บทที่ 3

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลของปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการปรับสภาพพื้นผิวต่อสมบัติทางกายภาพของอีพอกซีเรซินคอมโพสิท

3.1.1 สมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิการบิดเบี้ยว (Heat distortion temperature)

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานอีพอกซีเรซินและชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิทที่มีเส้นใยปริมาณต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซซัน (CL) จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิทมีค่าสูงกว่าของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิทจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของเส้นใยป่านศรนารายณ์และมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยป่าน 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่ที่ปริมาณเส้นใยป่าน 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานจะมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณเส้นใยป่านเท่ากัน จะพบว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นและเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน จะมีค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก

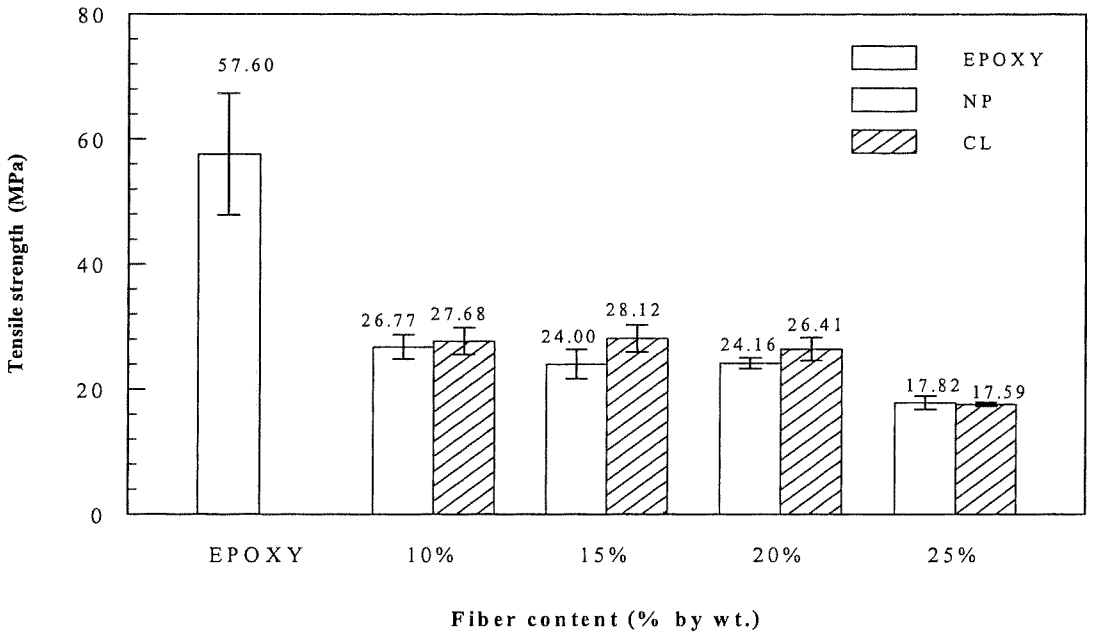
ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซซัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

ปริมาณเส้นใย (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิการบิดเบี้ยว (°C)	
	NP Composite	CL Composite
0	65.2 ± 0.50	65.2 ± 0.50
10	66.8 ± 0.94	66.6 ± 2.60
15	68.7 ± 1.60	67.7 ± 1.20
20	77.4 ± 0.82	76.6 ± 0.65
25	68.3 ± 0.83	74.2 ± 1.00

3.1.2 สมบัติเชิงกล

สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile properties)

ค่าความทนต่อแรงดึง ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก และ มอดุลัสของยังก์ ของอีพอกซีเรซินและอีพอกซีเรซินคอมโพสิทที่มีปริมาณเส้นใยเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่าง ๆ กัน โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซซัน (CL) แสดงในรูปที่ 3.1-3.3 ตามลำดับ

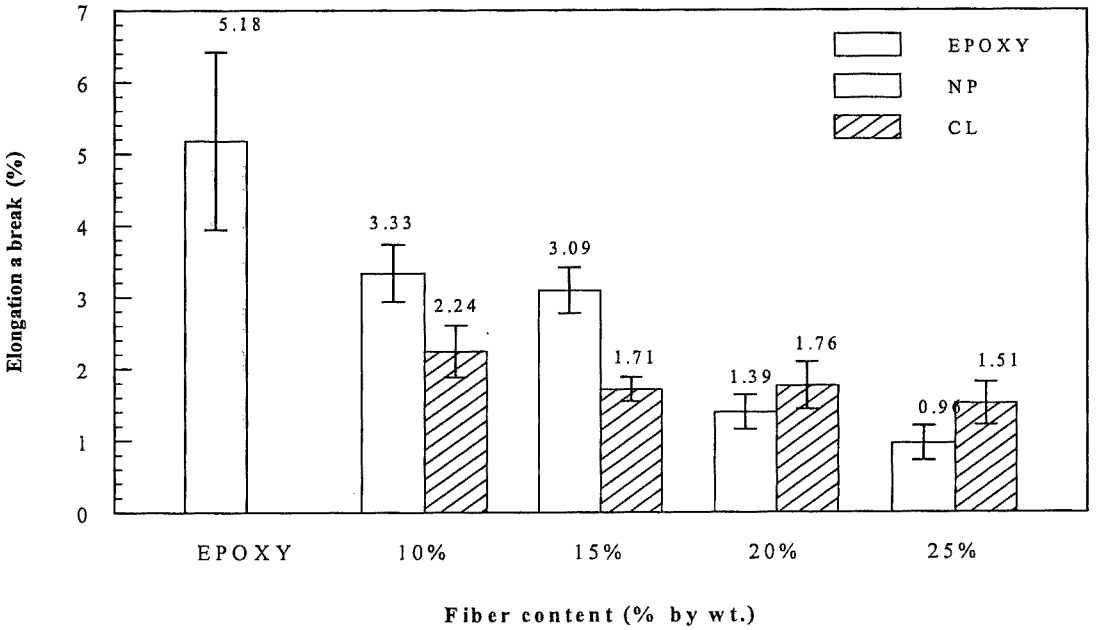


รูปที่ 3.1 ความทนต่อแรงดึงของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซซัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.1 พบว่าค่าความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ของชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าสูงกว่าค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานคอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินและเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิทที่มีปริมาณของเส้นใยป่านศรนารายณ์แตกต่างกัน พบว่า ชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุด ส่วนชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าความทนต่อแรงดึงลดลง อาจเนื่องมาจากเส้นใยป่านศรนารายณ์มีสมบัติในการดูดซับความชื้นได้ดี และทำให้เปียก (wet) โดย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

