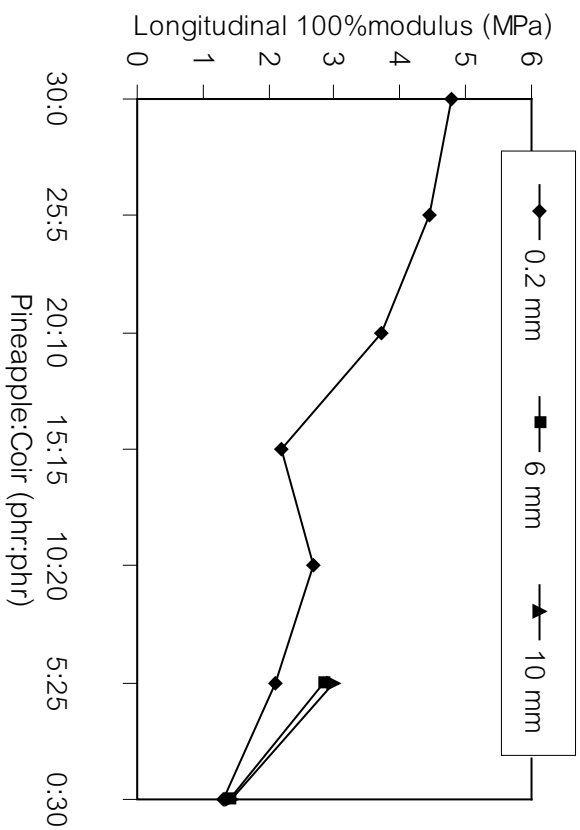


ตารางที่ 4.18 ผลของความยาวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าว (length of fibres) ต่อสมบัติเทนไซล์ (tensile properties) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสมในแนวขวางกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย (transverse direction) (ปริมาณผสม 30 phr)

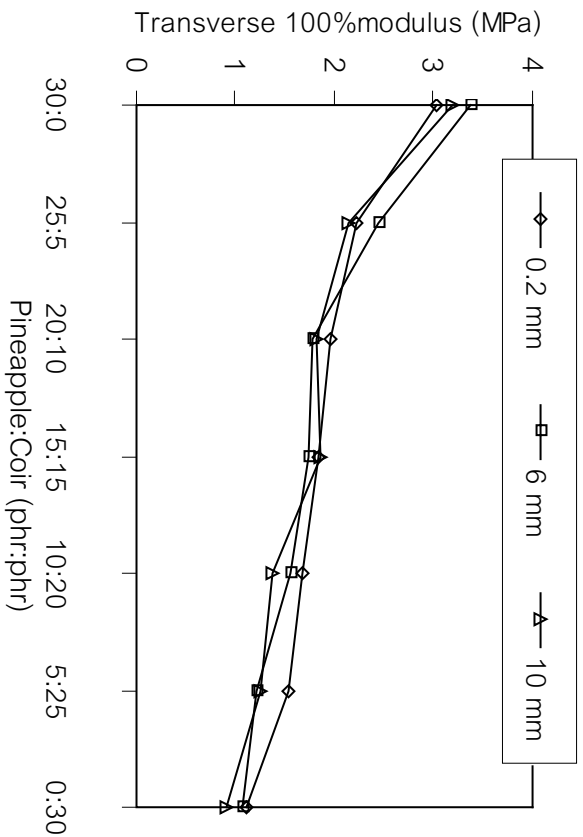
pineapple:		Transverse properties								
coir		100% Modulus (MPa)			Tensile strength (MPa)			Elongation at break (%)		
(phr:phr)		0.2	6	10	0.2	6	10	0.2	6	10
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
30:0		3.04±0.06	3.37±0.16	3.20±0.02	8.79±0.02	3.86±0.04	4.22±0.06	508.33±0.02	229.98±0.15	333.33±0.17
25:5		2.22±0.09	2.45±0.05	2.15±0.11	8.01±0.02	4.07±0.02	3.64±0.03	503.33±0.01	390.00±0.07	403.33±0.12
20:10		1.95±0.07	1.78±0.01	1.81±0.08	8.08±0.04	3.27±0.02	3.21±0.02	516.67±0.03	388.33±0.01	413.33±0.03
15:15		1.83±0.11	1.74±0.08	1.85±0.02	8.08±0.06	3.46±0.11	3.17±0.01	545.00±0.06	398.33±0.01	441.67±0.03
10:20		1.67±0.13	1.55±0.04	1.37±0.08	7.97±0.01	2.62±0.08	2.54±0.04	550.00±0.01	395.00±0.02	473.33±0.05
5:25		1.54±0.12	1.22±0.17	1.25±0.05	8.19±0.01	2.54±0.10	2.90±0.03	575.00±0.04	470.00±0.09	491.67±0.01
0:30		1.12±0.06	1.07±0.03	0.91±0.03	8.47±0.01	2.74±0.11	3.03±0.03	600.00±0.00	552.67±0.08	566.67±0.03

ตารางที่ 4.19 ผลของความยาวของเส้นใยสับประดและมะพร้าว (length of fibres) ต่อค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) (ปริมาณผสม 30 phr)

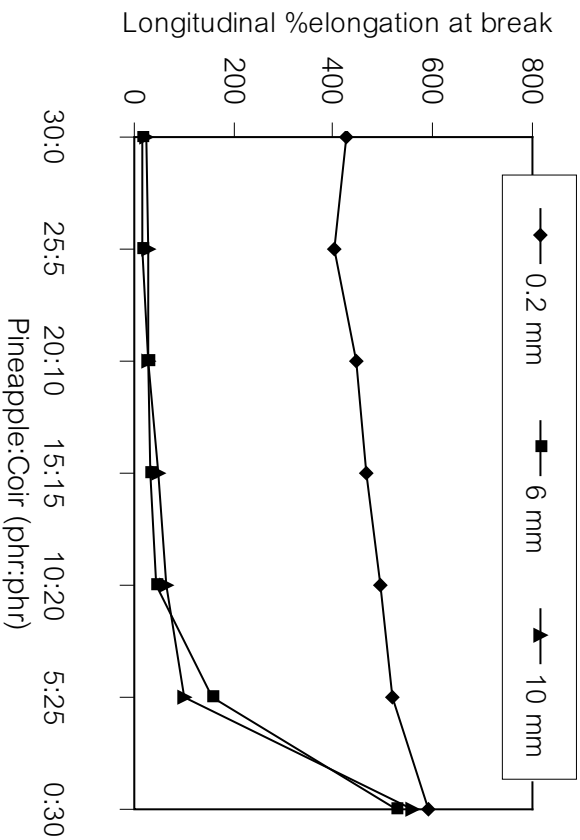
pineapple : coir (phr:phr)	Tear strength (N/mm)		
	0.2 มิลลิเมตร	6 มิลลิเมตร	10 มิลลิเมตร
30:0	37.15±0.02	52.66±0.04	59.33±0.06
25:5	33.83±0.02	42.61±0.08	49.93±0.02
20:10	30.82±0.04	42.37±0.00	44.88±0.04
15:15	29.14±0.03	30.46±0.04	35.76±0.06
10:20	26.92±0.03	26.78±0.01	28.18±0.08
5:25	18.49±0.04	19.82±0.08	25.42±0.09
0:30	17.09±0.17	17.08±0.08	20.07±0.02



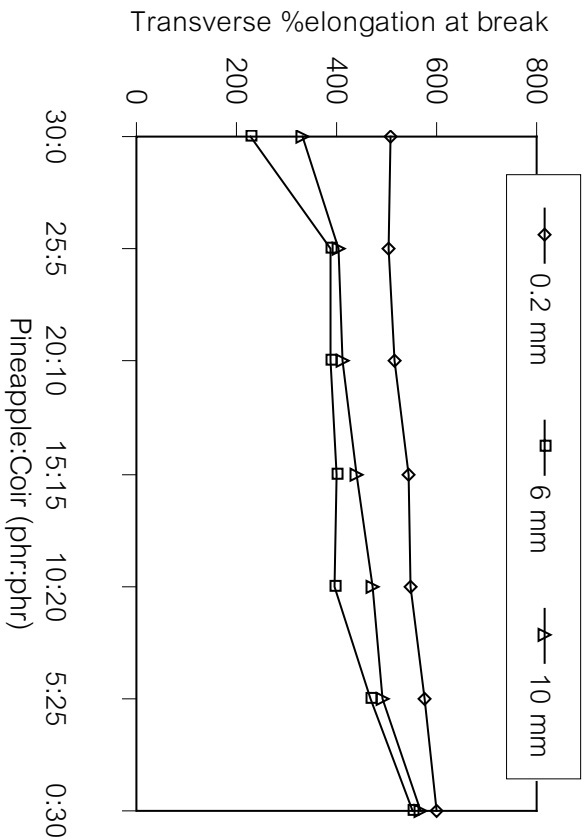
รูปที่ 4.27 ผลของความยาวของเส้นใยสับประดและมะพร้าวต่อค่า modulus ที่ระยะยี่ 100 เปอร์เซ็นต์ในแนวขนานกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย (longitudinal direction) ของคอมโพสิทที่ยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณผสม 30 phr)



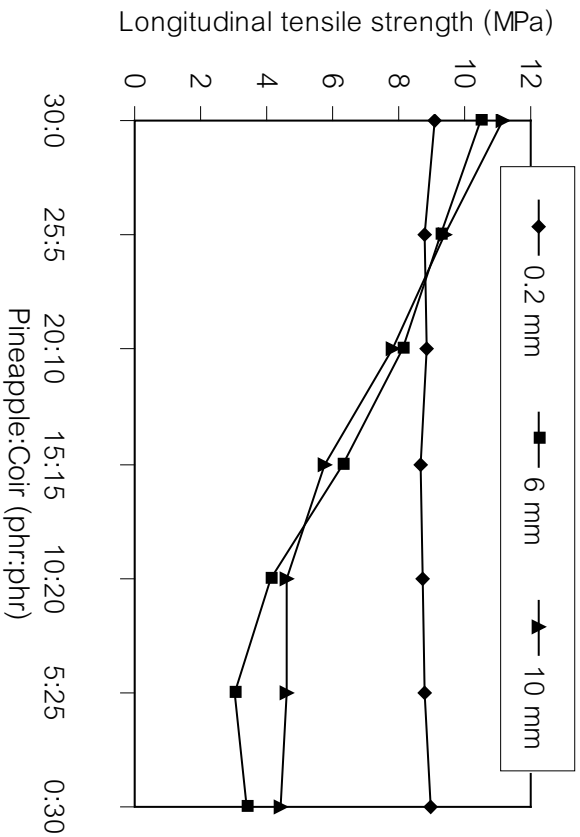
รูปที่ 4.28 ผลของความยาวเส้นใยเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์ในแนวขวางกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย (transverse direction) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณผสม 30 phr)



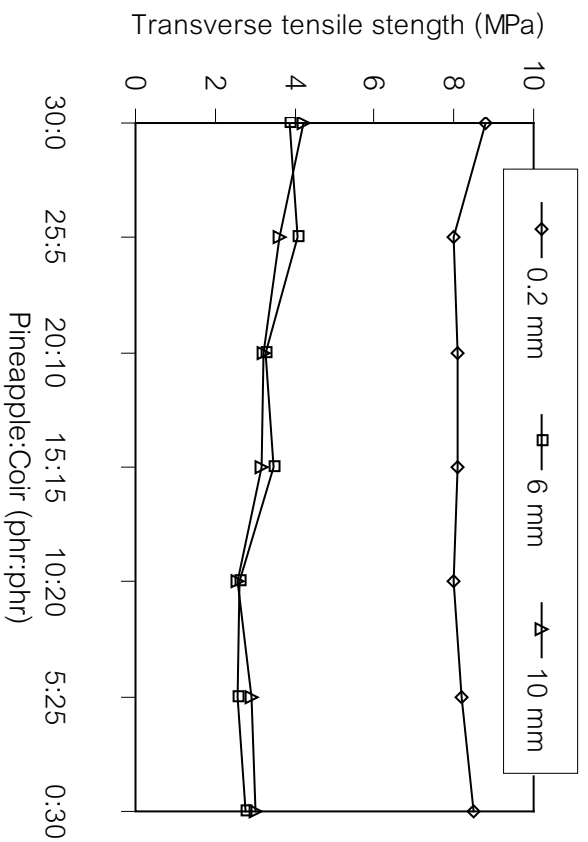
รูปที่ 4.29 ผลของความยาวของเส้นใยเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์ในแนวขวางกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย (longitudinal direction) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณผสม 30 phr)



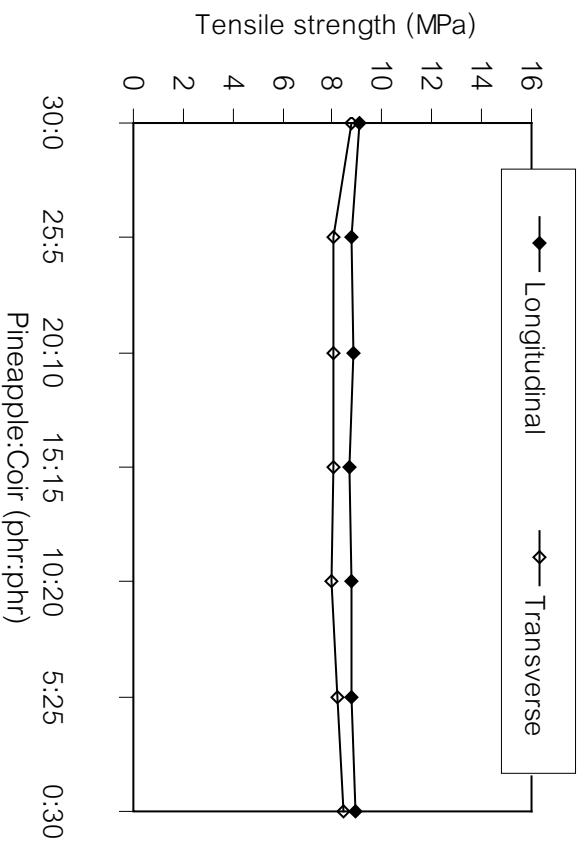
รูปที่ 4.30 ผลของควมยาวของเส้นใยสั้นประรดและมะพร้าวต่อค่าความสามารถในการยืดจนขาด (%Elongation at break) ในแนวขวางกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย (transverse direction) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณผสม 30 phr)



