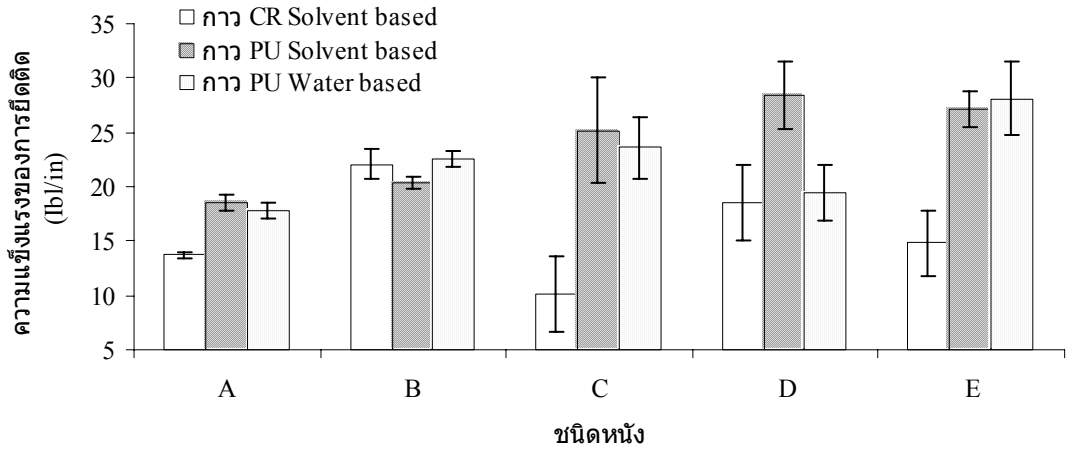
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

บทนี้รายงาน ผลการทดลอง และการวิจารณ์ผลการทดลองในเรื่องของการศึกษาการยึดติดระหว่างยางกับหนังสังเคราะห์ด้วยกาวทางการค้า การศึกษาสมบัติของยางสำหรับใช้ทดสอบการยึดติด การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของการยึดติด การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (%conversion) และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์โคพอลิเมอไรซ์ (%grafting efficiency) ของน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน การวิเคราะห์สเปคตรัมด้วยวิธีทางสเปคโตรสโคปี การวิเคราะห์ผิวหน้ายางด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางธรรมชาติและกาวน้ำยางผสม ดังต่อไปนี้

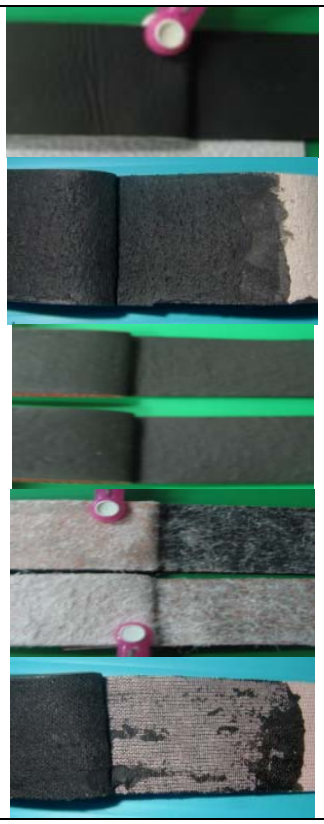
4.1 การยึดติดระหว่างยางกับหนังสังเคราะห์ด้วยกาวทางการค้า

ผลการสำรวจค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับหนัง PU (ชนิด A-D) และหนัง PVC (ชนิด E) ด้วยกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based และกาวพอลิยูรีเทน ประเภท Solvent based และ Water based ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพประกอบ 4.1



ภาพประกอบ 4.1 ความแข็งแรงของการยึดติดของกาวทางการค้าด้วยการยึดติดระหว่างยางกับหนังชนิด A-E

ตารางที่ 4.1 ความแข็งแรงของการยึดติดของกาวทางการค้าด้วยการยึดติดระหว่างยางกับหนังชนิด A-E

ชนิดหนัง	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)			ลักษณะการล้มเหลวของการยึดติด
	กาว CR Solvent based	กาว PU Solvent based	กาว PU Water based	
A	13.73±0.27	18.59±0.76	17.85±0.69	
B	22.10±1.30	20.36±0.53	22.58±0.76	
C	10.17±3.45	25.21±4.92	23.59±2.89	
D	18.56±3.45	28.44±3.09	19.42±2.52	
E	14.80±3.00	27.15±1.63	28.12±3.45	

จากผลการสำรวจค่าความแข็งแรงของการยึดติดด้วยการทดสอบแบบดึงลอก ของกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based และกาวพอลิยูรีเทน ประเภท Solvent based และ Water based ด้วยการยึดติดระหว่างยางกับหนัง PU (ชนิด A-D) และหนัง PVC (ชนิด E) ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และภาพประกอบ 4.1 นั้น พบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติดของการยึดติดขึ้นอยู่กับชนิดของกาวและชนิดหนังที่ใช้ทดสอบ ซึ่งงานวิจัยนี้พบว่า กาวพอลิยูรีเทน ประเภท Solvent based จะให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดสูงที่สุด รองลงไป คือ กาวพอลิยูรีเทน ประเภท Water based ส่วนกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based จะให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดต่ำที่สุด ส่วนชนิดของหนังต่อค่าความแข็งแรงของการยึดติด พบว่าหนัง PU ชนิด C จะให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่สูงหากใช้กาวพอลิยูรีเทนทั้งประเภท Solvent based และ Water based แต่จะให้ค่า

ความแข็งแรงของการยึดติดต่ำหากใช้กาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based ซึ่งค่าความแข็งแรงของการยึดติด สำหรับการสำรวจในงานวิจัยนี้ มีค่าอยู่ในช่วง 10.17 ถึง 28.44 ปอนด์/นิ้ว งานวิจัยนี้จะเลือกใช้หนังชนิด PVC ชนิด E มาทดสอบค่าความแข็งแรงในการยึดติดกับยาง เพราะเป็นหนังชนิดที่นิยมใช้กันมากในการประกอบลูกบาสเกตบอล โดยค่าความแข็งแรงของการยึดติดสำหรับเป็นเป้าหมายในการทำวิจัยครั้งนี้ต้องมีค่ามากกว่า 14.80 ปอนด์/นิ้ว (เป็นค่าความแข็งแรงของการยึดติดต่ำสุดของหนัง PVC ชนิด E)

4.2 สมบัติของยางสำหรับใช้ทดสอบการยึดติด

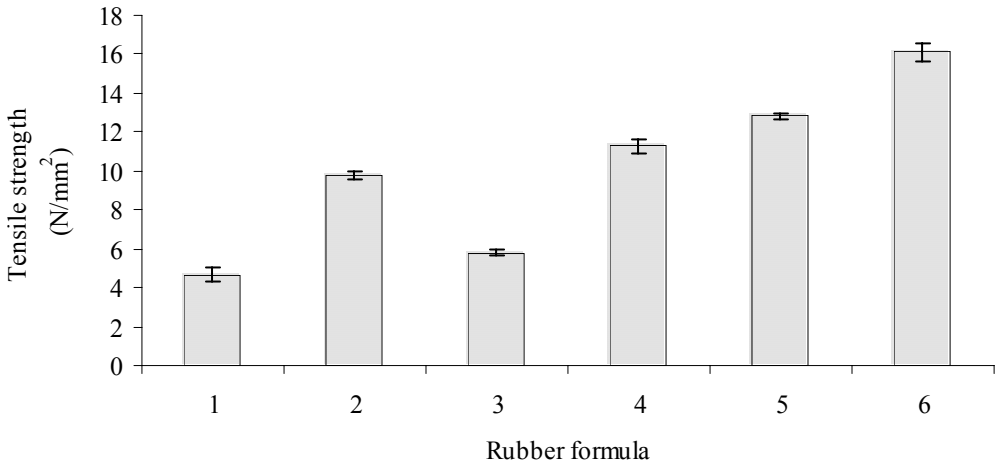
ยางสำหรับนำมาใช้ทดสอบการยึดติดนั้นเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของการยึดติด โดยงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์ ค่าความแข็ง และลักษณะการล้มเหลวของการยึดติดเมื่อนำยางมาใช้ทดสอบการยึดติด แสดงผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 สมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์

ผลการทดลองการศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์ ตามสูตรในตารางที่ 3.3 โดยสูตรยางที่ 1-5 แปรปริมาณ china clay, แคลเซียมคาร์บอเนต และ coumarone indene resin ส่วนยางสูตรที่ 6 แปรทั้งชนิดและปริมาณสารเคมี โดยแปรชนิดของยาง สารตัวเติม สารตัวเร่ง สารกระตุ้น แอนติออกซิแดนซ์ และพลาสติไซเซอร์ ผลการทดสอบค่าความทนต่อแรงดึง ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ค่าความทนต่อแรงดึง และค่าความแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพประกอบ 4.2-4.5

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์

สูตรยาง	ความทนต่อแรงดึง (นิวตัน/มม^2)	ระยะยืด ณ จุดขาด (มม)	ความต้านทานต่อการฉีกขาด (นิวตัน/มม)	ความแข็ง (Shore A)
1	4.67±0.34	171.50±21.28	39.24±0.25	42±0.25
2	9.76±0.24	271.40±5.51	35.15±0.40	43±0.40
3	5.80±0.16	168.60±5.33	32.89±0.50	43±0.42
4	11.27±0.33	275.00±7.21	40.15±0.31	42±0.31
5	12.81±0.11	308.70±3.03	39.00±0.25	44±0.25
6	14.89±0.50	512.40±7.52	33.50±0.32	45±0.32



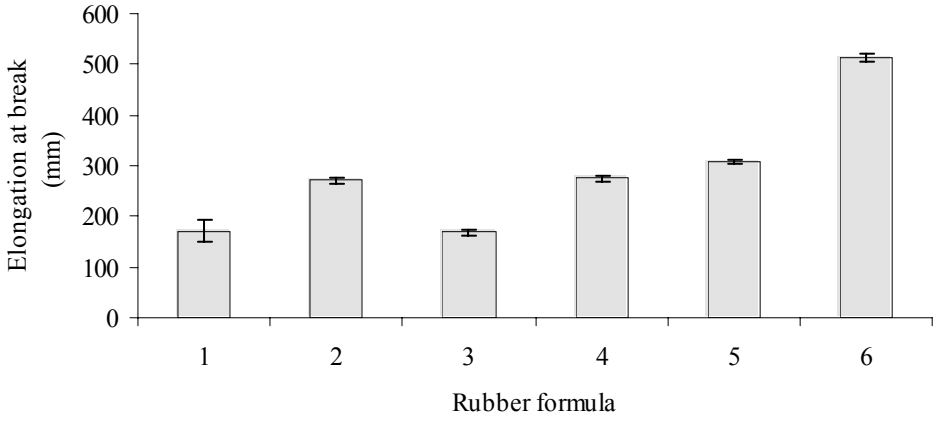
ภาพประกอบ 4.2 ความทนต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์

ยางสูตรที่ 1-3 สูตรยางมีความแตกต่างกันที่ปริมาณสารตัวเติม china clay และแคลเซียมคาร์บอเนต กล่าวคือ ปริมาณ chaina clay และแคลเซียมคาร์บอเนต ของยางสูตรที่ 1-3 มีปริมาณเท่ากับ 20, 30 และ 40 phr ตามลำดับ ส่วนสารเคมีตัวอื่นๆ มีปริมาณเท่ากัน ซึ่งหากเปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงดึงสูตรที่ 1-3 พบว่ายางสูตรที่ 2 มีค่าความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด นั่นคือปริมาณ chaina clay และแคลเซียมคาร์บอเนต มีความเหมาะสมมากที่สุด (30 phr) โดยเมื่อปริมาณ chaina clay และแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มสูงขึ้นเป็น 40 phr (สูตรที่ 3) จะทำให้ค่าความทน

ต่อแรงดึงลดต่ำลง ส่วนปริมาณ chaina clay และแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 20 phr (สูตรที่ 1) ค่าความทนต่อแรงดึงมีค่าเท่ากับ 4.67 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่ายางสูตรที่ 2 เช่นเดียวกัน

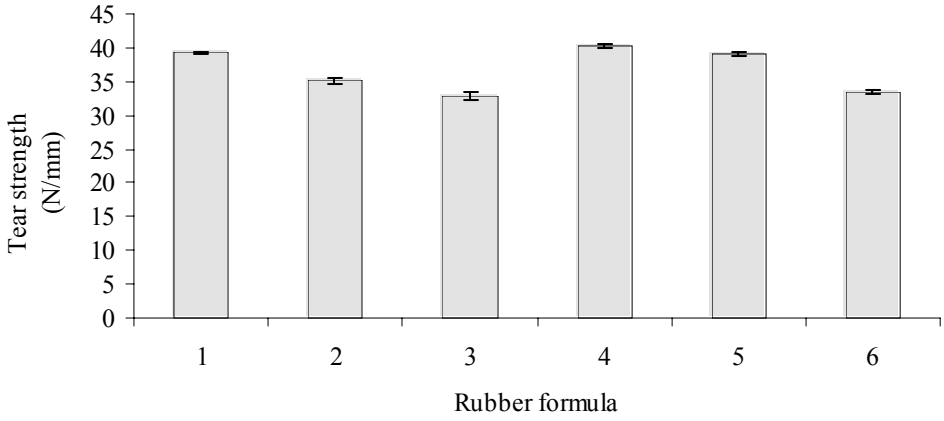
ยางสูตรที่ 4-5 สูตรยางมีความแตกต่างกันที่ปริมาณ coumarone indene resin กล่าวคือ ปริมาณ coumarone indene resin ของยางสูตรที่ 4-5 มีปริมาณเท่ากับ 5 และ 10 phr ตามลำดับ ส่วนสารเคมีตัวอื่นๆ มีปริมาณเท่ากัน และเท่ากับยางสูตรที่ 1-3 ซึ่งพบว่าปริมาณ coumarone indene resin ส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงมีค่าสูงขึ้น (ดังภาพประกอบ 4.2)

ยางสูตรที่ 6 ปริมาณสารเคมีจะแตกต่างไปจากสูตรที่ 1-5 ซึ่งค่า ความทนต่อแรงดึงของยางสูตรที่ 6 จะมีค่าสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 14.89 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ที่เป็นเช่นนี้เพราะเหตุผลที่อาจเป็นไปได้ 2 ประการ คือ ประการที่ 1 ยางสูตรที่ 6 มียางเอสบีอาร์ เป็นส่วนประกอบด้วย 28 phr โดยยางเอสบีอาร์ นั้นเป็นยางที่ไม่เกิดผลึก ค่าความทนต่อแรงดึงในกรณีที่ไม่ใส่สารตัวเติมจะมีค่าต่ำกว่ายางธรรมชาติมาก แต่เมื่อเติม เขม่าดำ ในปริมาณที่ไม่เกิน 35 phr จะส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ยางสูตรที่ 1-5 ปริมาณเขม่าดำที่เติมลงไป 10 phr ส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดต่ำลง ซึ่งเหตุผลประการที่ 1 นี้สอดคล้องกับทฤษฎีของ (พรพรรณ, 2536) ส่วนเหตุผลประการที่ 2 คือ ยางสูตรที่ 6 จะใช้ DPG เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสารเร่งปฏิกิริยาประเภทนี้จะส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น



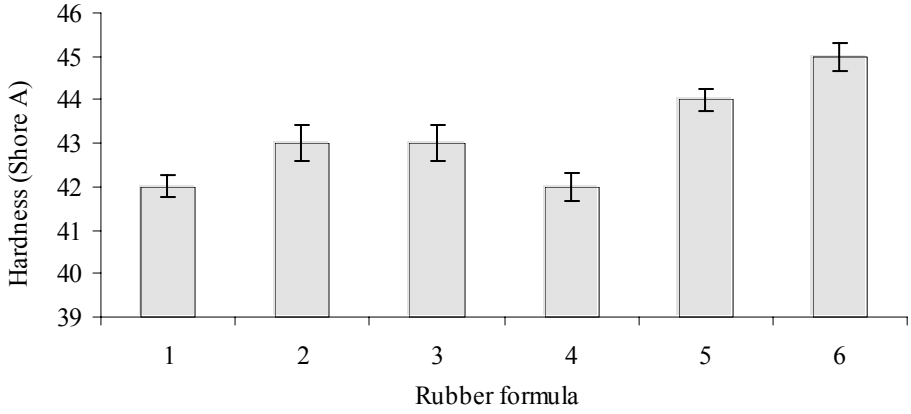
ภาพประกอบ 4.3 ระยะยืด ณ จุดขาดของยางวัลคาไนซ์

จากภาพประกอบ 4.3 พบว่าค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางทั้ง 6 สูตร (สูตรที่ 1-6) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับ ความทนต่อแรงดึง (ภาพประกอบ 4.2) ซึ่งอธิบายได้ในทำนองเดียวกับค่าความทนต่อแรงดึง



ภาพประกอบ 4.4 ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์

จากภาพประกอบ 4.4 พบว่าค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด มีค่าลดลงตามปริมาณ chaina clay และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่เพิ่มสูงขึ้น คือค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางสูตรที่ 1, 4 และ 5 มีปริมาณสารตัวเติมเท่ากับ 20 phr ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางสูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งมีปริมาณสารตัวเติมเท่ากับ 30 และ 40 phr ตามลำดับ ส่วนยางสูตรที่ 6 จะมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดต่ำที่สุด เนื่องจากยางสูตรที่ 6 มียางเอสบีอาร์ เป็นส่วนประกอบซึ่งยางเอสบีอาร์ จะมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดต่ำ เนื่องจากโครงสร้างไม่เกิดผลึก ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ (พรพรรณ, 2536)



ภาพประกอบ 4.5 ความแข็งของยางวัลคาไนซ์

จากภาพประกอบ 4.5 พบว่าค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ chaina clay และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่เพิ่มสูงขึ้น ดังผลการทดสอบของยางสูตรที่ 1-3 โดยที่ปริมาณ chaina clay และแคลเซียมคาร์บอเนต ของยางสูตรที่ 1-3 มีค่าเท่ากับ 20, 30 และ 40 phr ตามลำดับ ส่วนค่าความแข็งของยางสูตรที่ 1 และ 4 มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณ chaina clay และแคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าเท่ากัน คือมีค่าเท่ากับ 20 phr ส่วนค่าความแข็งของยางสูตรที่ 5 จะมีค่าความแข็งสูงกว่ายางสูตรที่ 1 และ 4 (ยางสูตรที่ 1, 4 และ 5 มีปริมาณ chaina clay และแคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากัน คือ 20 phr) เนื่องจากยางสูตรที่ 5 มีปริมาณเรซินเท่ากับ 10 phr (เรซินช่วยให้ยางนิ่มในขั้นตอนการผสม แต่หลังจากวัลคาไนซ์จะทำให้ยางแข็งขึ้น (พรพรรณ, 2536)) ส่วนค่าความแข็งของยางสูตรที่ 6 จะมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 45 Shore A ที่เป็นเช่นนี้เพราะยางสูตรที่ 6 มีปริมาณเขม่าดำมากที่สุด เท่ากับ 15 phr และประกอบกับยางสูตรที่ 6 มียางเอสบีอาร์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งยางเอสบีอาร์จะมีความแข็งมากกว่ายางธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ (พรพรรณ, 2536)