อีพอกซีเรซินได้ไม่ดีนัก ดังนั้นเมื่อใช้เส้นใยในปริมาณที่มากขึ้นเกินค่า ๆ หนึ่ง ปริมาณความชื้นในคอมโพสิทมากขึ้น ทำให้เกิดเป็นไอน้ำปริมาณมากที่อุณหภูมิการขึ้นรูป เกิดเป็นโพรงอากาศ และทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงมีค่าลดลง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาที่ปริมาณเส้นใยป่านเท่ากัน จะพบว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นและเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน จะให้ค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานอีพอกซีคอมโพสิทที่ค่าใกล้เคียงกันมาก

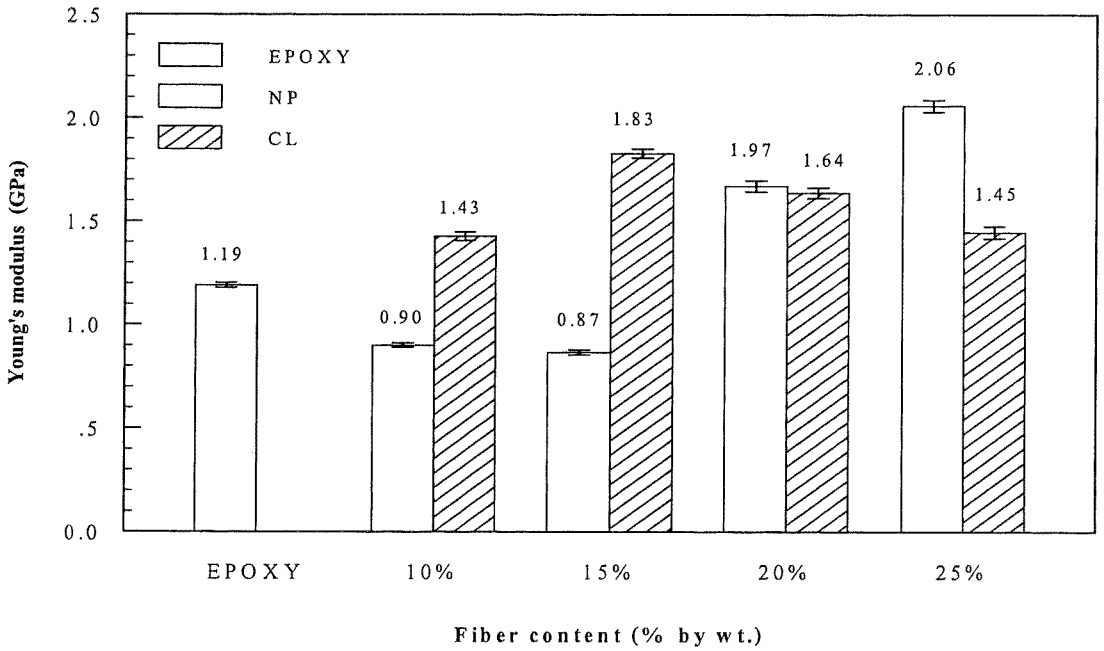


รูปที่ 3.2 ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซซัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.2 พบว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (elongation at break) ของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน มีค่าสูงกว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิท เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิทที่มีปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่างๆ กัน พบว่าในกรณีที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นที่ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิทสูงและมีค่าใกล้เคียงกัน และในกรณีที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน พบว่า การใช้ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิทสูงสุด และที่ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิทที่ค่าใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าความ

วันที่ 13 มิ.ย. 2553
เลขทะเบียน 227106

ยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักมีค่าลดลง เนื่องจากเส้นใยป่านศรนารายณ์มีค่ามอดุลัสสูงและเปียกอีพอกซีเรซินได้ไม่ดี นอกจากนี้ ความชื้นที่มีอยู่ในเส้นใยป่านศรนารายณ์ ทำให้เกิดไอน้ำและโพรงอากาศขึ้นในชิ้นงาน ซึ่งเป็นตำหนิที่ทำให้ชิ้นงานทนต่อการดึงยืดได้น้อย