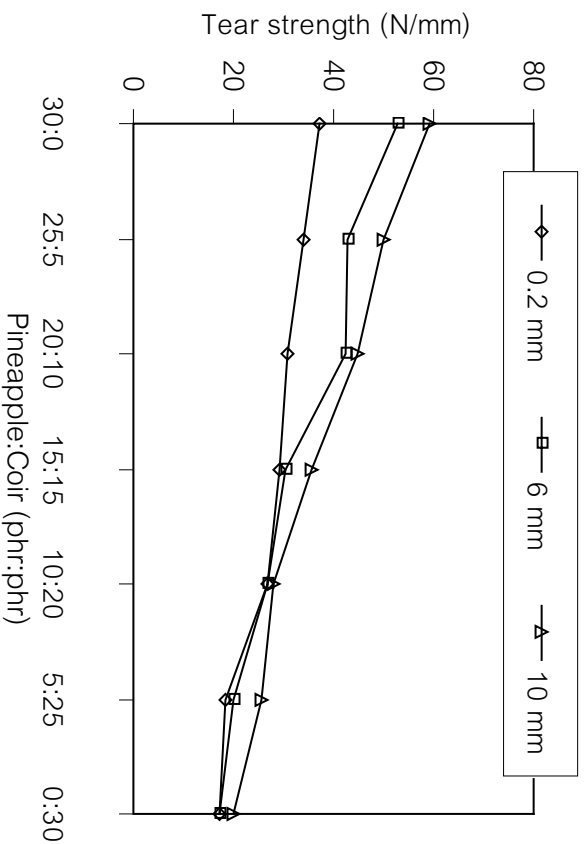
รูปที่ 4.31 ผลของความยาวของเส้นใยสั้นประรดและมะพร้าวต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ในแนวขนานกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย (longitudinal direction) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณผสม 30 phr)



รูปที่ 4.32 ผลของความยาวของเส้นใยเส้นใยประรดและมะพร้าวต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ในแนวขวางกับทิศทางการกำจัดวงตัวของเส้นใย (transverse direction) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณผสม 30 phr)



รูปที่ 4.33 ผลของความยาวของเส้นใยเส้นใยประรดและมะพร้าวต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยยาว 0.2 มิลลิเมตร (ปริมาณผสม 30 phr)



รูปที่ 4.34 ผลของความยาวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่าความความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณผสม 30 phr)

จากตารางที่ 4.17 - 4.18 และรูปที่ 4.27 พบว่าการดึงคอมโพสิตยางให้ยืดออกในแนวเดียว กับทิศทางทางการฉีกตัวของเส้นใยขนาด 6 และ 10 มิลลิเมตร ทำให้คอมโพสิตยางล้มเหลวที่ ระยะยืดต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นในการฉีกการเติมเส้นใยผสมที่มีเส้นใยมะพร้าวในปริมาณที่ มากกว่า 25 phr และการดึงในแนวขวางกับการฉีกตัวของเส้นใย (รูปที่ 4.28) ดังนั้นการเปรียบเทียบอิทธิพลของความยาวเส้นใยต่อมอดูลัสในแนวขนานพิจารณาได้จากข้อมูลการทดสอบคอมโพสิตยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยผสมที่อัตราส่วนระหว่างสับปะรดและมะพร้าว 5:25 phr:phr เท่านั้น และจากการสังเกตแนวโน้มในรูปดังกล่าวจะได้ว่ามอดูลัสในแนวขนานเพิ่มขึ้น ตามความยาวของเส้นใยจาก 0.2 เป็น 6 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งลักษณะการปรับปรุงค่ามอดูลัสยังพบในคอมโพสิตยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวเพียงชนิดเดียวด้วยเช่นกัน และจากรูปที่ 4.29 - 4.30 พบว่าความสามารถยืดจนขาดของยางซึ่งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยมะพร้าว (ดูการอธิบายในหัวข้อที่ 4.2.3) จะลดลงเมื่อเติมเส้นใยที่ยาวมากขึ้นลงในยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลจากการเสริมความแข็งแรงยางด้วยเส้นใยที่ยาวกว่า แต่จะสังเกตเห็นว่าทั้งมอดูลัสและความสามารถยืดจนขาดของคอมโพสิตยางผสมเส้นใยขนาด 6 และ 10 มิลลิเมตร ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาความสามารถต้านทานต่อแรงดึงของคอมโพสิตยางในรูปที่ 4.31 - 4.32 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสมบัติดังกล่าวทั้งในแนวขนานและขวางดังนี้ คือ (1) ความสามารถต้านทานต่อแรงดึงของคอมโพสิตยางผสมเส้นใยขนาด 6 และ 10 มิลลิเมตรลดลงอย่างรวดเร็วตามปริมาณ

เส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้นหรือเส้นใยสับปะรดที่ลดลง เพราะว่า เป็นผลมาจากสมบัติของเส้นใยที่แตกต่างกันและขนาดเส้นใย (fibre aspect ratio) ทั้งสองแตกต่างกัน แต่แนวโน้มของความสามารถต้านทานต่อแรงดึงของคอมโพสิตที่ยาวผสมเส้นใยขนาด 0.2 มิลลิเมตรค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของเส้นใยทั้งสองชนิดในยางธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่าการแปรสัดส่วนผสมของเส้นใยต่างชนิดกันที่สั้นมากหรือกล่าวได้ว่ามีขนาดเล็กมากจะไม่มีผลต่อความสามารถต้านทานต่อแรงดึง เนื่องจากเส้นใยทั้งสองชนิดอาจมีพื้นที่ผิวที่เกิดอันตรกิริยากับยางใกล้เคียงกันทำให้การเสริมแรงไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อสังเกตจากตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.33 พบว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 0.2 มิลลิเมตรในแนวขนานและขวางใกล้เคียงกันหรือเข้าใกล้ลักษณะ isotropy ซึ่งการเสริมแรงเริ่มเท่ากันทุกทิศทางและ (2) ความสามารถต้านทานต่อแรงดึงของคอมโพสิตที่ยาวผสมเส้นใยขนาด 6 และ 10 มิลลิเมตร มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่น้อยกว่ากรณียาวผสมเส้นใยขนาด 0.2 มิลลิเมตร แนวโน้มโดยทั่วไปของการเพิ่มขึ้นของความสามารถต้านทานต่อแรงดึง เป็นดังนี้ $6 \cong 10 < 0.2$ มิลลิเมตร ยกเว้นในกรณีใช้เส้นใยสับปะรดและมะพร้าวเท่ากับ 30:0 และ 25:5 (phr:phr) หรือการเติมเส้นใยสับปะรดให้มากกว่า 25 phr (ในปริมาณผสมทั้งหมด 30 phr) ทำให้การเสริมแรงในแนวขนานเด่นชัดขึ้นหากใช้เส้นใยที่ยาวมากขึ้น ดังนี้ $0.2 < 6 < 10$ มิลลิเมตร เป็นที่ยอมรับกันดีว่าผลของความยาวเส้นใยต่อการเสริมแรงคอมโพสิตที่เส้นใยเส้น สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของ Cox (1952) ซึ่งกล่าวว่าความสามารถต้านทานต่อแรงดึงในเส้นใย (σ_f) เกิดจากการกลไกการส่งถ่ายแรงเค้นเฉือนจากเมทริกซ์ ในที่นี้คือ ยางธรรมชาติผ่านเข้าสู่เส้นใยที่บริเวณผิวรอยต่อระหว่างเส้นใยและยาง ซึ่งเป็นแรงเค้นเฉือนผิว (interfacial shear stress) และ Cox ได้เสนอสมการอธิบายการเสริมแรงดังนี้

$$\sigma_f = E_f \varepsilon_1 \left[1 - \cosh\left(\frac{nx}{r}\right) \operatorname{sech}(ns) \right] \quad (4.1)$$

$$n = \left[\frac{2E_m}{E_f(1 + \gamma_m) \ln(1/\gamma_f)} \right]^{1/2}$$

เมื่อ σ_f = แรงเค้นเทนไซล์ในเส้นใยเส้น

E_m และ E_f = ค่าYoung's modulus ของเมทริกซ์และเส้นใยตามลำดับ

ε_1 = ความเค้นของเทนไซล์ของคอมโพสิต

V_m และ V_f = อัตราส่วนปริมาตร (Poisson's ratio) ของเมทริกซ์และเส้นใยตาม

ลำดับ

x = ระยะห่างใดๆจากจุดกึ่งกลางเส้นใย (mid-point)

r = รัศมีเส้นใย

S = ขนาดเส้นใยหรือ L / r = อัตราส่วนความยาวของเส้นใย (L) ต่อรัศมีเส้น

ใย (r)

f = สัดส่วนโดยปริมาตรของเส้นใยในคอมโพสิต (fibre volume

fraction)

n = ค่าคงที่ไม่มีมิติ (dimensionless constant)

และในการทำงานกันแรงเค้นเส้นใยที่ระยะจายบริเวณรอยต่อผิว (interphase) อธิบายจากสมการ

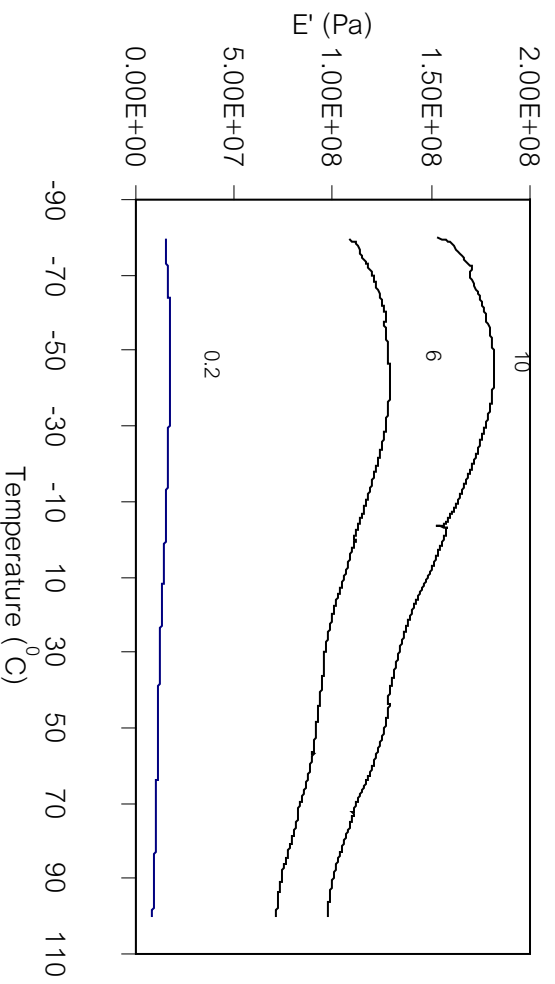
$$\tau_i = \frac{n\epsilon_1}{2} E_f \sinh\left(\frac{nx}{r}\right) \operatorname{sech}(nr) \quad (4.2)$$

โดยสมการที่ (4.1) และ (4.2) เป็นการทำนายการกระจายแรงเค้นตามพหุคูณและแรงเค้นเฉือนผิวไปตามความยาวของเส้นใยที่วางตัวในแนวเดียวกันในคอมโพสิตขนาดสั้น พบว่า แรงเทนไซล์ (tensile stress) ในเส้นใยที่ได้รับมาจากการถ่ายผ่านแรงเค้นเส้นใยที่เกิดขึ้นในเมทริกซ์ตรงบริเวณรอยต่อระหว่างผิวมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นใย หรือกล่าวได้ว่าค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่า fibre aspect ratio, $S = L/r$

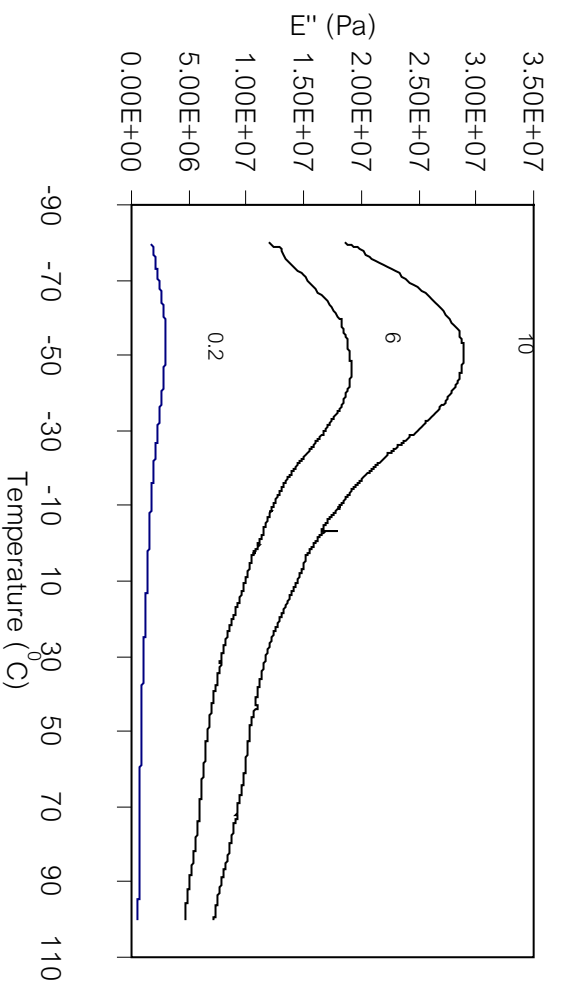
ดังนั้นการเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ยาวขึ้นจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าในการศึกษาการเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติผสมที่ยาวมากขึ้นไม่เป็นไปตามสมการของ Cox เนื่องจากการเกี่ยวพันของเส้นใย และการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างสมบูรณ์ จึงทำให้เส้นใยที่ยาวมากขึ้นโอกาสการกระจายเส้นใยที่สม่ำเสมอจะน้อยกว่าเส้นใยที่สั้นกว่า อีกทั้งการบิดงอทำให้ความยาวของเส้นใยลดลง ดังนั้นพบว่าเส้นใยสำหรับถ่ายผ่านแรงเค้นเฉือนลดลง ทำให้การเสริมแรงลดลงเมื่อเส้นใยยาวมากขึ้น สำหรับความสามารถด้านทานต่อการฉีกขาด (รูปที่ 4.34) พบว่าแปรตามความยาวของเส้นใย เพราะว่าเส้นใยที่ยาวมากขึ้นจะขัดขวางการขยายตัวของฉีกขาดในแนวข้างได้ดีกว่า

4.3.4 ศึกษาผลของความยาวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าว (length of fibres) ต่อสมบัติเชิงกลพลวัต (dynamic properties) ของคอมโพสิตทางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณเส้นใยผสม 30 phr ที่สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับปะรด:มะพร้าว 25:5 phr :phr)

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตของคอมโพสิตทางธรรมชาติที่บรรจุเส้นใยผสมปริมาณ 30 phr ในสัดส่วนสับปะรดต่อมะพร้าว 25:5 phr:phr ได้ผลแสดงไว้ในรูปที่ 4.35 - 4.36



รูปที่ 4.35 ผลของความยาวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่าความต้านทานต่อโมดูลัสสะสม (Storage modulus) ของคอมโพสิตทางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณเส้นใยผสมและสัดส่วนผสมโดยน้ำหนักสับปะรดและมะพร้าวที่เท่ากัน 30 phr และ 25:5 phr:phr ตามลำดับ)



รูปที่ 4.36 ผลของความยาวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่าความต้านทานต่อโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus) ของคอมโพสิตทางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณเส้นใยผสมและสัดส่วนผสมโดยน้ำหนักสับปะรดและมะพร้าวที่เท่ากัน 30 phr และ 25:5 phr:phr ตามลำดับ)

จากรูปที่ 4.35 และ 4.36 พบว่าค่ามอดุลัสสะสมและสูญเสียเพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นใย จาก 0.2 G และ 10 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นไปตามการทำนายโดยใช้ทฤษฎีของ Cox 1952 นั่นคืออัตราส่วนของความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมากขึ้น การเสริมแรงจะดีขึ้น

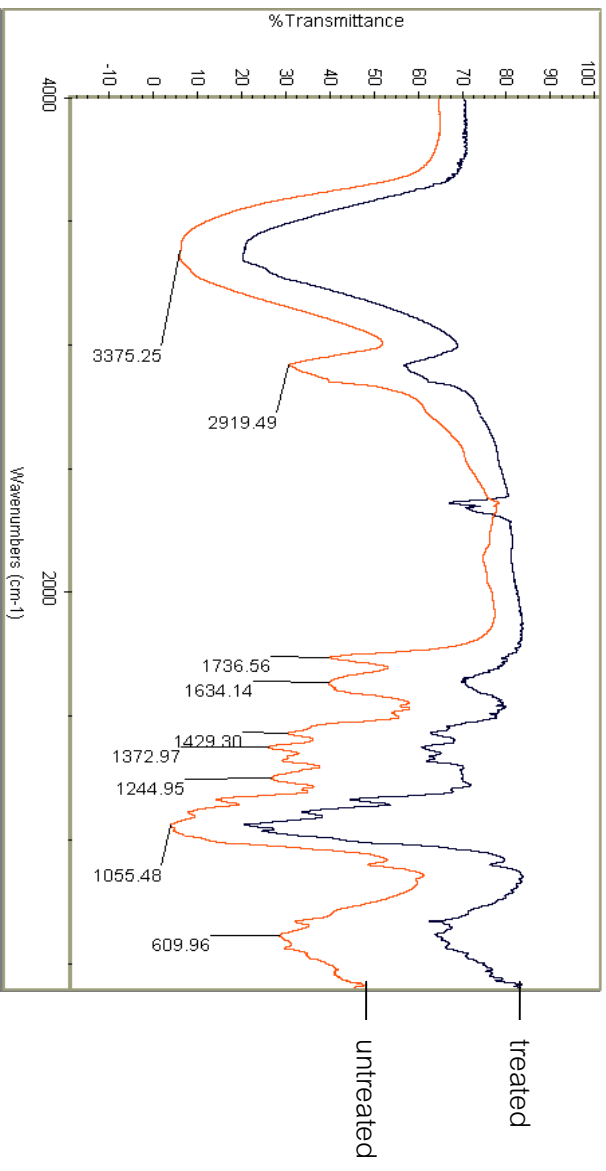
4.4 ศึกษาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยผสมด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์ (5% w/v) ต่อองค์ประกอบทางเคมี (Chemical compositions of fibres) และโครงสร้างผิวของเส้นใย (Fibre surface topography)

ศึกษาผลของการแช่เส้นใยในสารละลายไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ต่อสมบัติของเส้นใยและคอมโพสิตทางธรรมชาติแบบผสม โดยใช้เส้นใยประเภทกระดาษ 0.2 G และ 10 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% (w/v) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง วิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ในเส้นใยด้วยเทคนิค FT-IR และตรวจคุณสมบัติของเส้นใยด้วยเทคนิค SEM ทดสอบสมบัติของคอมโพสิตทางธรรมชาติต่อไปนี้ พฤติกรรมการวัดคาบนั้น (cure characteristics) วิเคราะห์การจัดเรียงตัวของเส้นใยผสมและการติดประสานด้วยเทคนิค SEM ทดสอบสมบัติเชิงกล (mechanical properties)

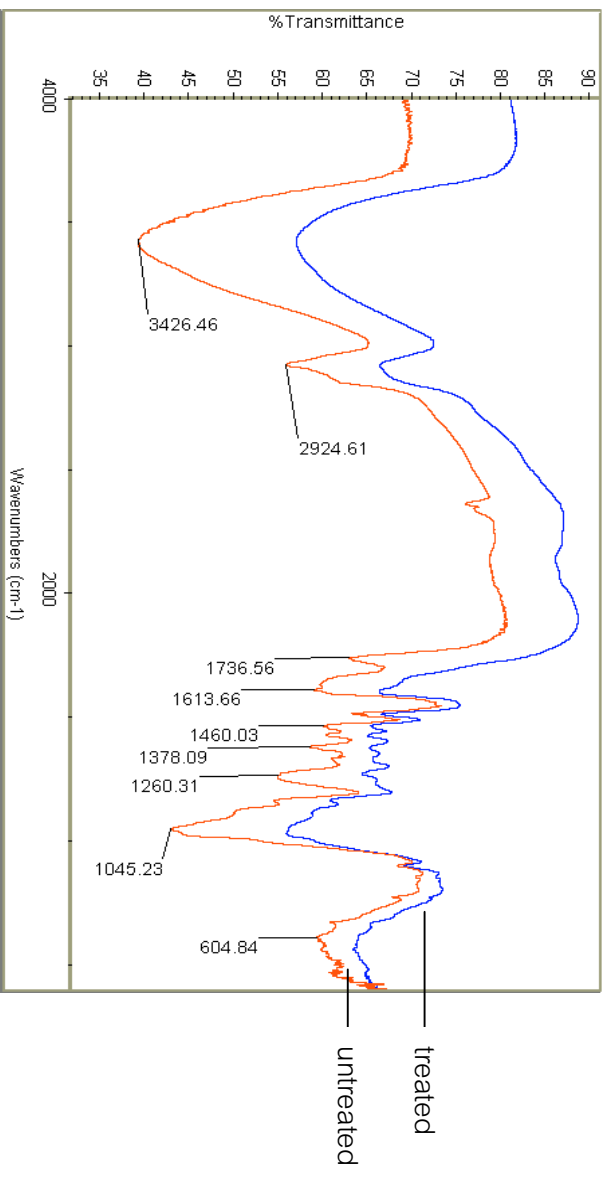
4.4.1 ศึกษาผลของการปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยผสมด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์ (5% w/v) ต่อสมบัติของเส้นใย

4.4.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (IR) ของเส้นใยแต่ละประเภทและกระดาษและหลังปรับปรุงผิว (untreated and treated fibres) แสดงไว้ในรูปที่ 4.37 – 4.38



รูปที่ 4.37 ปกติของเส้นใยประเภทที่ไม่ได้ประจุที่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิวด้วยละลายไฮโดรอกไซด์เข้มข้น 5% (w/v) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง



รูปที่ 4.38 ปกติของเส้นใยประเภทที่ไม่ได้ประจุที่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิวด้วยละลายไฮโดรอกไซด์เข้มข้น 5% (w/v) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของเส้นใยเส้นประรดและมะพร้าว พบ
พีคการดูดกลืนที่เลขคลื่นต่อไปนี้

ตารางที่ 4.20 สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของเส้นใยเส้นประรดและมะพร้าว (Dipa Ray
et al., 2000)

พีคการดูดกลืน	
Absorbance (cm ⁻¹)	
3100 – 3800	การยืดของหมู่ –OH ในเซลลูโลส
2914 – 2970	การยืดแบบเส้นของหมู่ -CH ₂ ในเซลลูโลสและเอมิเซลลูโลส
1735	การยืดของ C=O ในหมู่เอสเตอร์ของเอมิเซลลูโลส
1650 – 1663	การงอของ H-O-H ในโมเลกุลน้ำที่ดูดซับบนเส้นใย
1438 – 1440	การโค้งงอของหมู่ -CH ₂ ในลิกนิน
1380 – 1377	การโค้งงอของหมู่ -CH
1358 – 1326	การโค้งงอแบบมีสมมาตรของหมู่ -OH
1253 – 1250	การยืดของหมู่ C-O ในอะซิทิล (ลิกนิน)
1053 – 1047	การยืดแบบเส้นของหมู่ C-O/C-C
610 - 607	การโค้งงอแบบไม่สมมาตรของหมู่ -OH

จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.37 และ 4.38 เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของใยธรรมชาติใยไหมใยฝ้ายใยตอ
ไช้ที่เข้มข้น 5% (w/v) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง พบว่าพีคการดูดกลืนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1735 cm⁻¹
ซึ่งแสดงถึงการยืดของพันธะ C=O ในโครงสร้างของเอมิเซลลูโลสหายไป และไม่มีปรากฏพีคการดูด
กลืนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1253 – 1250 cm⁻¹ ซึ่งแสดงถึงการยืดของพันธะ C-O ในอะซิทิลหรือลิก
นิน แต่พีคการดูดกลืนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1429 cm⁻¹ ซึ่งเป็นการสั่นแบบโค้งงอของหมู่ -CH₂ ใน
ลิกนิน ยังคงปรากฏให้สังเกตเห็นได้ ในส่วนของเส้นใยมะพร้าวหลังจากได้รับการปรับสภาพผิว
แล้วพบว่าไม่ปรากฏพีคการดูดกลืนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1736 cm⁻¹ ซึ่งหมายถึงโครงสร้างของเอมิ
เซลลูโลส แต่พีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1260 และ 1460 cm⁻¹ ซึ่งน่าจะเป็นโครงสร้างของลิกนินใน
เส้นใยมะพร้าวยังคงปรากฏให้สังเกตเห็น (รูปที่ 4.38) แสดงว่าสารละลายใยพืชเตียมไฮดรอกไซด์
สามารถชะล้างเอมิเซลลูโลส (hemicellulose) และบางส่วนของลิกนินออกจากเส้นใยได้ นอกจากนี้
นั้นเมื่อสังเกตการดูดกลืนของรังสีในช่วงเลขคลื่น 3100-3800 cm⁻¹ และ 2919 / 2924 cm⁻¹ จะพบ
ว่าความกว้างของพีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วงเลขคลื่นดังกล่าวลดลง ซึ่งเป็นการสันนิษฐานของ

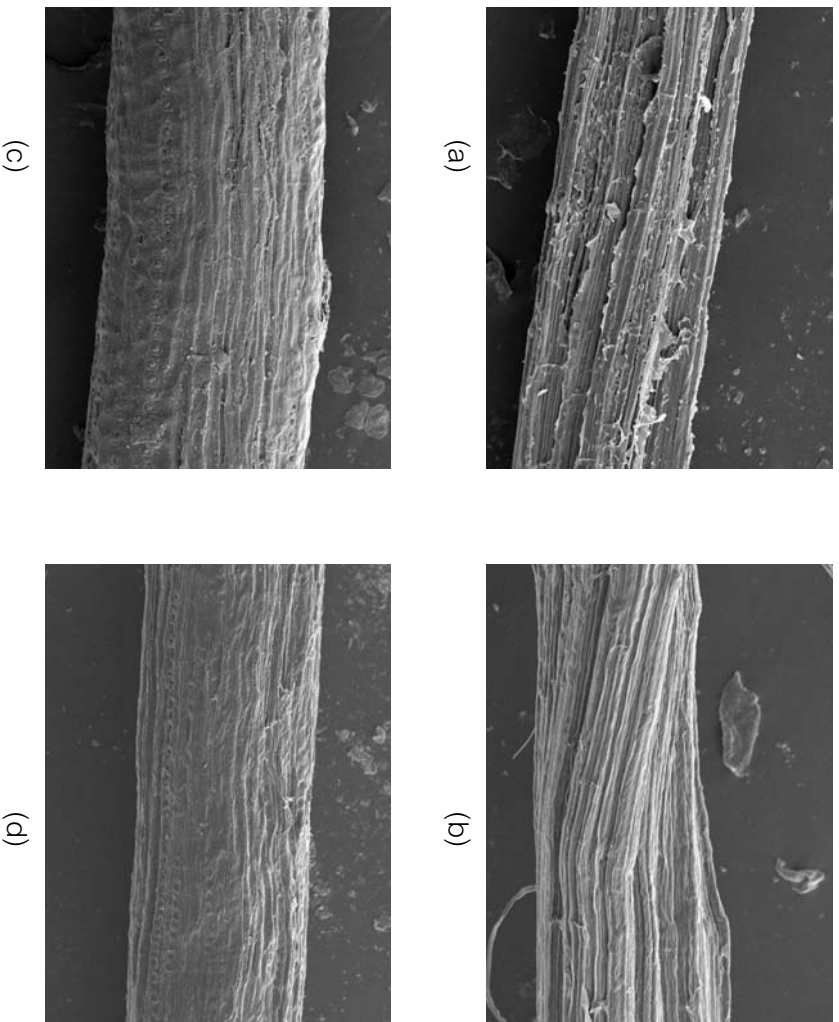
พันธะไฮโดรเจนของหมู่ -OH ในโครงสร้างเซลลูโลสและหมู่ -CH₂ ในเส้นใยตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณหมู่ -OH ในเส้นใยลดลง การลดลงของหมู่ -OH ในเส้นใยน่าจะเป็นผลมาจากการชะล้างเอมิเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งในโครงสร้างเหล่านี้มีหมู่ -OH เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลรายงานวิจัยของ กุลจณี 2546 ; สุบัญญัติดา 2547 ; Ray and Sarkar, 2001