4.2.2 ลักษณะการล้มเหลวของการยึดติด

ผลการทดสอบลักษณะการล้มเหลวของการยึดติด ด้วยกาวพอลิยูรีเทน ประเภท Water based ของการยึดติดระหว่างยางสูตรที่ 1-6 กับหนัง PVC ชนิด E แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะการล้มเหลวของการยึดติด

สูตรยาง	การล้มเหลวของการยึดติด	รายละเอียด
1	Failure of rubber substrate	ยางขาดก่อนการดึงลอก
2	Failure of rubber substrate	ยางขาดก่อนการดึงลอก
3	Failure of rubber substrate	ยางขาดก่อนการดึงลอก
4	Failure of rubber substrate	ยางขาดก่อนการดึงลอก
5	Failure of rubber substrate	ยางขาดก่อนการดึงลอก
6	Adhesive failure of adhesive	เกิดการล้มเหลวของการยึดติดที่ผิวสัมผัสระหว่างกาวกับหนัง PVC และที่ผิวสัมผัสระหว่างกาวกับยาง

ลักษณะการล้มเหลวของการยึดติดของยางสูตรที่ 1-5 ยางจะขาดก่อนการดึงลอก แสดงได้ดังภาพประกอบ 4.6

ภาพประกอบ 4.6 ลักษณะการล้มเหลวของการยึดติดโดยยางขาดก่อนการดึงลอก

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.3 พบว่าเฉพาะยางสูตรที่ 6 เท่านั้นที่ลักษณะการล้มเหลวของการยึดติด เกิดการล้มเหลวบริเวณผิวสัมผัสระหว่างกาวกับหนัง PVC ชนิด E และบริเวณสัมผัสระหว่างกาวกับยาง ซึ่งผลการทดลองของยางสูตรที่ 1-5 ในขั้นตอนการทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติด ด้วยวิธีการทดสอบแบบดึงลอกยางจะขาดก่อนเกิดการดึงลอก ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองสมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์ คือยางสูตรที่ 6 จะมีค่าความทนต่อแรงดึง (ภาพประกอบ 4.2) ค่าระยะยืด ณ จุดขาด (ภาพประกอบ 4.3) และค่าความแข็ง (ภาพประกอบ 4.5) สูงที่สุด จากผลการทดลองข้างต้นยางสูตรที่ 6 มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการนำมาใช้เป็นชิ้นทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติด งานวิจัยนี้จึงเลือกยางสูตรที่ 6 สำหรับมาเตรียมเป็นชิ้นทดสอบ

4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของการยึดติด

การศึกษาผลของความดัน ผลของชนิดกาว และผลของการเตรียมผิวหน้ายาง ต่อความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางและหนัง PVC ชนิด E และหนัง PU ชนิด B แสดงผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

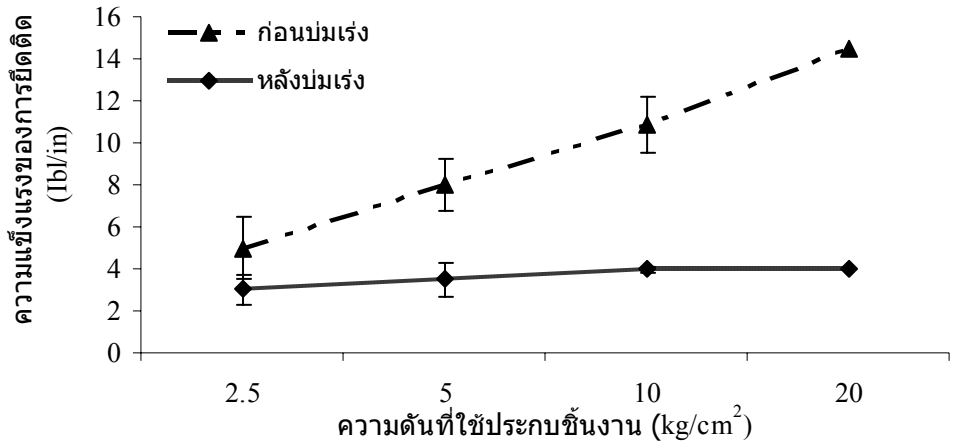
4.3.1 ผลของความดันและชนิดของกาว

การศึกษาผลของความดันต่อความแข็งแรงของการยึดติด โดยการแปรความดันในการประกบชิ้นงานเท่ากับ 2.5, 5, 10 และ 20 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ด้วยการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติ (น้ำยางข้น 60 %DRC) ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง และกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งชิ้นงาน ซึ่งผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติด

ของน้ำยางธรรมชาติ (น้ำยางข้น 60 %DRC) ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง แสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.4-4.5 และภาพประกอบ 4.7- 4.8

ตารางที่ 4.4 ความแข็งแรงของการยึดติดก่อนและหลังการบ่มเร่งของน้ำยางธรรมชาติ (น้ำยางข้น 60 %DRC) ระหว่างยางกับหนัง PVC ชนิด E ที่ความดัน 2.5, 5, 10 และ 20 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

ความดันที่ใช้ประกบชิ้นงาน (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)	
	ก่อนบ่มเร่ง	หลังบ่มเร่ง
2.5	5.00±1.50	3.02±0.52
5	7.99±1.52	3.48±0.72
10	10.90±1.23	3.98±0.80
20	14.50±1.33	4.00±0.14



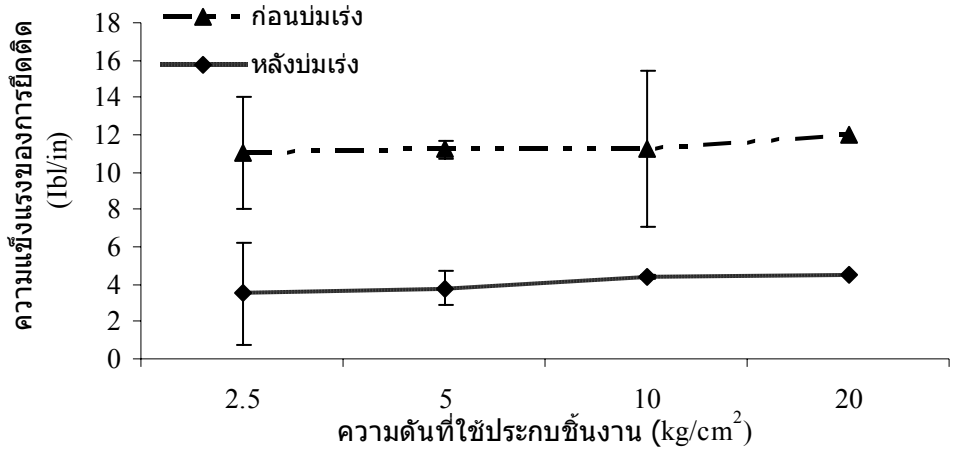
ภาพประกอบ 4.7 ความแข็งแรงของการยึดติดก่อนและหลังการบ่มเร่ง ของน้ำยางธรรมชาติ (น้ำยางข้น 60%DRC) ระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC ชนิด E ที่ความดัน 2.5, 5, 10 และ 20 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

จากภาพประกอบ 4.7 พบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติ (น้ำยางข้น 60 %DRC) ด้วยการยึดติดระหว่างยางและหนัง PVC ชนิด E ของชิ้นทดสอบที่ไม่ได้บ่มเร่ง มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดตามความดันที่เพิ่มขึ้น คือเพิ่มขึ้น 9.50 ปอนด์/นิ้ว (เพิ่มจาก 5 เป็น 14.50 ปอนด์/นิ้ว) ส่วนค่าความแข็งแรงของการยึดติดของชิ้นทดสอบที่บ่มเร่งที่สภาวะ 70 ^{0}C เป็น

ระยะเวลา 168 ชั่วโมง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทุกค่าความดันที่ใช้ประกบชิ้นทดสอบ ทั้งนี้เพราะนำชิ้นทดสอบไปบ่มเร่ง อุณหภูมิที่สูงทำให้น้ำยางธรรมชาติเหนียวเยิ้ม (ความสามารถในการยึดติดลดลง) และประกอบกับน้ำมันหรือสารประกอบจำพวกน้ำมันที่อยู่ในเนื้อยางทดสอบ จะเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้ายางขัดขวางต่อการยึดติดที่ผิวหน้ายาง ทำให้ความดันที่ใช้ประกบชิ้นงานไม่ผลต่อความแข็งแรงของการยึดติด

ตารางที่ 4.5 ความแข็งแรงของการยึดติด ก่อนและหลังการบ่มเร่งของน้ำยางธรรมชาติ (น้ำยางข้น 60 %DRC) ระหว่างยางกับหนัง PU ชนิด B ที่ความดัน 2.5,5,10 และ 20 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

ความดันที่ใช้ประกบชิ้นงาน (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)	
	ก่อนบ่มเร่ง	หลังบ่มเร่ง
2.5	11.00±3.00	3.50±2.50
5	11.20±2.99	3.80±2.72
10	11.24±0.47	4.38±0.96
20	11.98±4.18	4.50±0.08



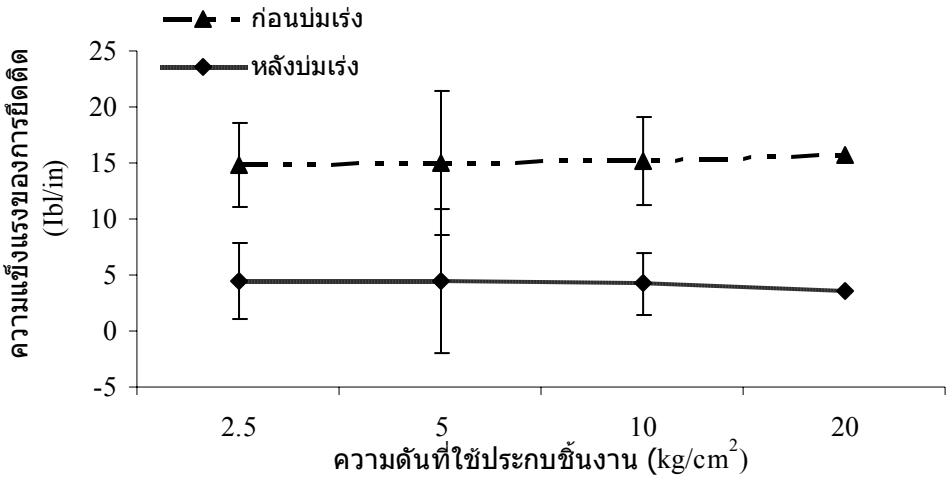
ภาพประกอบ 4.8 ความแข็งแรงของการยึดติด ก่อนและหลังการบ่มเร่งของน้ำยางธรรมชาติ (น้ำยางข้น 60 %DRC) ระหว่างยาง กับหนัง PU ชนิด B ที่ความดัน 2.5, 5, 10 และ 20 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

จากภาพประกอบ 4.8 พบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติ (น้ำยางข้น 60 %DRC) ด้วยการยึดติดระหว่างยางและหนัง PU ชนิด B ของชิ้นทดสอบที่ไม่ได้บ่มเร่ง ความดันที่ใช้ประกบชิ้นงานที่มากขึ้น ช่วยให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (แทบไม่มีผล) คือเพิ่มขึ้น 0.98 ปอนด์/นิ้ว (เพิ่มจาก 11 เป็น 11.98 ปอนด์/นิ้ว) และผลการทดลองเมื่อนำชิ้นงานไปบ่มเร่งที่ อุณหภูมิ 70 ^{0}C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง ค่าความแข็งแรงของการยึดติดมีค่าลดลงเหลือ ประมาณ 4 ปอนด์/นิ้ว ของทุกความดันที่ใช้ประกบชิ้นงาน อธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับการยึดติดด้วยหนังสังเคราะห์ PVC ชนิด E

สำหรับการศึกษาผลของความดันต่อการการยึดติดของกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based ด้วยการยึดติดระหว่างยางและหนัง PVC ชนิด E และ หนัง PU ชนิด B ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งชิ้นงาน แสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.6-4.7 และภาพประกอบ 4.9-4.10

ตารางที่ 4.6 ความแข็งแรงของการยึดติดของกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based ระหว่างยางกับหนังPVC ชนิด E

ความดันที่ใช้ประกบชิ้นงาน (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)	
	ก่อนบ่มเร่ง	หลังบ่มเร่ง
2.5	14.80±4.32	4.50±4.26
5	15.00±3.76	4.45±3.36
10	15.23±6.46	4.20±6.45
20	15.74±3.91	3.65±2.76

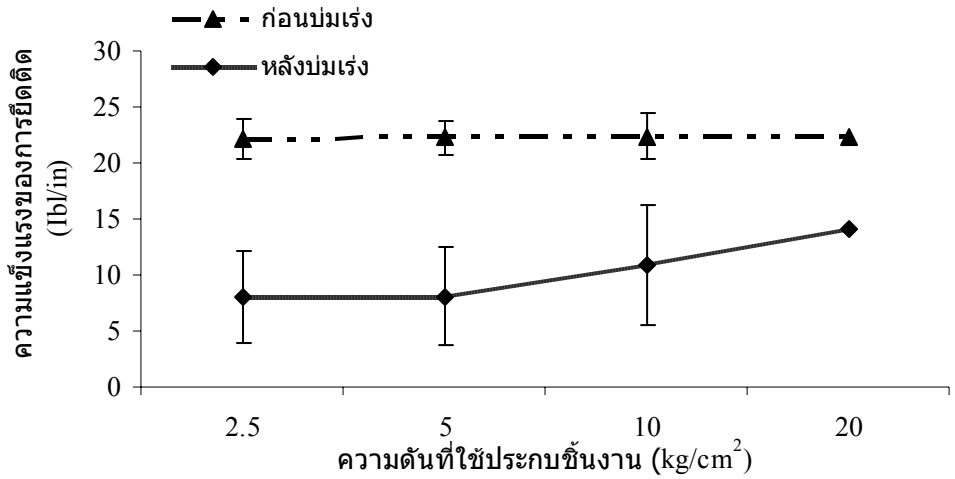


ภาพประกอบ 4.9 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based ระหว่างยางกับหนัง PVC ชนิด E

จากภาพประกอบ 4.9 พบว่าผลของความดันที่ใช้ประกบชิ้นทดสอบของกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based ที่แปรความดันเท่ากับ 2.5-20 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ไม่ได้ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดสูงขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้น ของทั้งชิ้นทดสอบที่บ่มเร่งและไม่ได้บ่มเร่ง กล่าวคือ ค่าความแข็งแรงของการยึดติดของชิ้นทดสอบที่ไม่ได้บ่มเร่ง มีค่าอยู่ในช่วง 14.80- 15.74 ปอนด์/นิ้ว มีค่าความต่างเท่ากับ 0.94 ปอนด์/นิ้ว ซึ่งมีค่าน้อยมาก ส่วนของชิ้นทดสอบที่บ่มเร่งที่สภาวะ 70 ^{0}C เป็นระยะเวลา 168 ชั่วโมง ค่าความแข็งแรงของการยึดติดมีค่าอยู่ในช่วง 3.65-4.50 ปอนด์/นิ้ว มีค่าความต่างเท่ากับ 0.85 ปอนด์/นิ้ว

ตารางที่ 4.7 ความแข็งแรงของการยึดติดของกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based ระหว่างยางกับหนัง PU ชนิด B

ความดันที่ใช้ประกบชิ้นงาน (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)	
	ก่อนบ่มเร่ง	หลังบ่มเร่ง
2.5	22.10±1.98	8.02±4.32
5	22.26±1.76	8.07±4.13
10	22.37±1.47	10.85±4.39
20	22.38±2.07	14.14±5.38



ภาพประกอบ 4.10 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based ระหว่างยางกับหนัง PU ชนิด B

จากภาพประกอบ 4.10 พบว่า ผลของความดันที่ใช้ประกบชิ้นทดสอบของกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based ที่แปรความดันเท่ากับ 2.5-20 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ไม่ได้ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดสูงขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้น สำหรับชิ้นทดสอบที่ไม่ได้บ่มเร่ง กล่าวคือ ค่าความแข็งแรงของการยึดติด อยู่ในช่วง 22.10-22.38 ปอนด์/นิ้ว มีค่าความต่างเท่ากับ 0.28 ปอนด์/นิ้ว ซึ่งมีค่าน้อยมาก ส่วนของชิ้นทดสอบที่บ่มเร่งที่สภาวะ 70 ^{0}C เป็นระยะเวลา 168 ชั่วโมง เมื่อความดันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดมีค่าสูงขึ้น สำหรับการใช้ความดันประกบชิ้นงานเท่ากับ 10 และ 20 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร แต่ในขณะที่เมื่อใช้ความดันประกบชิ้นงานเท่ากับ 2.5 และ 5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ค่าความแข็งแรงของการยึดติดไม่ได้มีค่าสูงขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความแข็งแรงของการยึดติดของทั้งสองความดันมีค่าใกล้เคียงกัน

จากภาพประกอบ 4.7-4.10 พบว่าชิ้นทดสอบที่บ่มเร่งจะมีค่าความแข็งแรงของการยึดติดต่ำกว่าชิ้นทดสอบที่ไม่ได้บ่มเร่งทุกความดันที่ประกบชิ้นงาน ของทั้งน้ำยางธรรมชาติและกาวคลอโรพรีน ประเภท Solvent based

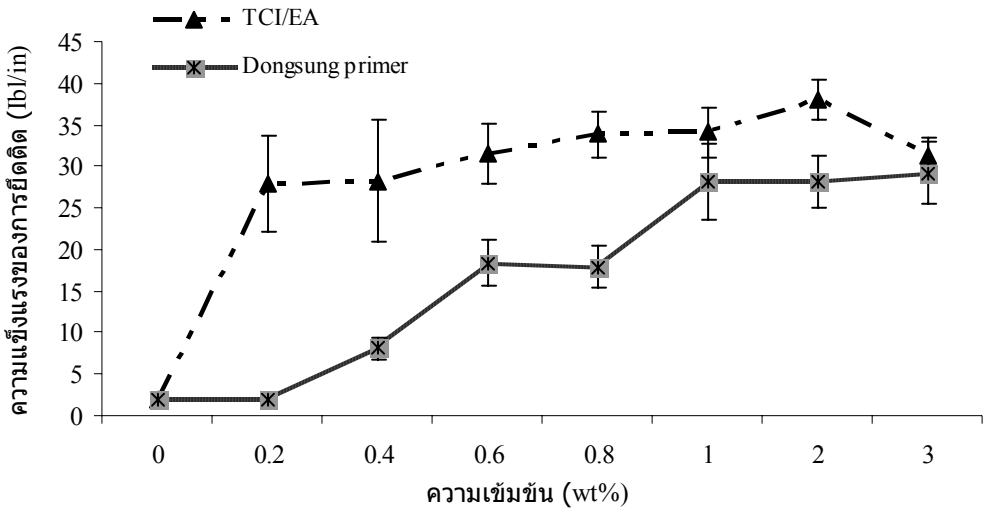
4.3.2 ผลของการเตรียมผิวหน้ายาง

การศึกษาผลของการเตรียมผิวหน้ายางด้วยตัวทำละลาย ต่อความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางกับหนังสังเคราะห์ 2 ชนิด คือ หนัง PVC ชนิด E และหนัง PU ชนิด B ด้วยกาว