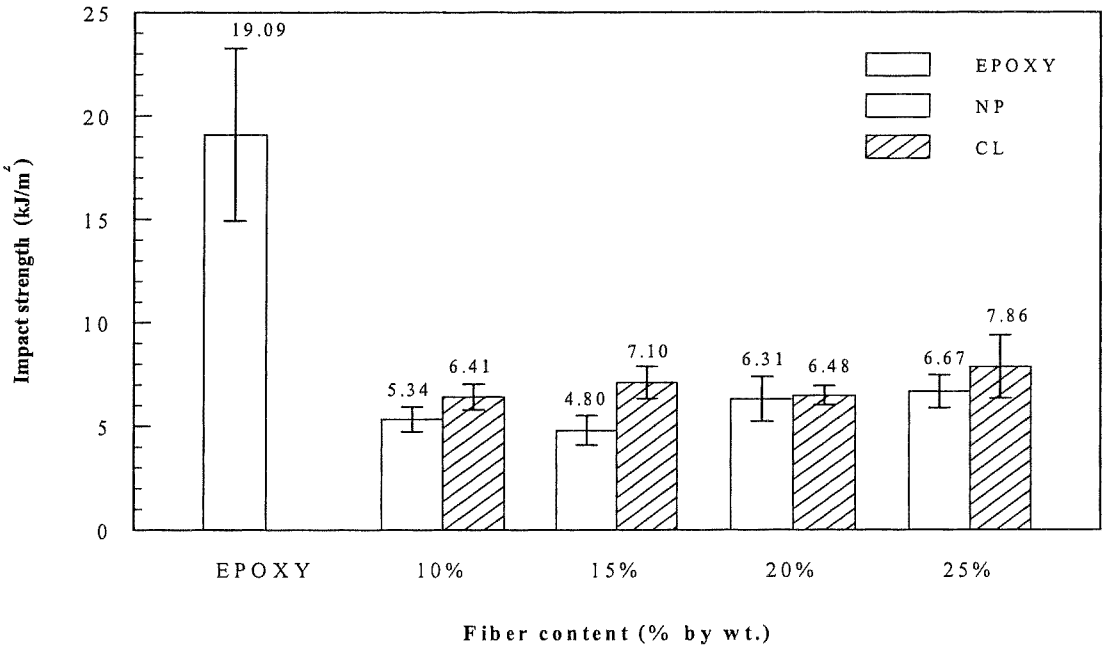


รูปที่ 3.3 มอดุลัสของยังก์ของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซซัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.3 พบว่าค่ามอดุลัสของยังก์ (Young's modulus) ของชิ้นงานคอมโพสิทจะมีค่าสูงกว่าค่ามอดุลัสของยังก์ของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิทที่มีปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่างกัน พบว่าในกรณีการใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น ชิ้นงานคอมโพสิทจะมีค่ามอดุลัสของยังก์เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยป่านในชิ้นงานคอมโพสิท ส่วนในกรณีการใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน ชิ้นงานคอมโพสิทจะมีค่ามอดุลัสของยังก์เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดในชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้ปริมาณเส้นใยป่าน 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์สองชนิด พบว่า ชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นจะมีค่ามอดุลัสของยังก์สูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน

สมบัติความทนต่อแรงกระแทก (impact properties)

ค่าความทนต่อแรงกระแทกของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซซัน (CL) แสดงในรูปที่ 3.4



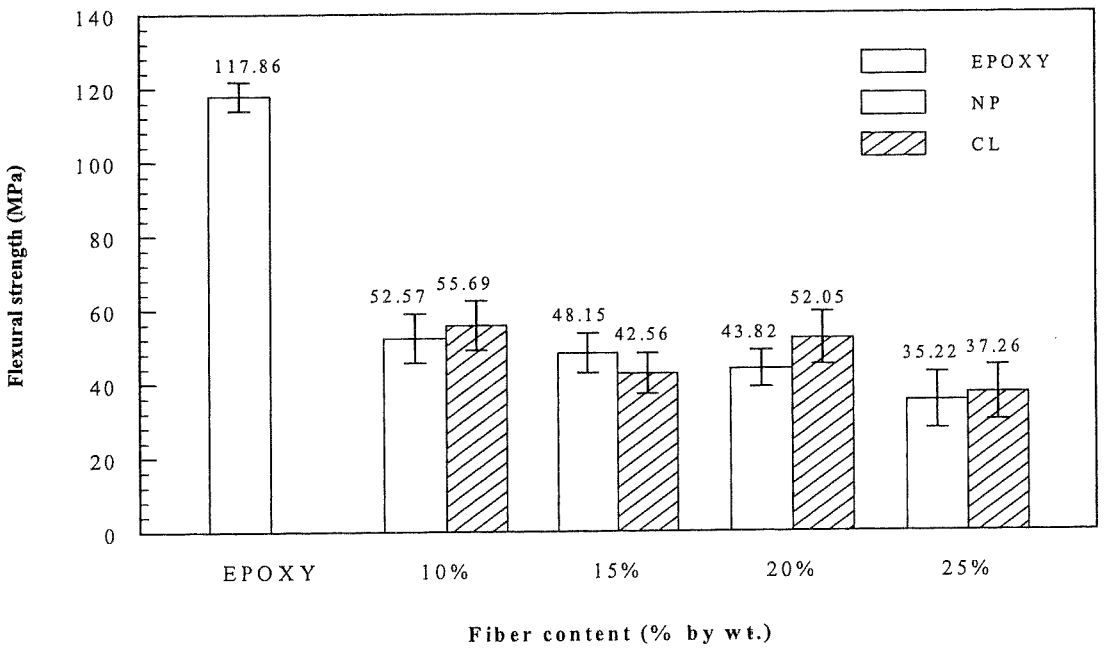
รูปที่ 3.4 ความทนต่อแรงกระแทกของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซซัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.4 พบว่าค่าความทนต่อแรงกระแทก (impact strength) ของชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าสูงกว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิท และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิทที่มีปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่างกัน พบว่า ปริมาณเส้นใยป่านเพิ่มขึ้นในชิ้นงานไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงกระแทกอย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะดังกล่าวพบทั้งในกรณีของเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นและกรณีของเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและทำอัลคาไลน์เซซัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์สองชนิด พบว่าชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน จะมีค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซันมีการกระจายตัวในเนื้ออีพอกซีเร

ซิน ดีกว่า ดังนั้น จึงกระจายแรงตกระทบได้ดีกว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น และทำให้มีค่าความทนต่อแรงกระแทกที่สูงกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น

สมบัติความทนต่อแรงดัด (Flexural properties)