4.4.1.2 โครงสร้างผิวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าว

สมบัติเชิงกลและอายุการใช้งานของคอมโพสิตในสภาวะแวดล้อมจริงเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ โครงสร้างผิวของเส้นใยมีอิทธิพลต่อการเปียกผิวของเส้นใยด้วยเมทริกซ์ การเปียกผิวที่ดีจะสัมพันธ์กับความเข้ากันได้ของทั้งสองเฟสเพื่อศึกษาอิทธิพลของการปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยสารละลายไฮเดรอกไซด์ต่อการติดประสานระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ในคอมโพสิตผิวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวที่ผ่านการแช่และไม่แช่ในสารละลายไฮเดรอกไซด์ร้อยละ 5% (w/v) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.39

เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลล์ย่อย (multicellular structure) ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลส (cellulose microfibrils) ผังตัวในลิกนินและเอมิเซลลูโลส (Ray and Sarkar, 2001) จากรูปที่ 4.39 (a) พบว่าผิวของเส้นใยสับปะรดโดยรอบมีชั้นส่วนของอนุภาคซึ่งคาดว่าจะเป็นเนื้อใบสับปะรด ซึ่งเจือปนและขม้นเคลือบติดบนผิว และจากรูปที่ 4.39 (c) ก่อนแช่เส้นใยมะพร้าวจะพบกรดไทม์น (Tylose) ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลม สารอนินทรีย์และสารเชื่อมโยงระหว่างเส้นใย (เอมิเซลลูโลสและลิกนิน) รวมถึงสิ่งเจือปนอื่นๆ เคลือบติดอยู่บนผิวเส้นใยมะพร้าว แต่หลังจากแช่เส้นใยทั้งสองชนิดในสารละลายไฮเดรอกไซด์ พบว่าผิวเส้นใยลักษณะเกลี้ยงแต่ขรุขระมากขึ้น โดยจะสังเกตเห็นร่อง (crevices) บนผิวเส้นใยทั้งสองชนิดได้ชัดเจนนยิ่งขึ้น เนื่องจากสารละลายไฮเดรอกไซด์ชะล้าง สารเชื่อมใยซึ่งเป็นเอมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากผิวเส้นใย และสิ่งเจือปนต่างๆ อีกทั้งกรดไทม์น (Tylose) บนเส้นใยมะพร้าวได้ถูกชะล้างออกด้วย โดยปรากฏให้เห็นหลุมบนผิวเส้นใยมะพร้าว ดังนั้นส่งผลให้เส้นใยสับปะรดและมะพร้าวมีผิวขรุขระมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนนในรูปที่ 4.39 (b) และ (d) ซึ่งผลการสังเกตผิวเส้นใยทั้งสองก่อน-หลังปรับปรุงผิวด้วยเทคนิค SEM พบว่าสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ในหัวข้อที่ผ่านมา (หัวข้อที่ 4.4.1.1) และผลงานวิจัยที่รายงานโดย Froilini and Razera, (2004) ; Ray and Sarkar, (2001) ; Gassan and Bledzki, (1999) ; Mwakimbo and Ansell, (2002) พบว่าสอดคล้องกับผลการศึกษานี้

Ray และ Sarkar (2001) ได้ศึกษาผลของเวลาแช่เส้นใยปอ (ute fibre) ในสารละลายไฮโดรอกไซด์เข้มข้น 5% (w/v) ต่อโครงสร้างผิวของเส้นใย ผลการศึกษพบว่าเส้นใยปอมีผิวขรุขระมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปจาก 0 – 8 ชั่วโมง และสามารถสังเกตเห็นเส้นใยเล็กในเส้นใยปอแยกออกจากกันเมื่อให้เวลาแช่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.39 ผลของการแช่เส้นใยในสารละลายไฮโดรอกไซด์เข้มข้น 5% (w/v) เป็นเวลา 18 ชั่วโมงต่อโครงสร้างและลักษณะผิวของ (a) เส้นใยสับปะรดก่อนแช่ (untreated pineapple fibre) (b) เส้นใยสับปะรดหลังแช่ (treated pineapple fibre) (c) เส้นใยมะพร้าวก่อนแช่ (untreated coir fibre) และ (d) เส้นใยมะพร้าวหลังแช่ (treated coir fibre)

4.4.2 ศึกษาผลของการปรับสภาพผิวเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อพฤติกรรมการวัลคาไนซ์ (cure characteristics) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม

ผลการแช่เส้นใยสับปะรดและมะพร้าวในสารละลายไฮโดรอกไซด์เข้มข้น 5% (w/v) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ปริมาณ 30 phr ที่ความยาวต่างๆ โดยใช้สัดส่วนสับปะรด : มะพร้าว เท่ากับ 25:5 (phr:phr) ต่อพฤติกรรมการวัลคาไนซ์ (cure characteristics) ผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.21 - 4.22

4.3.1) ส่วนค่าระยะเวลาที่ใยเริ่มสุก (T_s) ของคอมโพสิตใยยางพว่า มีค่าใกล้เคียงกันทั้งในการขึ้นก่อนและหลังปรับปรุงผิว และความยาวที่แตกต่างกันไปไม่มีผลต่อระยะเวลาที่ใยยางเริ่มสุก การแช่เส้นใย 0.2 มิลลิเมตรในสารละลายต่างจะทำให้ค่าคอมโพสิตใยมีค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) มากกว่าคอมโพสิตใยที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้แช่ ในขณะที่ห้มีพบการเปลี่ยนแปลงใดๆของค่า M_H ของคอมโพสิตใยยางเสริมแรงด้วยเส้นใยยาว 6 และ 10 มิลลิเมตร ภายหลังจากที่ปรับปรุงผิวแล้ว ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวนี้สามารถสังเกตพบในการทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) ของคอมโพสิตใยยางและเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของคอมโพสิตหเพิ่มสูงขึ้นหลังจากปรับปรุงภาพผิวแล้วในการขึ้นการเติมเส้นใย 0.2 มิลลิเมตรเท่านั้นลงในยาง ส่วนค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) หรือแสดงถึงความหนืดของยางคอมปาวด์ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปรับปรุงผิวด้วยสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์

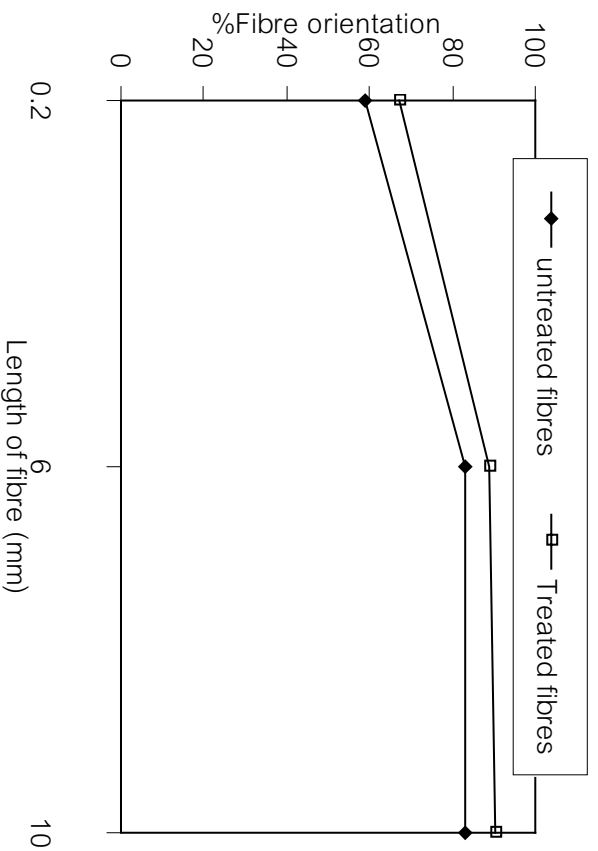
4.4.3 ศักยภาพของการปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยสับประดและมะพร้าวต่อค่าการฉัดเรียบตัวของเส้นใยในคอมโพสิตใยยางธรรมชาติแบบผสม

4.4.3.1 การทดสอบค่าความแข็งแรงของยางดิบ (Green strength measurement)

จากการทดสอบค่าความแข็งแรงของยางดิบ โดยปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยสับประดและมะพร้าวที่สัดส่วน เท่ากับ 25:5 (phr:phr) และที่ความยาวต่างๆ ผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.40

ตารางที่ 4.23 ผลของการปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยสับประดและมะพร้าวต่อเปอร์เซ็นต์การฉัดเรียบตัวของเส้นใย (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับประด:มะพร้าว เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))			
Fibre length (mm)	Types of hybrid fibres	Fibre orientation (%)	
0.2	untreated	59.10	
	treated	67.06	
6	untreated	83.14	
	treated	88.84	
10	untreated	83.30	
	treated	90.37	

จากตารางที่ 4.23 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคอมโพสิตทางธรรมชาติเส้นใยผสมไม่รับสภาพผิวกับคอมโพสิตทางธรรมชาติเส้นใยผสมหลังรับสภาพผิว ที่ความยาว 0.2 6 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่า การรับสภาพผิวเส้นใยผสมด้วยสารละลายต่างเข้มข้น 5% w/v ทำให้ค่าเบี่ยงเบนต่อการจัดเรียงตัวของเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากอาจเป็นไปได้ว่าการใช้สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ลดการเกาะกลุ่ม (fibre agglomeration) เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างหมู่-OH ของเซลลูโลสในเส้นใย-เส้นใยลดลง ดังนั้นเส้นใยจึงแยกกระจายตัวในเนื้อยางได้ดีขึ้น ทำให้มีการจัดเรียงตัวดีกว่าเส้นใยที่ไม่ถูกแช่ในสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ และแนวโน้มการจัดเรียงตัวของเส้นใยขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใย นั่นคือ ความยาวของเส้นใยผสม $0.2 < 6 \cong 10$ มิลลิเมตร ตามลำดับ



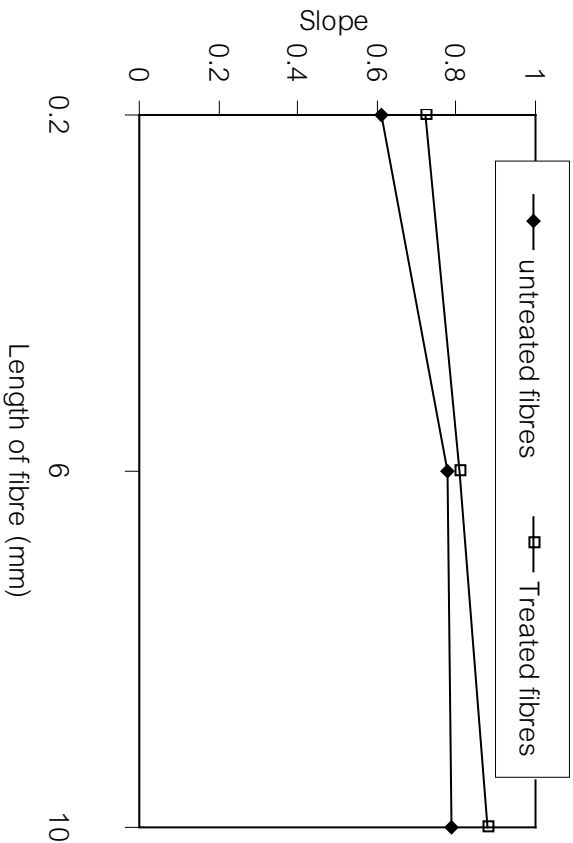
รูปที่ 4.40 ผลของการรับสภาพผิวเส้นใยประเภทมะพร้าวต่อค่าเบี่ยงเบนต่อการจัดเรียงตัวของเส้นใย (% Fibre orientation) ของคอมโพสิตทางธรรมชาติแบบผสม (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยประเภทมะพร้าว เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))

4.4.3.2 การทดสอบการบวมพองของคอมโพสิต (Anisotropy swelling test)

อิทธิพลการรับปฏิกิริยาดังกล่าวโดยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการบวมพองของคอมโพสิต แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.41

ตารางที่ 4.24 ผลของการปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยเส้นประและเส้นร่างต่อค่าอัตราส่วนการบวมพองของคอมโพสิตในแนวขนาน (a_1) ตั้งฉาก (a_2) และคี่ (a_3) กับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย และค่าความชัน (slope) (สัดส่วนโดยนำหน้าเส้นใยเส้นประต่อเส้นร่าง เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))

Fibre length	Types of hybrid		slope
(mm)	fibres		
0.2	untreated	0.61	
	treated	0.72	
6	untreated	0.78	
	treated	0.81	
10	untreated	0.79	
	treated	0.88	



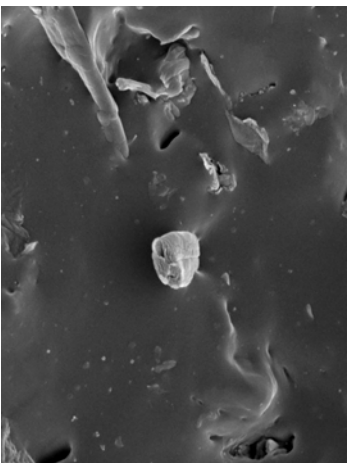
รูปที่ 4.41 ผลของการปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยเส้นประและเส้นร่างต่อค่าความชัน (slope) ของคอมโพสิตทางธรรมชาติแบบผสม (สัดส่วนโดยนำหน้าเส้นใยเส้นประต่อเส้นร่าง เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))

จากตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.41 พบว่าค่าความชันของคอมโพสิตทางธรรมชาติเส้นใยผสมหลังปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่าค่าความชันของคอมโพสิตทางธรรมชาติเส้นใยผสมไม่ปรับปรุงผิว แสดงให้เห็นว่าคอมโพสิตทางธรรมชาติเส้นใยผสมหลังปรับปรุงผิวสามารถยับยั้งการบวมพองได้ดีกว่าและเส้นใยยาว 6 และ 10 มิลลิเมตร มีการจัดเรียงตัวในยางดีกว่าเส้นใย 0.2 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบค่าความแข็งแรงของยางดิบ (หัวข้อที่ 4.4.3.1)

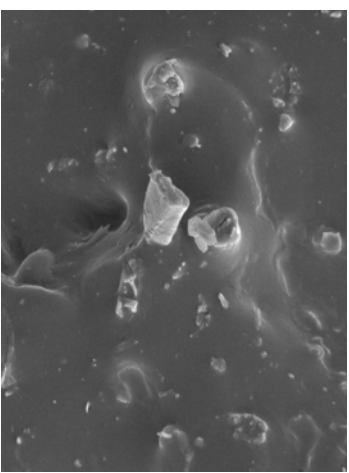
4.4.4 การลึ้มเหลวของคอมโพสิททางธรรมชาติแบบผสม (Surface fracture topography)

ผลการตรวจสอบัติลักษณะผิวรอยแตกของคอมโพสิททางธรรมชาติ-เส้นใยผสมก่อนและ

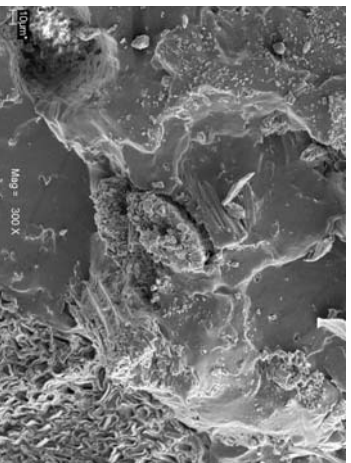
หลังปรับสภาพผิว แสดงไว้ในรูปที่ 4.42



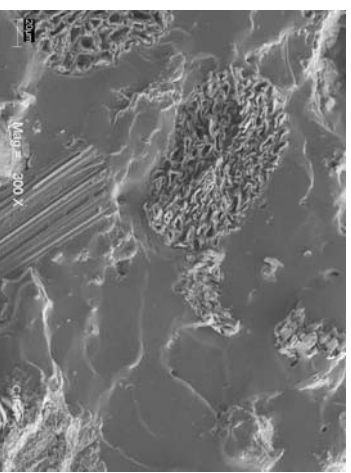
(a)



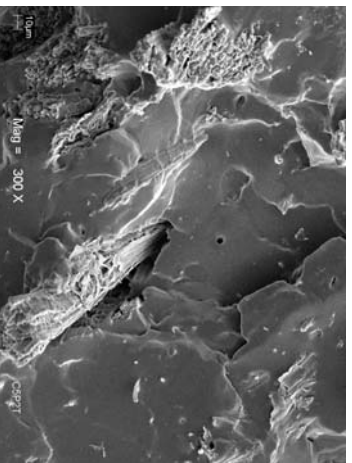
(b)



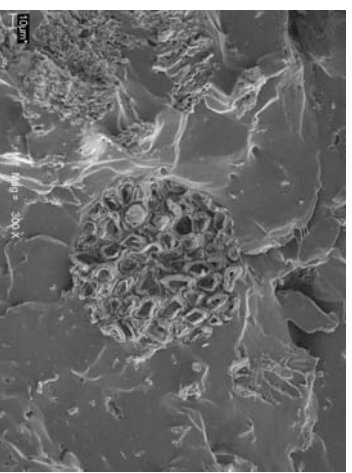
(c)



(d)



(e)



(f)

รูปที่ 4.42 ผลของการปรับเส้นใยในสภาวะละลายใยเดียวไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% (w/v) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ต่อลักษณะการตีตประสาน (a) เส้นใยผสมมาก่อนแช่ (untreated) ความยาว 0.2 มิลลิเมตร (b) เส้นใยผสมหลังแช่ (treated) ความยาว 0.2 มิลลิเมตร (c) เส้นใยผสมมาก่อนแช่ (untreated) ความยาว 6 มิลลิเมตร (d) เส้นใยผสมหลังแช่ (treated) ความยาว 6 มิลลิเมตร (e) เส้นใยผสมก่อนแช่ (untreated) ความยาว 10 มิลลิเมตร (f) เส้นใยผสมหลังแช่ (treated) ความยาว 10 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.42 (a) พบว่าการติดประสานของคอมโพสิตทางธรรมชาติ-เส้นใยผสมก่อนปรับสภาพผิวด้วยสารละลายยาไซเตียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% (w/v) ซึ่งเล็กละเอียดการติดประสานของเส้นใยดีเยี่ยม โดยจะสังเกตเห็นช่องว่างบริเวณรอบๆผิวของเส้นใยและหลุมบริเวณผิวของยางธรรมชาติอย่างเห็นได้ชัดเจน อาจเนื่องมาจากการติดประสานที่ไม่ดีทำให้เส้นใยหลุดออกและเห็นเป็นร่องหลุมชัดเจน แต่หลังปรับสภาพผิว (รูปที่ 4.42 (b)) แล้วจะไม่ปรากฏลักษณะร่องรอยของการหลุดออกของเส้นใยและช่องว่างบริเวณรอบๆ ผิวของเส้นใย แสดงว่าการติดประสานของคอมโพสิตทางธรรมชาติ-เส้นใยผสมดีขึ้น อาจเป็นไปได้ว่าสารละลายยาไซเตียมไฮดรอกไซด์สามารถจัดเรียงเซลล์ลิกนิน การดัดแปร และสิ่งเจือปนต่างๆ ทำให้เส้นใยมีความขรุขระและพื้นที่ผิวมากขึ้น สามารถเปียกผิวด้วยยางได้ดีขึ้น และที่ความยาวของเส้นใยผสม 6 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.42 (c) และ (d)) และ 10 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.42 (e) และ (f)) ซึ่งดูลักษณะการติดประสานของเส้นใยผสมโดยเล็กละเอียดเส้นใยจะพัวพันก่อนและหลังปรับสภาพผิว ลักษณะที่สังเกตเห็นได้เป็นเช่นเดียวกับที่ความยาวของเส้นใย 0.2 มิลลิเมตร นั่นคือ คอมโพสิตทางธรรมชาติ-เส้นใยผสมก่อนปรับสภาพผิวจะสังเกตเห็นช่องว่างบริเวณรอบๆ ผิวของเส้นใย แต่หลังจากปรับสภาพผิวแล้วจะไม่ปรากฏช่องว่างบริเวณรอบๆ ผิวของเส้นใย แสดงว่าการติดประสานของคอมโพสิตทางธรรมชาติ-เส้นใยผสมหลังปรับสภาพผิวดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตทางธรรมชาติดังกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.4.5

4.4.5 ศึกษาผลของการปรับสภาพผิวของเส้นใยดีเยี่ยมและมะพร้าวต่อสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ของคอมโพสิตทางธรรมชาติแบบผสม

อิทธิพลของการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายยาไซเตียมไฮดรอกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตทางธรรมชาติแบบผสม แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.25-4.27 และรูปที่ 4.43 - 4.48

ตารางที่ 4.25 ผลของการปรับสภาพผิวของเส้นใยสับปรดและมะพร้าวต่อสมบัติเทนไซล์ (tensile properties) ของคอมโพสิตที่ยางธรรมชาติแบบผสมในแนวขนานกับทิศทางการวางตัวของเส้นใย (longitudinal direction) (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับปรด:มะพร้าว เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))

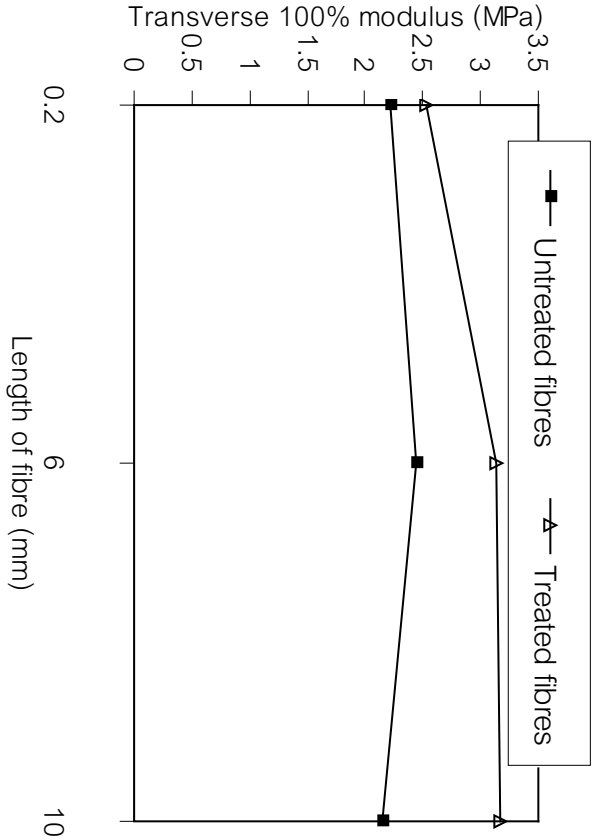
Fibre length (mm)	Types of hybrid fibres	100% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)	500% Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)
0.2	untreated	4.44±0.01	6.60±0.01	-	8.77±0.01	403.33±0.01
	treated	4.45±0.02	6.62±0.00	-	10.12±0.01	463.33±0.01
6	untreated	-	-	-	9.30±0.30	15.00±0.33
	treated	-	-	-	10.32±0.02	70.00±0.40
10	untreated	-	-	-	9.38±0.02	30.00±0.00
	treated	-	-	-	11.70±0.07	68.33±0.26

ตารางที่ 4.26 ผลของการปรับสภาพผิวของเส้นใยสับปรดและมะพร้าวต่อสมบัติเทนไซล์ (tensile properties) ของคอมโพสิตที่ยางธรรมชาติแบบผสมในแนวขวางกับทิศทางการวางตัวของเส้นใย (transverse direction) (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับปรด:มะพร้าว เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))

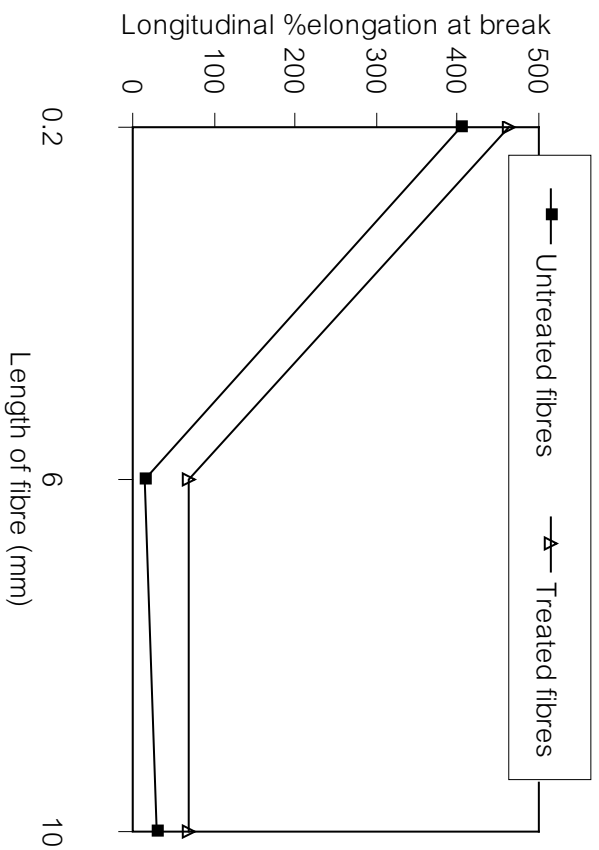
Fibre length (mm)	Types of hybrid fibres	100% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)	500% Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)
0.2	untreated	2.22±0.09	3.89±0.05	7.67±0.03	8.01±0.02	503.33±0.01
	treated	2.53±0.02	4.09±0.02	8.44±0.02	9.12±0.05	516.67±0.03
6	untreated	2.45±0.02	3.40±0.04	-	4.07±0.02	390.00±0.07
	treated	3.14±0.08	4.10±0.04	-	4.48±0.06	400.00±0.13
10	untreated	2.15±0.10	2.83±0.01	-	3.64±0.03	403.33±0.12
	treated	3.17±0.08	3.89±0.01	-	4.39±0.04	420.00±0.14

ตารางที่ 4.27 ผลของการรับสภาพผิวของเส้นใยสัประดและมะพร้าวต่อค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ของคอมโพสิตพียางธรรมชาติแบบผสม (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสัประด:มะพร้าว เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))

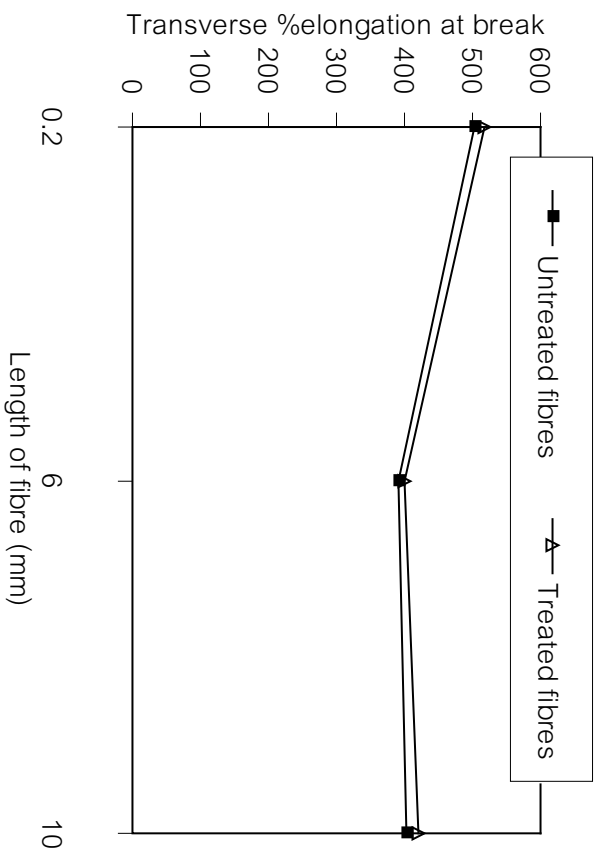
Fibre length (mm)	Types of hybrid fibres	Tear strength (N/mm)
0.2	untreated	33.83±0.02
	treated	38.06±0.03
6	untreated	42.61±0.08
	treated	53.35±0.02
10	untreated	49.93±0.02
	treated	58.35±0.03