น้ำพอลิยูรีเทน โดยใช้ TCI/EA และ dongsung primer เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมพื้นผิวหน้ายาง ซึ่งผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางกับหนัง PVC ชนิด E แสดงในตารางที่ 4.8 และภาพประกอบ 4.11

ตารางที่ 4.8 ความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางและ หนัง PVC ชนิด E ด้วยกาวน้ำพอลิยูรีเทน โดยใช้ TCI/EA และ dongsung primer เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมพื้นผิวหน้ายาง

ความเข้มข้น (%โดยน้ำหนัก)	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)	
	TCI/EA	dongsung primer
0	1.94±0.03	1.94±0.03
0.2	28.01±5.77	2.02±0.02
0.4	28.23±7.31	8.11±1.34
0.6	31.61±3.63	18.31±2.78
0.8	33.83±2.70	17.82±2.52
1	34.15±3.01	28.12±4.58
2	38.06±2.38	28.12±3.15
3	31.31±2.22	29.22±3.69

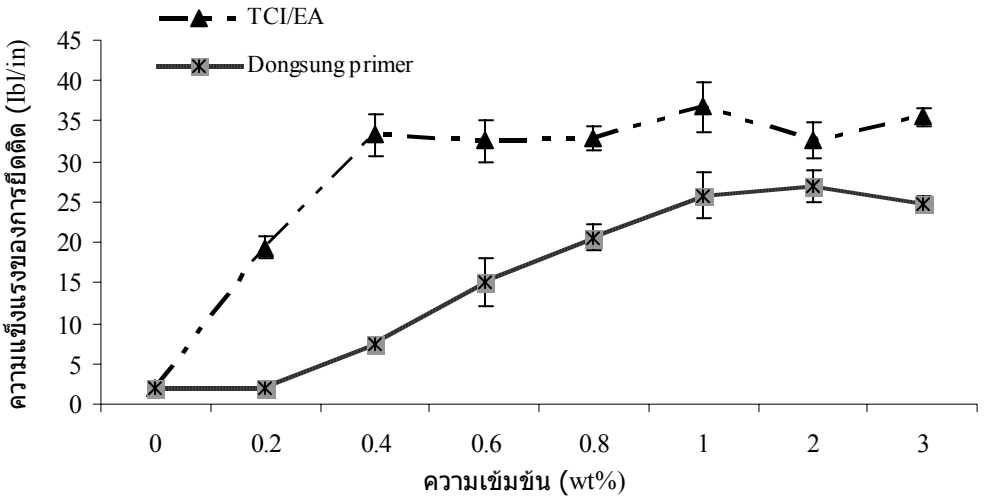


ภาพประกอบ 4.11 ความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางและ หนัง PVC ชนิด E ด้วยกาวน้ำพอลิยูรีเทนโดยใช้ TCI/EA และ dongsung primer เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมพื้นผิวหน้ายาง

จากภาพประกอบ 4.11 พบว่าการใช้ dongsung primer และTCI/EA มาเตรียมผิวหน้ายางก่อนนำไปยึดติดกับหนัง PVC ชนิด E ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับหนัง PVC ชนิด E เพิ่มสูงขึ้นทั้ง dongsung primer และ TCI/EA แต่หากเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของการยึดติด ที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายเท่ากันพบว่า ตัวทำละลาย TCI/EA จะช่วยให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่สูงกว่า เช่น ค่าความแข็งแรงของการยึดติด เมื่อใช้ dongsung primer และ TCI/EA เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมผิวหน้ายางที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.2 %โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติด มีค่าเท่ากับ 2.02 และ 28.01 ปอนด์/นิ้ว ตามลำดับ และค่าความแข็งแรงของการยึดติดจะเริ่มคงที่ที่ความเข้มข้นของทั้งตัวทำละลาย dongsung primer และ TCI/EA เท่ากับ 2 %โดยน้ำหนัก กล่าวคือค่าความแข็งแรงของการยึดติดเมื่อใช้ dongsung primer เป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้นเท่ากับ 3 %โดยน้ำหนัก จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดลดต่ำลง (จาก 38.06 เป็น 31.31 ปอนด์/นิ้ว) ในขณะที่เมื่อใช้ TCI/EA ค่าความแข็งแรงของการยึดติดกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (จาก 28.12 เป็น 29.22 ปอนด์/นิ้ว) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ตัวทำละลาย TCI/EA สำหรับเตรียมผิวหน้ายาง จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า dongsung primer ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายอิเล็กตรอนไมโครกราฟ (ภาพประกอบ 4.26) เพราะผิวหน้าของยางที่เตรียมผิวหน้ายางด้วยตัวทำละลาย TCI/EA มีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาคลอริเนชั่นบนผิวหน้ายางได้ดีกว่า dongsung primer ภาพถ่ายอิเล็กตรอนไมโครกราฟของผิวหน้ายางที่ใช้ TCI/EA เป็นตัวทำละลาย จะไม่มีสาร TCI ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาตกค้างอยู่บนผิวหน้ายาง และผิวหน้ายางเรียบมากกว่า สำหรับค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับหนัง PU ชนิด B แสดงในตารางที่ 4.9 และภาพประกอบ 4.12

ตารางที่ 4.9 ความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางและหนัง PU ชนิด B ของกาวน้ำพอลิยูรีเทน โดยใช้ TCI/EA และ dongsung primer เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมพื้นผิวหน้ายาง

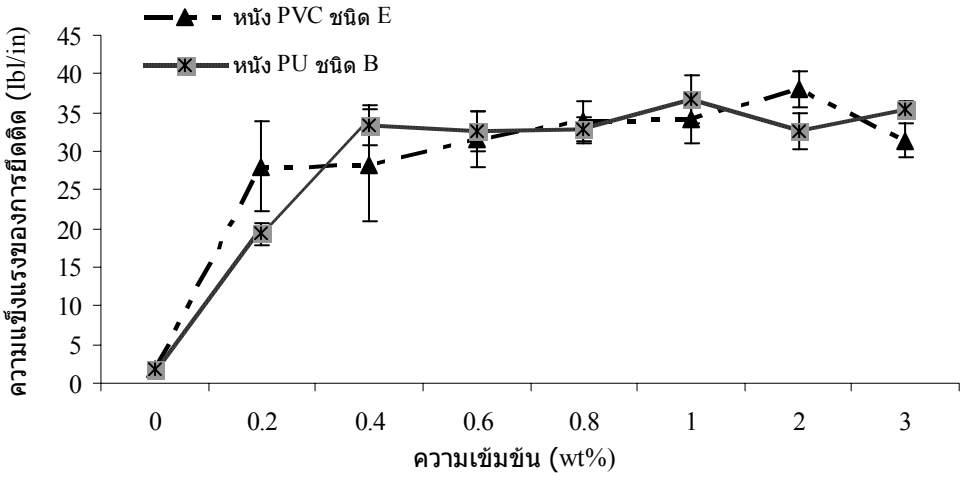
ความเข้มข้น (%โดยน้ำหนัก)	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)	
	TCI/EA	dongsung primer
0	1.86±0.02	1.86±0.02
0.2	19.37±1.44	1.91±0.01
0.4	33.29±2.57	7.35±4.82
0.6	32.60±2.63	15.11±2.91
0.8	32.84±1.57	20.64±1.71
1	36.73±3.05	25.81±2.80
2	32.60±2.30	26.98±2.01
3	35.50±1.07	24.73±0.89



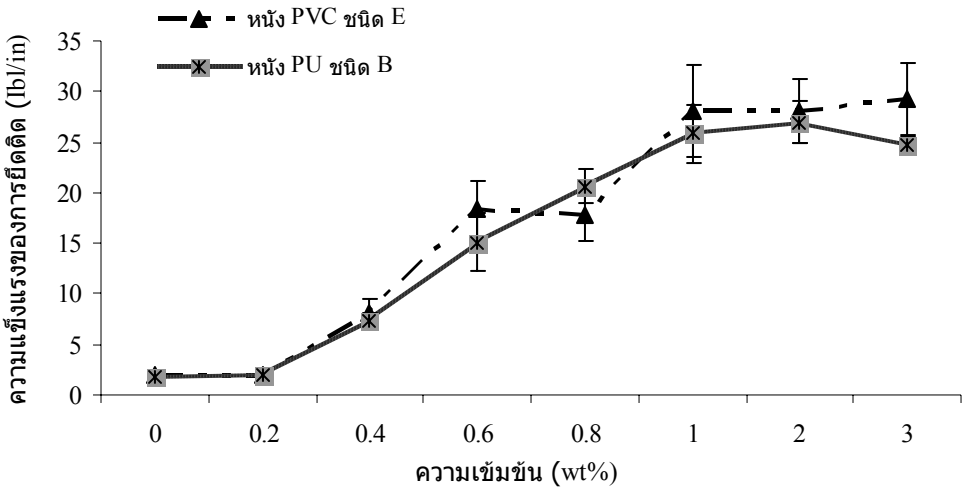
ภาพประกอบ 4.12 ความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางและหนัง PU ชนิด B ของกาวน้ำพอลิยูรีเทน โดยใช้ TCI/EA และ dongsung primer เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมพื้นผิวหน้ายาง

จากภาพประกอบ 4.12 พบว่าการใช้ตัวทำละลายด้วยตัวทำละลายทางการค้า (dongsung primer) และด้วยตัวทำละลายที่เตรียมจาก TCI/EA มาเตรียมผิวหน้ายางก่อนนำไปยึดติด

กับหนัง PU ชนิด B ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางกับหนัง PU ชนิด B เพิ่มสูงขึ้นทั้ง dongsung primer และ TCI/EA แต่หากเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายเท่ากันพบว่า ตัวทำละลาย TCI/EA จะช่วยให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่สูงกว่า เช่น ค่าความแข็งแรงของการยึดติดเมื่อใช้ dongsung primer และ TCI/EA เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมผิวหน้ายางที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.2 %โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติด มีค่าเท่ากับ 1.91 และ 19.37 ปอนด์/นิ้ว ตามลำดับ และค่าความแข็งแรงของการยึดติดจะเริ่มคงที่ที่ความเข้มข้นของทั้งตัวทำละลาย dongsung primer และ TCI/EA เท่ากับ 2 %โดยน้ำหนัก กล่าวคือค่าความแข็งแรงของการยึดติดเมื่อใช้ dongsung primer เป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้นเท่ากับ 3 %โดยน้ำหนัก จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดลดต่ำลง (จาก 26.98 เป็น 24.73 ปอนด์/นิ้ว) ในขณะที่เมื่อใช้ TCI/EA ค่าความแข็งแรงของการยึดติด กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (จาก 32.60 เป็น 35.50 ปอนด์/นิ้ว) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ตัวทำละลาย TCI/EA สำหรับเตรียมผิวหน้ายาง จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า dongsung primer ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับภาพประกอบ 4.11



ภาพประกอบ 4.13 ความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางและ หนัง PVC ชนิด E และหนัง PU ชนิด B ของกาวน้ำพอลิยูรีเทนโดยใช้ TCI/EA เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมพื้นผิวหน้ายาง



ภาพประกอบ 4.14 ความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางและ หนัง PVC ชนิด E และหนัง PU ชนิด B ของกาวน้ำพอลิยูรีเทนโดยใช้ dongsung primer เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมพื้นผิวหน้ายาง

จากภาพประกอบ 4.13-4.14 พบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติด ของการยึดติดระหว่างยางกับหนัง PVC ชนิด E และระหว่างยางกับหนัง PU ชนิด B เมื่อใช้ dongsung primer และ TCI/EA เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมผิวหน้ายางมีแนวโน้มที่เหมือนกัน โดยจะให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติด ที่ใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้นของตัวทำละลาย

จากภาพประกอบ 4.11-4.14 แสดงให้เห็นว่าการเตรียมผิวหน้ายางด้วยวิธีการใช้ตัวทำละลาย โดยมีปฏิกิริยาคลอริเนชั่นเกิดขึ้นบนผิวหน้ายางยึดติดเป็นสิ่งที่สำคัญมากจุดหนึ่ง สำหรับการยึดติดด้วยกาวน้ำพอลิยูรีเทน เพราะโดยปกติผิวหน้ายางจะมีสมบัติที่เก็บความชื้นได้น้อย (poorly wettable) อันเนื่องมาจากสารเคมีที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยา มีค่าพลังงานผิวหน้า (surface energy) ต่ำ และมีสารเคมีปนเปื้อนบนผิวหน้ายาง ซึ่งการทำ surface modification เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการยึดติด ซึ่งสามารถทำได้ทั้งทางกลและทางเคมี กระบวนการ surface modification ที่นิยมมากที่สุดสำหรับการเพิ่มสมบัติยึดติด ด้วยกาวพอลิยูรีเทน คือการทำคลอริเนชั่น เพื่อเพิ่ม mechanical adhesion (เพิ่มพื้นที่ผิว) เพื่อเพิ่ม chemical interaction โดยการเพิ่ม polar group C-Cl, C=O บนผิวหน้าของยางเพื่อเพิ่มแรงดึงดูดของพื้นผิว (surface energy) และเพื่อกำจัดสารที่เป็นตัวขัดขวางการยึดติดบนผิวหน้ายาง และการทำคลอริเนชั่นช่วยเพิ่มการยึดติด เพราะจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ยูรีเทน (urethane group) กับ chlorinated species บนผิวหน้ายาง ผลที่ตามมา คือทำให้พันธะพอลิยูรีเทน (polyurethane chain) แพร่กระจายช่วยเพิ่มการยึดติดได้ ซึ่งผลการทดลองข้างต้น

สอดคล้องกับของนักวิจัยหลายท่าน เช่น (Romero Sanchez et al., 2001) ที่ว่ากระบวนการคลอริเนชั่น บนผิวหน้ายางเอสบีอาร์ ส่งผลให้ค่า ความแข็งแรงของการยึดติด สูงขึ้นโดยค่า ความแข็งแรงของการยึดติด ของชิ้นงานที่ไม่ได้คลอริเนชั่นบนผิวหน้าเท่ากับ 0.5 กิโลนิวตัน/เมตร และค่าความแข็งแรงของการยึดติดของชิ้นงานที่ได้ทำคลอริเนชั่นเท่ากับ 12 กิโลนิวตัน/เมตร ซึ่งสูงขึ้นประมาณ 10 กิโลนิวตัน/เมตร และ (Cepeda-Jimenez et al., 2002) รายงานว่า ยาง SBS เมื่อทำคลอริเนชั่นมีค่าสูงขึ้นอย่างสม่ำเสมอตามความเข้มข้นที่ความเข้มข้นของ DCI คือที่ความเข้มข้น 3 % โดยน้ำหนัก ค่าความแข็งแรงของการยึดติดเพิ่มขึ้น 9 กิโลนิวตัน/เมตร (จาก 3 กิโลนิวตัน/เมตร เป็น 12 กิโลนิวตัน/เมตร)

แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ dongsung primer เป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 2 % โดยน้ำหนัก สำหรับการเตรียมพื้นผิวหน้ายาง อันเนื่องจากเป็นสารเคมีที่ใช้ทั่วไปตามท้องตลาด และประกอบกับสารเคมี TCI มีราคาแพง

4.4 น้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน

การศึกษาการเตรียมน้ำยางกราฟต์เมทิลเมทาคริเลทลงบนน้ำยางธรรมชาติ โดยใช้เทคนิคการเตรียมแบบอิมัลชัน โดยสังเคราะห์ที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 90/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 โดยผลการศึกษา การหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (%conversion) และ การหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์โคพอลิเมอไรซ์ (%grafting efficiency) กับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5 และ 90/10 %final conversion และ graft properties ที่เวลาการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 120 นาที ของอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ถูกวิเคราะห์และวิจารณ์ผลได้ดังต่อไปนี้

4.4.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (%conversion) กับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน ที่อัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 95/5 และ 90/10

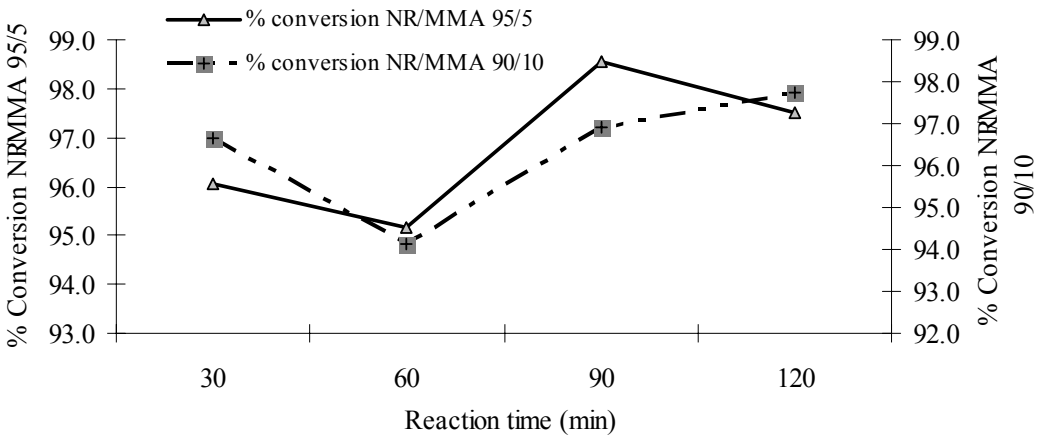
ผลของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของเมทิลเมทาคริเลทกับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของเมทิลเมทาคริเลทบนยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C โดยใช้เวลาในการสังเคราะห์ 120 นาที โดยอัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 95/5 และ 90/10 และเก็บตัวอย่าง ทุกๆ 30 นาที แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.10-4.11 และภาพประกอบ 4.15

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์กับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	น้ำหนักน้ำยางที่แบ่ง (กรัม)	ปริมาณน้ำยางแห้ง+MMA (กรัม)	น้ำหนักน้ำยางที่กราฟต์ MMAหลังอบ(กรัม)	% conversion
30	10.3326	4.8019	4.6120	96.05
60	9.0706	4.2154	4.0120	95.17
90	8.4050	3.9061	3.8501	98.57
120	8.9208	4.1458	4.0423	97.50

ตารางที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ กับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน ของอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 90/10

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	น้ำหนักน้ำยางที่แบ่ง (กรัม)	ปริมาณน้ำยางแห้ง+MMA (กรัม)	น้ำหนักน้ำยางที่กราฟต์ MMAหลังอบ(กรัม)	% conversion
30	8.9492	4.271	4.1285	96.66
60	8.1345	3.8822	3.6548	94.14
90	8.5738	4.0918	3.9652	96.91
120	9.7667	4.6611	4.5562	97.75



ภาพประกอบ 4.15 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ กับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน ของอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5 และ 90/10