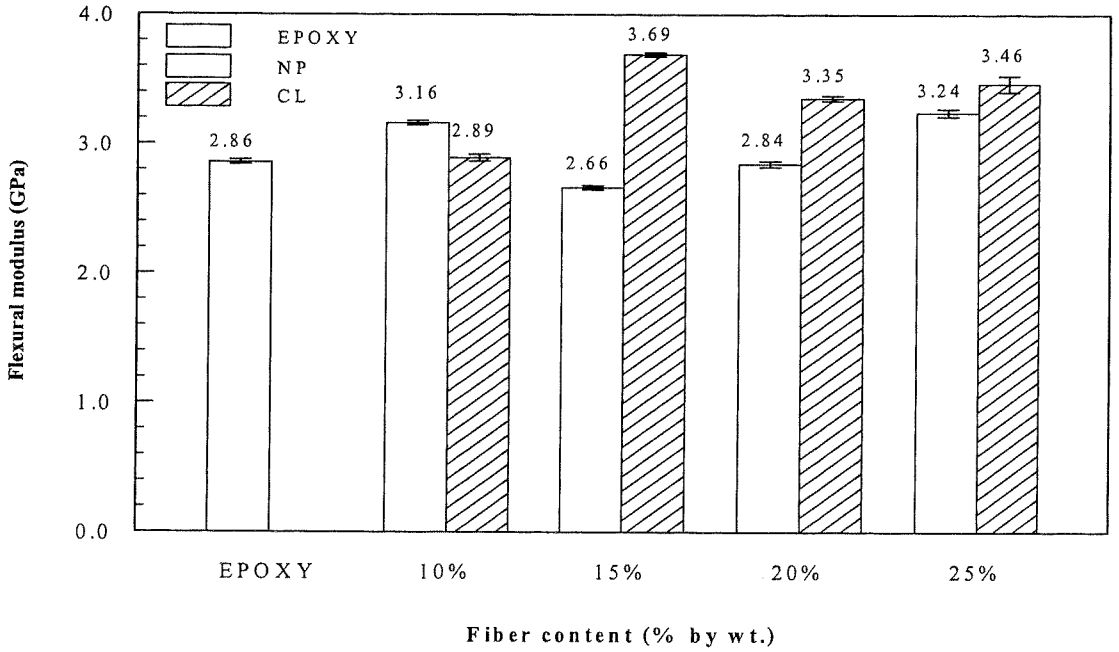
ค่าความแข็งแรงดัด (flexural strength) และค่ามอดุลัสแรงดัด (flexural modulus) ของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) แสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 ความทนต่อแรงดัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิท ระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.5 พบว่าค่าความแข็งแรงดัด ของชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงานคอมโพสิท เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิทที่มีปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่างกัน จะพบว่าในกรณีที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นจะมีค่าความแข็งแรงดัดลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์เพิ่มสูงขึ้น และในกรณีเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน พบว่าที่ปริมาณเส้นใยป่าน 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะ

มีค่าความแข็งแรงดัดมีค่าอยู่ในช่วง 40- 50 MPa แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยป่านเป็น 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงดัดมีค่าลดลง เนื่องจากเส้นใยป่านศรนารายณ์เปียกอีพอกซีเรซินได้ไม่ดีและความชื้นที่มีอยู่ในเส้นใยป่านศรนารายณ์ ทำให้เกิดไอน้ำและโพรงอากาศขึ้นในชิ้นงาน ตามปริมาณเส้นใยป่านที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้แรงกระทำที่อินเทอร์เฟสระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ลดลง ส่งผลทำให้ความทนต่อแรงดัดมีค่าลดลง



รูปที่ 3.6 มอดุลัสของการดัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซซัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.6 พบว่าค่ามอดุลัสแรงดัดของชิ้นงานคอมโพสิทมีค่าสูงกว่าค่ามอดุลัสแรงดัดของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิทที่มีปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่างกัน พบว่า ค่ามอดุลัสแรงดัดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันไม่ขึ้นกับปริมาณเส้นใยป่าน และชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซันที่ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะมีค่ามอดุลัสแรงดัดสูงที่สุด

3.2 ผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารประสานไซเลนต่อสมบัติของอีพอกซีเรซินคอมโพสิท

การศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารประสานไซเลนต่อสมบัติของอีพอกซีเรซินคอมโพสิท ได้ใช้ตัวแปรในการศึกษา คือ เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน (CL) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิด APES และ GPMS ณ เวลาการปรับสภาพผิวต่างๆ โดยได้เตรียมอีพอกซีเรซินคอมโพสิทโดยใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยคงที่ที่ 15 % โดยน้ำหนัก เนื่องจากผลการศึกษาในหัวข้อ 3.1 พบว่า ที่ปริมาณเส้นใย 15 % โดยน้ำหนัก เป็นสัดส่วนเส้นใยที่ทำให้ได้อีพอกซีเรซินคอมโพสิทที่มีการกระจายตัวของเส้นใยดีกว่าอีพอกซีเรซินคอมโพสิทที่เตรียมขึ้นโดยใช้ปริมาณเส้นใยที่มากหรือน้อยกว่านี้และมีสมบัติเชิงกลเหมาะสม

3.2.1 สมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิการบิดเบี้ยว

ตารางที่ 3.2 แสดงอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิด APES และ GPMS ณ เวลาต่าง ๆ จากตารางที่ 3.2 พบว่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของอีพอกซีเรซินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานคอมโพสิท และชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวโดยการแช่ในสารประสาน GPMS เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะมีค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวสูงที่สุด

