สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 4
วิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการดัดแปรพื้นผิวของเส้นใยป่านศรนารายณ์โดยการทำอัลคาไลน์เซชัน และการใส่สารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติการคงรูป สมบัติทางกล และสมบัติทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และยางธรรมชาติ และผลของปริมาณของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณ 10 20 และ 30 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ (part per hundred of rubber, phr) นอกจากนี้ มีการศึกษาผลของใส่เส้นใยสองชนิด (hybrid fibers) คือ เส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยปอแก้ว ต่อสมบัติการคงรูป สมบัติทางกล และสมบัติทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิทระหว่างเส้นในป่านศรนารายณ์ เส้นใยปอแก้วและยางธรรมชาติ

4.1 ผลของการทำอัลคาไลน์เซชัน และปริมาณเส้นใยต่อสมบัติของคอมโพสิทระหว่างป่านศรนารายณ์และยางธรรมชาติ

4.1.1 สมบัติการคงรูป

จากการทดสอบสมบัติการคงรูปด้วยเครื่อง MDR ค่าทอร์กสูงสุด (MH) ที่ได้เป็นค่าที่บอกถึงความแข็งของยาง ในขณะที่ค่าทอร์กต่ำสุด (ML) จะบอกถึงความหนืดเริ่มต้นของยางคอมปาวด์ ค่าทอร์กสูงสุด ค่าทอร์กต่ำสุด เวลาการสกอร์ช (t_{s1}) และเวลาการคงรูป (t_{90}) ของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร และยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรส่งผลให้ค่าทอร์กสูงสุด และค่าทอร์กต่ำสุดเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของความแข็งของคอมโพสิท และการลดลงของการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของยางธรรมชาติ Mathew และ Joseph [Mathew and Joseph, 2007] พบเช่นกันว่าเมื่อเพื่อปริมาณเส้นใยส่งผลให้ค่าทอร์กสูงสุดของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยปอบิด (isora fiber) และยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น

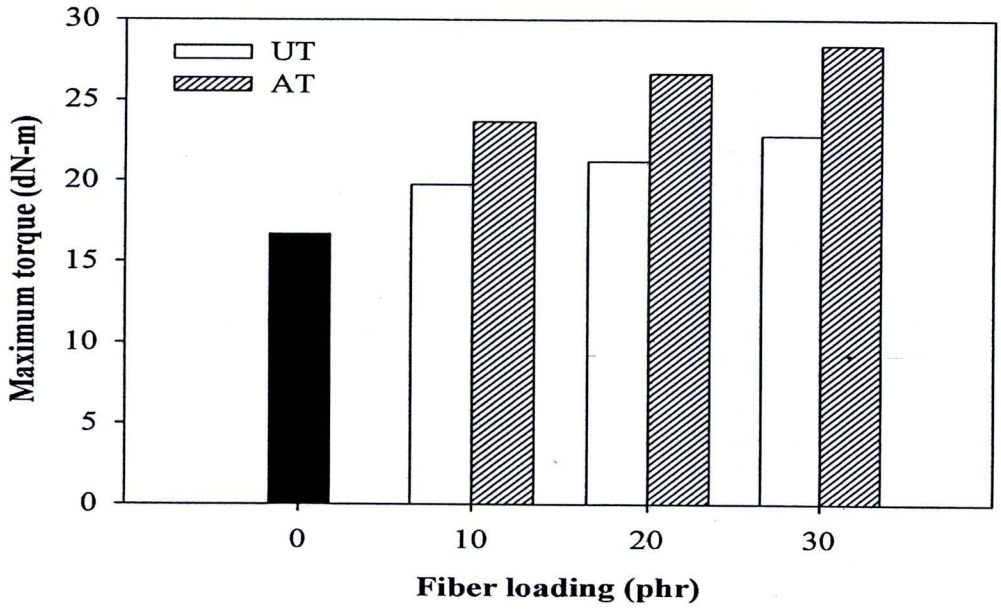
จากรูปที่ 4.3 พบว่าปริมาณของเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรไม่ได้ส่งผลต่อค่าเวลาการสกอร์ชของคอมโพสิท นอกจากนี้ Ismail และคณะ [Ismail et al., 2002] และ Lopattananon และคณะ [Lopattananon et al., 2006] พบผลที่คล้ายกันเมื่อทดสอบกับคอมโพสิทระหว่างเส้นใยไผ่และยางธรรมชาติ และคอมโพสิทระหว่างเส้นใยสับปะรดและยางธรรมชาติตามลำดับ เวลาการคงรูปของคอมโพสิทมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยทั่วไปแล้วสมบัติการคงรูปของคอมโพสิทขึ้นอยู่กับสมบัติของสารเสริมแรง เช่น พื้นที่ผิว ขนาดของสารเสริมแรง ความชื้น และปริมาณของโลหะออกไซด์ [Ismail et al., 1997]

เมื่อทำการเพิ่มปริมาณของเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันในคอมโพสิทพบว่ามีผลที่คล้ายกันกับการเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร โดยค่าทอร์กสูงสุด และค่าทอร์กต่ำสุดจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าเวลาการสกอร์ช และค่าเวลาการคงรูปมีค่าลดลง

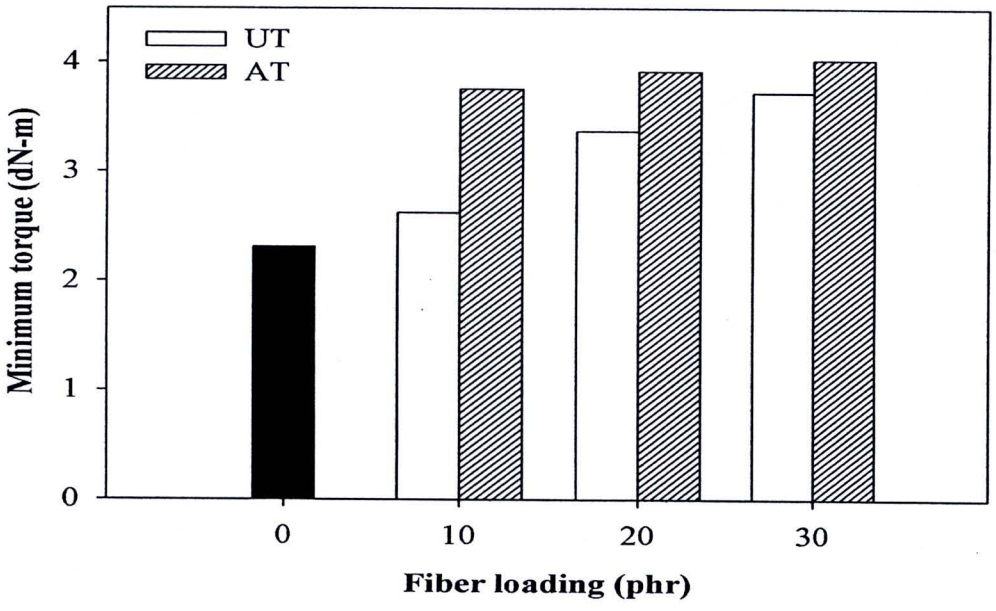
เมื่อพิจารณาที่ปริมาณเส้นใยเท่ากัน พบว่าคอมโพสิทของเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันให้ค่าทอร์กสูงสุด และทอร์กต่ำสุดที่สูงกว่าคอมโพสิทของเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ เมื่อเส้นใยถูกดัดแปรโดยการทำอัลคาไลน์เซชัน เฮมิเซลลูโลส สารพวกขี้ผึ้ง และสารปนเปื้อนต่างๆ ที่อยู่บริเวณพื้นผิวของเส้นใยถูกกำจัดออกไป ส่งผลให้พื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระเพิ่มขึ้น เป็นการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติผ่านกลไกแบบการเชื่อมต่อกันทางกล (mechanical interlocking) โดย Mathew และ Joseph [Mathew and Joseph, 2007] รายงานผลที่คล้ายกันเมื่อศึกษาคอมโพสิทระหว่างเส้นใยปอบิดและยางธรรมชาติ การทำอัลคาไลน์เซชันไม่ได้ส่งผลต่อค่าเวลาการสกอร์ช และค่าเวลาการคงรูปของคอมโพสิทดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม De และคณะ [De et al., 2006] พบว่าค่าเวลาการคงรูปของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยหญ้าที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีค่าน้อยกว่าคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยหญ้าที่ไม่ได้ดัดแปร เนื่องมาจากว่าค่า pH ของเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีค่าเท่ากับ 8.1 ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปจะเร็วขึ้นเมื่ออยู่ในค่า pH ที่เป็นด่าง แต่ในการศึกษานี้ หลังจากเส้นใยผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันจะถูกนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งค่า pH เท่ากับ 7 ดังนั้นการทำอัลคาไลน์เซชันจึงไม่ส่งผลต่อค่าเวลาการคงรูปของคอมโพสิท

ตารางที่ 4.1 สมบัติการคงรูปของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร และยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

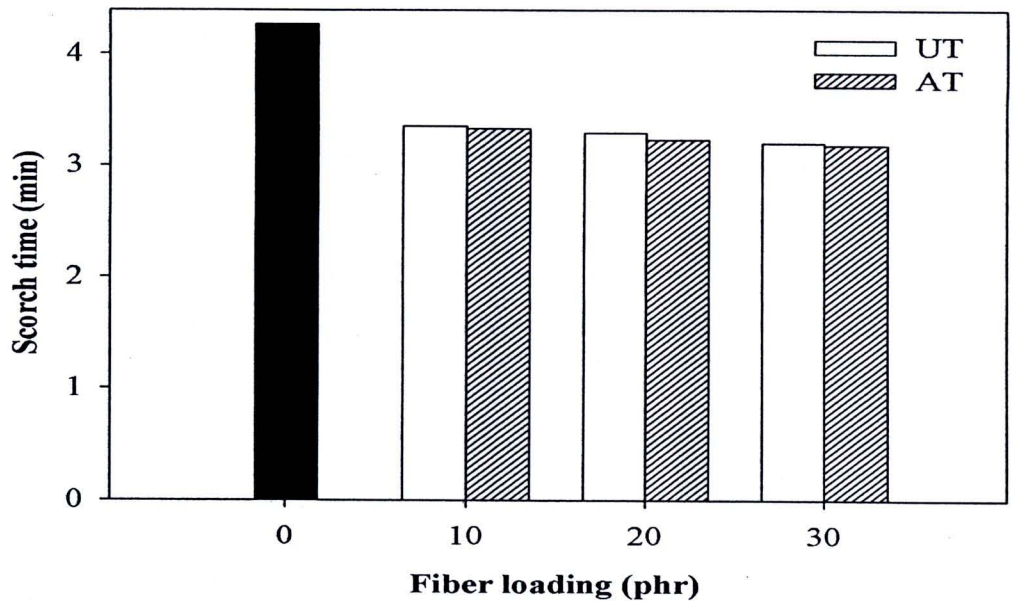
Formulation	MH (dN-m)	ML (dN-m)	Time (min)	
			t_{s1}	t_{90}
NR	16.662	2.310	4.27	7.54
NR/10 UT	19.741	2.620	3.35	7.16
NR/20 UT	21.170	3.373	3.29	6.33
NR/30 UT	22.790	3.722	3.20	6.02
NR/10 AT	23.650	3.757	3.33	7.08
NR/20 AT	26.641	3.919	3.23	6.21
NR/30 AT	28.410	4.022	3.18	5.93



