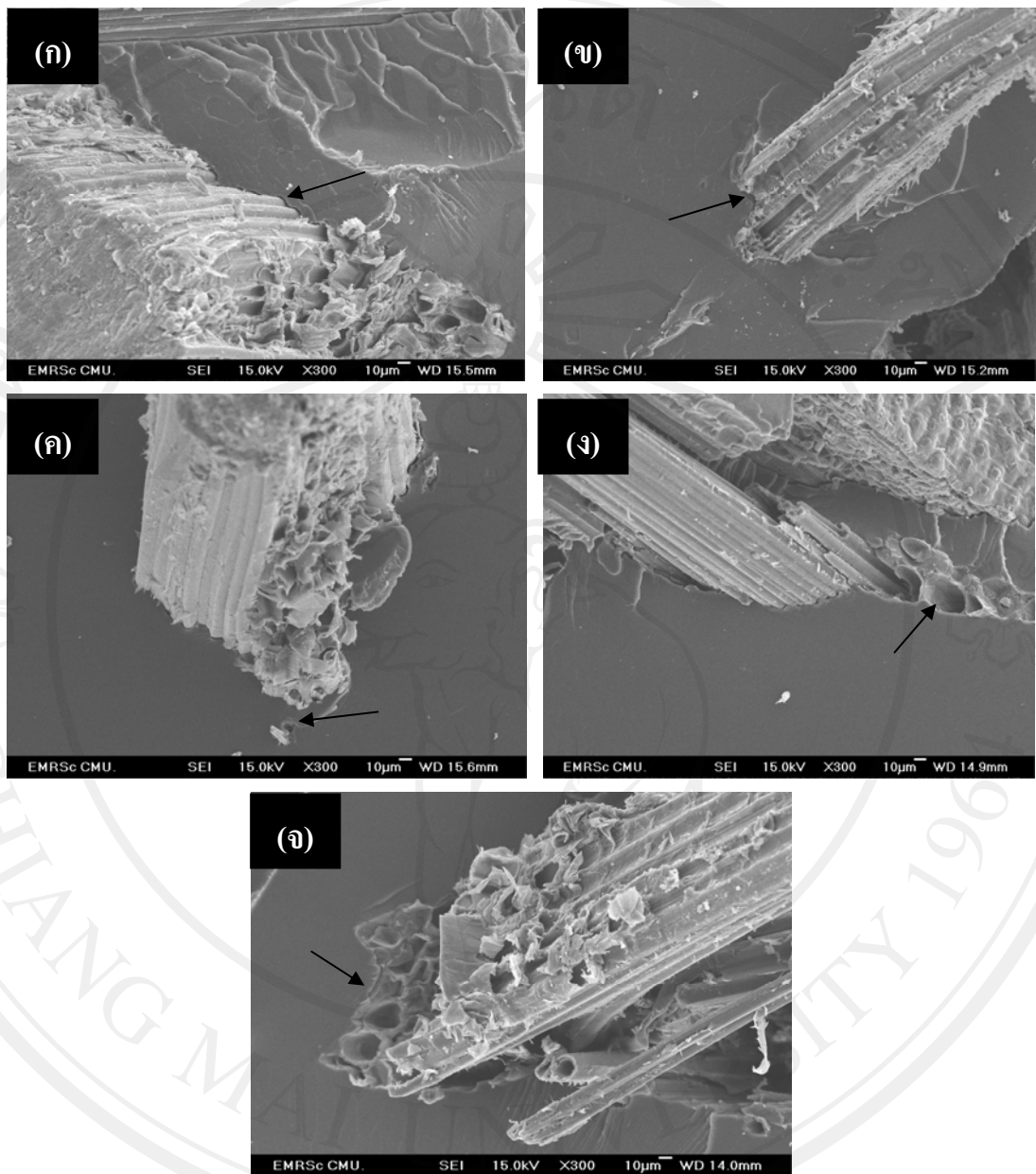
ส่วนรูป 4.16 ก-ข พบว่า วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร (Untreated fiber) จะเกิดหลุมและช่องว่างขนาดเล็ก ซึ่งทำให้การยึดเกาะระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยเกิดขึ้นได้น้อยลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของวัสดุผสมมีค่าลดลงด้วย (รูป 4.16 ก) ส่วนวัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการดัดแปร (Alkaline treated fiber) ช่องว่างระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยลดลง ทำให้การยึดเกาะเกิดได้มากขึ้น (รูป 4.16 ข)



รูป 4.16 ลักษณะพื้นผิวจากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของวัสดุผสม ระหว่างอีพ็อกซีเรซิน และเส้นใยทั้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร (Untreated fiber; ก) และ เส้นใยที่ทำการดัดแปร (Alkaline treated fiber; ข) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