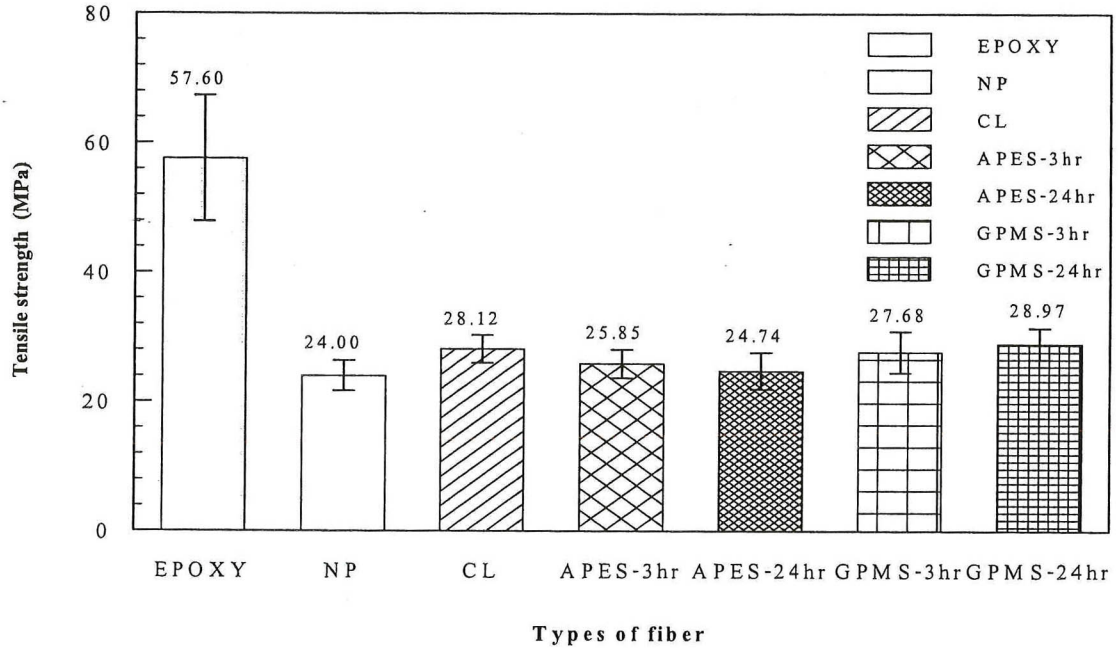
ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ชนิดเส้นใย	อุณหภูมิการบิดเบี้ยว (°C)
Epoxy pure	65.2 ± 0.50
NP 15%wt	68.70 ± 1.60
CL 15%wt	67.70 ± 1.20
APES-3 hr	72.00 ± 1.00
APES-24 hr	71.50 ± 1.15
GPMS-3 hr	70.07 ± 1.00
GPMS-24 hr	73.67 ± 0.62

3.2.2 สมบัติเชิงกล

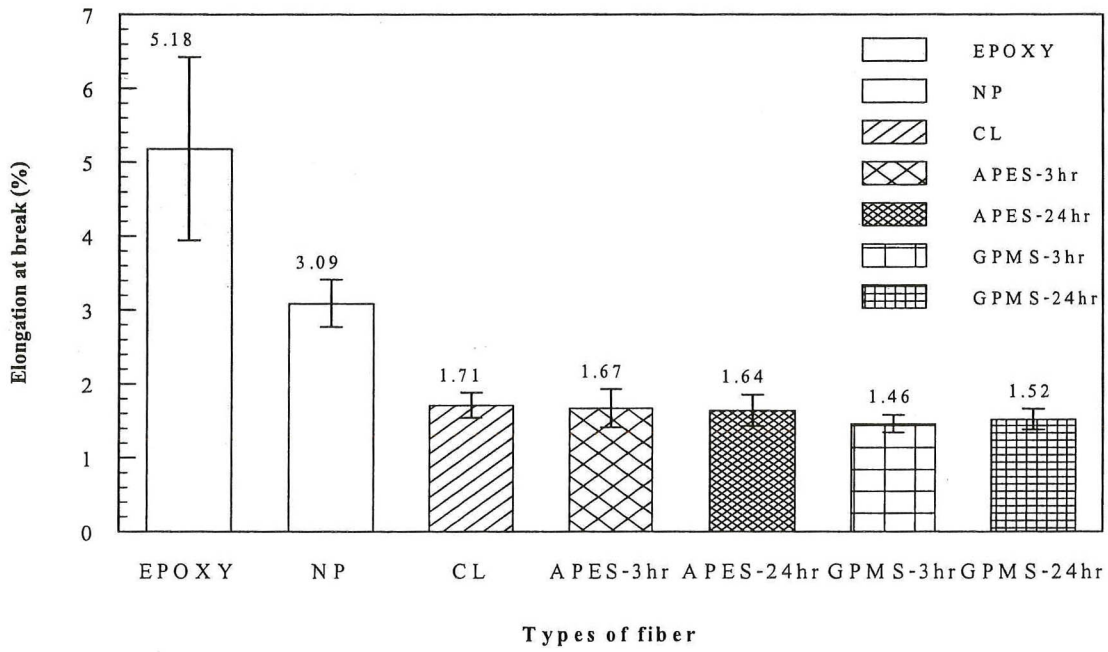
สมบัติความทนต่อแรงดึง

ค่าความทนต่อแรงดึง ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก และ มอดุลัสของยังก์ ของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิด APES และ GPMS ณ เวลาต่างๆ แสดงในรูปที่ 3.7-3.9 ตามลำดับ



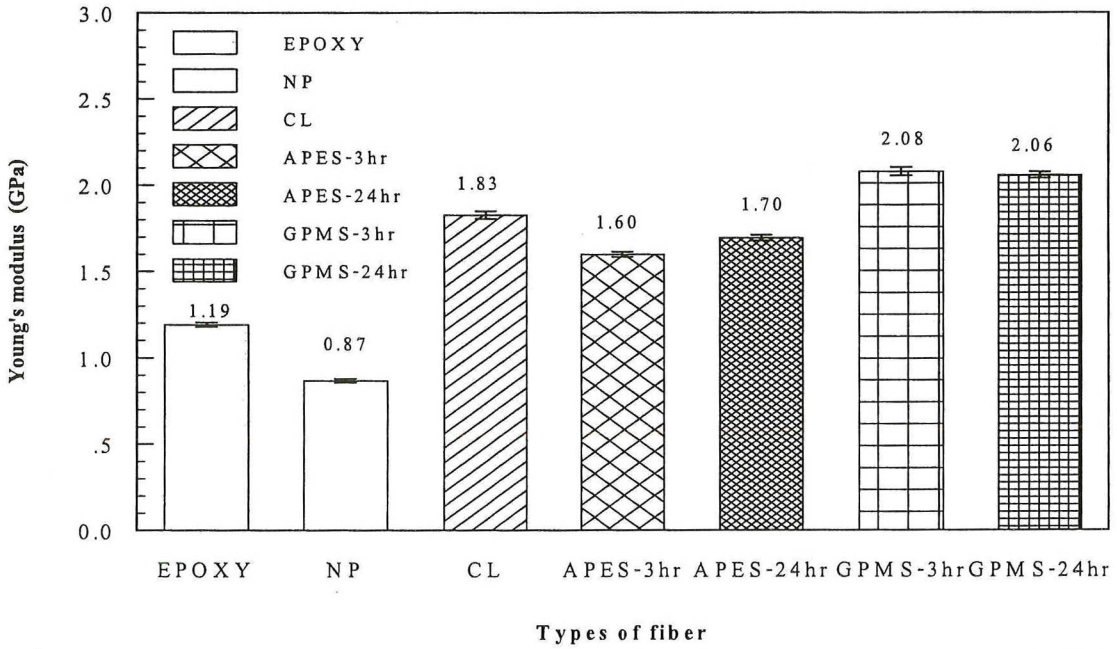
รูปที่ 3.7 ความทนต่อแรงดึงของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่าค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าสูงกว่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานคอมโพสิท และเมื่อเปรียบเทียบผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารประสานไซเลน พบว่า ชิ้นงานคอมโพสิทที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน GPMS จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิทที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน APES นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์โดยใช้สารประสานไซเลนประเภทเดียวกันแต่ใช้เวลาในการแช่เส้นใยในสารประสานไซเลนต่างกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เส้นใยไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานคอมโพสิท



รูปที่ 3.8 ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน มีค่าสูงกว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิท เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิทที่เตรียมขึ้นโดยใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์แบบต่าง ๆ พบว่า การใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นจะทำให้ชิ้นงานคอมโพสิทมีค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก สูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิทที่ได้จากการใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซซัน และสูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิทที่ได้จากการใช้เส้นใยที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารไซเลนต่างชนิดกัน นอกจากนี้ ชิ้นงานคอมโพสิทสองประเภทหลังยังให้ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนและเวลาที่ใช้ในการแช่เส้นใยในสารประสานไซเลนไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิท

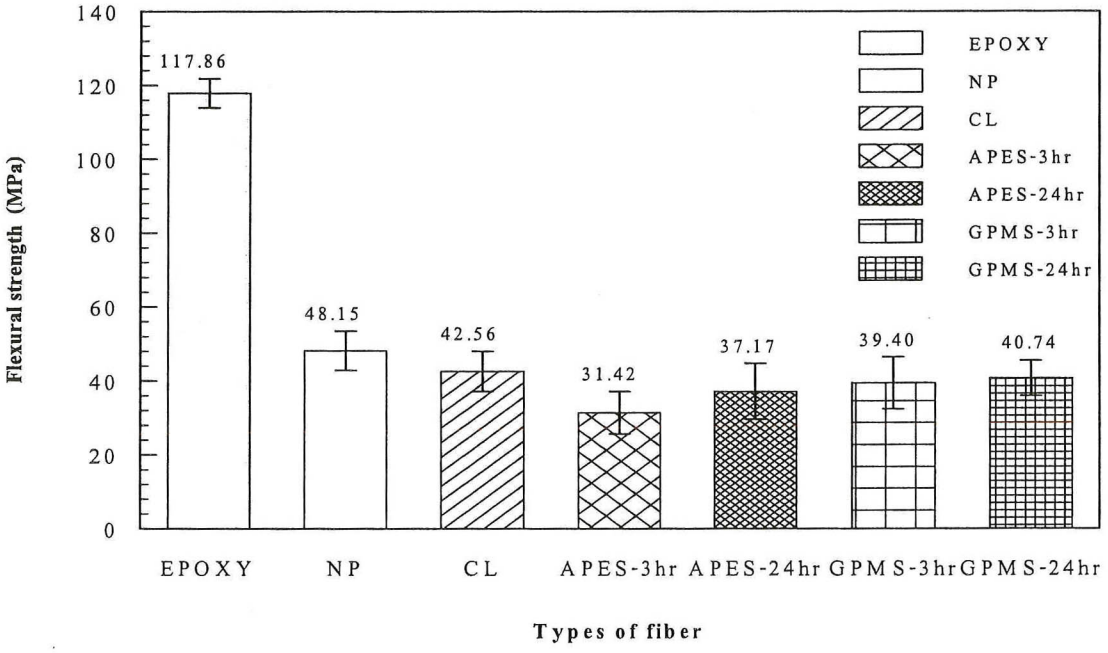


รูปที่ 3.9 มอดุลัสของยังก์ของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นมีค่ามอดุลัสของยังก์ต่ำที่สุด และต่ำกว่าค่ามอดุลัสของยังก์ของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอีพอกซีเรซินกับชิ้นงานคอมโพสิทที่เตรียมขึ้นโดยใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์แบบอื่น พบว่า ค่ามอดุลัสของยังก์ของชิ้นงานคอมโพสิทมีค่าสูงกว่าค่ามอดุลัสของยังก์ของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการที่มีแรงกระทำระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์เพิ่มขึ้นหลังจากการทำอัลคาไลน์เซชันหรือปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารไซเลน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันและชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน พบว่า มีค่ามอดุลัสของยังก์ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาการปรับสภาพพื้นผิวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วย พบว่าสารประสานไซเลน GPMS จะส่งผลให้ค่ามอดุลัสของยังก์มีค่าสูงกว่าการใช้สารประสานไซเลน APES