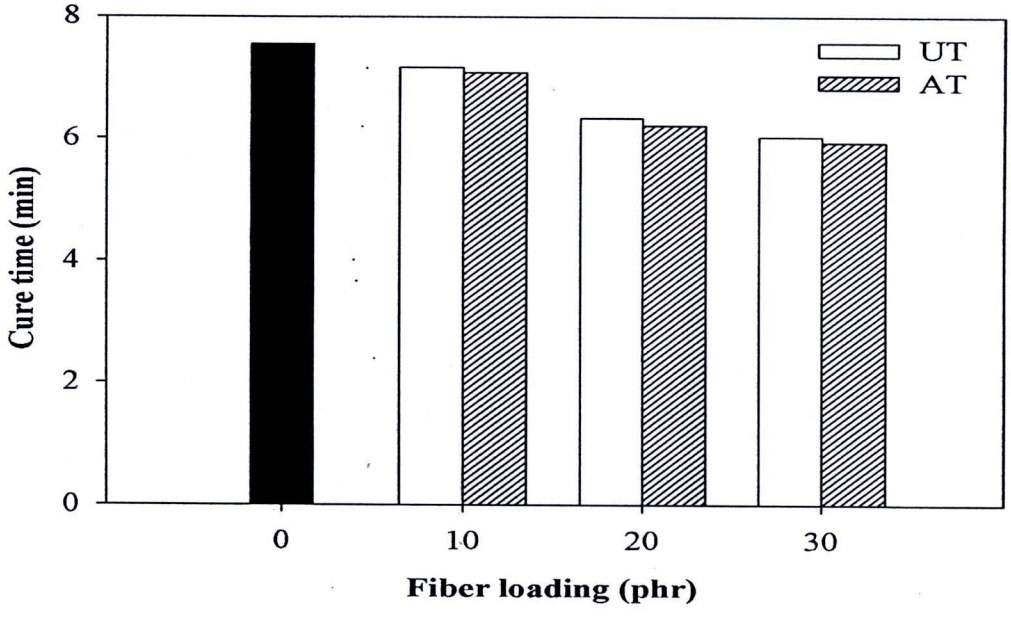
รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กสูงสุดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร และคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน



รูปที่ 4.2 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กต่ำสุดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร และคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน



รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการสกอร์ชของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร และคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน



รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการคงรูปของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร และคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน

4.1.2 สมบัติทางกล (mechanical properties)

สมบัติทางกลของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร และยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน แสดงดังตารางที่ 4.2

4.1.2.1 สมบัติความทนทานต่อแรงดึง (tensile properties)

ค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (modulus at 100% strain, M100) และค่ามอดูลัสที่ 300 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (modulus at 300% strain, M300) ของยางธรรมชาติ และคอมโพสิทระหว่างเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรกับยางธรรมชาติ แสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ค่า M100 และค่า M300 ของคอมโพสิทมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการลดลงของความยืดหยุ่นของสายโซ่ยางส่งผลให้คอมโพสิทแข็ง (rigid) ขึ้น ในรูปที่ 4.7 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ของยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร พบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติมีค่าสูงกว่าคอมโพสิทในทุกอัตราส่วนปริมาณเส้นใย เพราะว่าการดึงยืดสามารถเหนี่ยวนำให้ยางธรรมชาติเกิดผลึก (strain-induced crystallization) ของยางถูกรบกวนโดยเส้นใย [Mathew and Joseph, 2007] ดังนั้นประสิทธิภาพในการเกิดผลึกจากการดึงยืดจึงลดลงเป็นเหตุให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิทมีค่าต่ำกว่าของยางธรรมชาติ นอกจากนี้ พบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและยางธรรมชาติมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใย เนื่องจากว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยให้มากขึ้นส่งผลให้เกิดการเกาะกลุ่มกันของเส้นใยทำให้การถ่ายเทความเค้น (stress transfer) เกิดยากขึ้นและยังเป็นการรบกวนความสม่ำเสมอของเฟสเมทริกซ์อีกด้วย [De et al., 2006] ส่งผลให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิทมีค่าลดลง การใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรเข้าไปในยางธรรมชาติยังทำให้ค่าการยืดตัวก่อนขาด (elongation at break) มีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.8 และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้คอมโพสิทแข็ง (stiff) ขึ้นส่งผลให้แรงต้านทานต่อการยืดตัวลดลง

เมื่อปริมาณของเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันในยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น พบว่าค่า M100 ค่า M300 ค่าความทนทานต่อแรงดึง และค่าการยืดตัวก่อนขาดของคอมโพสิทให้แนวโน้มเดียวกันกับการเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรลงในยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 4.5-4.8 Mathew และ Joseph [Mathew and Joseph, 2007] พบผลที่คล้ายกันเมื่อทดสอบกันคอมโพสิทระหว่างเส้นใยปอบิด (isora fiber) และยางธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 4.5-4.8 พบว่าคอมโพสิทของเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันให้ค่า M100 ค่า M300 ค่าความทนทานต่อแรงดึง และค่าการยืดตัวก่อนขาดสูงกว่าคอมโพสิทของเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร เนื่องมาจากว่าการทำอัลคาไลน์เซชันทำให้เฮมิเซลลูโลส สารพวกขี้ผึ้ง และสารปนเปื้อนต่างๆ ถูกกำจัดออกไปจากเส้นใย ส่งผลให้พื้นผิวเส้นใยมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติผ่านกลไกแบบการเชื่อมต่อกันทางกล ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความเค้นที่บริเวณอินเทอร์เฟสระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์มีประสิทธิภาพดีขึ้น Lopattananon และคณะ [Lopattananon

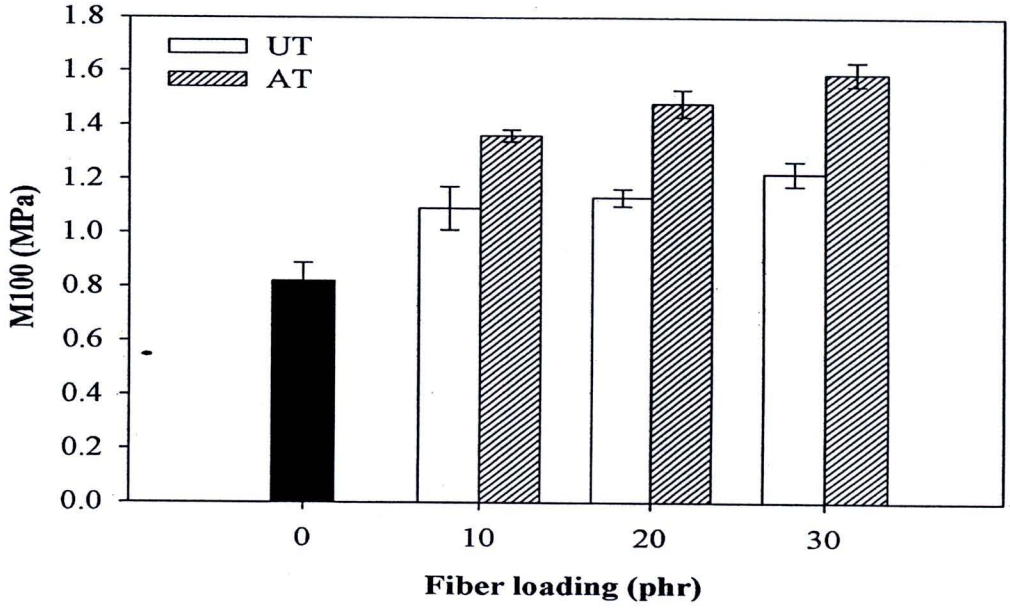
et al., 2006] พบผลที่คล้ายกันในการเสริมแรงยางธรรมชาติด้วยเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน

4.1.2.2 สมบัติความทนทานต่อการฉีกขาด (tear properties)

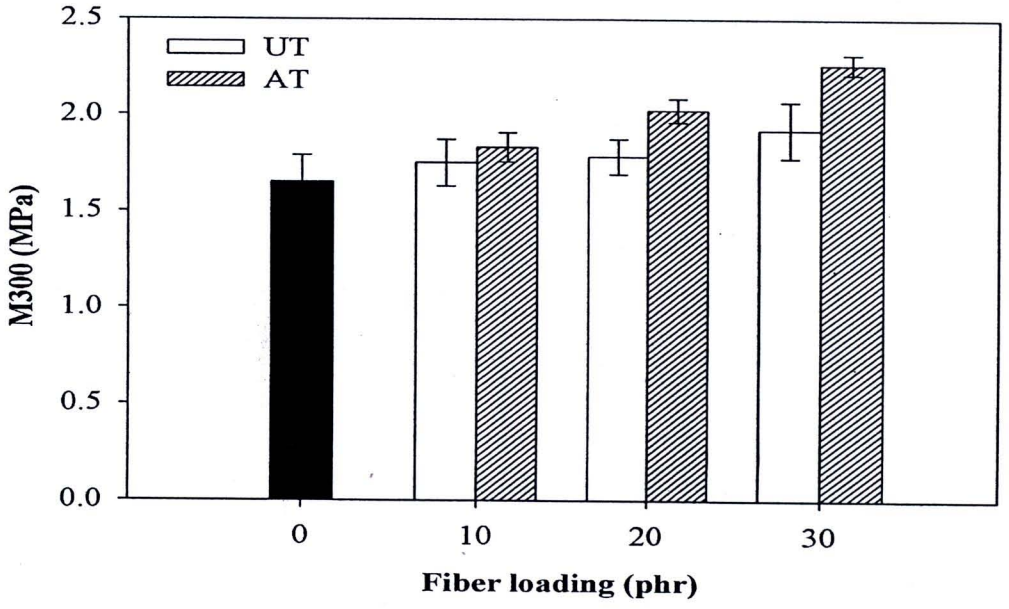
ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติ และคอมโพสิทระหว่างเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรกับยางธรรมชาติ แสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเส้นใยไปขวางแนวการฉีกขาดทำให้การขยายของรอยแยก (crack propagation) เกิดยากขึ้น [Ismail et al., 1997] โดยพบแนวโน้มที่คล้ายกับเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันในยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคอมโพสิทที่ไม่ได้ดัดแปรกับคอมโพสิทที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน พบว่าคอมโพสิทที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดที่สูงกว่าคอมโพสิทที่ไม่ได้ดัดแปรเพราะว่ามีแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติที่ดีกว่า Mathew และ Joseph [Mathew and Joseph, 2007] พบผลที่คล้ายกันในการเสริมแรงยางธรรมชาติด้วยเส้นใยปอบิด

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกลของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