4.5.2. ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวที่เสถียรภาพของวัสดุผสมระหว่างอีพ็อกซีเรซินและเส้นใยไฟ ในขนาดความยาวต่างๆ

จากรูป 4.17 ก-ข จะมีลักษณะของช่องว่างขนาดเล็ก (Small gap) รอบเส้นใย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการยึดเกาะระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยน้อยลง และทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมลดลงตามไปด้วย แต่เนื่องจากเป็นเส้นใยที่ผ่านการดัดแปร ผิวเส้นใยจึงขรุขระมากขึ้น และมีผลทำให้เกิด Mechanical interlocking ซึ่งจะทำให้แรงยึดเกาะระหว่างเมทริกซ์และเส้นใย ดีกว่าวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปร [35]



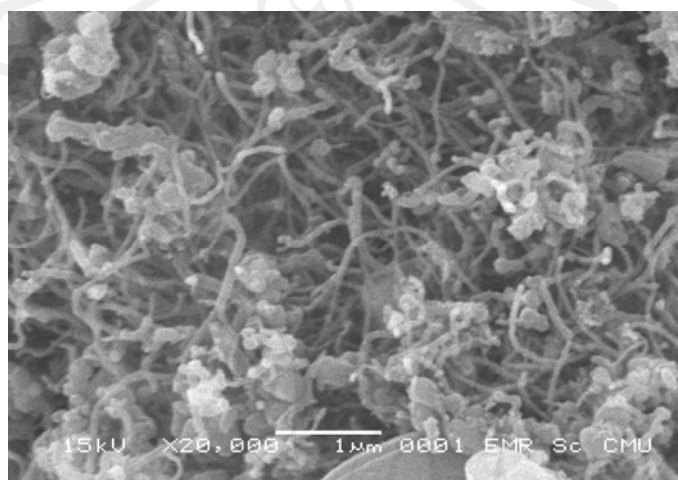
รูป 4.17 ลักษณะพื้นผิวจากการทดสอบการต้านทานแรงดึงระหว่างอีพ็อกซีเรซินและเส้นใยที่มีความยาวแตกต่างกัน (ก) 2, (ข) 4, (ค) 6, (ง) 8 และ (จ) 10 mm ที่กำลังขยาย 300 เท่า

ส่วนรูป 4.17 (ค) เกิดฟองอากาศ (Air bubbles) ที่มีลักษณะเป็นหลุม (Void) ในเมทริกซ์ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากขั้นตอนของการเตรียมวัสดุผสม หรือความชื้นเกิดการระเหยเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว [39] ในรูป 4.17 (ง) เป็นลักษณะของหลุมที่เกิดจากเส้นใยหลุดออกจากเมทริกซ์ (Pull-out) หลังทดสอบแรงดึง เกิดขึ้นเนื่องจากเส้นใยบางส่วนที่หลุดออกมา มีการดูดซับพลังงานในการยึดเกาะไม่เพียงพอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของพลังงานเกิดขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอ [21] การยึดเกาะที่ีระหว่างเมทริกซ์และเส้นใย ดังรูป 4.17 (จ) มีผลทำให้ Load acting บนเมทริกซ์

เกิดการส่งผ่านพลังงานมายังอินเตอร์เฟส (Interface) ดังนั้นการยึดเกาะของพันธะระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยจึงมีความแข็งแรง (High strength) และมีความแข็งตึง (Stiffness) สูง [40]