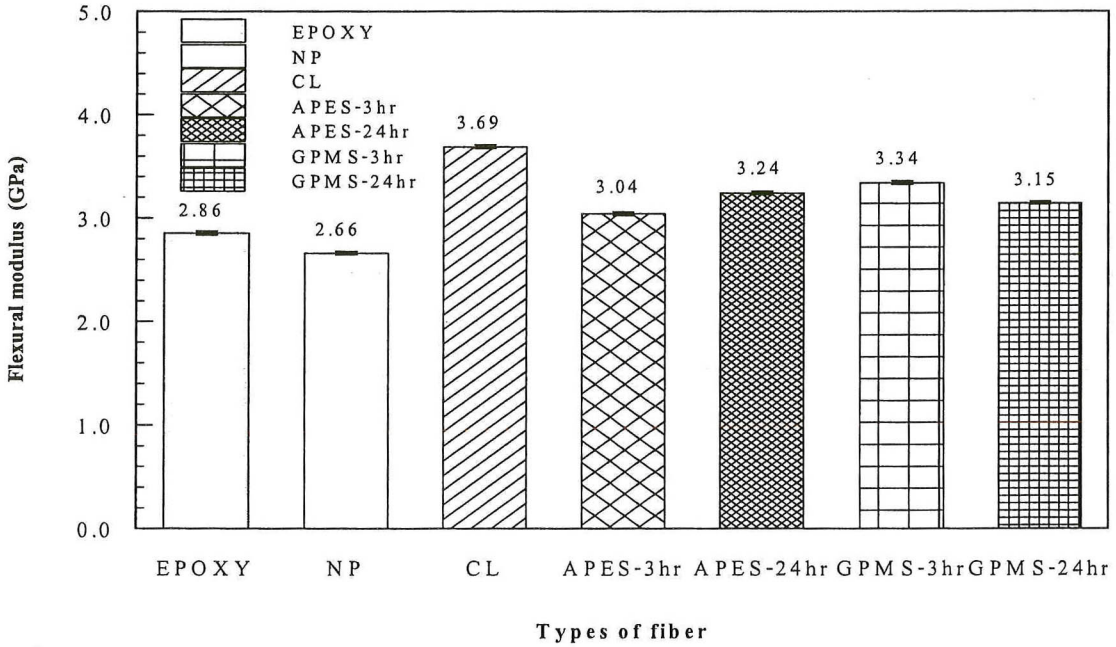
ความแข็งแรงดัด

ค่าความแข็งแรงดัดและค่ามอดุลัสแรงดัดของอีพอกซีเรซิน และพอลิเมอร์คอมโพสิท-ระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน APMS และ GPMS ณ เวลาต่าง ๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 ความแข็งแรงดัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าความแข็งแรงดัดสูงกว่าค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงานคอมโพสิท และเมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานคอมโพสิทที่มีปริมาณเส้นใยเท่ากัน พบว่า มีค่าความแข็งแรงดัดแตกต่างกันน้อย โดยชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นจะมีค่าความแข็งแรงดัดที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน พบว่าชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย GPMS เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะมีค่าความแข็งแรงดัดสูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย APES หรือเส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย GPMS เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเล็กน้อย

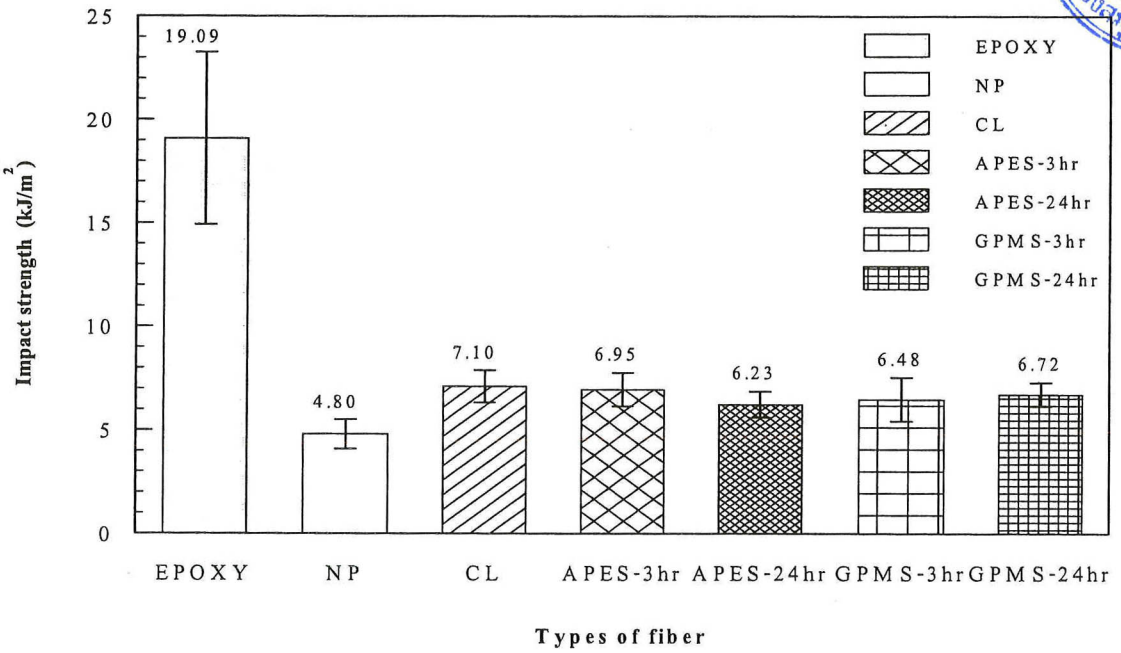


รูปที่ 3.11 มอดุลัสแรงดัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานคอมโพสิทมีค่ามอดุลัสแรงดัด สูงกว่าค่ามอดุลัสแรงดัดของชิ้นงานอีพอกซีเรซินและเมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานคอมโพสิทที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนชนิดต่างกันที่เวลาต่างกัน พบว่า ชิ้นงานคอมโพสิทมีค่ามอดุลัสแรงดัดที่มีค่าใกล้เคียงกัน

สมบัติการทนต่อแรงกระแทก

ค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนทั้งสองชนิด ณ เวลาต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 3.12 ชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิท และเมื่อเปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิทเมื่อมีการใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันและปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนพบว่ามีค่าความทนต่อแรงกระแทกที่ใกล้เคียงกัน