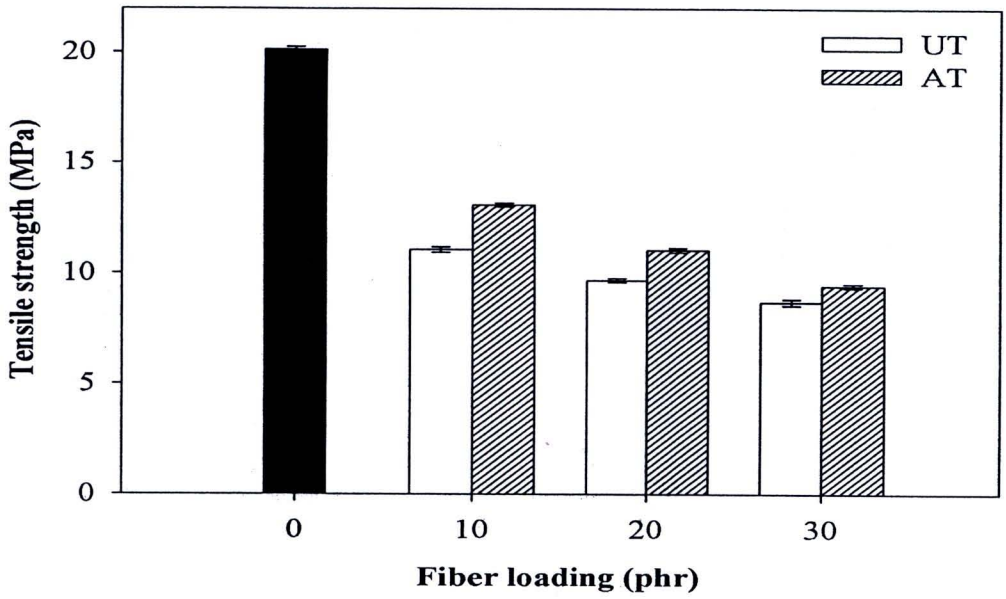
Formulation	M100 (MPa)	M300 (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (IRHD)	Tear strength (kN/m)
NR	0.82±0.068	1.65±0.138	20.13±0.113	1350±17.67	39.34±0.195	21.38±0.471
NR/10 UT	1.09±0.081	1.75±0.132	11.05±0.121	1090±21.22	45.96±0.955	22.43±1.220
NR/20 UT	1.13±0.032	1.78±0.112	9.67±0.092	1050±19.03	49.14±0.776	24.91±0.560
NR/30 UT	1.22±0.046	1.92±0.171	8.70±0.146	920±23.49	55.18±0.756	27.34±0.770
NR/10 AT	1.36±0.022	1.83±0.075	13.09±0.082	1111±19.21	50.74±1.775	26.54±1.450
NR/20 AT	1.48±0.051	2.02±0.061	11.04±0.104	1070±24.60	52.82±0.726	28.60±1.200
NR/30 AT	1.59±0.044	2.26±0.052	9.42±0.093	950±18.44	59.16±0.896	30.24±0.890



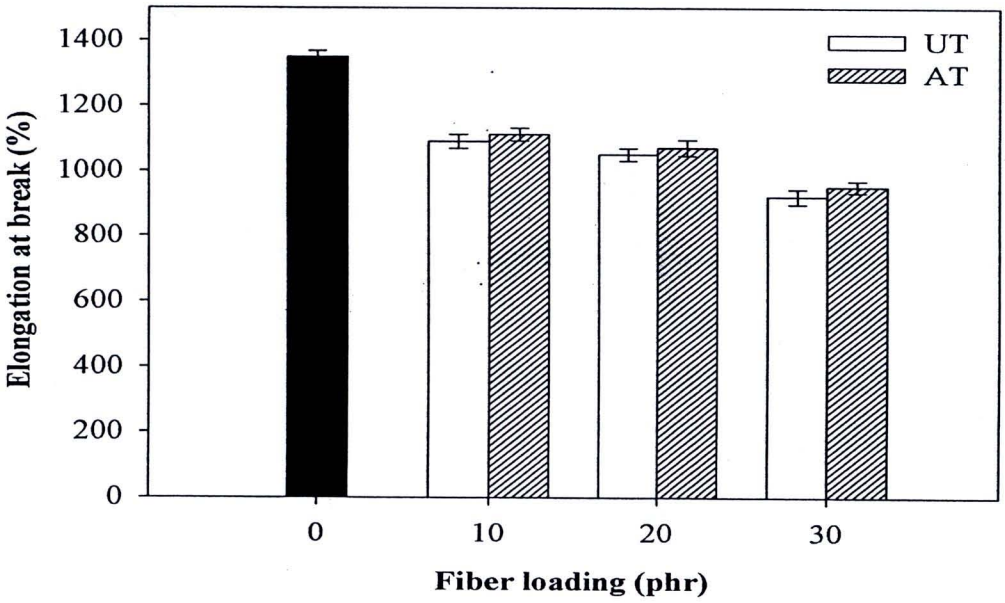
รูปที่ 4.5 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน



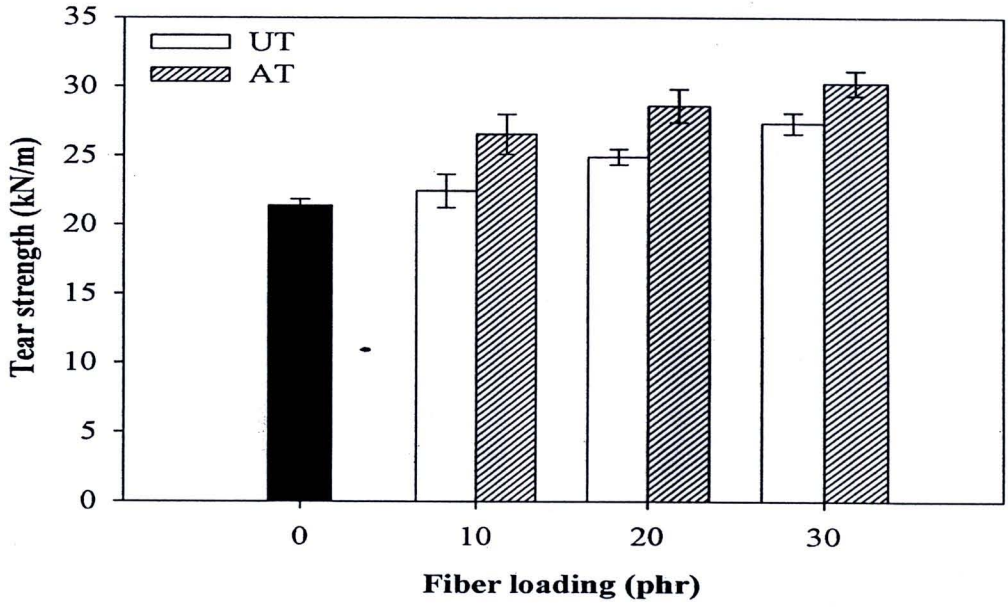
รูปที่ 4.6 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่ามอดูลัสที่ 300 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน



รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน



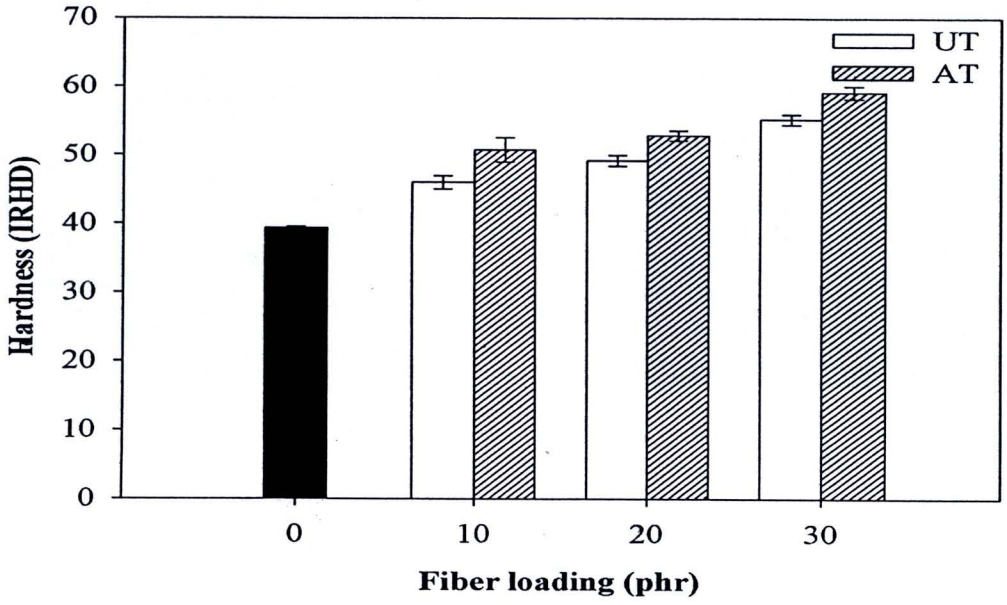
รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าการยืดตัวก่อนขาดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน



รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน

4.1.2.3 สมบัติด้านความแข็ง (hardness)

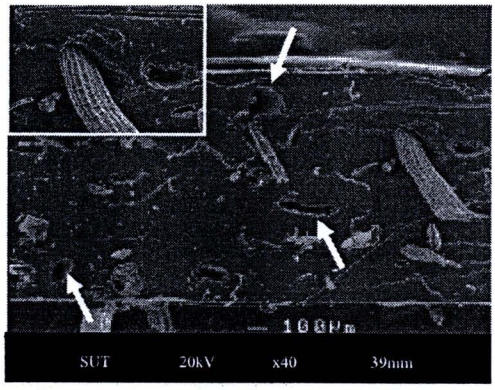
ค่าความแข็งของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรกับยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของเส้นใยส่งผลให้คอมโพสิทแข็ง (stiff) ขึ้นทำให้ค่าความแข็งของคอมโพสิทมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากรูปที่ 4.10 ค่าความแข็งของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีค่ามากกว่าคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรเพราะว่าการทำอัลคาไลน์เซชันจะปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติให้ดีขึ้น De และคณะ [De et al., 2006] พบผลที่คล้ายกันในการเสริมแรงยางธรรมชาติด้วยเส้นใยหญ้า



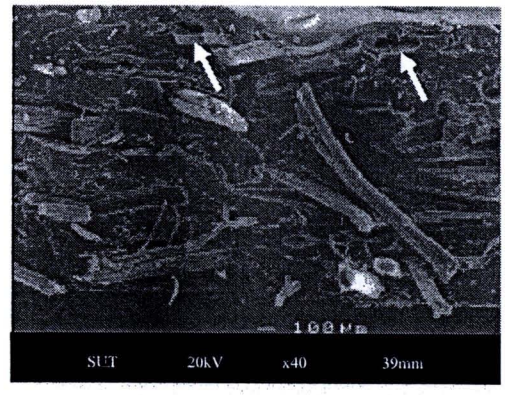
รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความแข็งของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร และคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน

4.1.3 สมบัติทางสัณฐานวิทยา (morphological properties)

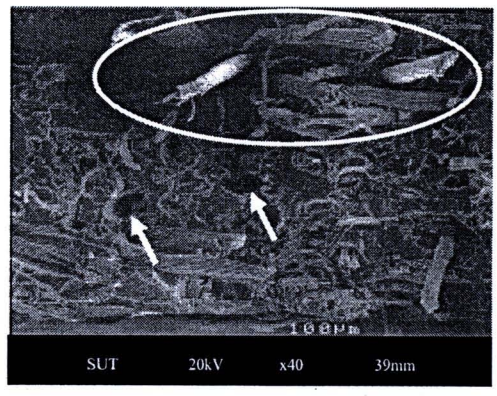
ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรที่ปริมาณเส้นใย 10 20 และ 30 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ แสดงในรูปที่ 4.11 โดยพบว่ามีช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการหลุดของเส้นใยจากเมทริกซ์เนื่องมาจากแรงยึดติดที่ไม่ดีระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีความเป็นขั้วสูงกับยางธรรมชาติที่ไม่มีขั้ว นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในยางธรรมชาติ พบว่าเกิดการเกาะกลุ่มกันของเส้นใยขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11 (b) และ (c) ซึ่งเป็นสาเหตุของการลดลงของค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิท ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันแสดงให้เห็นว่ามีการลดลงของช่องว่างที่เกิดจากการหลุดของเส้นใยจากเมทริกซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร ดังแสดงในรูปที่ 4.12 เนื่องมาจากการยึดติดที่ดีระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ แต่อย่างไรก็ตามสามารถสังเกตเห็นการเกาะกลุ่มกันของเส้นใยได้เมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์-เซชัน



(a)

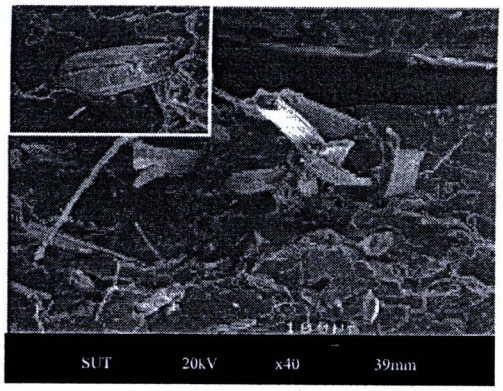


(b)

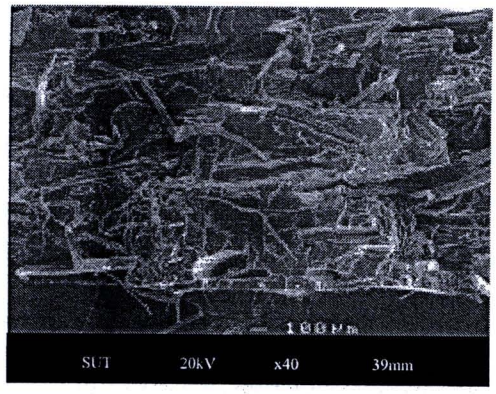


(c)

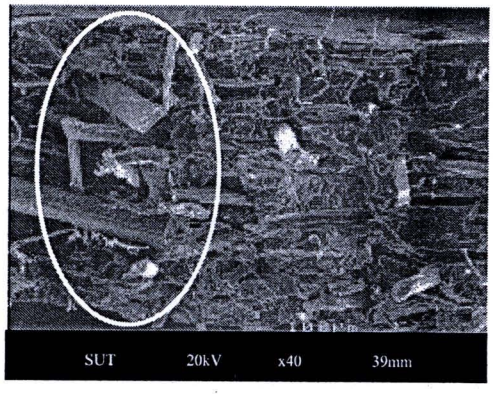
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 40x ของคอมโพสิท (a) NR/10UT, (b) NR/20UT, และ (c) NR/30UT



(a)



(b)



(c)

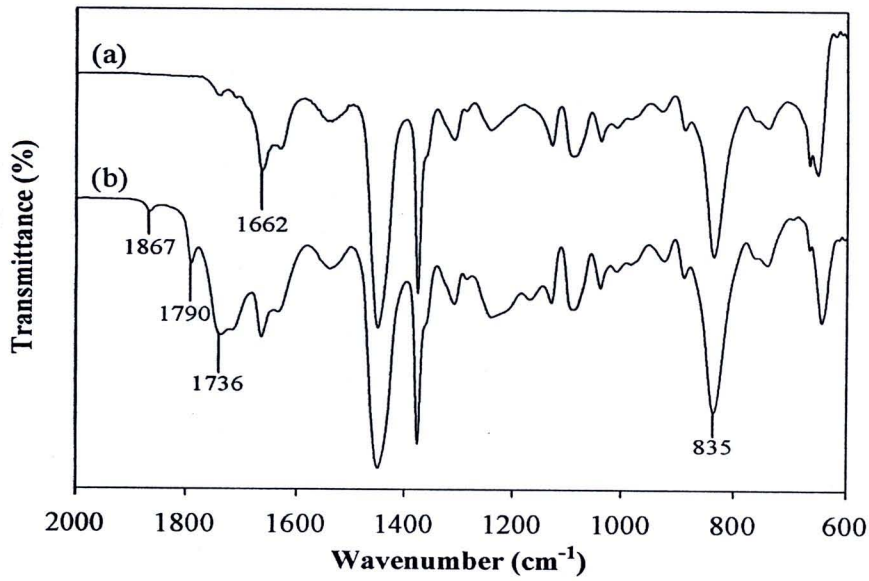
รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 40x ของคอมโพสิท (a) NR/10AT, (b) NR/20AT, และ (c) NR/30AT

4.2 ผลของการใส่สารช่วยให้เข้ากัน และปริมาณเส้นใยต่อสมบัติของคอมโพสิทระหว่างป่านศรนารายณ์และยางธรรมชาติ

4.2.1 การวิเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

จากสเปกตรัมของยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ในรูปที่ 4.13 พบว่ายางธรรมชาติแสดงพีคเฉพาะของ C=C ที่เลขคลื่น 1662 cm^{-1} และ 835 cm^{-1} ในขณะที่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์แสดงพีคใหม่ที่ 1867 cm^{-1} และ 1790 cm^{-1} Lin-Vien และคณะ [Lin-Vien et al., 1991] รายงานว่าวงแหวนห้าเหลี่ยมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแอนไฮไดรด์จะแสดงพีคของ C=O ที่ 1870 ถึง 1845 cm^{-1} (weaker) และที่ 1800 ถึง 1775 cm^{-1} (stronger) ดังนั้นพีคใหม่ที่พบในสเปกตรัมของยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ 1867 cm^{-1} และ 1790 cm^{-1} สามารถยืนยันได้ว่ามาเลอิกแอนไฮไดรด์ได้กราฟท์ติดบนยางธรรมชาติ นอกจากนี้ในสเปกตรัมของยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์พบว่าไม่มีพีคที่ 698 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ C=C ของมาเลอิก

แอนไฮไดรด์ ดังนั้นแสดงว่าไม่มีมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาเหลืออยู่ในยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และยังพบว่ามีพีคที่เลขคลื่น 1736 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของหมู่คาร์บอนิลของกรดอินทรีย์ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเปิดวงของซัคซินิคแอนไฮไดรด์ โดยซัคซินิคแอนไฮไดรด์ที่กราฟท์อยู่บนยางธรรมชาติมีความว่องไวต่อความชื้น ดังนั้นวงแหวนแอนไฮไดรด์จึงสามารถเปิดออก และทำให้เกิดกรดอินทรีย์ได้ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาการกราฟท์ จากการหาปริมาณของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่กราฟท์บนยางธรรมชาติโดยวิธีการไทเทรต พบว่ามีมาเลอิกแอนไฮไดรด์อยู่เป็นปริมาณ 1.38 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมของยางธรรมชาติ (a) และยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (b)

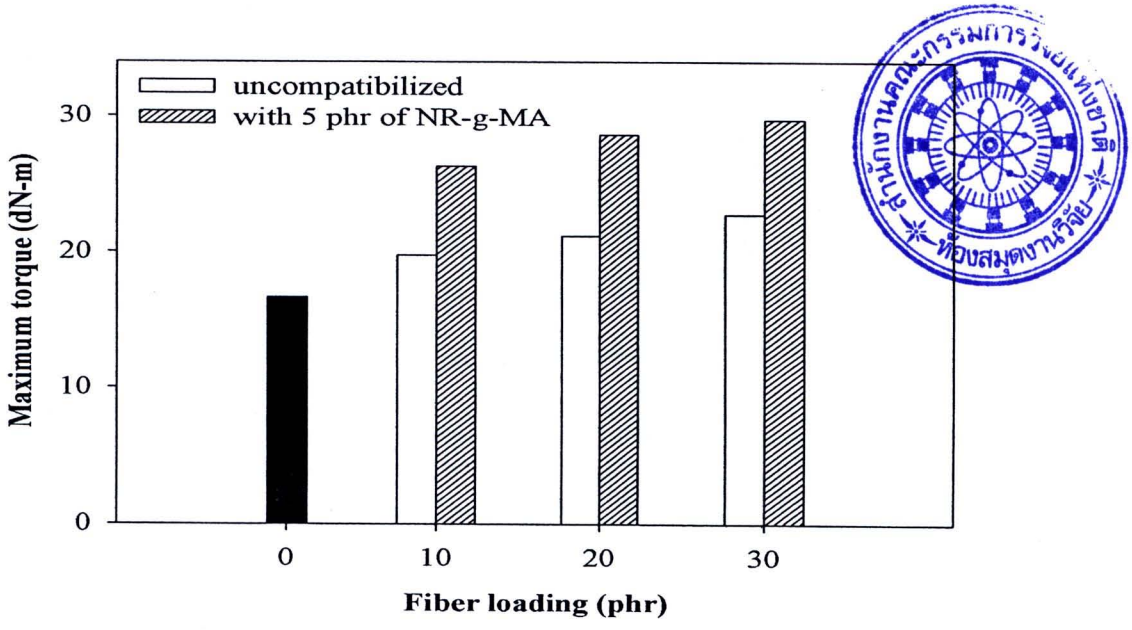
4.2.2 สมบัติการคงรูป

ค่าทอร์กสูงสุด ค่าทอร์กต่ำสุด เวลาการสกอร์ช และเวลาการคงรูป ของยางธรรมชาติยางคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และยางคอมโพสิทที่ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ แสดงดังตารางที่ 4.3 ค่าทอร์กสูงสุด และค่าทอร์กต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใส่สารช่วยให้เข้ากัน (ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์) ลงไปในคอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ เนื่องมาจากการปรับปรุงแรงยึดติดบริเวณผิวระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ และยางธรรมชาติ Ismail และ Haw [Ismail and Haw, 2008] พบว่าการใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เพื่อเป็นสารช่วยให้เข้ากันส่งผลให้ค่าทอร์กสูงสุดของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยปาล์มและยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าเวลาการสกอร์ชและเวลาการคงรูปของยางคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และยางคอมโพสิทที่ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ แสดงดังรูป