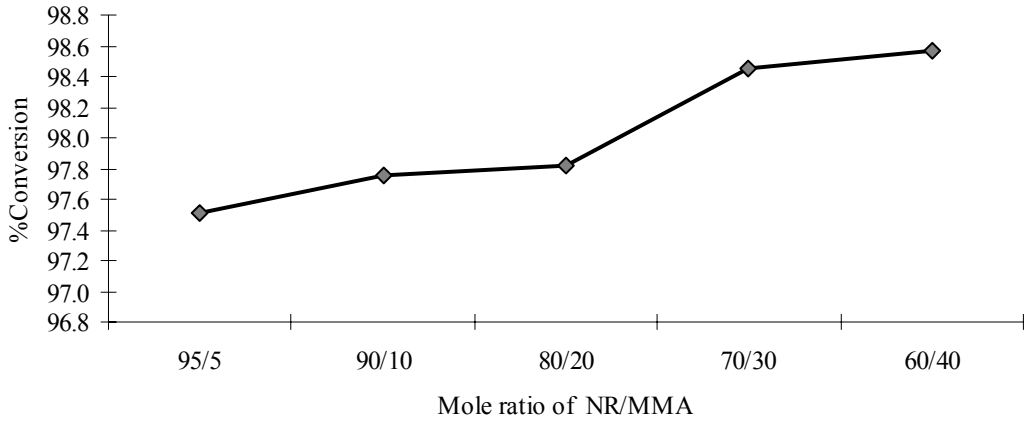
จากภาพประกอบ 4.15 แสดงให้เห็นว่าที่ตอนเริ่มต้นของปฏิกิริยาการกราฟต์ ค่าของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าค่าของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจะลดลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะตอนเริ่มต้นของปฏิกิริยามอนอเมอร์เพิ่งเริ่มป้อนเข้าไปในถังปฏิกรณ์ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในถังปฏิกรณ์มอนอเมอร์ถูกใช้เกือบหมดโดยปฏิกิริยาการกราฟต์ ดังนั้นจึงให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมีค่าสูงพอ แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของมอนอเมอร์ก็จะมีมากขึ้น ทั้งจากการป้อนมอนอเมอร์เข้ามาในถังปฏิกรณ์ และจากการที่มอนอเมอร์ในถังปฏิกรณ์เองทำปฏิกิริยาไม่หมดจึงมีปริมาณของมอนอเมอร์ที่เหลือสะสมอยู่ในถังปฏิกรณ์เพิ่มมากขึ้น และอาจจะมีปฏิกิริยาข้างเคียง (side reaction) อื่นๆ เกิดขึ้น เช่น ปฏิกิริยาการเคลื่อนย้าย (transfer reaction) จึงทำให้เปอร์เซนต์การเปลี่ยนลดลง แต่เมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่งมีปริมาณมอนอเมอร์ในถังปฏิกรณ์เพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้อัตราเร็วของพอลิเมอไรเซชันเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของมอนอเมอร์ที่เพิ่มมากขึ้นอีกครั้ง และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจะคงที่ เมื่อมีการป้อนมอนอเมอร์สิ้นสุดลง แสดงให้เห็นว่าการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันนั้นเกิดได้สมบูรณ์ตั้งแต่การป้อนมอนอเมอร์สิ้นสุดลง ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนกับเวลาที่พบในการศึกษานี้ ให้ผลสอดคล้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการเปลี่ยนกับเวลาจากปฏิกิริยาการกราฟต์เมทิลเมทาคริเลทบนน้ำยางธรรมชาติโดย (Nakason et al., 2000) และสอดคล้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการเปลี่ยนกับเวลาจากปฏิกิริยาการกราฟต์อะคริโลไนไตรล์บนน้ำยางธรรมชาติโดย (จรัญ, 2547)

4.4.2 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (% conversion) ที่อัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 โดยใช้เวลาสังเคราะห์ 120 นาที

ผลของ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ ของเมทิลเมทาคริเลทเมื่อใช้เวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของเมทิลเมทาคริเลทบนยางธรรมชาติ โดยใช้เวลาในการสังเคราะห์ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C โดยอัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.12 และภาพประกอบ 4.16

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ ของอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30, และ 60/40 ที่เวลาสังเคราะห์ 120 นาที

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	น้ำหนักน้ำยางที่แบ่ง (กรัม)	ปริมาณน้ำยางแห้ง+MMA (กรัม)	น้ำหนักน้ำยางที่กราฟต์ MMAหลังอบ(กรัม)	% conversion
95/5	8.9208	4.1458	4.0423	97.50
90/10	9.7667	4.6611	4.5562	97.75
80/20	7.9457	3.9887	3.9015	97.81
70/30	7.5600	3.9876	3.9261	98.46
60/40	7.0465	3.8954	3.8398	98.57



ภาพประกอบ 4.16 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ ของอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ใช้เวลาสังเคราะห์ 120 นาที

ภาพประกอบ 4.16 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์เพิ่มสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนโมล NR/MMA เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากเมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์ (ตัวเริ่มต้น) เพิ่มมากขึ้นโอกาสที่มอนอเมอร์จะอยู่ในรูปของอนุมูลเสรีก็มีมากขึ้น เพราะฉะนั้นเมื่ออนุมูลเสรีมีมากขึ้น เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ก็ย่อมสูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงาน วิจัยของ (Thiraphattaraphun et al., 2000) และ (Nakason et al., 2002)

4.4.3 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์โคพอลิเมอไรซ์ (%grafting efficiency) กับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5 และ 90/10

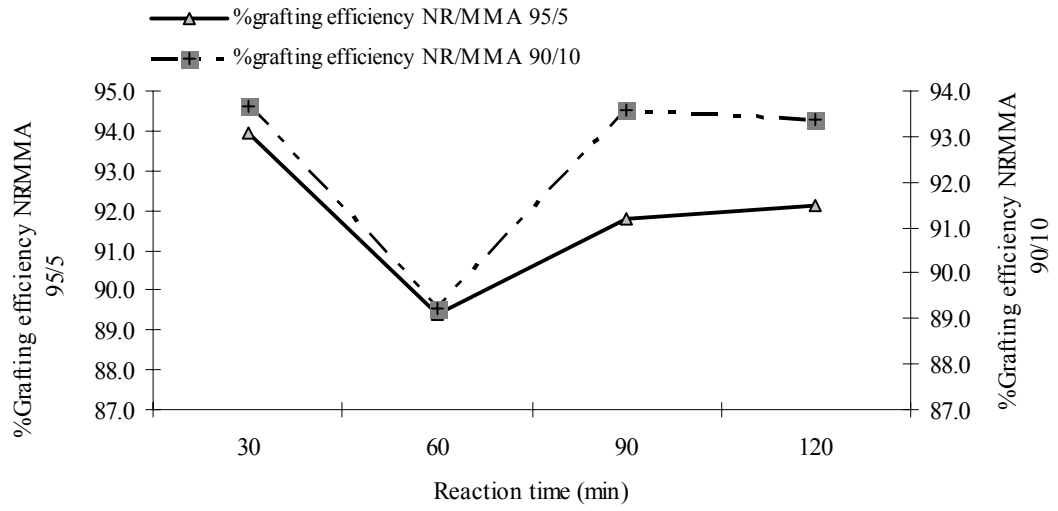
ผลของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์โคพอลิเมอไรซ์ ของเมทิลเมทาคริเลทกับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของเมทิลเมทาคริเลทบนยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C โดยใช้เวลาในการสังเคราะห์ 120 นาที โดยอัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 95/5 และ 90/10 และเก็บตัวอย่าง ทุกๆ 30 นาที แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.13-4.14 และภาพประกอบ 4.17

ตารางที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์โคพอลิเมอไรซ์ กับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	PMMA ที่ไม่กราฟต์ (%)	NR ที่ไม่กราฟต์ (%)	NR ที่กราฟต์ (%)	grafting efficiency (%)
30	3.15	3.02	96.98	93.93
60	3.08	7.76	92.24	89.40
90	3.29	5.11	94.89	91.77
120	3.14	4.86	95.14	92.15

ตารางที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์โคพอลิเมอไรซ์ กับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 90/10

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	PMMA ที่ไม่กราฟต์ (%)	NR ที่ไม่กราฟต์ (%)	NR ที่กราฟต์ (%)	grafting efficiency (%)
30	4.69	1.74	98.26	93.66
60	3.08	7.95	92.05	89.22
90	3.2	3.31	96.69	93.59
120	3.31	3.42	96.58	93.39



ภาพประกอบ 4.17 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์โคพอลิเมอไรซ์ กับเวลาในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5 และ 90/10

จากภาพประกอบ 4.17 พบว่าประสิทธิภาพการกราฟต์โคพอลิเมอร์ของทั้งสองอัตราส่วนโมลของ NR/MMA มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่อัตราส่วนโมล 95/5 มีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 90/10 เล็กน้อย โดยในช่วงแรกของปฏิกิริยาค่าของประสิทธิภาพการกราฟต์มีค่าสูงสุดเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปประสิทธิภาพการกราฟต์จะลดลง จากนั้นจะเพิ่มขึ้นและคงที่ในที่สุดจากปรากฏการณ์นี้สรุปได้ว่า ในตอนเริ่มต้นของปฏิกิริยามอนอเมอร์ค่อยๆ เข้าไปทำปฏิกิริยาที่ผิวของอนุภาคยาง ซึ่งยังมีที่ว่างสำหรับการกราฟต์อยู่มาก ทำให้ประสิทธิภาพในการกราฟต์สูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปที่ว่างสำหรับการกราฟต์บริเวณผิวก็ลดลง มอนอเมอร์บางส่วนจึงถูกใช้ในการขยายตัวของพอลิเมอร์ที่กราฟต์บนผิวอนุภาคยางเท่านั้น ทำให้มีมอนอเมอร์เหลือจากการทำปฏิกิริยาการกราฟต์อยู่มาก ซึ่งมอนอเมอร์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยาข้างเคียง อื่นๆ เช่น โฮโมพอลิเมอไรเซชัน เกิดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (homo polymer) หรืออาจเกิดปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายสายโซ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการอื่นๆ เกิดขึ้นปนอยู่ในกราฟต์โคพอลิเมอร์ ทำให้ได้ประสิทธิภาพการกราฟต์ลดลง แต่เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปจนมอนอเมอร์ถูกใช้จนเหลือน้อยลง ปฏิกิริยาก็จะดำเนินไปในทางการกราฟต์เพิ่มมากขึ้น โดยอาจมีมอนอเมอร์ที่เหลือเข้าไปทำปฏิกิริยาการกราฟต์มากขึ้นหรือเกิดปฏิกิริยาสิ้นสุด (termination reaction) ของอนุมูลเสรีของโฮโมพอลิเมอร์กับอนุมูลเสรีของพอลิเมอร์ที่ปนอยู่บนอนุภาคเม็ดยาง ทำให้ประสิทธิภาพการกราฟต์เพิ่มขึ้น และสุดท้ายเมื่อปฏิกิริยาไม่สามารถดำเนินต่อไปได้อีก เนื่องจากไม่มีมอนอเมอร์หรืออนุมูลเสรีอื่นทำปฏิกิริยาได้อีก จึงทำให้

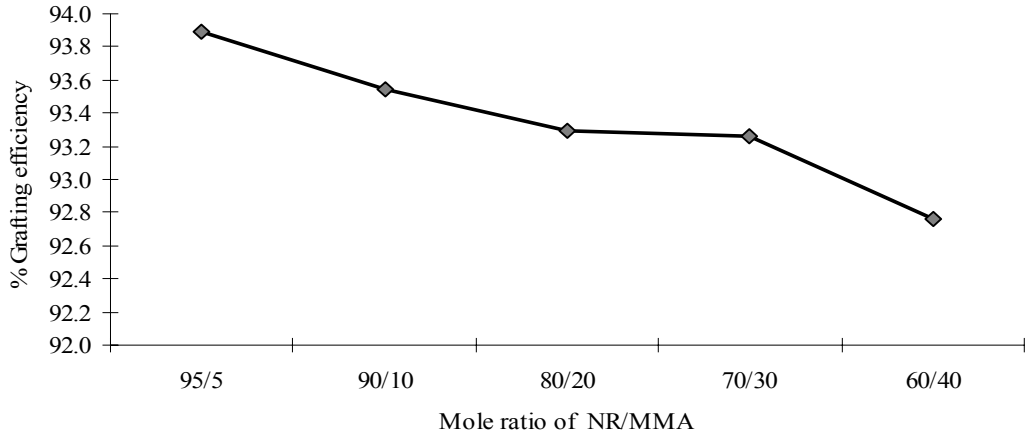
ประสิทธิภาพการกราฟต์คงที่ ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษากลไกปฏิกิริยาการกราฟต์ในการโพลิเมอไรเซชันแบบอีมัลชัน (โดย Xu et al., 1999)

4.4.4 Graft Properties ที่อัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 โดยใช้เวลาสังเคราะห์ 120 นาที

Graft Properties ของน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยการกราฟต์เมทิลเมทาคริเลทลงบนยางธรรมชาติ เมื่อใช้เวลาในการสังเคราะห์เท่ากับ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C โดยอัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.15 และภาพประกอบ 4.18, 4.19

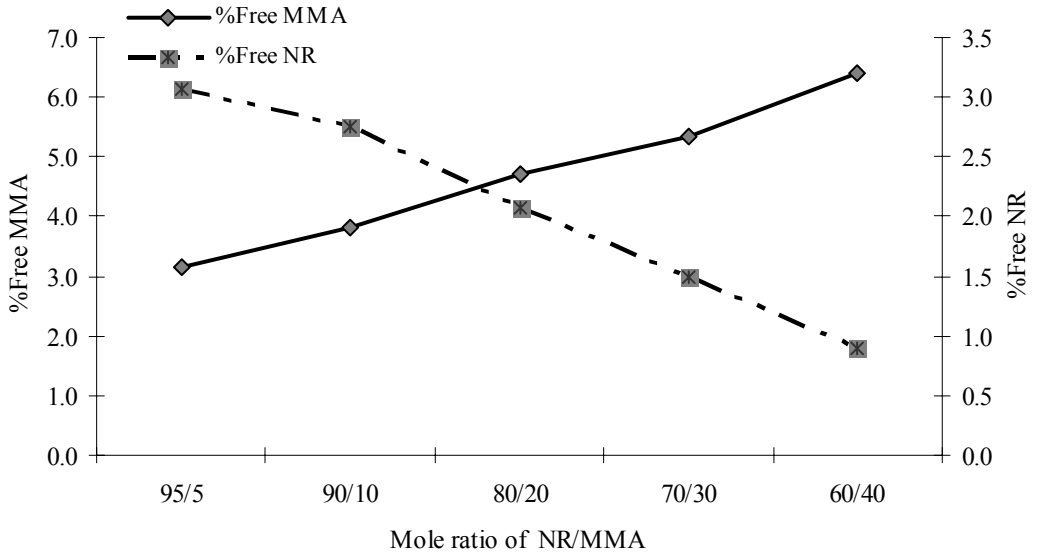
ตารางที่ 4.15 Graft Properties ของอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ซึ่งใช้เวลาสังเคราะห์ 120 นาที

อัตราส่วนโมล NR/MMA	PMMA ที่ไม่กราฟต์ (%)	NR ที่ไม่กราฟต์ (%)	NR ที่กราฟต์ (%)	grafting efficiency (%)
95/5	3.14	3.06	96.94	93.89
90/10	3.81	2.75	97.25	93.54
80/20	4.73	2.07	97.93	93.3
70/30	5.34	1.48	98.52	93.26
60/40	6.41	0.89	99.11	92.76



ภาพประกอบ 4.18 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์โคพอลิเมอไรซ์ อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ใช้ เวลาสังเคราะห์ 120 นาที

จากภาพประกอบ 4.18 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกราฟต์ลดลง ตามจำนวนโมล NR/MMA ที่เพิ่มขึ้น สำหรับการลดลงของประสิทธิภาพการกราฟต์นี้ อาจจะเป็นผลมาจากการที่ปฏิกิริยาข้างเคียง นั่นคือปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายปฏิกิริยาโฮโมพอลิเมอไรเซชัน มีโอกาสเกิดขึ้นได้มากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณอนุมูลเสรีของมอนอเมอร์มีปริมาณมาก และส่งผลให้อนุมูลเสรีมาทำปฏิกิริยากันปฏิกิริยาสิ้นสุดเร็วขึ้น (termination step) ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการกราฟต์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยหลายท่าน ได้แก่ (Thiraphattaraphun et al., 2000) พบว่าประสิทธิภาพการกราฟต์ลดลง เมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มมากขึ้น ในการกราฟต์ของเมทิลเมทาคริเลทบนยางธรรมชาติ (Kiatkamjornwong et al., 2002) พบว่าประสิทธิภาพการกราฟต์ลดลงเมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มมากขึ้นในการกราฟต์ของ poly[acrylamide-co-(maleic acid)] บนแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังมีรายงานของ (Nakason et al., 2002), (Chauhan et al., 2000), (Kumar et al., 2002), (Xu et al., 1999), (Aggour et al., 1999) และ (จรัญ, 2547) ที่รายงานถึงการลดลงของประสิทธิภาพการกราฟต์เมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์สูงขึ้น



ภาพประกอบ 4.19 %PMMA และNR ที่ไม่กราฟต์ ของอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ใช้เวลาสังเคราะห์ 120 นาที

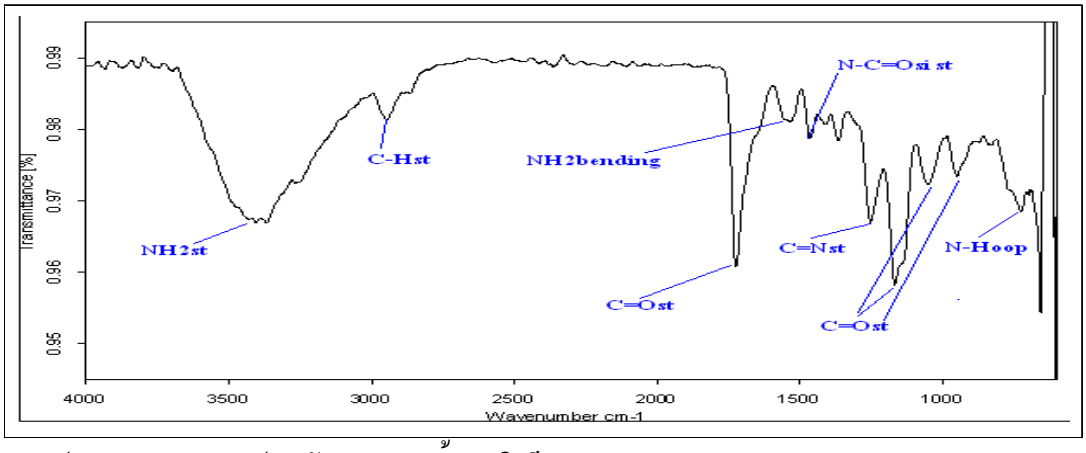
จากภาพประกอบ 4.19 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนโมล NR/MMA เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณ PMMA ที่ไม่ได้กราฟต์เพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากปริมาณมอนอเมอร์ที่เพิ่มมากขึ้นและเกินพอสำหรับปฏิกิริยา และในทำนองกลับกันปริมาณยางธรรมชาติที่ไม่ได้กราฟต์มีปริมาณที่ลดลง