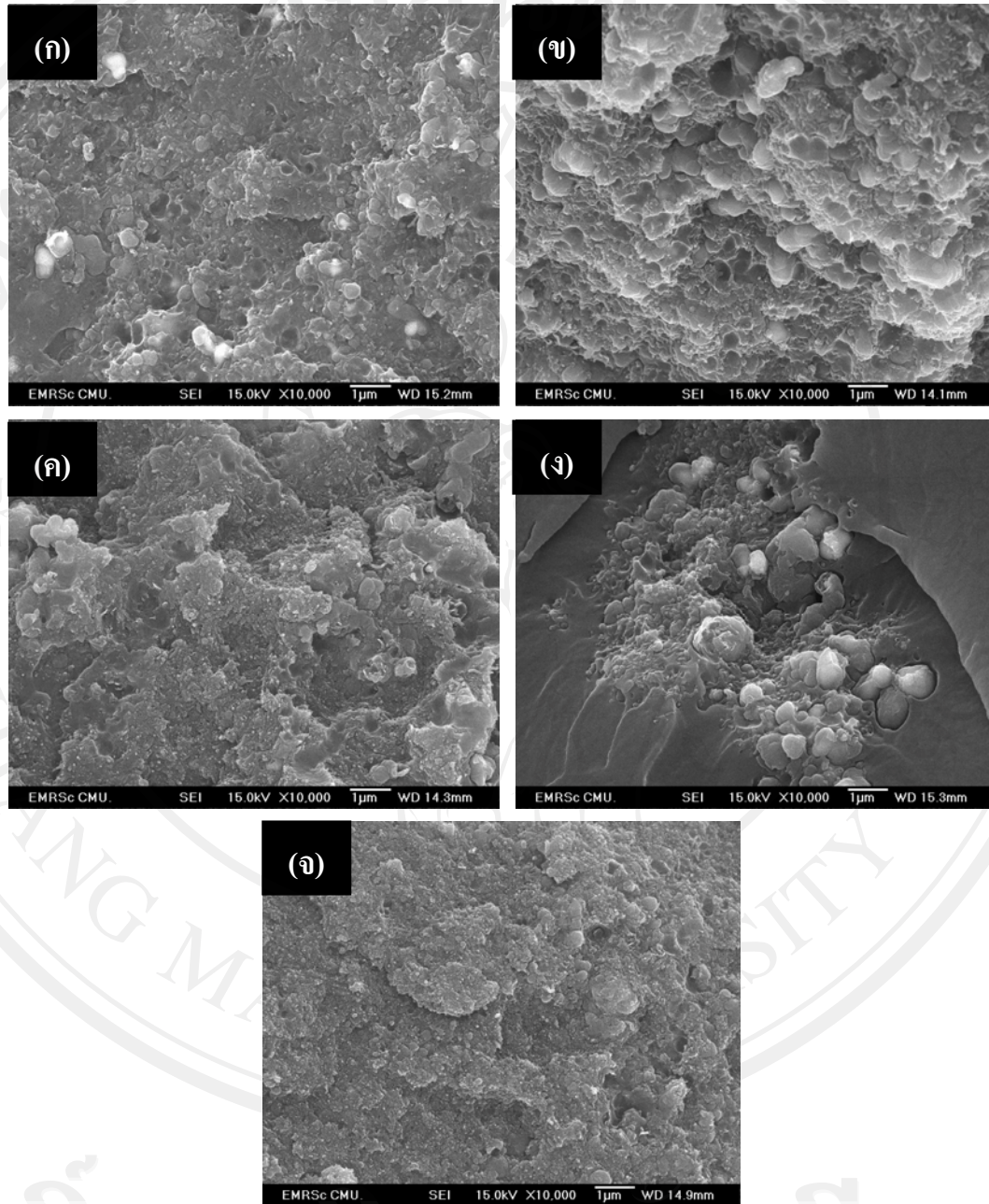
4.5.3. ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวที่เสถียรภาพของวัสดุผสมระหว่างเส้นใยไฟเบอร์และอีพ็อกซีเรซินผสมท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) ในสัดส่วนต่างๆ

จากรูป รูป 4.18 จะพบว่าท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) มีลักษณะเป็นท่อยาวซ้อนทับกัน และเกิดการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อน



รูป 4.18. ท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) ที่ผ่านทริทเมนต์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง กำลังขยาย 20,000 เท่า

จากรูป 4.19 แสดงลักษณะการกระจายตัวของท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณต่างๆผสมกับอีพ็อกซีเรซิน โดยมีเส้นใยไฟเบอร์เป็นตัวเสริมแรง ซึ่งจะเห็นได้ว่า อนุภาคของท่อนาโนคาร์บอนมีลักษณะการกระจายตัวในเนื้ออีพ็อกซีเรซินแตกต่างกัน โดยในกรณีของรูป รูป 4.19 (ก) และ (ข) ท่อนาโนคาร์บอนจะมีลักษณะของกลุ่มอนุภาคที่ค่อนข้างสม่ำเสมอและกระจายตัวได้ดี แต่เกิดการเกาะกลุ่มกันและกระจุกตัวเล็กน้อย ส่วนรูป 4.19 (ค), (ง) และ (จ) พบการกระจายตัวไม่ทั่วทั้งเนื้ออีพ็อกซีเรซิน และเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนชัดเจน อาจเป็นผลมาจากสัดส่วนท่อนาโนคาร์บอนที่เดิมมากเกินไปส่งผลให้เกิดแรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับอนุภาค ดังกล่าวข้างต้นหรือเกิดเนื่องจากกระบวนการ Ultrasonication ยังไม่สามารถทำให้การเกาะตัว (Agglomerate) ของท่อนาโนคาร์บอนหลุดออกจากกันได้มากนัก



รูป 4.19 ลักษณะพื้นผิวจากการทดสอบการต้านทานแรงดึงระหว่างอีพ็อกซีเรซินและเส้นใยที่ผสม
ท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณแตกต่างกัน (ก) 2 wt%, (ข) 4 wt%, (ค) 6 wt%, (ง) 8 wt%
และ (จ) 10 wt% ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า