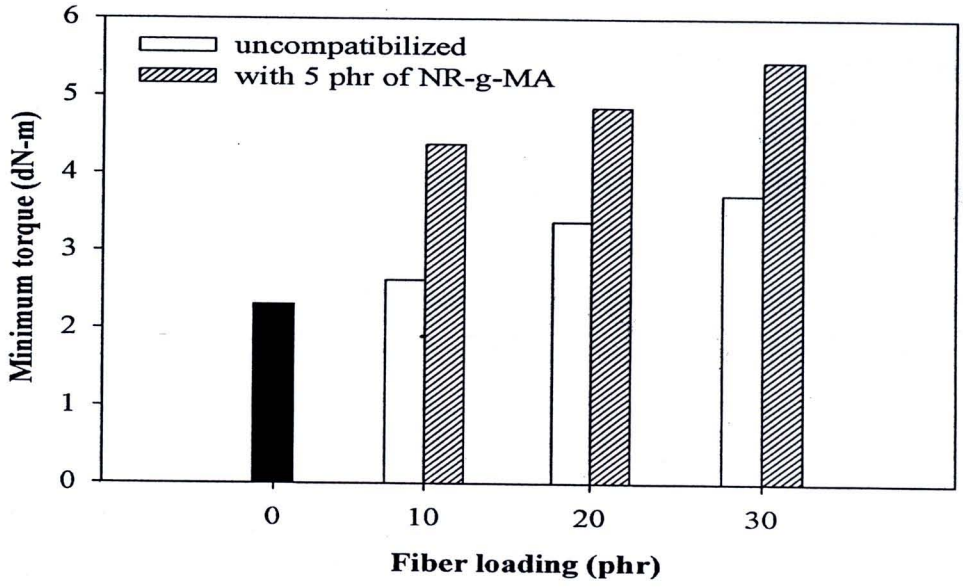
ที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ ค่าเวลาการสกอร์ชและเวลาการคงรูปของยางคอมโพสิทที่ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ มีค่ามากกว่ายางคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เนื่องมาจากความเป็นกรดของกรดมาเลอิกและการเกิดปฏิกิริยาระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์และตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบ [Teh et al., 2004]

ตารางที่ 4.3 สมบัติการคงรูปของยางธรรมชาติ คอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากัน และคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากันที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

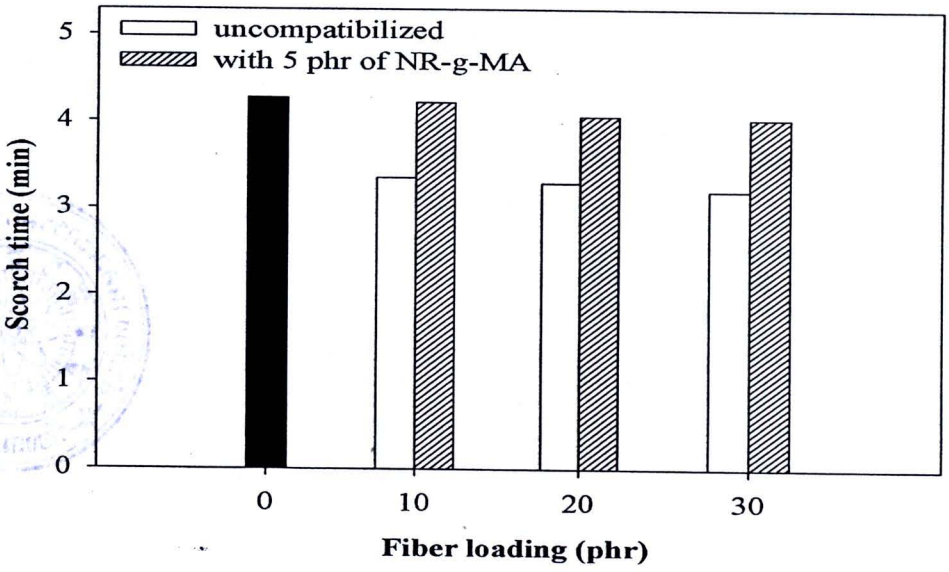
Formulation	MH (dN-m)	ML (dN-m)	Time (min)	
			t_{s1}	t_{90}
NR	16.662	2.310	4.27	7.54
NR/10 UT	19.741	2.620	3.35	7.16
NR/20 UT	21.170	3.373	3.29	6.33
NR/30 UT	22.790	3.722	3.20	6.02
NR/5 NR-g-MA/10 UT	26.348	4.376	4.22	8.43
NR/5 NR-g-MA/20 UT	28.612	4.847	4.06	8.05
NR/5 NR-g-MA/30 UT	29.734	5.446	4.03	7.72



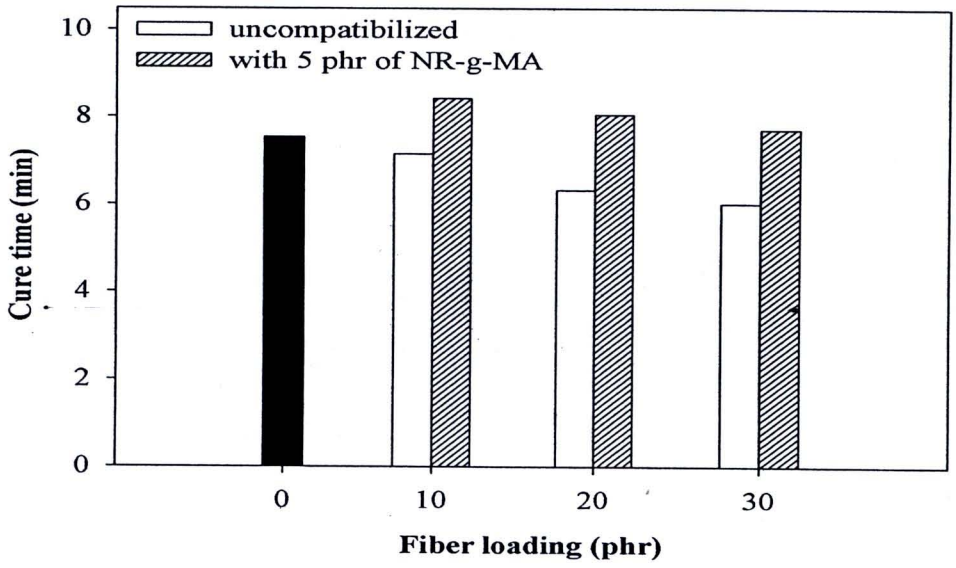
รูปที่ 4.14 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กสูงสุดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน



รูปที่ 4.15 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กต่ำสุดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากัน และคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน



รูปที่ 4.16 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการสกอร์ชของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากัน และคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน



รูปที่ 4.17 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการคงรูปของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน

4.2.3 สมบัติทางกล

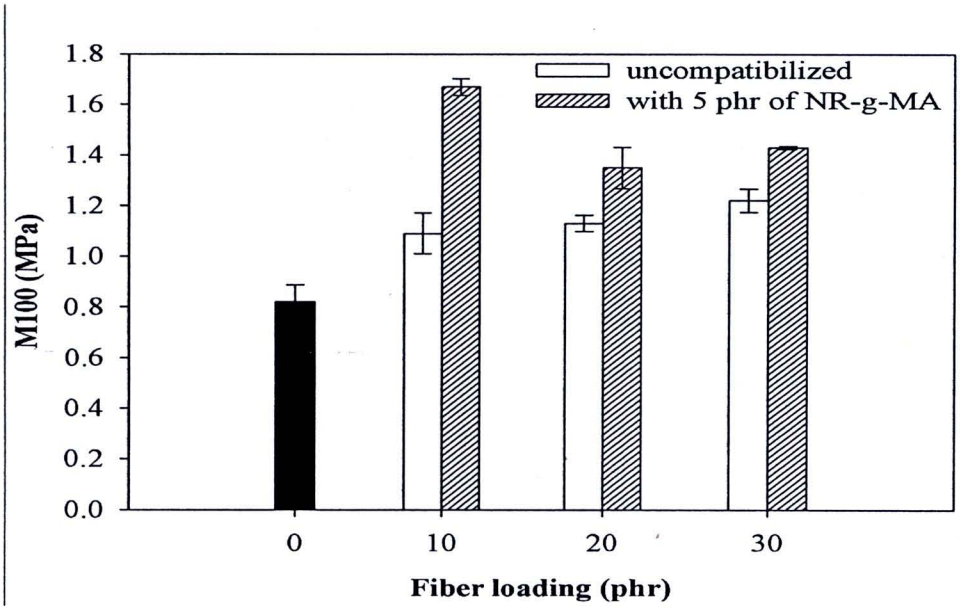
สมบัติทางกลของของยางธรรมชาติ ยางคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และยางคอมโพสิทที่ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ แสดงดังตารางที่ 4.4

4.2.3.1 สมบัติความทนทานต่อแรงดึง

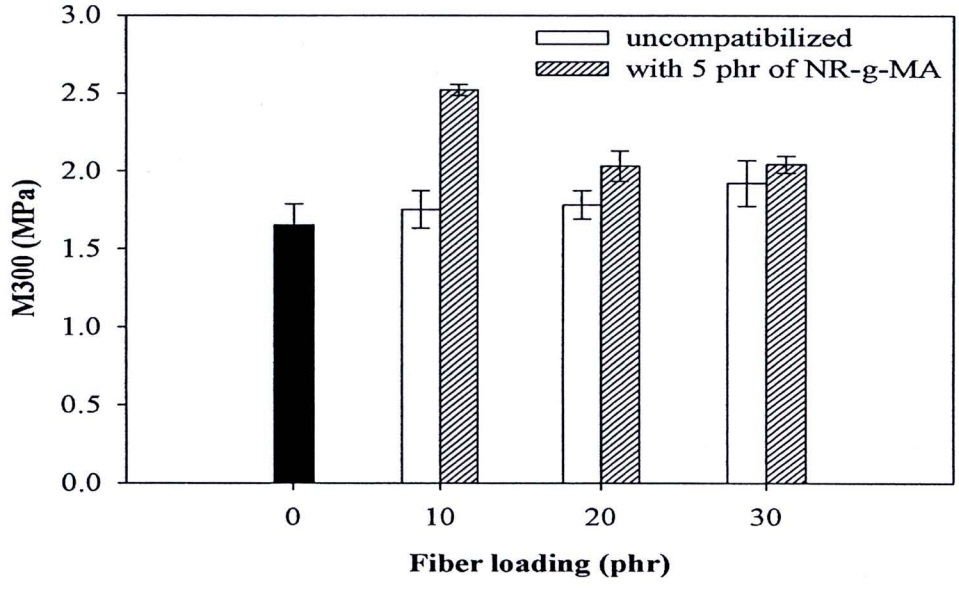
การใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ลงไปในคอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และยางธรรมชาติ ส่งผลให้ค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ค่ามอดูลัสที่ 300 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ค่าความทนทานต่อแรงดึง และค่าการยืดตัวก่อนขาดของยางคอมโพสิทมีค่าสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.18, 4.19, 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ เนื่องมาจากการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์โดยยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ การปรับปรุงแรงยึดติดที่เกิดขึ้นนี้อาจจะมาจากการเข้ากันได้ของส่วนที่เป็นยางธรรมชาติในยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์กับยางธรรมชาติ และการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างส่วนที่มีขั้วในยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย [Ismail and Haw, 2008] โดยยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์มีส่วนสำคัญในการลดแรงดึงบริเวณพื้นผิว (interfacial tension) และเพิ่มแรงยึดติดบริเวณพื้นผิว (interfacial adhesion) จึงส่งผลให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกลของยางธรรมชาติ คอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากันที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

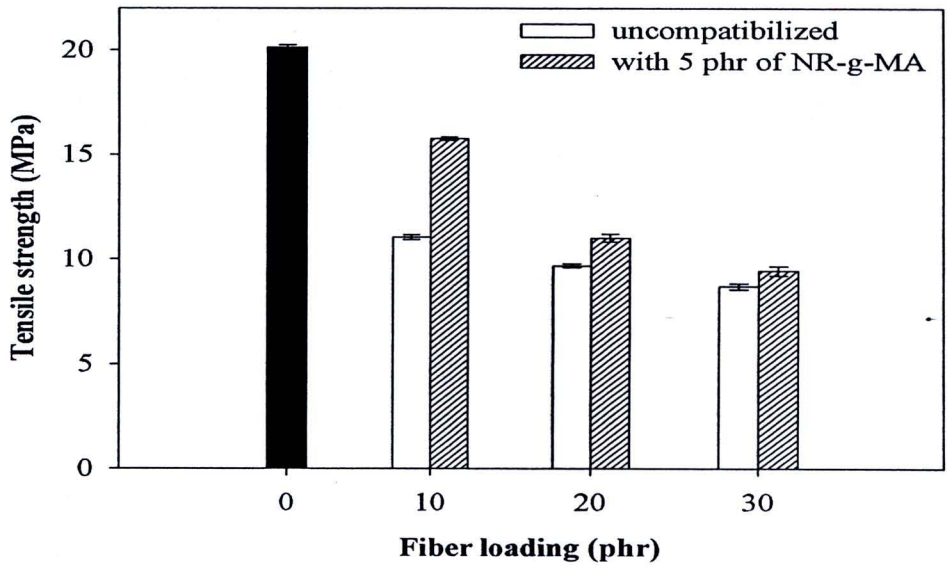
Formulation	M100 (MPa)	M300 (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (IRHD)	Tear strength (kN/m)
NR	0.82±0.068	1.65±0.138	20.13±0.113	1350±17.67	39.34±0.195	21.38±0.471
NR/10 UT	1.09±0.081	1.75±0.132	11.05±0.121	1090±21.22	45.96±0.955	22.43±1.220
NR/20 UT	1.13±0.032	1.78±0.112	9.67±0.092	1050±19.03	49.14±0.776	24.91±0.560
NR/30 UT	1.22±0.046	1.92±0.171	8.70±0.146	920±23.49	55.18±0.756	27.34±0.770
NR/5 NR-g-MA/10 UT	1.67±0.033	2.52±0.035	15.75±0.087	1139±18.34	52.38±0.925	31.87±1.548
NR/5 NR-g-MA/20 UT	1.35±0.082	2.03±0.100	11.01±0.184	1107±17.67	56.89±0.939	33.41±1.777
NR/5 NR-g-MA/30 UT	1.43±0.007	2.04±0.056	9.44±0.219	961±19.29	61.12±0.676	34.67±0.588



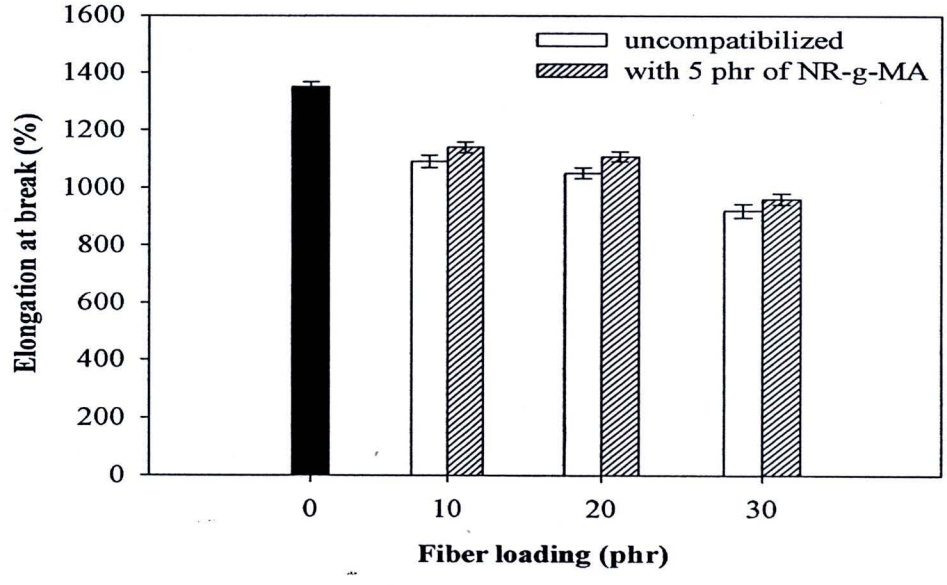
รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน



รูปที่ 4.19 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่ามอดูลัสที่ 300 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน



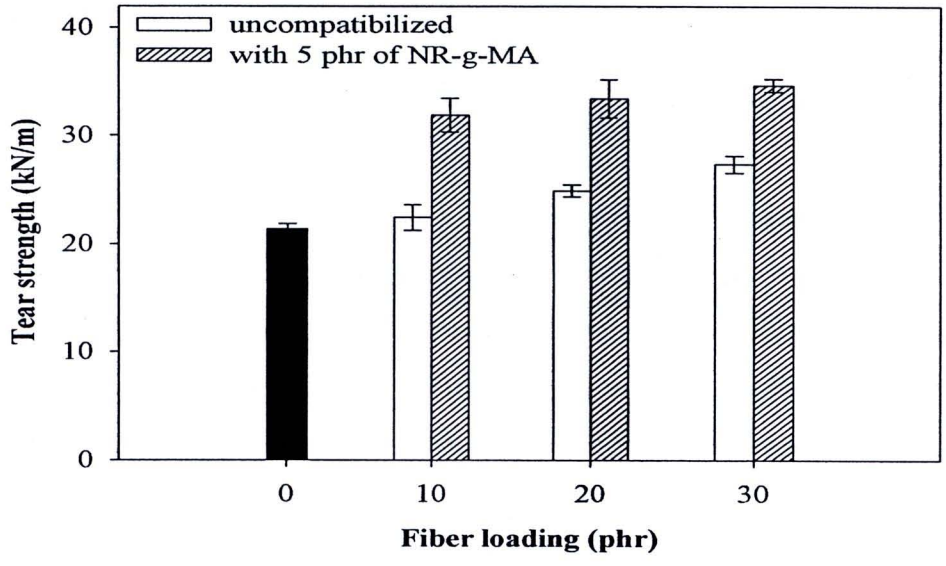
รูปที่ 4.20 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน



รูปที่ 4.21 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าการยืดตัวก่อนขาดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน

4.2.3.2 สมบัติความทนทานต่อการฉีกขาด

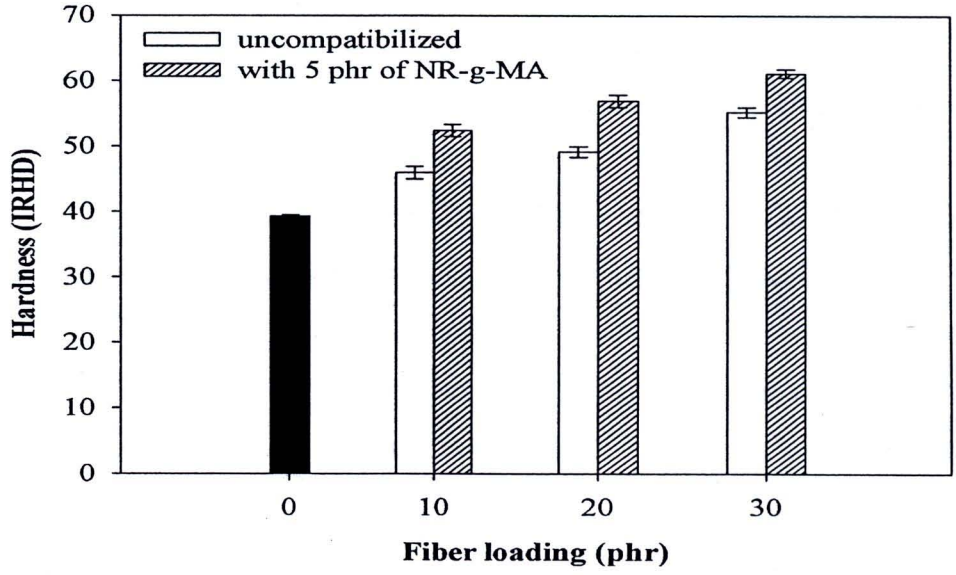
ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดยางคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และยางคอมโพสิทที่ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.22 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยค่าความทนทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากเส้นใยไปขวางแนวการฉีกขาดทำให้การขยายของรอยแยกเกิดยากขึ้น [Ismail et al., 1997] เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และยางคอมโพสิทที่ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ พบว่าคอมโพสิทที่ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์มีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดที่สูงกว่าคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เนื่องจากยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เข้าไปช่วยให้แรงยึดติดระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติดีขึ้น



รูปที่ 4.22 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน

4.2.3.3 สมบัติด้านความแข็ง

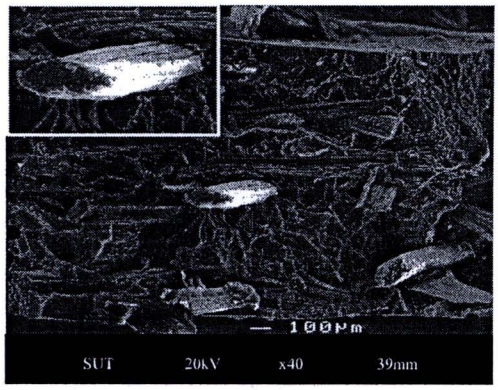
เมื่อใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เข้าไปในยางคอมโพสิท ส่งผลให้ค่าความแข็งของยางคอมโพสิทมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งของยางคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ทั้งนี้เนื่องมาจากสารช่วยให้เข้ากันเข้าไปปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติให้ดีขึ้น นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยในยางธรรมชาติจะส่งผลให้ยางคอมโพสิทแข็งขึ้นทำให้ค่าความแข็งของยางคอมโพสิทมีค่าเพิ่มขึ้น



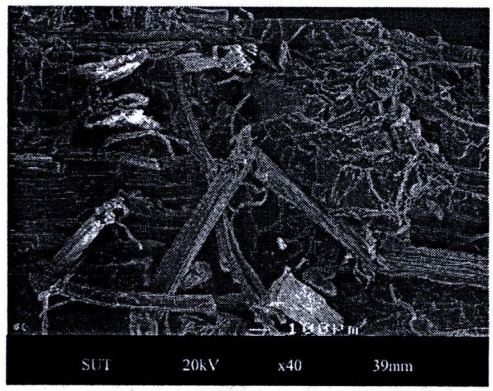
รูปที่ 4.23 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความแข็งของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากัน และคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน

4.2.4 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

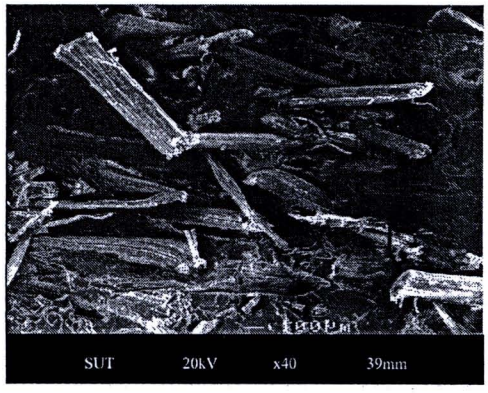
ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราดของคอมโพสิทที่ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ปริมาณเส้นใย 10 20 และ 30 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ แสดงในรูปที่ 4.24 โดยพบว่าช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการหลุดของเส้นใยจากเมทริกซ์เนื่องมาจากแรงยึดติดที่ไม่ดีระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีความเป็นขั้วสูงกับยางธรรมชาติที่ไม่มีขั้วมีแนวโน้มลดลง เมื่อเทียบกับคอมโพสิทที่ไม่ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่แสดงในรูปที่ 4.11 นอกจากนี้สามารถสังเกตเห็นการเกาะกลุ่มกันของเส้นใยได้เมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยในคอมโพสิทที่ใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (b) และ (c)



(a)



(b)



(c)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 40x ของคอมโพสิท (a) NR/10UT/5NR-g-MA (b) NR/20UT/5NR-g-MA และ (c) NR/30UT/5NR-g-MA

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลของยางคอมโพสิทที่มีการใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันและยางคอมโพสิทที่มีการใส่สารช่วยให้เข้ากันพบว่ายางคอมโพสิทที่มีการใส่สารช่วยให้เข้ากันมีสมบัติทางกลที่ดีกว่า เนื่องจากการปรับปรุงการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติที่ดีกว่า

4.3 ผลของการใส่เส้นใยสองชนิดต่อสมบัติของคอมโพสิทของยางธรรมชาติ

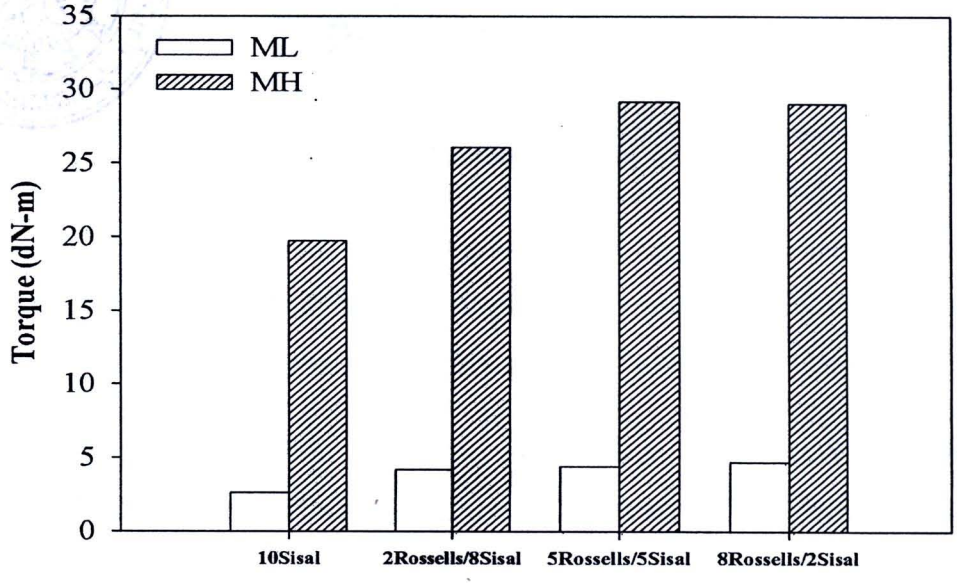
4.3.1 สมบัติการคงรูป

ค่าทอร์กสูงสุด ค่าทอร์กต่ำสุด เวลาการสกอร์ช และเวลาการคงรูป ของยางคอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยปอแก้ว แสดงดังตารางที่ 4.5 โดยปริมาณรวมของเส้นใยอยู่ที่ 10 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ อัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วเป็น 10 ต่อ 0 8 ต่อ 2 5 ต่อ 5 และ 2 ต่อ 8 ค่าทอร์กสูงสุด และค่าทอร์กต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยปอแก้วในคอมโพสิท และเริ่มคงที่หลังจากปริมาณของเส้นใยปอแก้วใน

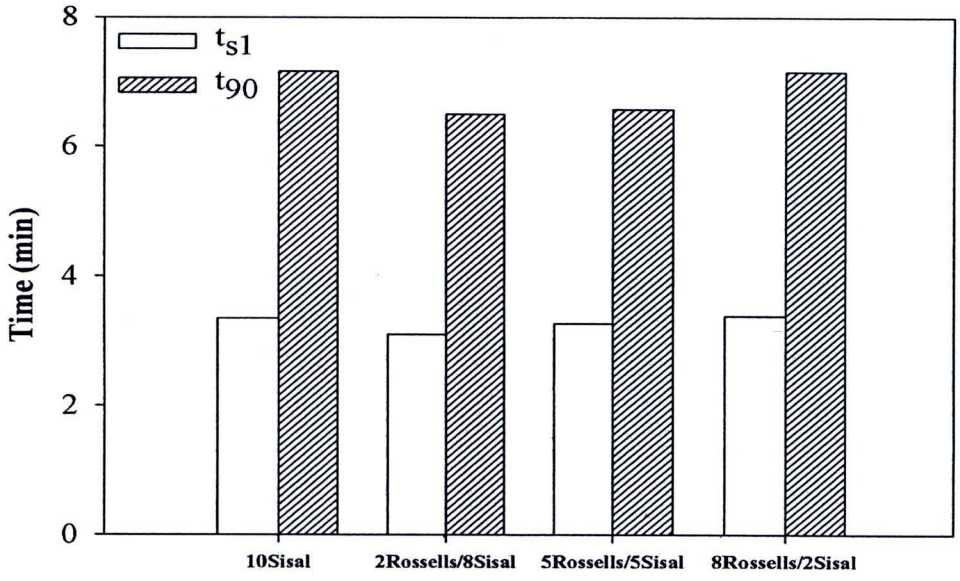
คอมโพสิทมีปริมาณมากกว่า 5 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 แต่อย่างไรก็ตามไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของเวลาการสกอร์ช และเวลาการคงรูปของคอมโพสิทเมื่อทำการเพิ่มปริมาณส่วนของเส้นใยปอแก้วในคอมโพสิท ดังแสดงในรูปที่ 4.26

ตารางที่ 4.5 สมบัติการคงรูปของคอมโพสิทของยางธรรมชาติ

Formulation	MH (dN-m)	ML (dN-m)	Time (min)	
			t_{s1}	t_{90}
10 Sisal	16.662	2.310	4.27	7.54
2 Rossells – 8 Sisal	26.048	4.191	3.10	6.50
5 Rossells – 5 Sisal	29.139	4.435	3.27	6.57
8 Rossells – 2 Sisal	29.013	4.718	3.39	7.15



รูปที่ 4.25 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อค่าทอร์กสูงสุดและค่าทอร์กต่ำสุดของคอมโพสิท



รูปที่ 4.26 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อเวลาการสกอร์ชและเวลาการคงรูปของคอมโพสิท

4.2.4 สมบัติทางกล

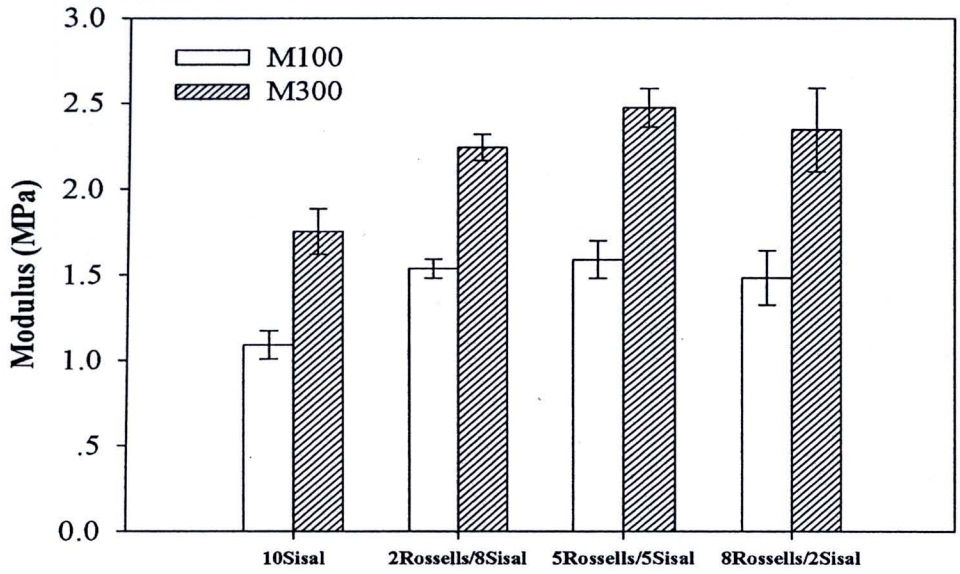
สมบัติทางกลของยางคอมโพสิทของยางธรรมชาติที่อัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยปอแก้วเป็น 10 ต่อ 0 8 ต่อ 2 5 ต่อ 5 และ 2 ต่อ 8 แสดงดังตารางที่ 4.6

4.3.2.1 สมบัติความทนทานต่อแรงดึง

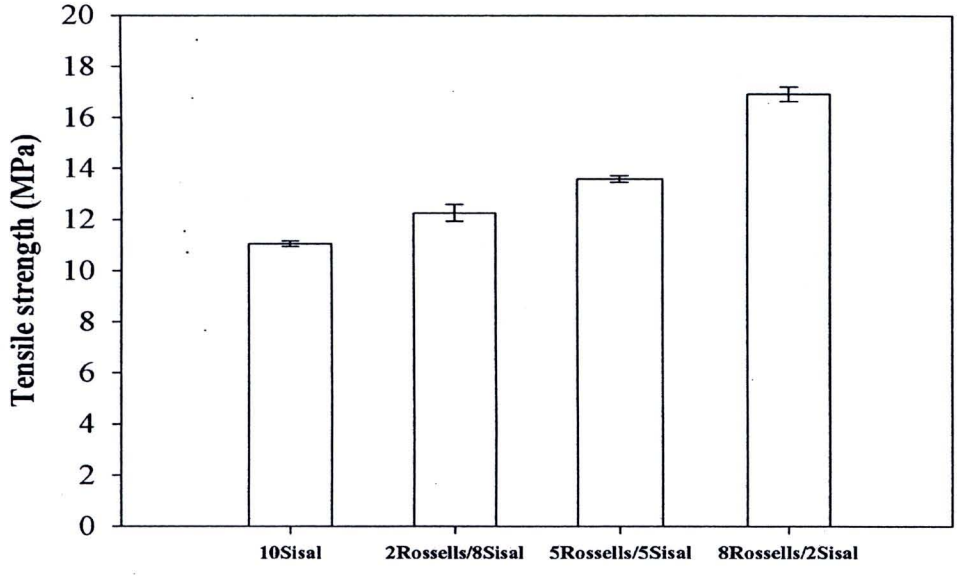
การเพิ่มปริมาณส่วนของเส้นใยปอแก้วในคอมโพสิทไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ค่ามอดูลัสที่ 300 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ในขณะที่รูป 4.28 แสดงให้เห็นว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณส่วนของเส้นใยปอแก้วในคอมโพสิท ทั้งนี้โดยสมบัติของเส้นใยปอแก้วจะมีค่าความทนทานต่อแรงดึงมากกว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ ดังนั้นจึงส่งผลให้คอมโพสิทที่มีปริมาณส่วนของเส้นใยปอแก้วเพิ่มขึ้นมีค่าความทนทานต่อแรงดึงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความทนทานต่อแรงดึงของเส้นใยปอแก้วมีค่า 473.4± 120.2 MPa และค่ามอดูลัสของยังก์มีค่า 40.6± 9.9 GPa ส่วนเส้นใยป่านศรนารายณ์มีค่า 385.5± 175.7 MPa และค่ามอดูลัสของยังก์มีค่า 33.7± 17.3 GPa [Naraprateep, 2007] Jacob และคณะ [Jacob et al., 2004] พบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงขึ้นกับอัตราส่วนของปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์มากกว่าเส้นใยปาล์ม เนื่องมาจากสมบัติของเส้นใยป่านศรนารายณ์มีค่าความทนทานต่อแรงดึงที่สูงกว่าเส้นใยปาล์ม ในกรณีของค่าการยืดตัวก่อนขาดของคอมโพสิทไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อทำการเพิ่มปริมาณส่วนของเส้นใยปอแก้วในคอมโพสิทดังแสดงในรูปที่ 4.29

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางกลของคอมโพสิทของยางธรรมชาติที่ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่างๆ

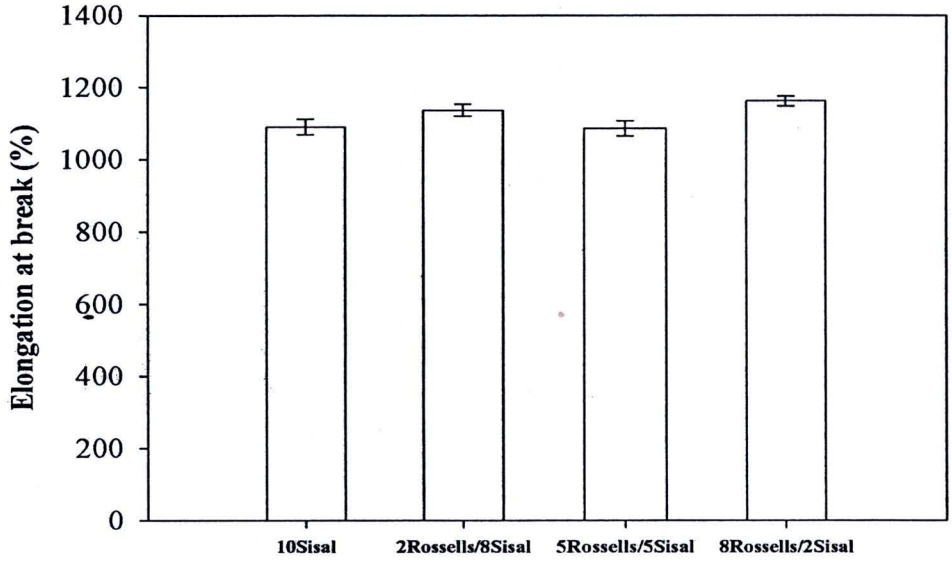
Formulation	M100 (MPa)	M300 (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (IRHD)	Tear strength (kN/m)
10 Sisal	1.09±0.081	1.75±0.132	11.04±0.121	1090±21.22	49.96±0.955	22.43±1.220
2 Rossells – 8 Sisal	1.54±0.130	2.24±0.080	12.26±0.331	1136±16.31	45.42±2.368	29.67±1.920
5 Rossells – 5 Sisal	1.59±0.110	2.47±0.172	13.59±0.133	1085±20.93	49.60±2.954	35.56±1.750
8 Rossells – 2 Sisal	1.48±0.160	2.35±0.244	16.92±0.287	1161±13.74	49.74±3.602	32.77±1.490



รูปที่ 4.27 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดและค่ามอดูลัสที่ 300 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของคอมโพสิท



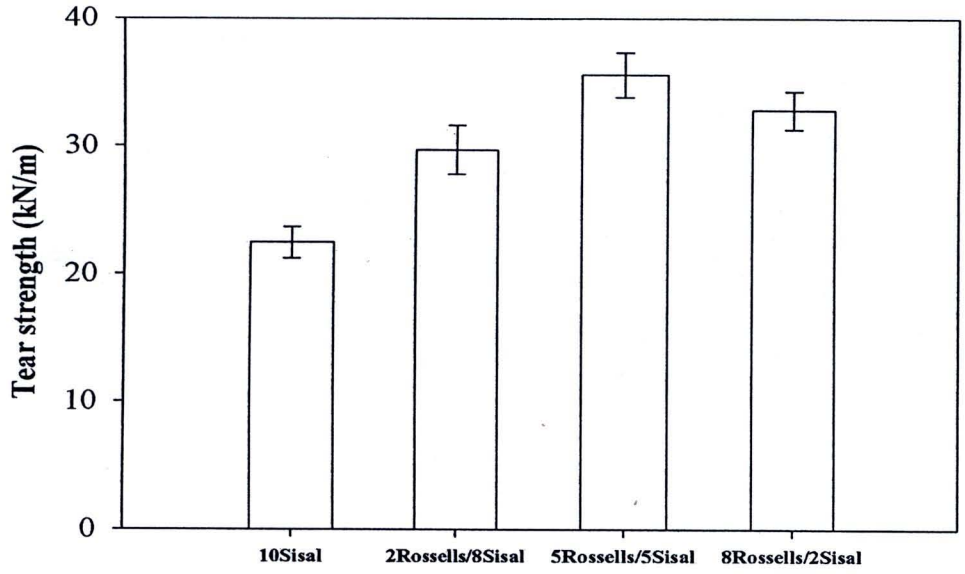
รูปที่ 4.28 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิท



รูปที่ 4.29 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อค่าการยืดตัวก่อนขาดของคอมโพสิท

4.3.2.2 สมบัติความทนทานต่อการฉีกขาด

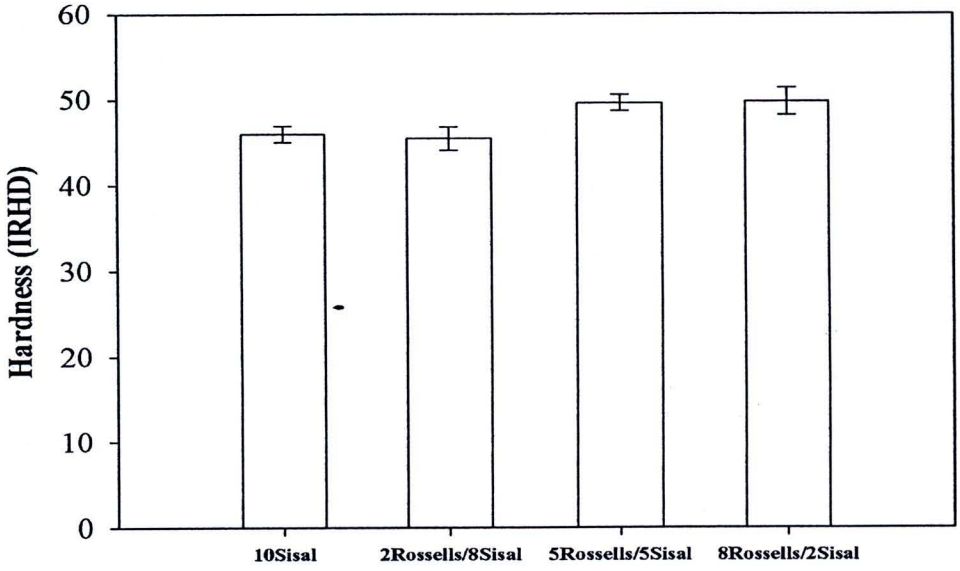
ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดยางคอมโพสิทเมื่อเพิ่มปริมาณส่วนของเส้นใยปอแก้ว แสดงในรูปที่ 4.30 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณส่วนเส้นใยปอแก้วค่าความทนทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น และเริ่มลดลงหลังจากปริมาณของเส้นใยปอแก้วในคอมโพสิทมีปริมาณมากกว่า 5 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของคอมโพสิทนจะมาจากสมบัติของเส้นใยปอแก้วที่มีค่าความแข็งมากกว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์



รูปที่ 4.30 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของคอมโพสิท

4.3.2.3 สมบัติด้านความแข็ง

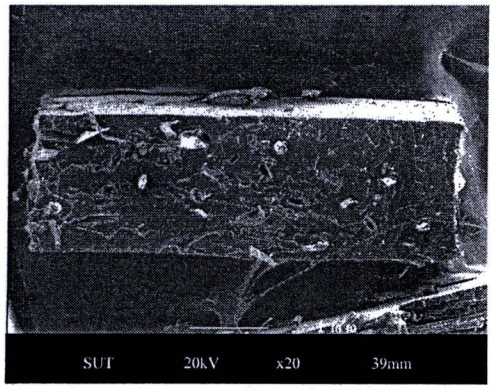
เมื่อเพิ่มปริมาณส่วนเส้นใยปอแก้วในยางคอมโพสิทส่งผลให้ค่าความแข็งของคอมโพสิทมีค่าเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่หลังจากปริมาณของเส้นใยปอแก้วในคอมโพสิทมีปริมาณมากกว่า 5 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 4.31 เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณส่วนเส้นใยปอแก้วที่มีความแข็งมากกว่าส่วนเส้นใยป่านศรนารายณ์ จึงส่งผลให้ค่าความแข็งของคอมโพสิทมีค่าเพิ่มขึ้น



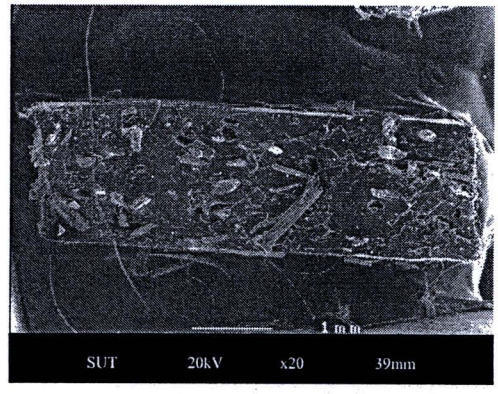
รูปที่ 4.31 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อค่าความแข็งของคอมโพสิท

4.3.3 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

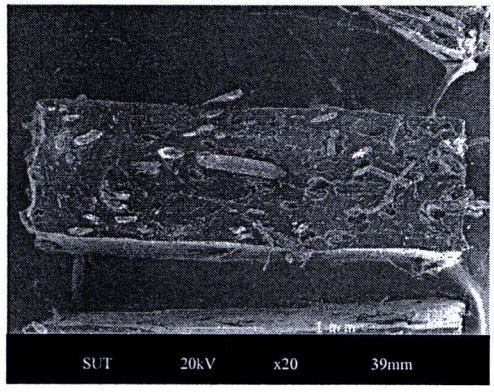
ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราดของยางคอมโพสิทที่อัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยปอแก้วเป็น 8 ต่อ 2 5 ต่อ 5 และ 2 ต่อ 8 แสดงในรูปที่ 4.32 โดยพบว่ามีช่องว่างเกิดขึ้นจากการหลุดของเส้นใยจากเมทริกซ์เนื่องมาจากแรงยึดติดที่ไม่ดีระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยปอแก้วที่มีความเป็นขั้วสูงกับยางธรรมชาติที่ไม่มีขั้ว นอกจากนี้ยังพบการเกาะกลุ่มกันของเส้นใยทั้งสองชนิดเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยปอแก้วในคอมโพสิท



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.32 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 20x ของคอมโพสิทของยางธรรมชาติ (a) 2 Rossells – 8 Sisal, (b) 5 Rossells – 5 Sisal, และ (c) 8 Rossells – 2 Sisal