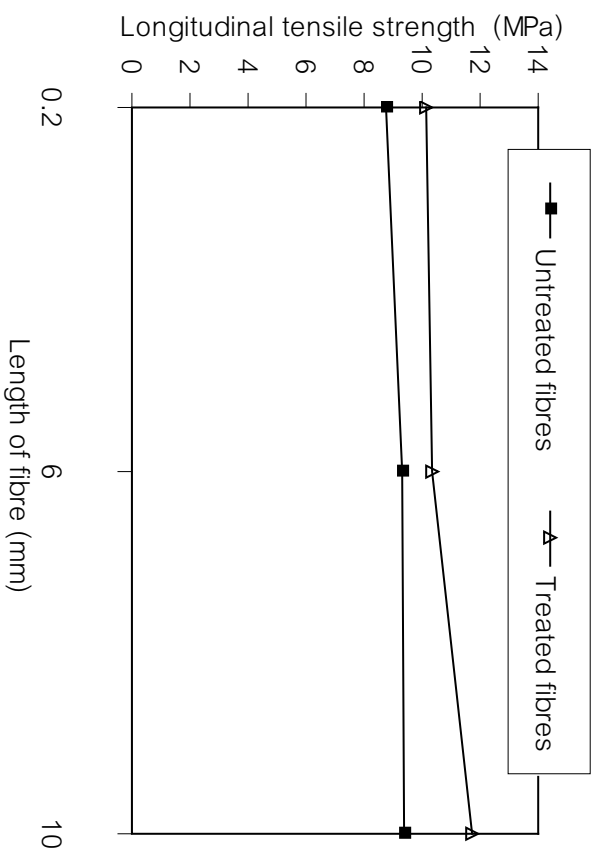
รูปที่ 4.43 ผลของการรับสภาพผิวของเส้นใยสัประดและมะพร้าวต่อค่า modulus ที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์ในแนวขวางกับการจัดวางตัวของเส้นใย (Transverse direction) ของคอมโพสิตพียางธรรมชาติแบบผสม (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสัประด:มะพร้าว เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))



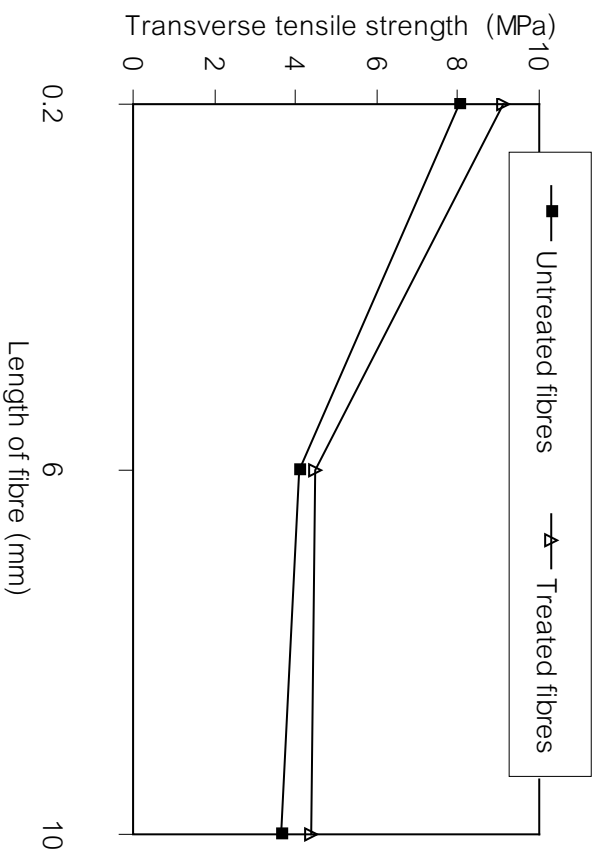
รูปที่ 4.44 ผลของการรับสภาพผิวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่าความสามารถในการยืดจนขาด (% Elongation at break) ในแนวขนานกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย (longitudinal direction) ของคอมโพสิตที่ยางธรรมชาติแบบผสม (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับปะรด:มะพร้าว เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))



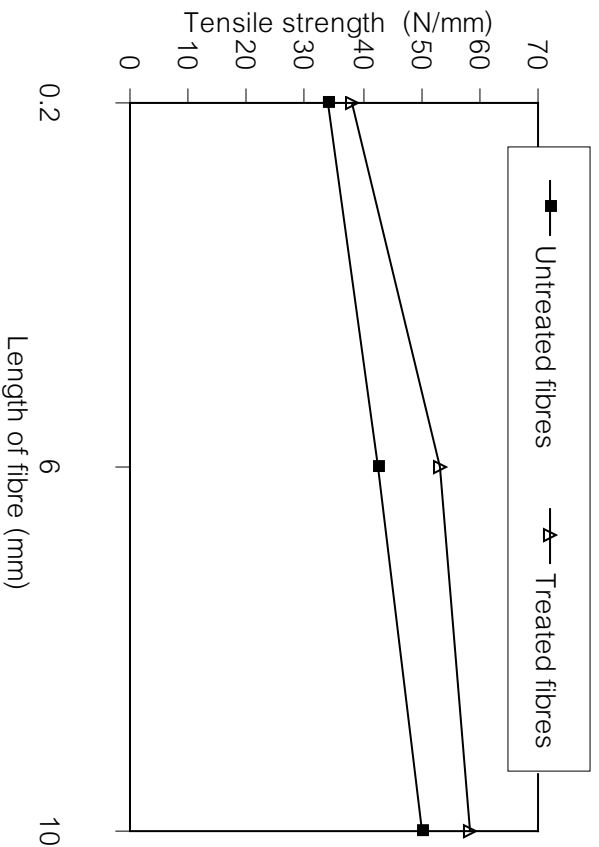
รูปที่ 4.45 ผลของการรับสภาพผิวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่าความสามารถในการยืดจนขาด (% Elongation at break) ในแนวขวางกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย (transverse direction) ของคอมโพสิตที่ยางธรรมชาติแบบผสม (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับปะรด:มะพร้าว เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))



รูปที่ 4.46 ผลของการปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ในแนวขนานกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย (longitudinal direction) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับปะรด:มะพร้าว เท่ากับ



รูปที่ 4.47 ผลของการปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ในแนวขวางกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใย (transverse direction) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับปะรด:มะพร้าว เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))



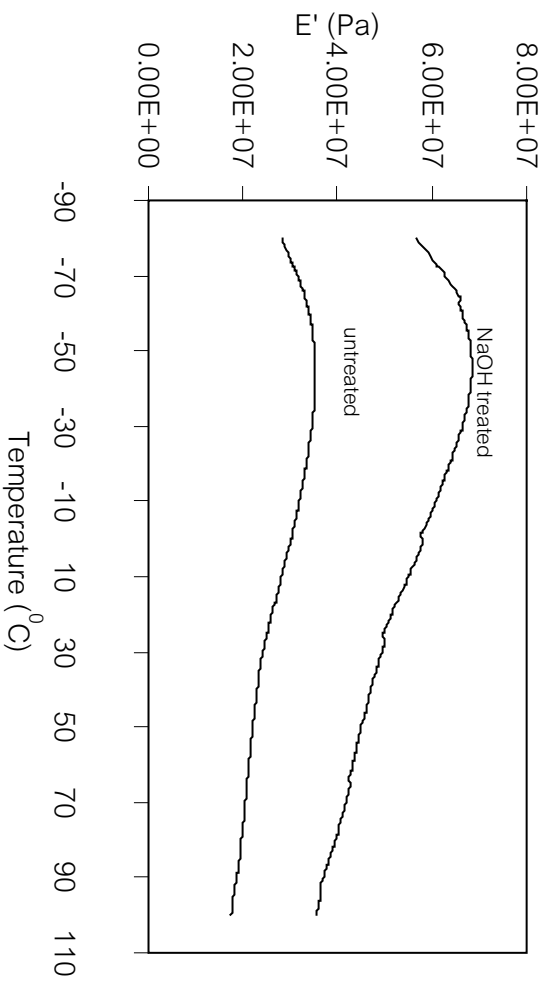
รูปที่ 4.48 ผลของการปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ของคอมโพสิตที่ยางธรรมชาติแบบผสม (สัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับปะรด:มะพร้าว เท่ากับ 25 : 5 (phr:phr))

จากตารางที่ 4.25-4.26 เมื่อเปรียบเทียบค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์ของคอมโพสิตยางธรรมชาติ-เส้นใยผสมสับปะรดและมะพร้าวในอัตราส่วนผสม 25:5 (phr:phr) ที่มีความยาวต่างๆ จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยด้วยสารละลายต่างก่อนเติมลงในยางธรรมชาติ ส่งผลให้ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์ของคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยผสมยาว 0.2 มิลลิเมตร (ตารางที่ 4.25) ค่ามอดูลัสในแนวขนานของการฉีกคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยผสมยาว 0.2 มิลลิเมตร (ตารางที่ 4.25) และค่ามอดูลัสในแนวขวางกับการจัดเรียงตัวของเส้นใย 0.2 และ 10 มิลลิเมตร (ตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.43) นอกจากการปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยผสมส่งผลให้ค่ามอดูลัสของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นแล้วยังพบว่าความสามารถยึดจนขาดทั้งในแนวขนานและขวาง (รูปที่ 4.44 - 4.45) และค่าความสามารถต้านทานต่อแรงดึง (รูปที่ 4.46 - 4.47) และความต้านทานต่อการฉีกขาดของคอมโพสิตยางธรรมชาติที่ประกอบด้วยเส้นใยผสมความยาวต่างๆ เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (รูปที่ 4.48) การเพิ่มขึ้นของสมบัติเชิงกลที่ทดสอบได้จากคอมโพสิตที่ยางธรรมชาติ-เส้นใยผสมปรับปรุงสภาพผิว (treated fibres) มากกว่าคอมโพสิตที่ยางธรรมชาติ-เส้นใยผสมไม่ได้ถูกปรับปรุงสภาพผิว (untreated fibres) อธิบายได้จากการเพิ่มขึ้นของการติดประสานระหว่างและเส้นใยปรับปรุงสภาพผิว เพราะว่าการชะล้างสารเชื่อมโรงแสดงให้เห็นนอกจากเส้นใยหลังจากแช่เส้นใยในสารละลายต่างแล้วส่งผลให้พื้นที่ผิวเส้นใยเพิ่มขึ้น ซึ่งพิจารณาได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค FT-IR และ SEM ในหัวข้อที่

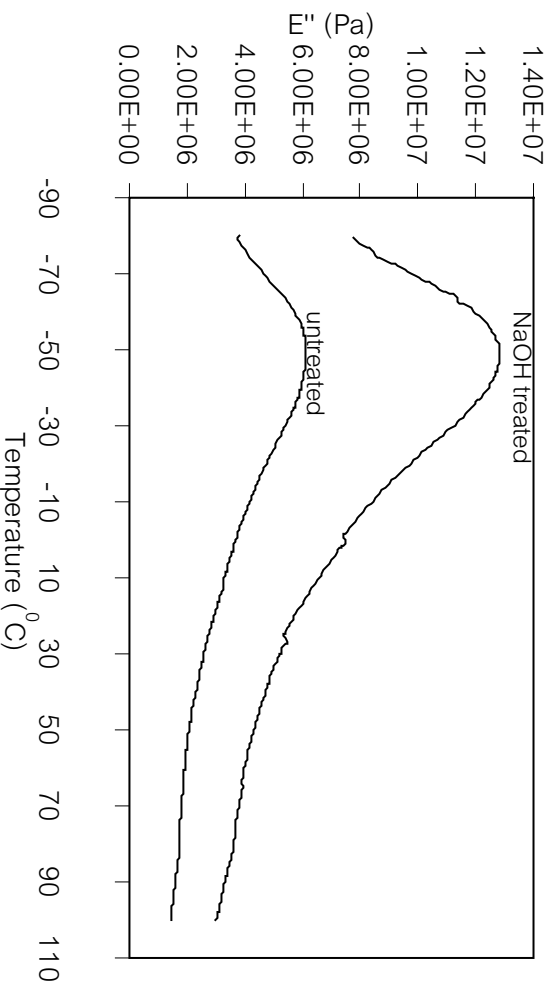
ผ่านมา โอกาสที่ผิวเส้นใยสัมผัสกับยางหรือการเปียกผิวเส้นใยด้วยยาง (wettability) จึงดีขึ้น ทำให้เพิ่มการเกี่ยวพันระหว่างโมเลกุลยางกับผิวที่ขรุขระของเส้นใย (mechanical interlocking) (กุลจัน 2547 ; Razer and Froilini , 2004 ; Ray and Sarker, 2001 ; Ray *et al.*, 2001) ดังนั้นการติดประสานที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มแรงต้านเฉือนผิวรอยต่อ (interfacial shear stress, τ_i) และความสามารรถต้านทานต่อแรงดึงในเส้นใย (fibre tensile strength, σ_f) สมบัติเชิงกลของยางจึงเด่นชัดขึ้นภายหลังจากการปรับปรุงผิวเส้นใยแล้ว นอกจากนี้การจัดเรียงตัวและกระจายตัวของเส้นใยรับสภาพผิวในยางอาจส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติเชิงกลดังกล่าว เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของความสามารรถต้านทานต่อแรงดึงในแนวขวางของคอมโพสิตยางธรรมชาติและเส้นใยผสมพบว่า การปรับปรุงสภาพผิวด้วยสารละลายใยเทียมเฮดรอกซีทำให้อาจสามารถต้านทานต่อแรงดึงของคอมโพสิตใยเสริมแรงด้วยเส้นใย 0.2 6 และ 10 มิลลิเมตร เพิ่มขึ้นประมาณ 12.5 25 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตจะเป็นฟังก์ชันกับความยาวเส้นใย ยกเว้นในการทดสอบความสามารรถต้านทานต่อแรงดึงในแนวขวางของตัวอย่างเสริมแรงด้วยเส้นใยเส้น 0.2 มิลลิเมตร จะแสดงสมบัติเชิงกลต่ำกว่ากรณี 6 และ 10 มิลลิเมตร เนื่องจากเส้นใยมีลักษณะคล้ายอนุภาค ทำให้การเสริมแรงเกือบจะเท่ากับทุกทิศทางที่ได้อธิบายไว้แล้ว ในหัวข้อที่ 4.3.3

4.4.6 ศึกษาผลของการปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อสมบัติเชิงกลพลวัต (dynamic properties) ของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม

ตัวอย่างของผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตยางที่บรรจุเส้นใยผสมปรับปรุงสภาพผิวด้วยใยเทียมเฮดรอกซี ปริมาณ 30 phr ในสัดส่วนสับปะรดและมะพร้าว 25 : 5 phr : phr ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.49 - 4.50 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวสามารถปรับปรุงคุณสมบัติผสม (E') ของคอมโพสิตยางธรรมชาติให้ดีขึ้น เนื่องจากการติดประสานที่รอยต่อของผิวเส้นใยกับยางดีขึ้น ส่งผลให้แรงที่กระทำต่อคอมโพสิตยางธรรมชาติกระจายไปสู่เส้นใยได้มากขึ้น ยางจึงแข็งขึ้นกว่ากรณีไม่ปรับปรุงสภาพผิวเส้นใย ส่วนมอดุลัสสูญเสียเพิ่มขึ้นเช่นกันหลังจากปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยแล้ว เนื่องจากการติดประสานที่ดีขึ้น ทำให้การปลดปล่อยพลังงานที่สูญเสียในรูปความร้อน ซึ่งเกิดที่บริเวณผิวรอยต่อของเฟสยางและเส้นใยมากกว่ากรณีไม่ปรับปรุงสภาพผิว ซึ่งอาจสูญเสียพลังงานไปในลักษณะการแยกของผิวเส้นใยจากยาง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Martins and Mattoso (2004)



รูปที่ 4.49 ผลของการปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่ามอดูลัสสะสม (Storage Modulus) ของคอมโพสิตพยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณผสม ความยาวและสัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับปะรด:มะพร้าว เท่ากับ 30 phr 0.2 มิลลิเมตรและ 25 : 5 (phr:phr) ตามลำดับ)



รูปที่ 4.50 ผลของการปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวต่อค่ามอดูลัสสูญเสีย (Loss Modulus) ของคอมโพสิตพยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณผสม ความยาวและสัดส่วนโดยน้ำหนักเส้นใยสับปะรด:มะพร้าว เท่ากับ 30 phr 0.2 มิลลิเมตรและ 25 : 5 (phr:phr) ตามลำดับ)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลของปริมาณผสมเส้นใยสับปะรดและมะพร้าว (loading of pineapple/coir fibres) ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักต่อสมบัติคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม

การเติมเส้นใยผสมระหว่างสับปะรดและมะพร้าวในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และมีความยาวเริ่มต้นประมาณ 6 มิลลิเมตร ลงในยางธรรมชาติ ด้วยปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ส่งผลให้

- ค่าระยะเวลาดายเริ่มสุก (T_{sr}) ลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าระยะเวลาดที่ยางสุก (T_{90}) และค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) ไม่ขึ้นอยู่กับการเติมปริมาณเส้นใย
- ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ค่าความแตกต่างแรงบิดสูงสุดกับต่ำสุด (M_H-M_L) และค่าความแข็ง (Hardness) เพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใย
- การจัดเรียงตัวของเส้นใยในยางคืทิศทางที่สุกทีปริมาณเส้นใย 30 phr
- ค่าเทนไซลล์มอดูลัส มอดูลัสดัดงอ มอดูลัสดัดงอ และความต้านทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใย ส่วนค่าความสามารถในการยึดติดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น

- ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งปริมาณ 30 phr ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเริ่มเพิ่มขึ้น
- เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติคอมโพสิตยางธรรมชาติผสมเส้นใยสับปะรด/มะพร้าวกับคอมโพสิตยางผสมเส้นใยแก้ว พบว่าการใช้เส้นใยธรรมชาติให้แนวโน้มการจัดเรียงตัวของเส้นใยในยางเป็นไปในทิศทางเดียวกันมากกว่าการใช้เส้นใยแก้ว และค่าเทนไซลล์มอดูลัส มอดูลัสดัดงอ มอดูลัสดัดงอ ความแข็งและความต้านทานต่อการฉีกขาดของคอมโพสิตยางธรรมชาติ-เส้นใยสับปะรดผสมมะพร้าว สูงกว่าคอมโพสิตยาง-เส้นใยแก้ว

ดังนั้นการใช้เส้นใยสับปะรดผสมมะพร้าวสามารถเสริมความแข็งแรงให้แก่ยางธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เส้นใยแก้ว และปริมาณเส้นใยผสม 30 phr น่าจะเป็น

ปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นปริมาณที่ให้แนวโน้มการจัดเรียงตัวของเส้นใยในยางดีที่สุดในขั้นตอนการเสริมแรงเริ่มต้นขึ้น

5.1.2 ผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าว (ratios of pineapple and coir fibres) ต่อสมบัติคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณเส้นใยผสม 30 phr)

เมื่อเติมเส้นใยผสมระหว่างสับปะรดและมะพร้าว ขนาดความยาวเริ่มต้น 6 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใยผสมทั้งหมด 30 phr ที่สัดส่วนโดยน้ำหนักต่างๆ ลงในยางธรรมชาติ ส่งผลให้

- ค่าระยะเวลาก่อนเริ่มสุก (T_{s1}) และค่าระยะเวลาที่ยากสุก (T_{c90}) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ค่าความแตกต่างแรงบิดสูงสุดกับต่ำสุด (M_H-M_L) และค่าความแข็งลดลงตามสัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้นในสัดส่วนผสมกับเส้นใยสับปะรด และค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) ไม่ขึ้นกับสัดส่วนผสมของเส้นใย
- การจัดเรียงตัวของเส้นใยผสมในยางธรรมชาติลดลงตามสัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้นในสัดส่วนผสมกับเส้นใยสับปะรด
- ค่าเทนไซล์มอดุลัส มอดุลัสดัดสม มอดุลัสทุบเสีย ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อแรงดึงลดลง แต่ความสามารถในการยืดเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้นในสัดส่วนผสมกับเส้นใยสับปะรด

เมื่อพิจารณาจากสมบัติยางธรรมชาติ-เส้นใยผสม พบว่าสัดส่วนระหว่างเส้นใยสับปะรดและมะพร้าว เท่ากับ 25:5 (phr:phr) ให้การจัดเรียงตัวของเส้นใยและสมบัติเชิงกลดีที่สุด

5.1.3 ผลของควมยาวของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าว (length of fibres) ต่อสมบัติคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม (ปริมาณเส้นใยผสม 30 phr)

เมื่อเติมเส้นใยผสมระหว่างสับปะรดและมะพร้าว ปริมาณ 30 phr ที่สัดส่วนโดยน้ำหนักต่างๆ ลงในยางธรรมชาติ โดยแปรความยาว 0.2 6 และ 10 มิลลิเมตร ส่งผลให้

- ค่าระยะเวลาก่อนเริ่มสุก (T_{s1}) ไม่ขึ้นกับความยาวของเส้นใย ส่วนค่าระยะเวลาที่ยากสุก (T_{c90}) ลดลงตามความยาวของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น
- ค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ค่าความแตกต่างแรงบิดสูงสุดกับต่ำสุด (M_H-M_L) และค่าความแข็งของควมยาวเส้นใยผสม 6 และ 10 มิลลิเมตร มีค่าใกล้เคียงกัน และมากกว่าเส้นใยสั้น 0.2 มิลลิเมตร ที่ทุกสัดส่วนผสมของเส้นใย

- แนวโน้มของการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ความยาวเส้นใยผสม 6 และ 10 มิลลิเมตร ใกล้เคียงกัน และมากกว่าเส้นใยเส้น 0.2 มิลลิเมตร ที่ทุกสัดส่วนของเส้นใยผสม และการจัดเรียงตัวของเส้นใยผสมในยางลดลงตามสัดส่วนโดยน้ำหนักของเส้นใยมะพร้าว ที่เพิ่มขึ้น
- ค่าเทนไซลโมดูลัสของเส้นใยยาว 6 และ 10 มิลลิเมตร มีค่าใกล้เคียงกันและมากกว่าเส้นใยเส้น 0.2 มิลลิเมตร ส่วนมอดูลัสผสมและมอดูลัสสูญเสียเพิ่มขึ้นตามความยาวเส้นใย 0.2 < 6 < 10 มิลลิเมตร
- ค่าความต้านทานต่อแรงดึงในแนวขนานและขวางกับทิศทางการจัดวางตัวของเส้นใยยาว 6 และ 10 มิลลิเมตรลดลงตามสัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีเส้นใยเส้น 0.2 มิลลิเมตร มีแนวโน้มของค่าความต้านทานต่อแรงดึงค่อนข้างคงที่ทุกสัดส่วนผสมของเส้นใย ยกเว้นกรณีเติมเส้นใยสับปะรดให้มากกว่า 25 phr จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงในแนวขนานของเส้นใยผสมยาวต่างๆ กัน ดังนี้ 0.2 < 6 < 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ
- ค่าความสามารถในการยืดของเส้นใยผสมยาว 6 และ 10 มิลลิเมตร มีค่าใกล้เคียงกัน และน้อยกว่าเส้นใยเส้น 0.2 มิลลิเมตร โดยจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น
- ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด เพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น โดยจะลดลงตามสัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น

5.1.4 อิทธิพลของการปรับปรุงผิวเส้นใยผสมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (5% w/v)

ปรับปรุงผิวเส้นใยผสมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (5% w/v) โดยใช้สัดส่วนของเส้นใยสับปะรด : มะพร้าว เท่ากับ 25:5 phr:phr ที่ความยาวของเส้นใยผสม 0.2 6 และ 10 มิลลิเมตร แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และ SEM แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบทางเคมีบางชนิดที่สูญเสียไปจากเส้นใย คือ เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน กรดไขมัน สิ่งเจือปน หรือสารอินทรีย์อื่นๆ ส่งผลให้พื้นที่ผิวของเส้นใยเพิ่มขึ้น โดยการปรับปรุงผิวเส้นใยผสมส่งผลให้

- ค่าระยะเวลาที่ยางสุก (T_{s1}) ลดลงที่ทุกความยาวของเส้นใย แต่ไม่ส่งผลต่อค่าระยะเวลาเวลายางเริ่มสุก (T_{s1}) ค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) และค่าความแข็ง

- ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ของเส้นใยยาว 0.2 มิลลิเมตรที่รับสภาพผิว มากกว่าเส้นใยที่ไม่รับสภาพผิว ในขณะที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆของค่าแรงบิดสูงสุดของเส้นใยยาว 6 และ 10 มิลลิเมตร ภายหลังรับสภาพผิว
- การจัดเรียงตัวของเส้นใย (% Fibre orientation) ต่ำเพิ่มขึ้นเมื่อรับสภาพผิวที่ทุกความยาว โดยที่ความยาวของเส้นใยผสม 6 และ 10 มิลลิเมตร มีค่าใกล้เคียงกันและมากกว่า 0.2 มิลลิเมตร
- การบวมพองของคอมโพสิตลดลงเมื่อรับสภาพผิว และเส้นใยที่มีความยาวมากกว่าสามารถยับยั้งการบวมพองได้ดีกว่า
- สมบัติเทนไซล์และเชิงกลพลวัตของคอมโพสิตยางธรรมชาติเด่นมากขึ้นเมื่อรับสภาพผิวของเส้นใยผสมด้วยสวธจะละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มเติมแนวทางการปรับปรุงสภาพผิวด้วยเทคนิคอื่น ๆ เช่น การใช้โซลเจล รังสี UV เพื่อหาเทคนิคและสภาวะที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสมให้ดียิ่งขึ้น
2. ศึกษาสมบัติการไหลของยางที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเส้นใยผสมมะพร้าวเพื่อเป็นแนวทางในการแปรรูปทำผลิตภัณฑ์
3. ควรศึกษาอิทธิพลของการใช้เส้นใยผสมในรูปแบบ กอหรือถักเป็นแผ่นผ้า (fabric) ต่อการเสริมแรงยางธรรมชาติเพื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นการใช้เส้นใยผสมชนิดสั้น (short hybrid natural fiber reinforced natural rubber composites)
4. จากผลงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าเส้นใยเส้นใยผสมมะพร้าวสามารถใช้เป็นสารเสริมแรงราคาถูกทำให้ยางมีความแข็ง (hardness) มอดุลัส (stiffness) ความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear strength) ความแข็งแรงของยางดิบที่สูงขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับยางซึ่งเติมเส้นใยธรรมชาติผสม รวมถึงยังมีความต้านทานต่อตัวทำละลายยางไม่มีชีวิตชน ในขณะที่มีความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดของยางคอมพอสิตอยู่ที่ในระดับปานกลาง ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรง สัมผัสกับยางของเหลว เช่น น้ำมัน หรือตัวทำละลายสภาพผิวต่ำ และไม่มีผลความจำเป็นต้องใช้สารตัวเติมที่มีราคาแพง เช่น การทำตัวอย่าง ยางปูพื้นในโรงงาน และสายพาน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กุดจั้น พนาวงกูร. 2547. ผลการปรับปรุงผิวด้วยไฮดรอกไซด์และเปอร์ออกไซด์ **ต่อสมบัติของยางธรรมชาติคอมโพสิทเสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรด**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยียาง. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญธรรม นิธิอุทัย. 2530. **ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และการออกสูตร**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. **สารเคมีสำหรับยาง**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- รุ่งฉวีวรรณ ชุมสังข์. 2547. ผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยกรดสเตียริกและไซเลนต่อ **สมบัติของคอมโพสิทยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรด**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยียาง. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุภัณฑิลา สิทธิรักษ์. 2547. **ผลการปรับปรุงผิวเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ไฮดรอกไซด์และเปอร์ออกไซด์ต่อสมบัติของคอมโพสิทยางธรรมชาติ**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยียาง. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุรัชชัย มณีโชติ. 2547. **ผลการปรับปรุงผิวเส้นใยมะพร้าวด้วยกรดสเตียริกและไซเลนต่อสมบัติของคอมโพสิทยางธรรมชาติ**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยียาง. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Abrate, H. 1986. The mechanics of short-fibre-reinforced composites: A review. Rub chem techn, 59, 384-404
- Bledzki, A. K. and Gassan, J. 1999. Composite reinforced with cellulose based fibres. Prog Polym Sci, 24,221-274
- Coran, A. Y., Boestany, K., Hamed, P. 1971. Unidirectional Fiber-Polymer Composites : Swelling and Modulus Anisotropy. J Appl Polym Sci, 15, 2471-2485
- Cox, H. L. 1952. The elasticity and strength of paper and other fibre materials, Br J Appl Phys, 3, 72-79