อันเนื่องมาจากเมื่ออัตราส่วนโมล NR/MMA เพิ่มสูงขึ้นปริมาณยางธรรมชาติสัดส่วนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Nakason et al., 2002) และ (Thiraphattaraphun et al., 2000)

4.5 ผลวิเคราะห์สเปคตรัมด้วยเครื่อง FTIR

ผลการวิเคราะห์สเปคตรัม ด้วยเครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) ของกาวน้ำพอลิยูรีเทน backing หนังสังเคราะห์ สารเคมีสำหรับเตรียมผิวหน้ายาง ผิวหน้ายาง และวิเคราะห์การกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน แสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

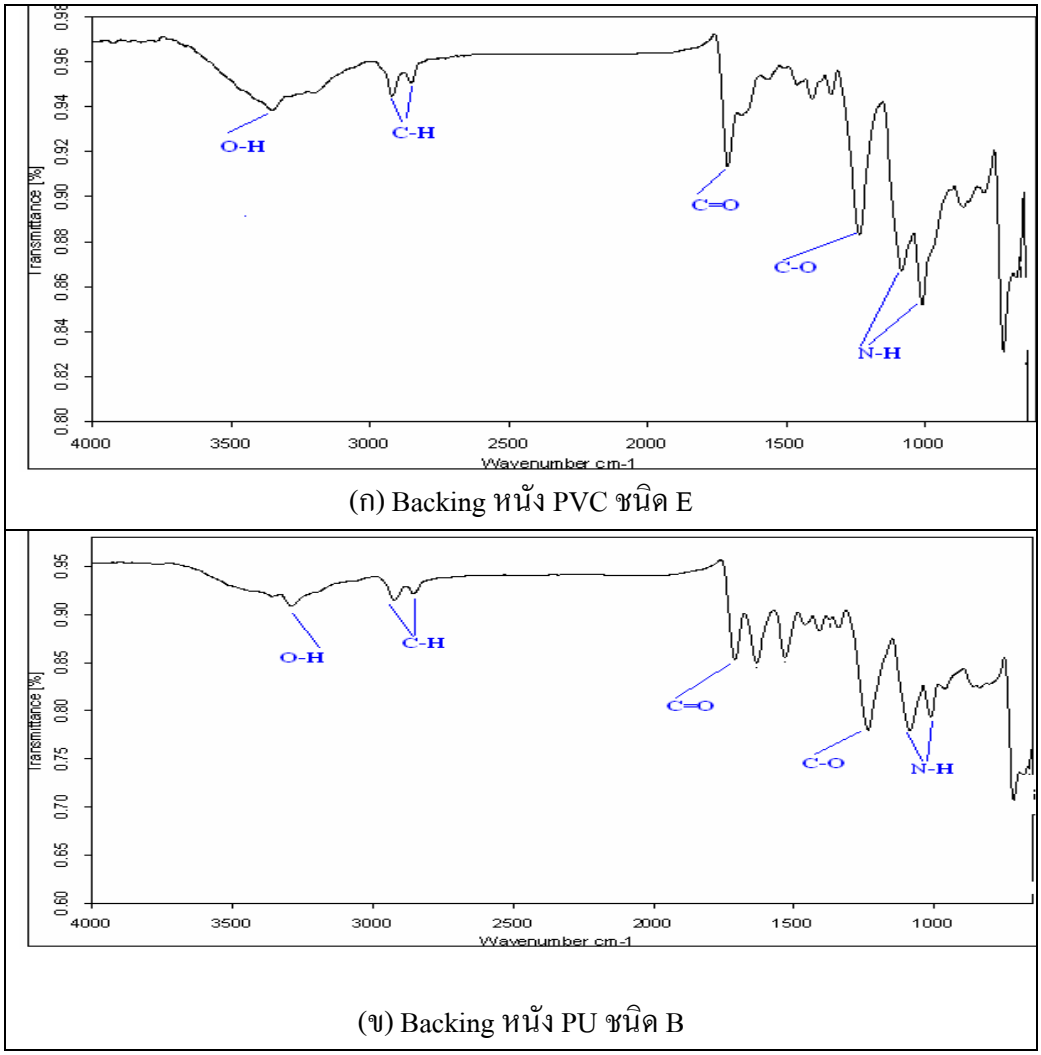
4.5.1 กาวน้ำพอลิยูรีเทน



ภาพประกอบ 4.20 สเปคตรัมของกาวน้ำพอลิยูรีเทน

จากภาพประกอบ 4.20 สเปคตรัมอินฟราเรด บ่งชี้ถึงหมู่ฟังก์ชันของกาวพอลิยูรีเทน โดยที่เลขคลื่น 3368 cm^{-1} แสดงถึง N-H_2 stretching ที่เลขคลื่น 2947 cm^{-1} แสดงถึง C-H stretching ที่เลขคลื่น 1722 cm^{-1} แสดงถึง C=O stretching ที่เลขคลื่น 1534 cm^{-1} แสดงถึง N-H_2 bending ที่เลขคลื่น 1463 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ N-C=O symmetric stretching ที่ตำแหน่งคลื่น 1251 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C=N stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1166 cm^{-1}, 1051 cm^{-1} และ 948 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C=O stretching และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 724 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ N-H out of plane deformation จากสเปคตรัมข้างต้นสามารถยืนยันได้ว่ากาวน้ำพอลิยูรีเทนสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นกาวที่เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ และพร้อมสำหรับนำไปใช้งาน

4.5.2 Backing หนังสังเคราะห์



(ก) Backing หนัง PVC ชนิด E

(ข) Backing หนัง PU ชนิด B

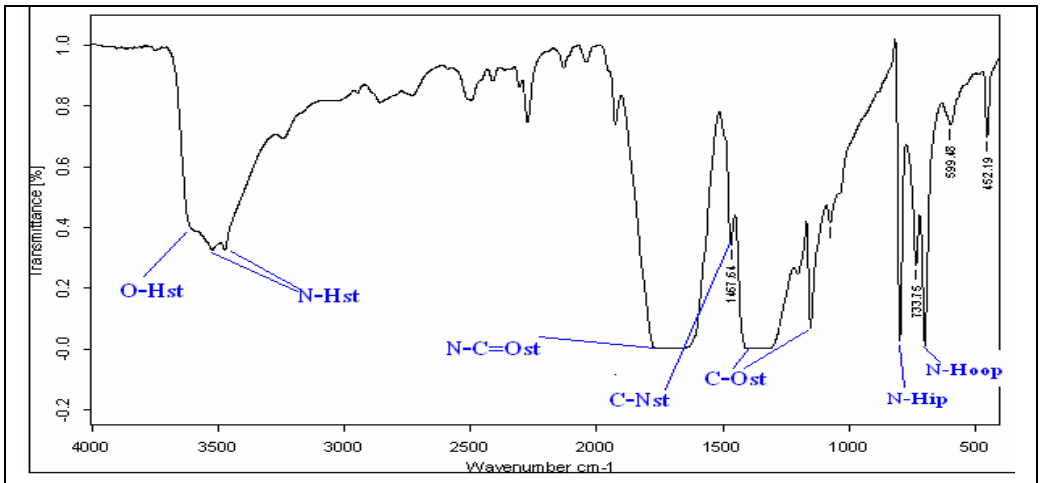
ภาพประกอบ 4.21 สเปคตรัมของ (ก) Backing หนัง PVC ชนิด E (ข) Backing หนัง PU ชนิด B

จากภาพประกอบ 4.21(ก) สเปคตรัมอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3354 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ O-H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2920 cm^{-1} และตำแหน่งเลขคลื่น 2853 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C-H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1710 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C=O ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1235 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C-O ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1082 cm^{-1} และตำแหน่งเลขคลื่น 1008 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ N-H

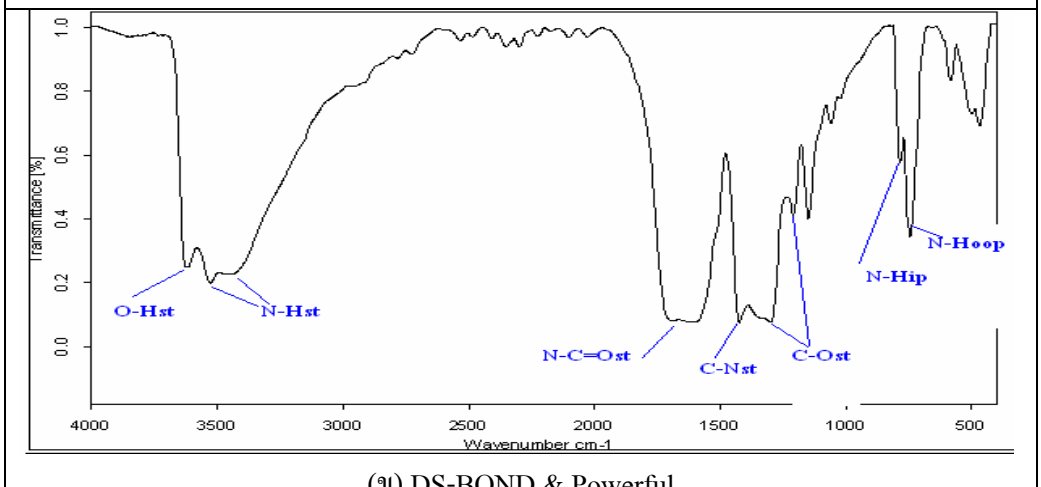
จากภาพประกอบ 4.21(ข) สเปคตรัมอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3359 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ O-H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2923 cm^{-1} และตำแหน่งเลขคลื่น 2855 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C-H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1709 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C=O ที่ตำแหน่งเลขคลื่น

1234 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C-O ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1086 cm^{-1} และตำแหน่งเลขคลื่น 1011 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ N-H ซึ่งจากสเปคตรัมอินฟราเรด ของ backing หนัง PVC ชนิด E และ PU ชนิด B แสดงตำแหน่งเลขคลื่นที่แสดงถึงการมีพันธะที่ใกล้เคียงกันมาก

4.5.3 สารเคมีสำหรับเตรียมผิวหน้ายาง



(ก) trichloroisocyanuric acid (TCI)

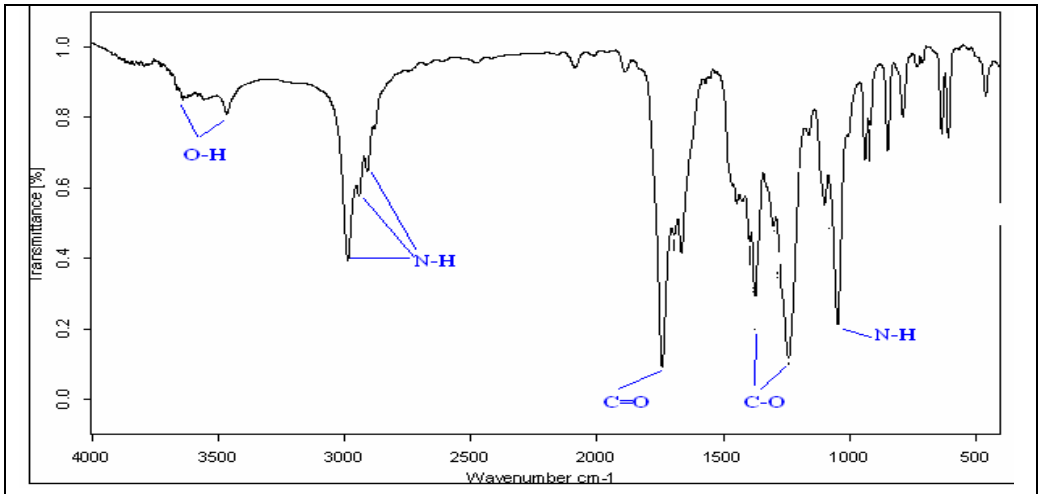


(ข) DS-BOND & Powerful

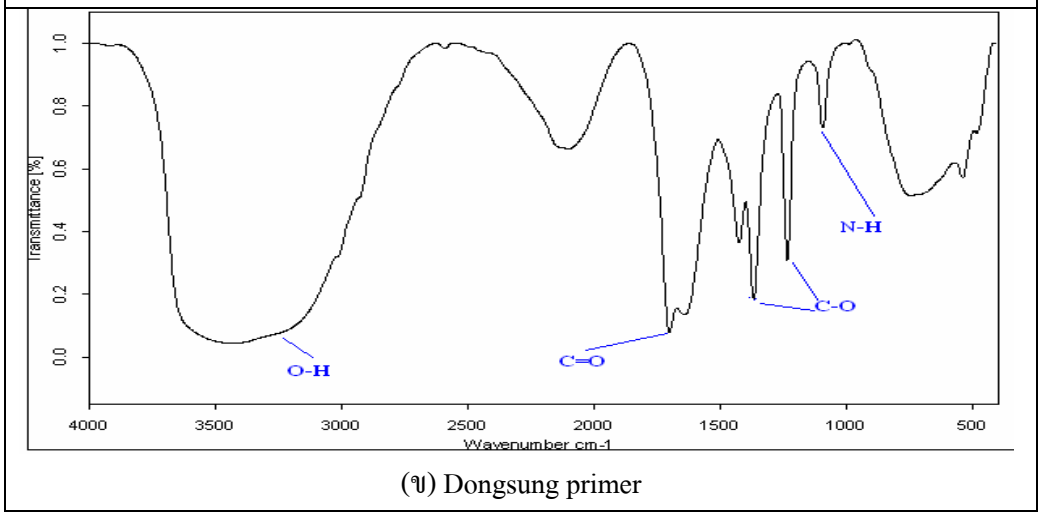
ภาพประกอบ 4.22 สเปคตรัมของ (ก) trichloro isocyanuric acid (TCI) (ข) DS-BOND & Powerful

จากภาพประกอบ 4.22(ก) และภาพประกอบ 4.22(ข) พบว่าสเปคตรัมอินฟราเรดของทั้งสองรูปมีลักษณะที่เหมือนกันคือ ที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~3619 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ O-H stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3521 cm^{-1} และ ~3447 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ N-H stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~1668 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ N-C=O stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่น~1373

cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C-N stretching ที่ตำแหน่งคลื่น ~ 1202 และ ~1151 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C-O stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~ 797 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ N-H in plane deformation และที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~ 698 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ N-H out of plane deformation



(ก) trichloro isocyanuric acid (TCI)/ ethyl acethate (EA)



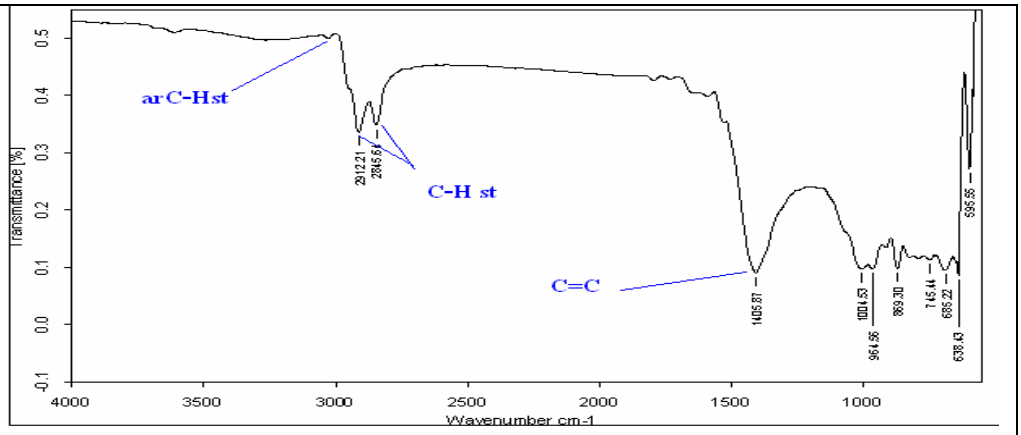
(ข) Dongsung primer

ภาพประกอบ 4.23 สเปคตรัมของ (ก) trichloroisocyanuric acid (TCI)/ethyl acethate (EA) (ข) dongsung primer

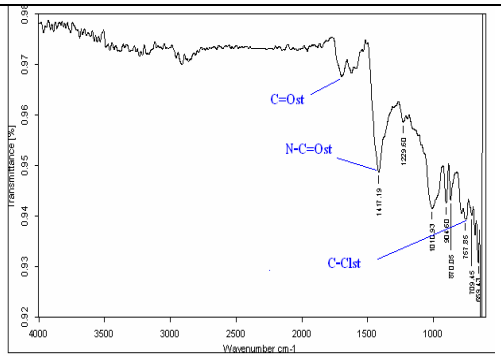
จากภาพประกอบ 4.23 จะเห็นได้ว่าสเปคตรัมอินฟราเรดจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน คือที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~ 1741 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C=O ที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~ 1373 cm^{-1} และ 1241 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C-O และที่ตำแหน่ง ~ 1046 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ N-H แต่

สำหรับ dongsung primer ภาพประกอบ 4.23 (ข) จะมีเลขคลื่นเด่นชัดในช่วง 2600-3900 cm^{-1} ที่แสดงถึงพันธะ O-H ส่วน trichloroisocyanuric acid (TCI)/ethyl acethate (EA) ภาพประกอบ 4.23 (ก) เลขคลื่นเด่นชัดในช่วง 2600-3900 cm^{-1} ที่แสดงถึงพันธะ -OH จะไม่เด่นชัด

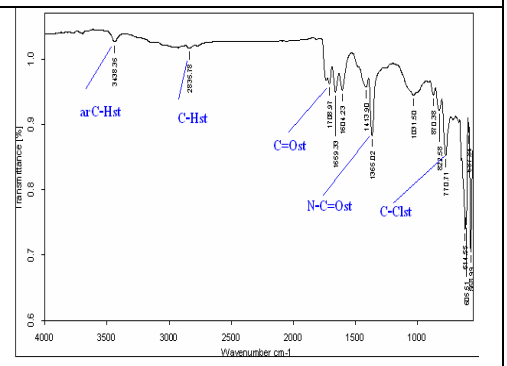
4.5.4 ผิวหน้ายาง



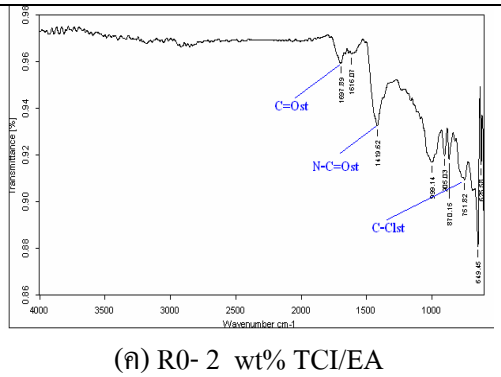
(ก) ยังไม่ได้ทา primer (R0)