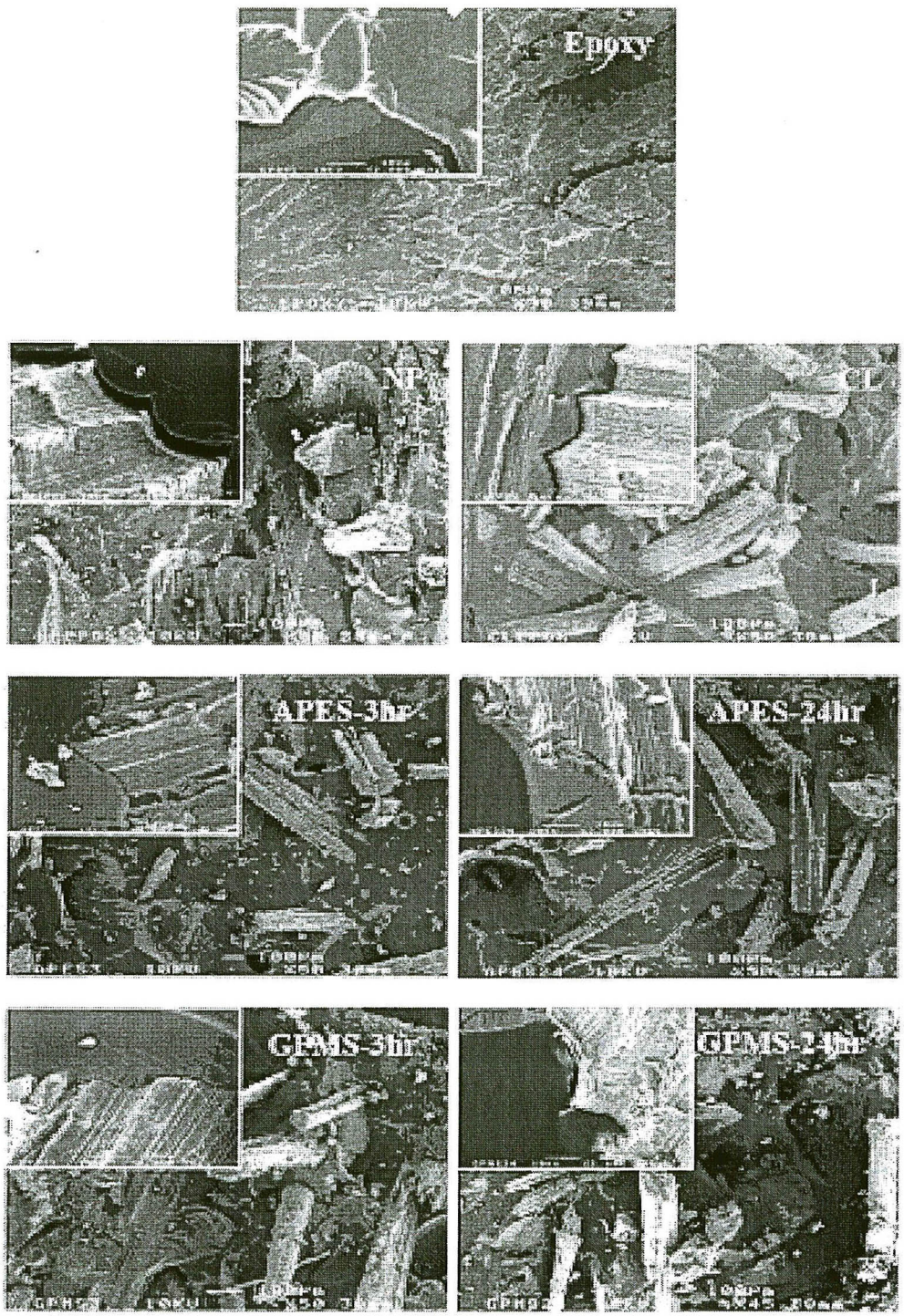


รูปที่ 3.12 ความทนต่อแรงกระแทกของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.2.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชิ้นงานได้จากการใช้ SEM ตรวจสอบบริเวณผิวหน้ารอยแตกหักของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความทนต่อแรงดึง โดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอีพอกซีเรซิน พอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิด APES และ GPMS ณ เวลาต่าง ๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 3.13 จากภาพถ่าย SEM ผิวหน้าของชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีลักษณะเป็นริ้วไม่มีการยืดตัวของพอลิเมอร์หลังถูกแรงดึง แสดงลักษณะของอีพอกซีเรซินซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งเปราะ เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานคอมโพสิทที่มีการใช้เส้นใยที่ยังไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) หรือเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชั่น (CL) พบว่าชิ้นงานคอมโพสิทที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชั่น มีระยะห่างระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ที่พื้นผิวชิ้นงานภายหลังจากการดึงที่แคบกว่าการใช้เส้นใยที่ยังไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) แสดงให้เห็นว่า การทำอัลคาไลน์เซชั่นช่วยให้เกิดการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ที่ดี นอกจากนี้ จากภาพถ่าย SEM พบว่าการทำอัลคาไลน์หรือการปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนก่อนนำมาเตรียมชิ้นงานคอมโพสิท จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะสัณฐานวิทยาหลังการแตกหักที่คล้ายคลึงกัน คือ ในบางบริเวณมีเนื้ออีพอกซีเรซินยึดติดอยู่ที่ผิวหน้าของเส้นใย รวมถึงจะสังเกตเห็นช่องว่างหรือรอยแยกเล็ก ๆในบาง

บริเวณของรอยต่อระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใย แสดงว่า การทำอัลคาไลน์หรือการปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนช่วยปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์



รูปที่ 3.13 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองด้านสมบัติเชิงกลของคอมโพสิทไม่สอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่พบจากพื้นผิวหน้ารอยแตกหักของชิ้นงาน โดยพบว่า ชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิทมีค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก ค่าความทนต่อแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงดัด ต่ำกว่าชิ้นงานอีพอกซีเรซิน และมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ในชิ้นงานคอมโพสิท สาเหตุอาจเนื่องมาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการเตรียมคอมโพสิท รวมถึงการระเหยของน้ำออกจากผิวหน้าของเส้นใยป่านศรนารายณ์ (ถึงแม้ว่ามีการอบเส้นใยก่อนการเตรียมคอมโพสิทแล้วก็ตาม)