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Uma Devi. L., Bhaghawan, S. S., Thomas, S. 1997. **Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fibre-Reinforced Polyester Composites.** J Appl Poly Sci, 64, 1739-1748
- Geethamma, V. G., Joseph, R. and Thomas, S. 1995. **Short Coir Fibre-reinforced Natural Rubber Composite : Effect of Fibre Length, Orintation, and Alkali Treatment.** J Appl Polym Sci, 55, 583-594
- Geethamma, V. G., Mathew, K. T., Laksminarayanan, R. and Thomas, S. 1998. **Composite of short coir fibres and natural rubber : effect of chemical modification, loading and orientation of fibre.** Polymer, 39, 1483-1491
- Ibarra, L. and Jorda, C. 1993. **Effect of a Diazide as Adhesive Agent in Elastomeric Matrix-Short Polyamide Fibres Composites.** J Appl. Polym Sci, 48, 375-381
- Iducula, M., Malhotra, S. K., Joseph, K. and Thomas, S. 2005. **Dynamic mechanical analysis of randomly oriented intimately mixed short banana/sisal hybrid fibre reinforced polyester composites.** Comp. Sci. Techn., in press.
- Ismail, H., Rosnah, N., Rozman, H. D. 1997. **Curing characteristics and mechanical properties of short oil plam fibre reinforced rubber composite.** Polymer, 38, 4059-4064
- Ismail, H. and Jaffri, R. M. 1999. **Physico-mechanical properties of oil plam wood flour filled natural rubber composites.** Polymer Testing, 18, 381-388
- Ismail, H., Shuhelmy, S. and Edyham, M. R. 2002. **The effect of silane coupling agent on curing characteristics and mechanical properties of bamboo fibre filled natural rubber composites.** Euro Polym J, 38, 39-47
- Jacob, M., Thomas, S., Varughese, K. T. 2004. **Mechanical properties of sisal/oil palm hybrid fibre reinforced natural rubber composites.** Comp Sci Techn, 64, 955-965
- Kalaprasad, D, Fracis, B., Thomas, S, Kumar, C, Radhesh, Pavithran, C., Groeninckx, G., Thomas, S. 2004. **Effect of Fibre Length and Chemical Modifications on The Tensile Properties of Intimately Mixed Short Sisal/Glass Fibre Reinforced Low Density Polyethylene Composites.** Polym Int., 53, 1624-1638
- Martins, M. A. and Mattoso, L. H. C. 2004. **Short Sisal Fiber-Reinforced Tire Rubber Composite:Dynamic and Mechanical Properties.** J Appl. Poly.Sci. 91, 670-677

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Mishra, S., Mohanty, A. K., Ditzal, L. T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S. K., Tripathy, S. S. 2003. **Studies on mechanical performance of biofibre/glass reinforced polyester hybrid composites.** 2003. *Comp Sci Techn*, 63, 1377-1385
- Lopattananon, N., Kettle, A. P., Tripathi, D., Beck, A. J., Dural, E., France, R. M., Short, R. D. and Jones, F. R. 1999. **Interface Molecular engineering of carbon-fibre composites,** *Composites : Part A*. 30, 49-57
- Misha, S., Mohanty, A. K., Drzal, L. T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S. K., Tripathy, S. S. 2003. **Studies on mechanical performance of biofibre/glass reinforced polyester hybrid composites.** *Comp Sci Techn*, 63, 1377-1385
- Mukherjee, P. S. and Satyanarayana, K. G. 1986. Structure and properties of some vegetable fibres. *J. Mater. Sci.*, 21, 51-57
- Mwaikambo, L. Y., Ansell, M. P. 2002. **Chemical Modification of Hemp, Sisal, Jute, and Kapok Fibres by Alkalization.** *J Appl Polym Sci*, 84, 2222-2234
- Paul, A., Joseph, K. and Thomas, S. 1997. **Effect of surface treatments on the electrical properties of low-density polyethylene composites reinforced with short sisal fibers.** *Comp Sci Techn*, 57, 67-79
- Ray, D. and Sarkar, B. K. 2001. **Characterization of alkali-treated jute fibres for physical and mechanical properties.** *J Appl Polym Sci*, 80, 1013-1020
- Ray, D., Sarkar, B., Rana, A. K. Bose, N. R. 2001. **The mechanical properties of vinyl ester resin matrix composites reinforced with alkali-treated jute fibres.** *Composites : Part A*, 32, 119-127
- Razera, I. A. T., and Frollini, E. 2004. **Composites based on jute fibres and phenolic matrices: Properties of fibres and composites.** *J Appl Polym Sci*, 91, 1077-1085
- Rout, J., Misra, M., Tripathy, S. S., Nayak, S. K., Mohanty, A. K. 2001. **The influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites.** *Comp Sci Techn*, 61, 1301-1310

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Rout, J., Tripathy, S. S., Nayak, S. K., Misra, M., Mohanty, A. K. 2001. **Scanning Electron Microscopy Study of Chemical of Modified Coir Fibres.** J Appl Polym Sci, 79, 1169-1177
- Saheb, D. N. and Jog, J. P. 1999. **Natural Fibre Polymer Composites : A Review.** Adv Polym Techn, 18, 351-363
- Samal, R. K. and Ray, M., C. 1997. **Effect of Chemical Modifications on FTIR Spectra.** II. Physicochemical Behavior of Pineapple Leaf Fibre (PALF). J Appl Polym Sci, 64, 2119-2125.
- Sreekala, M. S. and Thomas, S. 2003. **Effect of fibre surface modification of water-sorption characteristics of oil palm fibres.** Comp Sci Techn, 63, 861-869
- Thew, M. M. and Liao, K. 2003. **Durability of bamboo-glass fibre reinforced polymer matrix hybrid composites.** Comp Sci Techn, 63, 375-387
- Varghese, S., Kuriakose, B., Thomas, S. and Alex T. K., 1994. **Mechanical and viscoelastic properties of short fiber reinforced natural rubber composite : effects of interfacial adhesion, fiber loading, and orientation.** J. Ad Sc. Techn, 8 ,235-248
- Weyenberg, I.V., Ivens, J., De Coster, A., Kino, B., Baetens, E., Verpoest, I. 2003. **Influence of processing and chemical treatment of flax fibres on their composites.** Composites Science and Technology, 63, 1241-1246
- Zafeiropoulos, N. E., Bailie, C. A., Hodgkinson, J. M. 2002. **Engineering and characterization of the interface in flax fibre / polypropylene composite materials. Part II. The effect of surface treatments on the interface.** Composites: Part A, 33 : 1185-1190

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบ วัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการ และผลที่ได้รับจากโครงการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวไม่ปรับสภาพผิวต่อสมบัติของคอมโพสิตยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณเส้นใยผสมอัตราส่วนระหว่างเส้นใยสับปะรดผสมเส้นใยมะพร้าว และความยาวของเส้นใยต่อลักษณะการวัลคาไนซ์ และสมบัติเทนไซล์และเชิงกลพลวัติของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม	1. เตรียมคอมโพสิตยางธรรมชาติและเส้นใยสับปะรด/มะพร้าวที่มีขนาดเส้นใย 6 mm ซึ่งผสมกันในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1/1 ในปริมาณต่าง ๆ 1.1. ศึกษาพฤติกรรมการวัลคาไนซ์ การจัดเรียงตัวของเส้นใยในเมทริกซ์ยางธรรมชาติ และสมบัติเชิงกล 2.2. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวกับคอมโพสิตยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่ปริมาณต่าง ๆ	1. เตรียมคอมโพสิตยางธรรมชาติและเส้นใยสับปะรด/มะพร้าวที่มีขนาดเส้นใย 6 mm ซึ่งผสมกันในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1/1 ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr 1.1. ทดสอบพฤติกรรมการวัลคาไนซ์ ตรวจสอบหาแนวโน้มการจัดเรียงตัวของเส้นใยผสมในยาง และทดสอบสมบัติเทนไซล์ การต้านทานต่อการฉีกขาด และวิเคราะห์สมบัติพลวัติของคอมโพสิตแบบผสม 2.2. เตรียมคอมโพสิตยางธรรมชาติและเส้นใยแก้วที่มีขนาด 6 mm ที่ปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr	- ทราบเงื่อนไขของการใช้เส้นใยสับปะรดและมะพร้าวไม่ปรับสภาพผิวได้แก่ ปริมาณ อัตราส่วนผสมและความยาวของเส้นใยต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ การจัดเรียงตัวของเส้นใย และสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต - ทราบปริมาณเส้นใยสับปะรดและมะพร้าวไม่ผ่านการปรับสภาพผิวเสริมแรงในยางที่ดีที่สุด คือ 30 phr - ทราบสมบัติของคอมโพสิตยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ และความแตกต่างของสมบัติยางเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติกับเส้นใยสังเคราะห์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
	2. เตรียมคอมโพสิตยางธรรมชาติและเส้นใย สับปะรดและมะพร้าวที่ผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยเลือกปริมาณผสมที่เหมาะสมจากขั้นตอนการศึกษาที่ 1.1 และ ศึกษาสมบัติเช่นเดียวกับข้อ 1.1 3. เตรียมคอมโพสิตยางธรรมชาติและเส้นใย สับปะรดและมะพร้าวที่มีการใช้เส้นใยผสมที่มีความยาวต่าง ๆ และ ศึกษาสมบัติเช่นเดียวกับข้อ 1.1	3.3. ทดสอบพฤติกรรมการวัลคาไนซ์ ตรวจ สอบหาแนวโน้มการจัดเรียงตัวของเส้นใยผสม ในยาง และทดสอบสมบัติเทนไซล์ การต้านทานต่อการฉีกขาด และวิเคราะห์สมบัติพลวัตของคอมโพสิตเส้นใยแก้ว 4.4. เปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติผสมกับเส้นใยแก้ว 2. เตรียมคอมโพสิตยางธรรมชาติและเส้นใย สับปะรดและมะพร้าวที่ผสมกันในอัตราส่วน 30/0 25/5 20/10 15/15 10/20 0/30 phr/phr (ปริมาณผสมที่เหมาะสมจากขั้นตอนการศึกษาที่ 1.1 8คือ 30 phr) และ ศึกษาสมบัติเช่นเดียวกับข้อที่ 1.1 3. เตรียมคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้ความยาวเส้นใย 0.2 6 และ 10 mm และศึกษาสมบัติเช่นเดียวกับข้อที่ 1.1	- ทราบสัดส่วนโดยน้ำหนักของสับปะรดและมะพร้าวไม่ผ่านการปรับสภาพผิวเสริมแรงดีที่สุด คือ 25/5 (phr/phr) - ทราบความยาวเส้นใยไม่ผ่านการปรับสภาพผิวเสริมแรงดีที่สุด คือ 10 mm ที่ สัดส่วนสับปะรด/มะพร้าว 25/5 phr/phr

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการปรับปรุงผิวเส้นใย สับปะรดและมะพร้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อพฤติกรรมการวัลคาไนซ์ การติดประสาน ระหว่างเส้นใยและยาง สมบัติเทนไซล์ สมบัติเชิงกลพลวัตของคอมโพสิตยางธรรมชาติแบบผสม	1. เตรียมเส้นใยเส้นใยสับปะรดและมะพร้าว ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ก่อนและหลังปรับสภาพผิว 2.2. ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผิวของเส้นใย ด้วย 2. เตรียมคอมโพสิตยางธรรมชาติและเส้นใย สับปะรด/มะพร้าวปรับสภาพผิว ที่อัตราส่วน 25/5 phr/phr โดยศึกษาอิทธิพลของการปรับสภาพผิวเส้นใยที่ขนาดต่าง ๆ ทดสอบสมบัติ เช่นเดียวกับข้อที่ 1.1 และการติดประสาน ระหว่างเส้นใยกับยาง	1. ปรับสภาพผิวเส้นใยสับปะรดและมะพร้าว ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% (w/v) เป็นเวลา 18 h ทดสอบ 1.1. หาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย สับปะรดและมะพร้าว ก่อนและหลังปรับสภาพผิว ด้วยเทคนิค FTIR 2.2. ตรวจสอบลักษณะผิวโครงสร้างของเส้นใย ก่อนและหลังปรับสภาพผิว ด้วยเทคนิค SEM 2. นำเส้นใยปรับสภาพผิว ผสมกับยางธรรมชาติ โดยใช้เส้นใยความยาว 0.2 6 และ 10 mm เติมลงในยางที่อัตราส่วนสับปะรดและมะพร้าว 25/5 phr/phr เพื่อเตรียมคอมโพสิต และทดสอบสมบัติต่าง ๆ เช่นเดียวกับข้อที่ 1.1	- ทราบผลของการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารปรับสภาพผิวเส้นใยต่อองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะผิวเส้นใย - ทราบและเข้าใจผลของการใช้เส้นใย สับปะรดและมะพร้าวปรับสภาพผิวด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการติดประสาน พฤติกรรมการวัลคาไนซ์ สมบัติเทนไซล์ ความสามารถด้านทานต่อการฉีกขาดและสมบัติเชิงกลพลวัต