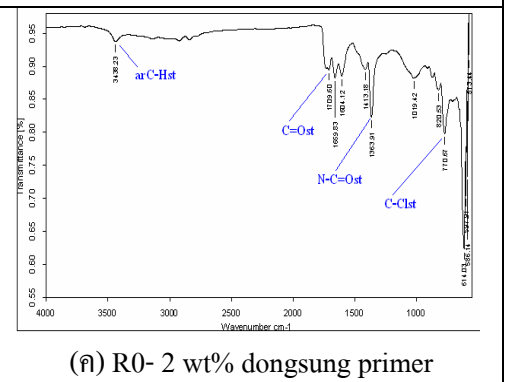
(ข) R0- 1 wt% TCI/EA



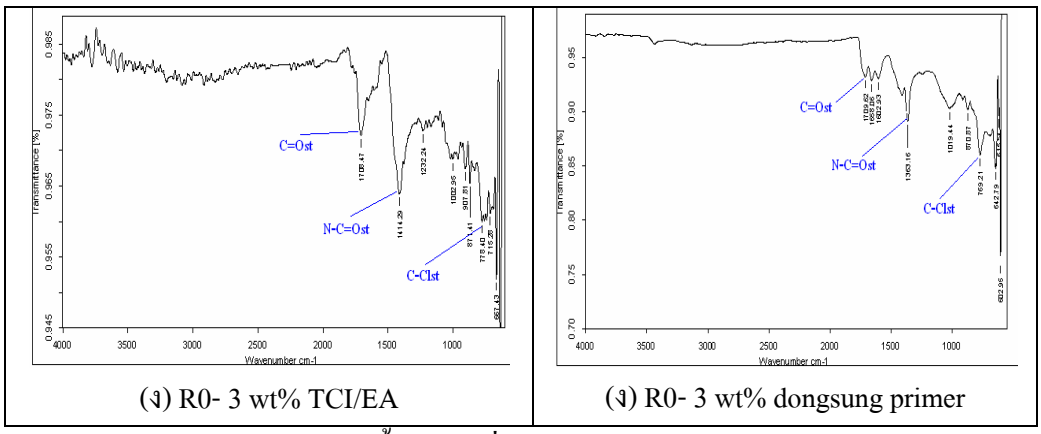
(ข) R0- 1 wt% dongsung primer



(ค) R0- 2 wt% TCI/EA



(ค) R0- 2 wt% dongsung primer



(ง) R0- 3 wt% TCI/EA (ง) R0- 3 wt% dongsung primer

ภาพประกอบ 4.24 สเปคตรัมของพื้นผิวยางที่เตรียมผิวหน้ายางโดยใช้ TCI/EA และ dongsung primer (ก) ยังไม่ได้ทา primer (R0) (ข) R0- 1 wt% primer (ค) R0- 2 wt% primer (ง) R0- 3 wt% primer

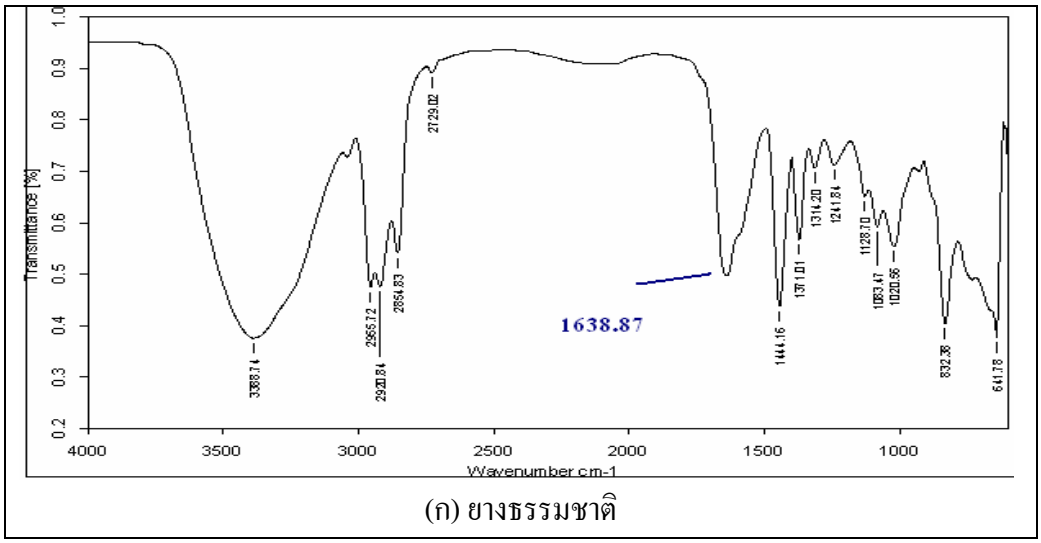
จากภาพประกอบ 4.24(ก) พบว่าสเปคตรัมอินฟราเรดของผิวหน้ายางยึดติดที่ยังไม่ได้เตรียมผิวหน้ายางด้วยตัวทำละลาย มียอดแหลม (Peak) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~ 3027 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการมีพันธะ arC-H stretching และที่ตำแหน่งคลื่น ~ 2912 และ ~2845 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C-H stretching และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1405 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C=C แต่หลังจากการเตรียมผิวหน้ายางด้วยตัวทำละลายทั้งสองชนิด (TCI/EA และ dongsung primer) พบว่า บนผิวหน้ายางยึดติดมีปฏิกิริยาคลอริเนชั่นเกิดขึ้น โดยเกิดการเติมอะตอมคลอรีนหรือหมู่ของอะตอมคลอรีนเข้าไปที่ตำแหน่งพันธะไม่อิ่มตัว (พันธะคู่) ระหว่างอะตอมคาร์บอนกับคาร์บอน (adition to carbon-carbon doublebond) สเปคตรัมอินฟราเรดบนผิวหน้ายางยึดติดแสดงได้ดัง ภาพประกอบ 4.24(ข), (ค) และ (ง) โดยภาพประกอบ 4.24 (ข) ใช้ความเข้มข้นของตัวทำละลายเท่ากับ 1 %โดยน้ำหนัก TCI/EA ที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~ 2912 และ ~ 2845 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C-H stretching จะไม่แสดงให้เห็น และที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~ 1405 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C=C ก็ไม่แสดงให้เห็นเช่นเดียวกัน ที่เป็นเช่นนี้อะตอมหรือหมู่ของคลอรีนจาก TCI เข้าไปเติมที่พันธะคู่ในโมเลกุลของยางธรรมชาติ และยางเอสบีอาร์ และได้สเปคตรัมอินฟราเรดเด่นชัดตรงเลขคลื่นอื่นแทน กล่าวคือที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~ 1700 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C=O stretching ตำแหน่งเลขคลื่น ~ 1417 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ N-C=O stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่น ~ 757 cm^{-1} แสดงถึงการมีพันธะ C-Cl stretching สำหรับภาพประกอบ 4.24 (ค) และ (ง) นั้นสเปคตรัมอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่างๆ แสดงให้เห็นถึงการมีพันธะได้เช่นเดียวกับคำอธิบายจากภาพประกอบ 4.24 (ข) ซึ่งความเป็นขั้วของยางจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณหมู่ C-Cl และ C=O ที่เกิดเพิ่มมากขึ้น หลังจากปฏิกิริยาคลอ

ริเนชั่น โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของนักวิจัยหลายท่านได้แก่ (Romero-Sanchez et al., 2001), (Cepeda-Jimenez et al., 2001) และ (Romero-Sanchez et al., 2003)

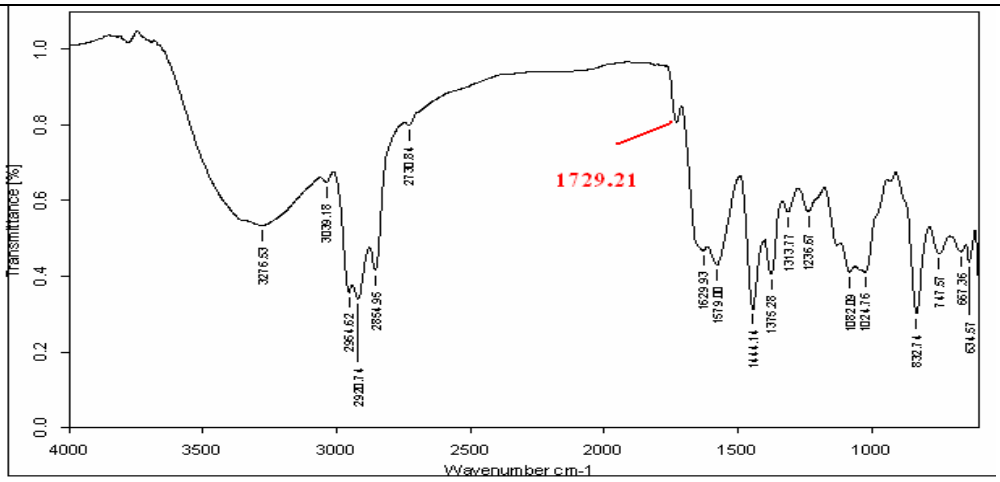
ซึ่งหากเปรียบเทียบความสามารถในการทำปฏิกิริยาคลอริเนชั่นของ TCI/EA และ dongsung primer บนผิวหน้ายางยึดติดแล้ว TCI/EA จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาคลอริเนชั่นได้สูงกว่า เนื่องจากตั้งแต่ความเข้มข้น 1 %โดยน้ำหนัก สเปคตรัมอินฟราเรดของ TCI/EA ไม่แสดงเลขคลื่นที่บ่งบอกว่ามี C-H stretching ในขณะที่ dongsung primer ต้องใช้ความเข้มข้น 3 % โดยน้ำหนัก สเปคตรัมอินฟราเรด จึงจะไม่แสดงเลขคลื่น ที่บ่งบอกว่า มี C-H stretching

4.5.5 การกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน

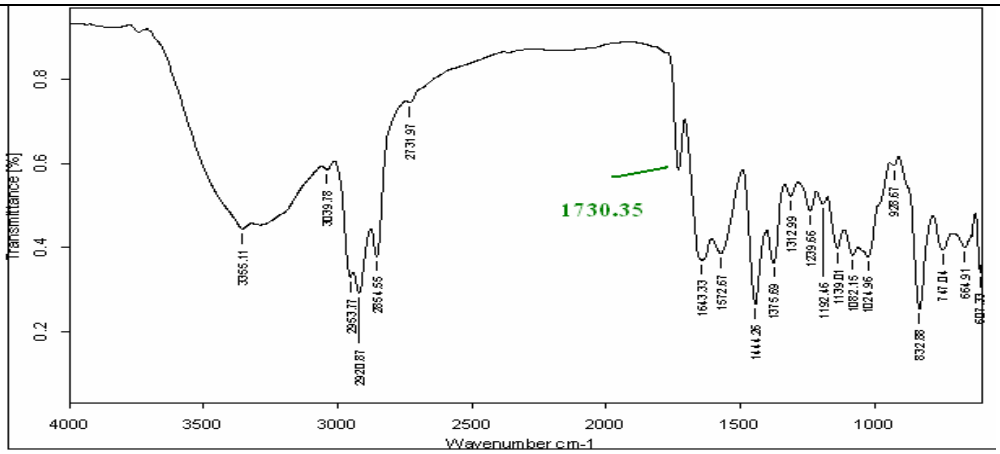
ผลการวิเคราะห์การกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของอัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ด้วยวิธีทางสเปคโตรสโคปี โดยเครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) แสดงได้ดังภาพประกอบ 4.25



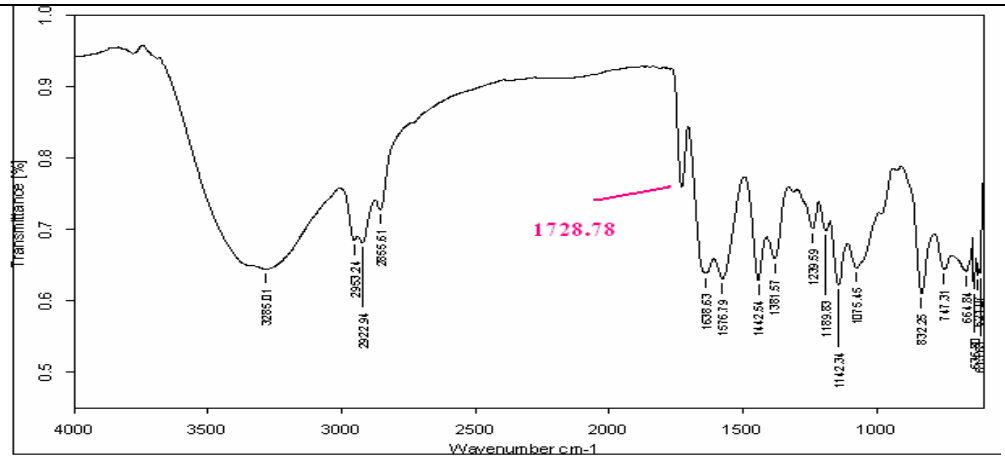
(ก) ยางธรรมชาติ



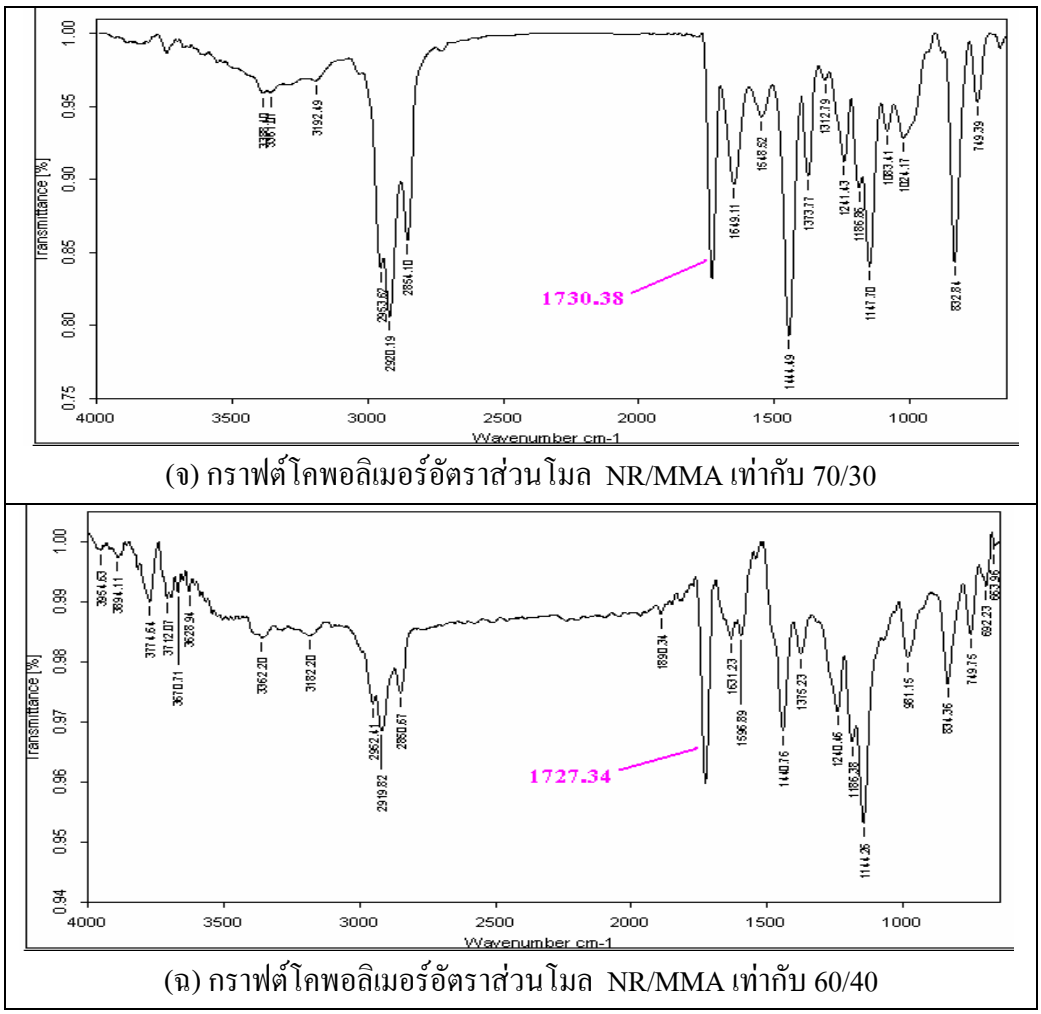
(ข) กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5



(ค) กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 90/10



(ง) กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 80/20



(จ) กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 70/30

(ฉ) กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 60/40

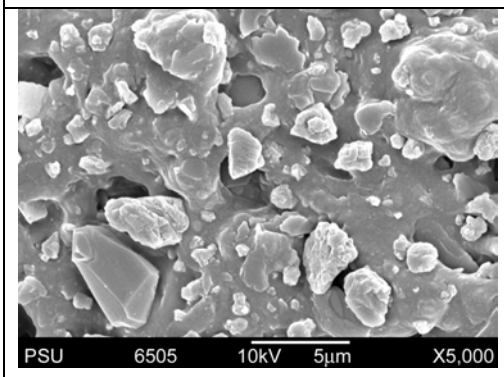
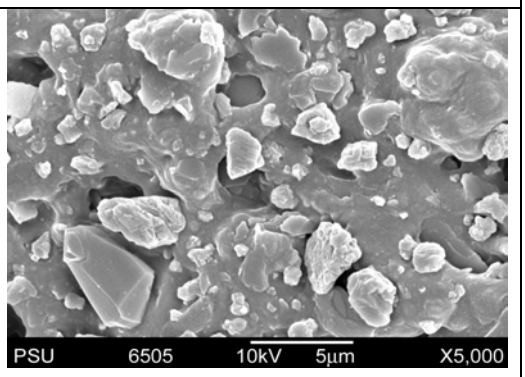
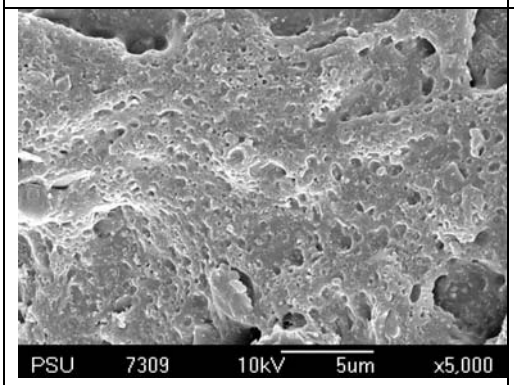
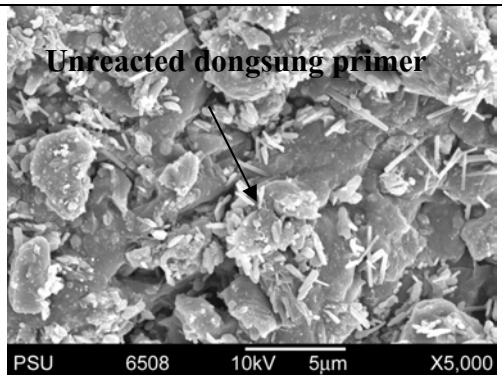
ภาพประกอบ 4.25 สเปคตรัมของ (ก) ยางธรรมชาติ (ข) กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5 (ค) กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 90/10 (ง) กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 80/20 (จ) กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 70/30 (ฉ) กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 60/40

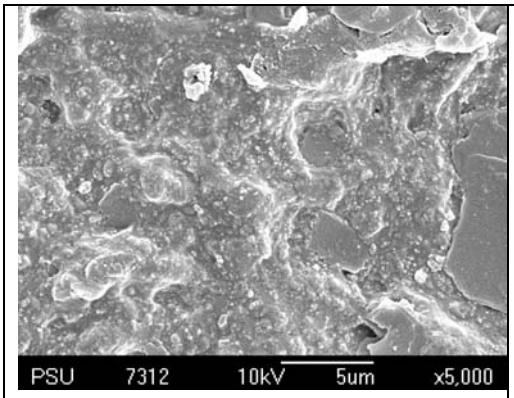
จากภาพประกอบ 4.25 พบว่าสเปคตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติ มียอดแหลม (peak) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1638 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการมีพันธะ C=C อย่างชัดเจน แต่สเปคตรัมอินฟราเรดของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10 , 80/20, 70/30 และ 60/40 มียอดปรากฏที่ตำแหน่งใหม่ คือที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1729 cm^{-1}, 1730 cm^{-1} , 1728 cm^{-1},1730 cm^{-1},1727cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงการมีหมู่ฟังก์ชัน –C=O ในโมเลกุลกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นการยืนยันได้ว่ามีโมเลกุลของ PMMA กราฟต์อยู่บนโมเลกุลของยางธรรมชาติ นอกจากนี้

ยังมีหลายรายงานที่กล่าวถึงการยืนยันการกราฟต์ของพอลิเมอร์ลงบนสายโซ่หลักของยางธรรมชาติ โดยใช้วิธี ทางสเปคโตรสโคปีโดยใช้ FTIR โดยนักวิจัยอีกหลายท่าน ได้แก่ (Nakason et al., 2002), (Oommen et al., 1996), (Chuayjuljit et al., 2004), (Filippi et al., 2004) และ(จรัญ, 2547)

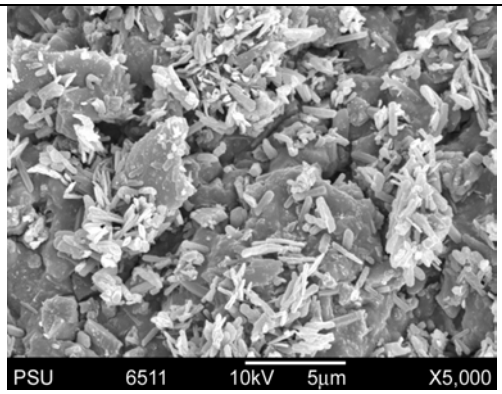
4.6 การวิเคราะห์ผิวหน้ายางด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพบนผิวหน้ายาง ด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy) แสดงได้ดังภาพประกอบ 4.2

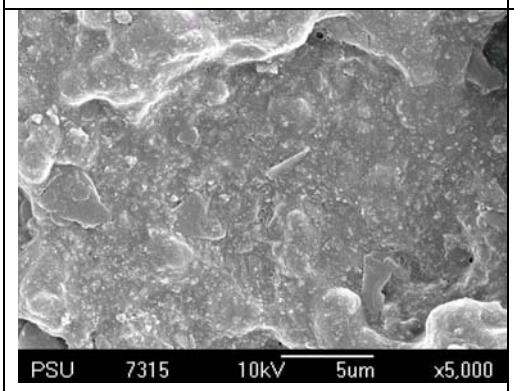
TCI/EA	dongsung primer
 R0	 R0
 R0-1 wt% TCI/EA	 R0-1 wt % dongsung primer



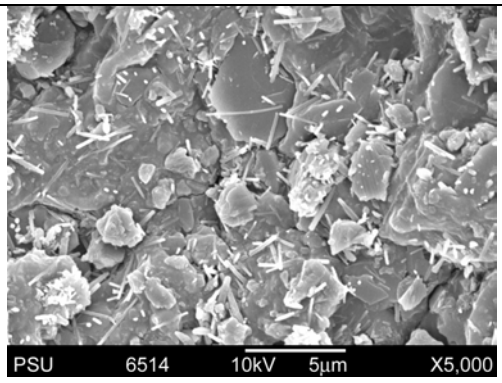
R0-2 wt% TCI/EA



R0-2 wt% dongsung primer



R0-3 wt% TCI/EA



R0-3 wt% dongsung primer

ภาพประกอบ 4.26 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพบนผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ที่ผ่านขัดผิวหน้าให้ขรุขระที่ทาด้วย TCI/EAและ dongsung primerที่ความเข้มข้น 1, 2, 3 %โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

จากภาพประกอบ 4.26 พบว่าพื้นผิวหน้าของยางยึดติดที่ทาด้วยตัวทำละลาย TCI/EA จะมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาคลอริเนชั่นบนผิวหน้ายาง ได้ดีกว่า dongsung primer ที่จัดจำหน่ายโดยบริษัท Dongsung NSC (Thailand) จำกัด อันเนื่องจากภาพถ่ายอิเล็กตรอนไมโครกราฟของผิวหน้ายางที่ใช้ตัวทำละลาย TCI/EA จะไม่มีผลึก TCI ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาตกค้างอยู่บนผิวหน้ายาง และผิวหน้ายางมีความเรียบมากกว่า ในขณะที่ภาพถ่ายอิเล็กตรอนไมโครกราฟของผิวหน้ายางที่ใช้ dongsung primer ทุกความเข้มข้น ยังคงแสดงความเป็นยาง เช่นเดียวกับภาพถ่ายอิเล็กตรอนไมโครกราฟของ R0 เปรียบเสมือนว่าที่พื้นผิวหน้ายางไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะแต่เหมือนกับว่าสารเคมีอยู่บนผิวหน้ายึดติดเพียงอย่างเดียว เมื่อใช้ความเข้มข้นของ dongsung primer และตัวทำละลาย TCI/EA เท่ากัน ยางที่เตรียมพื้นผิวหน้ายางยึดติดด้วย TCI/EA จะให้ผลการยึดติดที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลค่าความแข็งแรงของการยึดติดแบบดึงลอก ในงานวิจัยนี้ ตาม

ภาพประกอบ 4.11-4.14 โดยมีงานวิจัยหลายฉบับได้ใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อดูลักษณะผิวหน้ายาง หลังจากทำปฏิกิริยาฮาโลจิเนชั่น ก่อนนำยางนั้นไปทดสอบการยึดติด ด้วยกาวพอลิยูรีเทน เช่น (Romero-Sanchez et al., 2002) ใช้เครื่อง SEM วิเคราะห์ผิวหน้ายางยึดติดที่ใช้ TCI/MEK และ TCI/EA เป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 2 %โดยน้ำหนัก (Romero-Sanchez et al., 2001) ใช้เครื่อง SEM วิเคราะห์ผิวหน้ายางที่ใช้ TCI/EA, TCI/PA, TCI/BA เป็นตัวทำละลาย และ (Romero-Sanchez et al., 2000) ใช้เครื่อง SEM วิเคราะห์ผิวหน้ายางที่ใช้ TCI/butanone เป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 0.5 %โดยน้ำหนัก เป็นต้น

4.7 ค่าความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางธรรมชาติ

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวระหว่างยางกับหนัง PVC ชนิด E โดยใช้ dongsung primer เป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2 %โดยน้ำหนัก สำหรับเตรียมพื้นผิวหน้ายาง และใช้ความดันในการประกบชิ้นงานเท่ากับ 2.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 2.5 นาที โดยมีวิธีการเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D1876-72 และใช้สภาวะการเตรียมชิ้นทดสอบตามหัวข้อ 3.3.5.2.3 (สูตรกาวน้ำยางธรรมชาติ) โดยผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางธรรมชาติทั้ง 6 สูตร (ตารางที่ 3.7) แสดงได้ดังต่อไปนี้

4.7.1 กาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 7

กาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 7 ประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติ, 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion sulphur, 50% ZDEC ในปริมาณ 100, 1, 3, 1 และ 1 ส่วนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำกาวสูตร 1 ไปทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางกับหนังสังเคราะห์ PVC ชนิด E ให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดเท่ากับ 1.12 ± 0.4 ปอนด์/นิ้ว

4.7.2 กาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 8

กาวน้ำยางสูตร 8 ประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติ , 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion sulphur, 50% ZDEC ในปริมาณ 100, 1, 3, 1 และ 1 ส่วนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ เช่นเดียวกับกาวสูตร 1 แต่กาวสูตร 2 จะประกอบด้วย 15% CMC (methyl cellulose) ปริมาณ 1 ส่วน และแปรปริมาณ 50% phenolic resin tackifier 10-50 ส่วนโดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ความแข็งแรงของการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติ สูตร 8

จำนวนส่วนโดยน้ำหนักของ 50 % phenolic resin tackifier	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)
10	1.23±0.54
20	2.03±0.65
30	1.50±0.32
40	1.89±0.20
50	1.19±0.12

4.7.3 กาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 9

กาวน้ำยางสูตร 9 ประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติ , 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion sulphur, 50% ZDEC และ 15% CMC (methyl cellulose) ในปริมาณ 100, 1, 3, 1 ,1 และ 1 ส่วนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ เช่นเดียวกับกาวสูตร 2 แต่กาวสูตร 3 จะแปรปริมาณ 50% coumarone indene resin tackifier 10-50 ส่วนโดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางธรรมชาติ สูตร 9

จำนวนส่วนโดยน้ำหนักของ 50 % coumarone indene resin tackifier	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)
10	1.30±0.12
20	1.50±0.56
30	1.45±0.40
40	1.89±0.23
50	1.59±0.25

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.16-4.17 พบว่าเมื่อปรับปรุงสมบัติกาวโดยการเติม resin tackifier ทั้ง phenolic resin tackifier (สูตร 8) และ coumarone indene resin (สูตร 3) ค่าความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางและหนัง PVC ชนิด E ไม่ได้มีค่าสูงขึ้น กล่าวคือค่าความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวสูตร 7-9 มีค่าใกล้เคียงกัน และยังพบอีกว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติดไม่ได้มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณ resin tackifier ที่เพิ่มสูงขึ้นทั้ง phenolic resin tackifier (สูตร 8) และ coumarone indene resin (สูตร 9)

4.7.4 กาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 10

กาวน้ำยางสูตร 10 ประกอบด้วยNR-g-MMA ที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 , 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion sulphur และ 50% ZDEC ในปริมาณ 100, 1, 3, 1 และ 1 ส่วนโดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางธรรมชาติ สูตร 10

อัตราส่วนโมล NR/MMA	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)
95/5	4.20±0.15
90/10	3.21±0.14
80/20	4.02±1.02
70/30	2.98±0.15
60/40	3.56±0.19

4.7.5 กาวน้ำยางธรรมชาติ สูตร 11

กาวน้ำยางสูตร 11 ประกอบด้วย NR-g-MMA ที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 , 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion sulphur , 50% ZDEC และ15% CMC (methyl cellulose) ในปริมาณ 100, 1, 3, 1, 1 และ 1 ส่วนโดยน้ำหนัก และแปรปริมาณ 50% phenolic resin tackifier 10-50 ส่วนโดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ความแข็งแรงของการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติ สูตร 11 โดยการใช้ NR-g-MMA ที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40

จำนวนส่วนโดยน้ำหนักของ 50 % phenolic resin tackifier	อัตราส่วนโมล NR/MMA				
	95/5	90/10	80/20	70/30	60/40
10	0.89±0.11	1.25±0.14	1.25±0.14	1.02±0.12	0.98±0.17
20	0.85±0.15	1.36±0.15	1.32±0.13	1.05±0.17	0.85±0.12
30	1.32±0.18	0.89±0.18	1.45±0.10	0.98±0.13	0.78±0.13
40	1.45±0.16	0.99±0.17	1.32±0.17	1.35±0.10	1.20±0.14
50	0.95±0.13	1.52±0.11	0.85±0.16	0.87±0.11	1.25±0.15

4.7.6 กาวน้ำยางธรรมชาติ สูตร 12

กาวน้ำยางสูตร 12 ประกอบด้วยNR-g-MMA ที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 , 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion sulphur , 50% ZDEC และ15% CMC (methyl cellulose) ในปริมาณ 100, 1, 3, 1, 1 และ 1 ส่วนโดยน้ำหนัก และแปรปริมาณ 50% coumarone indene resin tackifier 10-50 ส่วนโดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางธรรมชาติ สูตร 12 โดยการใช้ NR-g-MMA ที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40

จำนวนส่วนโดยน้ำหนักของ 50 % coumarone indene resin tackifier	อัตราส่วนโมล NR/MMA				
	95/5	90/10	80/20	70/30	60/40
10	1.23±0.10	1.23±0.15	1.02±0.12	1.23±0.13	0.95±0.11
20	1.25±0.15	1.58±0.18	0.98±0.11	0.98±0.15	0.85±0.12
30	1.65±0.19	0.98±0.10	1.65±0.12	0.99±0.14	1.09±0.14
40	1.50±0.10	1.45±0.13	1.8±0.19	1.25±0.16	1.21±0.15
50	0.98±0.14	1.65±0.12	1.32±0.17	1.31±0.14	0.85±0.16

จากตารางที่ 4.16-4.20 พบว่ากาวน้ำยางธรรมชาติทั้ง 6 สูตรข้างต้นเมื่อนำไปทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติด ระหว่างยางและหนัง PVC ชนิด E มีความแข็งแรงของการยึดติดต่ำทุกสูตร กล่าวคือ กาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 7-9 โดยใช้น้ำยางธรรมชาติที่ยังไม่ได้ดัดแปรโครงสร้างโดยการกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาคริเลทเป็นเนื้อกาว โดยกาวสูตรที่ 7 มีค่าความแข็งแรงของการยึดติด เท่ากับ 1.12 ปอนด์/นิ้ว โดยเมื่อปรับปรุงสูตรกาวเพื่อเพิ่มการยึดติดโดยการเติม 15 % CMC (methyl cellulose) 1 ส่วนโดยน้ำหนักและเติม 50 % phenolic resin tackifier โดยแปรปริมาณ 10-50 ส่วนโดยน้ำหนัก (กาวสูตรที่ 8) และเติม 50 % coumarone indene resin tackifier โดยแปรปริมาณ 10-50 ส่วนโดยน้ำหนัก (กาวสูตรที่ 9) ค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับหนัง PVC ชนิด E ของทั้งกาวสูตรที่ 9 และกาวสูตรที่ 10 ก็ไม่ได้สูงขึ้นจากเดิม ค่าความแข็งแรงต่อการยึดติดมีค่าต่ำกว่า 2 ปอนด์/นิ้ว

สำหรับกาวสูตรที่ 10-12 ใช้ NR-g-MMA เป็นเนื้อกาว พบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติดของกาวสูตรที่ 10 มีค่าอยู่ในช่วง 2.98-4.20 ปอนด์/นิ้ว โดยค่าความแข็งแรงของการยึดติดไม่ได้มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณ MMA ที่สูงขึ้น แต่กลับมีค่าที่ใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วนโมล โดยเมื่อเติม 50 % phenolic resin tackifier โดยแปรปริมาณ 10-50 ส่วนโดยน้ำหนัก (กาวสูตรที่ 11) และเติม 50 % coumarone indene resin tackifier โดยแปรปริมาณ 10-50 ส่วนโดยน้ำหนัก (กาวสูตรที่ 6) พบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติด ไม่ได้มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณ tackifier ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ 50 % phenolic resin tackifier และ 50 % coumarone indene resin tackifier ปริมาณ 10-50 ส่วนโดยน้ำหนัก ไม่ได้ช่วยให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดมีค่าสูงขึ้น นั่นแสดงให้เห็นว่ากาวน้ำยางธรรมชาติระบบการยึดติดไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ยึดติดระหว่างยางกับหนังสังเคราะห์ แต่หากนำกาวน้ำยางธรรมชาติมาผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทนในสัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้ลดต้นทุนของกาวพอลิยูรีเทนลงได้ โดยที่ค่าความแข็งแรงของการยึดติดยังเป็นที่ยอมรับในวงการอุตสาหกรรม

4.8 ค่าความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสม

ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมของกาวน้ำยางธรรมชาติ (ตารางที่ 3.8) ผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทนในอัตราส่วนกาวน้ำพอลิยูรีเทน/กาวน้ำยางธรรมชาติเท่ากับ 100/0, 70/30, 50/50, 30/70 และ 0/100 (ตารางที่ 3.9) ระหว่างยางกับหนัง PVC ชนิด E โดยใช้ dongsung primer เป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2 %โดยน้ำหนัก สำหรับเตรียมพื้นผิวหน้ายาง และใช้ความดันในการประกบชิ้นงานเท่ากับ 2.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 2.5 นาที โดยมีวิธีการเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D1876-72 และใช้สภาวะ

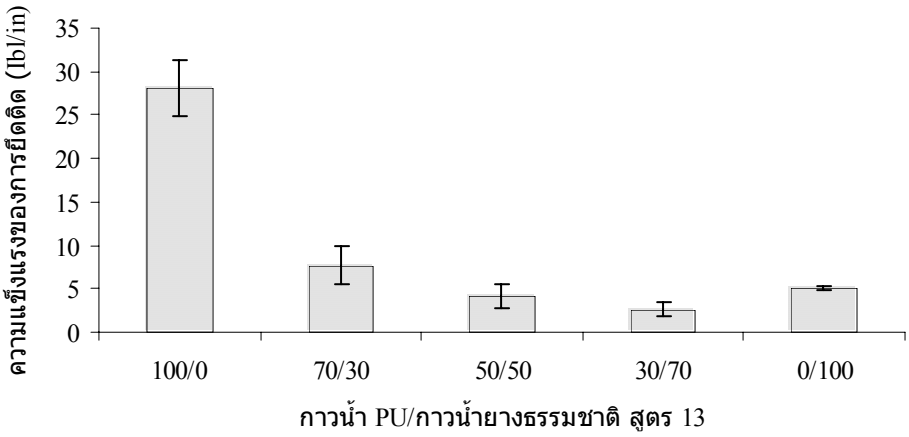
การเตรียมชิ้นทดสอบตามหัวข้อ 3.3.5.2.3 (สูตรกาวน้ำยางธรรมชาติ) โดยผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติด แสดงได้ดังต่อไปนี้

4.8.1 กาวน้ำยางผสมสูตร 13

กาวน้ำยางผสมสูตร 13 ประกอบด้วยกาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 13 (น้ำยางข้น 60 %DRC) ผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 และ 100/0 (ตารางที่ 3.9) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.21 และภาพประกอบ 4.27

ตารางที่ 4.21 ความแข็งแรงของการยึดติดของกาวน้ำยางผสม สูตร 13

กาวน้ำ PU/ กาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 13	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)
100/0	28.12±3.21
70/30	7.68 ±2.13
50/50	4.10±1.32
30/70	2.60±0.74
0/100	5.00±0.25



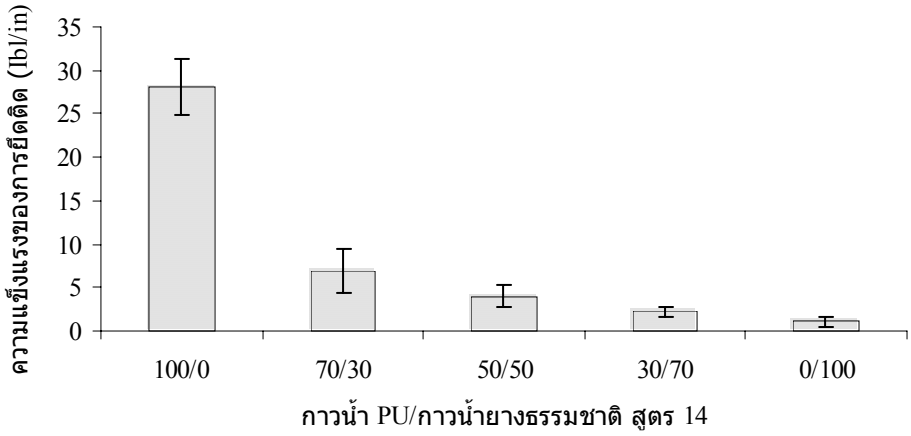
ภาพประกอบ 4.27 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสม สูตร 13

4.8.2 กาวน้ำยางผสม สูตร 14

กาวน้ำยางผสมสูตร 14 ประกอบด้วยกาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 14 ประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติ , 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion sulphur, 50% ZDEC ในปริมาณ 100, 1, 3, 1 และ 1 ส่วนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 3.8) ผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 และ 100/0 (ตารางที่ 3.9) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.22 และภาพประกอบ 4.28

ตารางที่ 4.22 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 14

กาวน้ำ PU/ กาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 14	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)
100/0	28.12 ±3.21
70/30	6.98±2.51
50/50	3.98±1.23
30/70	2.20±0.57
0/100	1.12±0.56



ภาพประกอบ 4.28 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 14

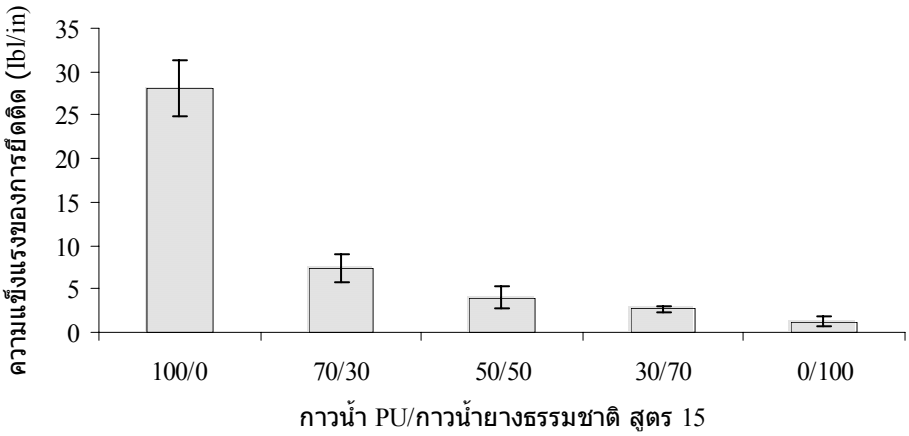
4.8.3 กาวน้ำยางผสม สูตร 15

กาวน้ำยางผสมสูตร 15 ประกอบด้วยกาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 15 ซึ่งประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติ, 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion Sulphur, 50% ZDEC, 15%

CMC (methyl cellulose) และ 50% phenolic resin tackifier ในปริมาณ 100, 1, 3, 1, 1, 1 และ 30 ส่วนโดยน้ำหนักตามลำดับ (ตารางที่ 3.8) ผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 และ 100/0 (ตารางที่ 3.9) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.23 และภาพประกอบ 4.29

ตารางที่ 4.23 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 15

กาวน้ำ PU/ กาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 15	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)
100/0	28.12 ±3.21
70/30	7.35±1.65
50/50	4.00±1.20
30/70	2.65±0.35
0/100	1.23±0.54



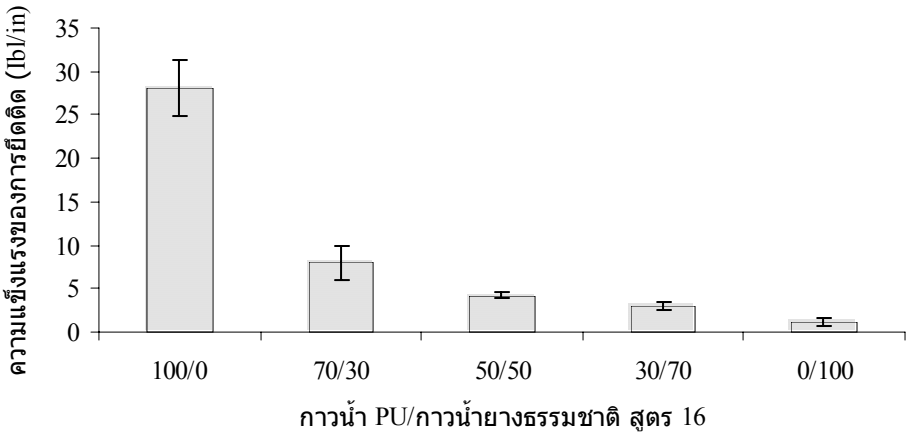
ภาพประกอบ 4.29 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 15

4.8.4 กาวน้ำยางผสม สูตร 16

กาวน้ำยางผสมสูตร 16 ประกอบด้วยกาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 16 ซึ่งประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติ, 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion sulphur, 50% ZDEC, 15% CMC (methyl cellulose) และ 50% coumarone indene resin tackifier ในปริมาณ 100, 1, 3, 1, 1, 1 และ 30 ส่วนโดยน้ำหนักตามลำดับ (ตารางที่ 3.8) ผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 และ 100/0 (ตารางที่ 3.9) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.24 และภาพประกอบ 4.30

ตารางที่ 4.24 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 16

กาวน้ำ PU/ กาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 16	ความแข็งแรงของการยึดติด (ปอนด์/นิ้ว)
100/0	28.12 ±3.21
70/30	8.00±2.01
50/50	4.25±0.35
30/70	3.00±0.52
0/100	1.09±0.50



ภาพประกอบ 4.30 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 16

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.21- 4.24 พบว่ากาวน้ำยางธรรมชาติโดยการใช้น้ำยางธรรมชาติที่ยังไม่ได้ดัดแปรโครงสร้าง โดยการกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาคริเลทผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทน ในสัดส่วนระหว่างกาวน้ำพอลิยูรีเทนกับกาวน้ำยางธรรมชาติสูตรที่ 13-16 เท่ากับ 100/0, 70/30, 50/50, 30/70 และ 0/100 พบว่าเมื่อนำกาวน้ำยางผสมสูตรที่ 13-16 ทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับหนัง PVC ชนิด E เช่นที่สัดส่วนการผสมโดยมีกาวน้ำพอลิยูรีเทนเท่ากับ 70 ส่วน ค่าความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตรที่ 13, 14, 15 และ 16 มีค่าลดลงจาก 28.12 ปอนด์/นิ้ว เป็น 7.68, 6.98, 7.35 และ 8.00 ปอนด์/นิ้ว ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำและเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงของการยึดติดของกาวทางการค้า (ตารางที่ 4.1) ค่ายังไม่เป็นที่ยอมรับในวงการอุตสาหกรรม สำหรับหนัง PVC ชนิด E ค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่ยอมรับได้ ต้องมีค่ามากกว่า 14.80 ปอนด์/นิ้ว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้ากันได้ระหว่างกาวน้ำยาง

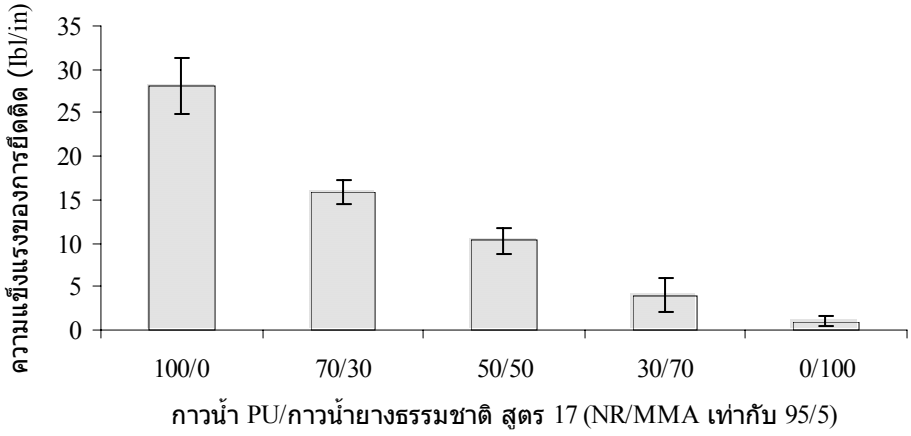
ธรรมชาติกับกาวน้ำพอลิยูรีเทนยังไม่ดีพอ เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นสารชนิดที่สภาพความเป็นขั้วต่ำแต่กาวน้ำพอลิยูรีเทนเป็นสารชนิดที่สภาพความเป็นขั้วสูง จึงได้มีความพยายามดัดแปรโมเลกุลยางธรรมชาติให้มีความเป็นขั้วมากขึ้นโดยการกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาคริเลท และนำน้ำยางดังกล่าวมาเตรียมกาวน้ำยางก่อนนำมาผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทน เพื่อความเข้ากันได้กับกาวน้ำพอลิยูรีเทนมากขึ้น ซึ่งแสดงผลการทดลองค่าความแข็งแรงของการยึดติด ในสูตรกาวผสมสูตรที่ 17-19

4.8.5 กาวน้ำยางผสม สูตร 17

กาวน้ำยางผสมสูตร 17 ประกอบด้วยกาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 17 (NR-g-MMA) ผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 และ 100/0 (ตารางที่ 3.9) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.25 และภาพประกอบ 4.31

ตารางที่ 4.25 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 17

กาวน้ำPU/ กาวน้ำยาง ธรรมชาติสูตร 17	อัตราส่วนโมลของ NR/MMA				
	95/5	90/10	80/20	70/30	60/40
100/0	28.12±3.21	28.12±3.21	28.12±3.21	28.12±3.21	28.12±3.21
70/30	15.91±1.32	17.23±3.00	16.04±1.45	17.00±2.54	17.36±1.23
50/50	10.27±1.54	11.12±1.32	9.55±1.65	11.20±1.20	11.05±0.25
30/70	4.00±2.00	4.14±1.20	4.17±0.60	4.05±0.25	3.94±0.21
0/100	0.98±0.52	1.37±0.25	1.94±0.54	1.21±0.36	1.09±0.32



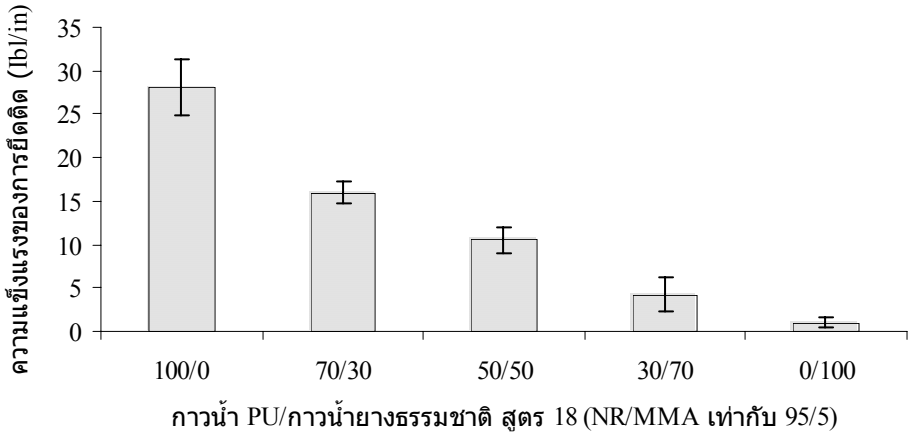
ภาพประกอบ 4.31 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 17

4.8.6 กาวน้ำยางผสม สูตร 18

กาวน้ำยางผสมสูตร 18 ประกอบด้วยกาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 18 ซึ่งประกอบด้วย NR-g-MMAที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/0 และ 60/40, 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion sulphur, 50% ZDEC, 15% CMC (methyl cellulose) และ 50% phenolic resin tackifier ในปริมาณ 100, 1, 3, 1, 1, 1 และ 30 ส่วนโดยน้ำหนักตามลำดับ (ตารางที่ 3.8) ผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 และ 100/0 (ตารางที่ 3.9) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.26 และภาพประกอบ 4.32

ตารางที่ 4.26 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 18

กาวน้ำPU/ กาวน้ำยางธรรมชาติ สูตร 18	อัตราส่วนโมลของ NR/MMA				
	95/5	90/10	80/20	70/30	60/40
100/0	28.12±3.21	28.12±3.21	28.12±3.21	28.12±3.21	28.12±3.21
70/30	16.00±1.32	17.50±1.52	16.10±2.54	17.25±2.74	17.46±3.11
50/50	10.50±1.54	11.00±2.31	8.98±1.20	11.35±3.25	11.05±1.32
30/70	4.21±2.00	4.15±0.74	4.20±0.50	4.02±1.45	3.59±0.54
0/100	0.98±0.52	1.37±0.25	1.94±0.47	1.21±0.65	1.09±0.23



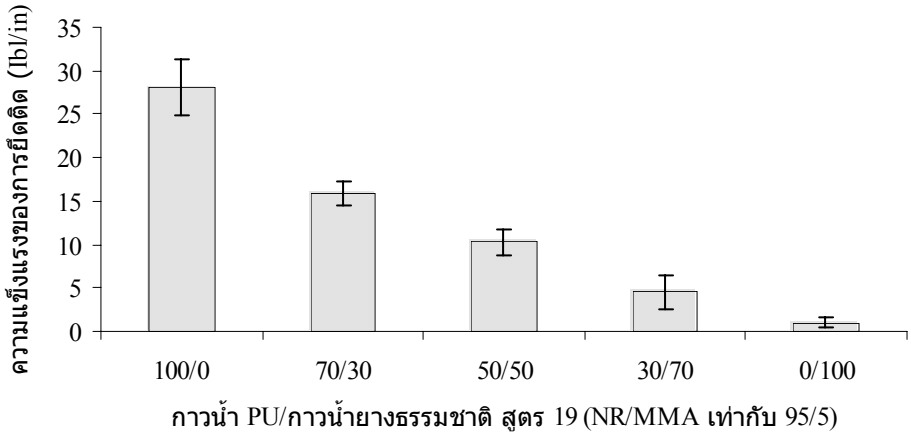
ภาพประกอบ 4.32 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 18

4.8.7 กาวน้ำยางผสม สูตร 19

กาวน้ำยางผสมสูตร 19 ประกอบด้วยกาวน้ำยางธรรมชาติสูตร 19 ซึ่งประกอบด้วย NR-g-MMA ที่อัตราส่วนโมล NR/MMA เท่ากับ 95/5, 90/10, 80/20, 70/0 และ 60/40, 5% KOH, 50% dispersion ZnO, 50% dispersion sulphur, 50% ZDEC, 15% CMC (methyl cellulose) และ 50% coumarone indene resin tackifier ในปริมาณ 100, 1, 3, 1, 1, 1 และ 30 ส่วนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 3.8) ผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 และ 100/0 (ตารางที่ 3.9) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.27 และภาพประกอบ 4.32

ตารางที่ 4.27 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 19

กาวน้ำPU/ กาวน้ำยางธรรมชาติ สูตร 19	อัตราส่วนโมลของ NR/MMA				
	95/5	90/10	80/20	70/30	60/40
100/0	28.12±±3.21	28.12±3.21	28.12±3.21	28.12±3.21	28.12±3.21
70/30	15.89±1.32	17.48±2.54	16.00±1.14	17.25±1.65	17.54±1.28
50/50	10.25±1.54	11.25±2.36	9.00±1.16	11.45±2.36	11.32±2.69
30/70	4.56±2.00	4.20±0.15	4.25±1.23	4.05±1.23	3.87±0.56
0/100	0.98±0.52	1.37±0.52	1.94±0.54	1.21±0.65	1.09±0.25



ภาพประกอบ 4.33 ความแข็งแรงของการยึดติด ของกาวน้ำยางผสมสูตร 19

ผลการทดลองดังตารางที่ 4.26-4.28 พบว่า กาวน้ำยางผสมที่ใช้ NR-g-MMA ผสมกับกาวน้ำพอลิยูรีเทน ให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดสูงกว่ากาวน้ำยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่ยังไม่ได้กราฟต์ด้วยเมทิลเมทาคริเลทกับกาวน้ำพอลิยูรีเทน กล่าวคือ กาวน้ำยางผสมสูตรที่ 17, 18 และ 19 เป็นกาวผสมที่ใช้ NR-g-MMA ค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับหนัง PVC ชนิด E ที่สัดส่วนการผสมโดยมีกาวน้ำพอลิยูรีเทนเท่ากับ 70 ส่วน ของกาวน้ำยางผสมสูตรที่ 5, 6, 7 โดยใช้น้ำยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยเมทิลเมทาคริเลทที่อัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 95/5 พบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติด มีค่าลดลงจาก 28.12 ปอนด์/นิ้ว เป็น 15.91, 16.00 และ 15.89 ปอนด์/นิ้ว ซึ่งที่อัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ค่าความแข็งแรงของการยึดติด มีค่าที่ใกล้เคียงกับอัตราส่วนโมลของ NR/MMA เท่ากับ 95/5 และยังเป็นค่าที่ยอมรับได้ในทางอุตสาหรรมสำหรับสัดส่วนการผสมโดยใช้กาวน้ำพอลิยูรีเทนเท่ากับ 70 ส่วน ที่เป็นเช่นนี้เพราะกาวที่ใช้น้ำยาง NR-g-MMA มีความเป็นขั้วเพิ่มมากขึ้น และมีความสามารถในการเข้ากันได้ดีกับกาวน้ำพอลิยูรีเทน แต่เมื่อเติมสารตัวเร่ง สารกระตุ้น สารวัลคาไนซ์ สารตัวเติม และแทคคิไฟเออร์เพื่อเพิ่มการยึดติดของกาวน้ำยางผสมสูตรที่ 18 และ 19 พบว่าไม่ได้ช่วยให้ ค่าความแข็งแรงของการยึดติดให้สูงขึ้น จากผลการทดลองข้างต้นกาวน้ำยางผสมระหว่างน้ำยาง NR-g-MMA กับกาวน้ำพอลิยูรีเทนในสัดส่วนที่ประกอบด้วยกาวน้ำพอลิยูรีเทนเท่ากับ 70 ส่วน สามารถขยายผลไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ เพราะสามารถลดต้นทุนกาวน้ำพอลิยูรีเทนลงได้ประมาณ 50 บาท/กก. (ภาคผนวก ก.5) โดยที่ค่าความแข็งแรงของการยึดติด ยังคงเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรม