

## บทที่ 4

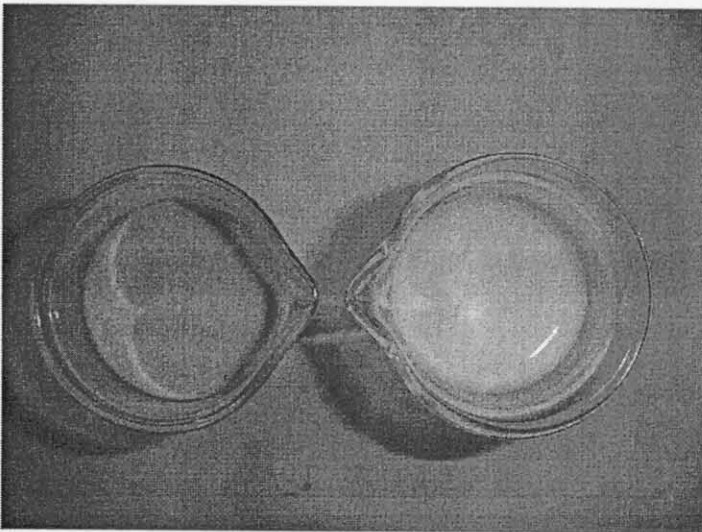
### ผลการทดลองและวิจารณ์

ส่วนที่ 1 การรายงานผลตามขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Coumarone resin และแป้งข้าวเหนียว  
เจลาตินไนซ์ เป็นส่วนผสมร่วมในกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์

#### 4.1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์

##### 4.1.1 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์

น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่เตรียมได้มีค่าความหนาแน่น และความหนืดเท่ากับ 0.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 9,750 cps ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่น และความหนืดของน้ำยางชั้นที่เท่ากับ 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 9,870 cps ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบสีของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์กับน้ำยางชั้น พบว่าน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีสี ขาวขุ่น แต่น้ำยางชั้นมีสีเหลืองอ่อน ไปทางน้ำตาลอ่อน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 30

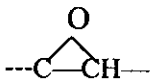


ภาพประกอบที่ 30 แสดงลักษณะน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยใช้  
กรดเปอร์ฟอร์มิก (ขวา) และลักษณะน้ำยางชั้น (ซ้าย)

#### 4.1.2 ผลของการวิเคราะห์ปริมาณหมู่ไฮดรอกซิล

จากการทดลองเตรียมตัวอย่างธรรมชาติไฮดรอกซิลจากปฏิกิริยาไฮดรอกซิเดชัน โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างน้ำยารวมธรรมชาติไฮดรอกซิลทุก 1 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลด้วยเทคนิคแมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ( $^1\text{H-NMR}$ ) และเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) พบตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของยารวมธรรมชาติไฮดรอกซิล ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของวัชรินทร์ สายน้ำใส [7] แสดงดังตารางที่ 11

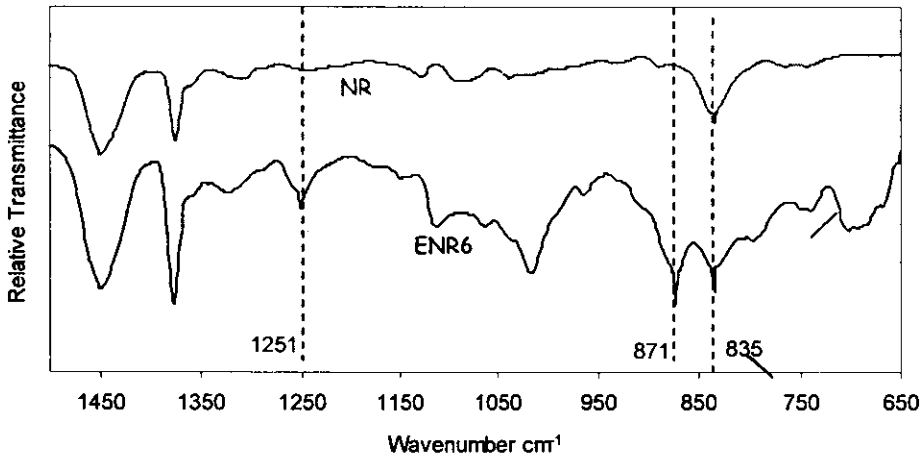
ตารางที่ 11 แสดงตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของยารวมธรรมชาติไฮดรอกซิล [7]

หมู่ฟังก์ชัน	FT-IR ( $\text{cm}^{-1}$ )	$^1\text{H-NMR}$ (ppm)
-CH <sub>3</sub>	2956, 1377	1.66
-CH <sub>2</sub> -	2925, 1446	2.06
-C=C-	1657	-
=CH( <i>cis</i> -1,4)	835	-
-C=CH-	-	5.01
	870, 1240	2.70
OH	3600-3200	-
Furan	1065	-
Ether	1800-1650	-

หลังจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) เพื่อหาสเปกตรัมอินฟราเรดของยารวมธรรมชาติไฮดรอกซิลแสดงดังภาพประกอบที่ 31 พบแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่นใหม่เพิ่มขึ้นมาจากสเปกตรัมอินฟราเรดของยารวมธรรมชาติ คือปรากฏที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $871 \text{ cm}^{-1}$  และ  $1251 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล แสดงว่ามีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่บนโครงสร้างของยารวมธรรมชาติ หลังการทำปฏิกิริยาไฮดรอกซิเดชัน นำสเปกตรัมอินฟราเรดของยารวมธรรมชาติไฮดรอกซิลที่ได้ไปคำนวณหาอัตราส่วนการดูดกลืนแสง (Absorbance ratio) ดังสมการที่ (3) ของแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $870 \text{ cm}^{-1}$  ต่อแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $835$

$\text{cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงการเกิด Out of plane bending ของพันธะ C-H ที่เกาะกับ C=C เพื่อคำนวณหาปริมาณ หมู่อีพอกไซด์

$$\text{Absorbance ratio} = \frac{a_{870}}{a_{870} + a_{835}} \quad (3)$$

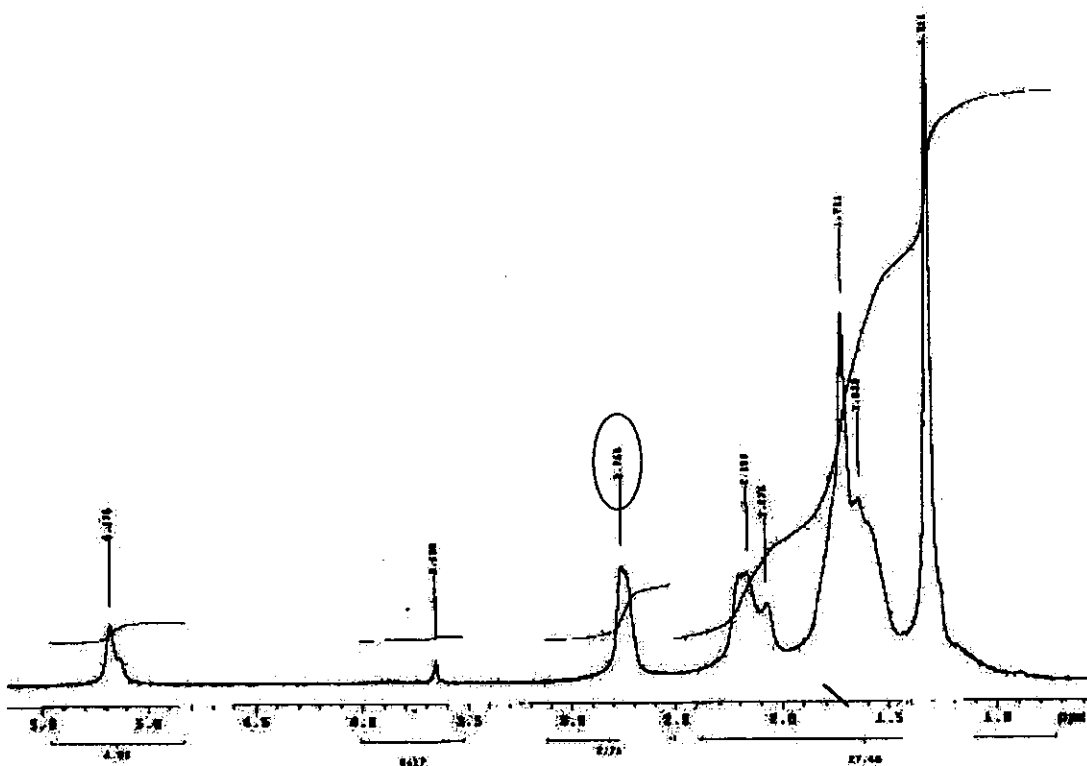


ภาพประกอบที่ 31 แสดงกราฟสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ที่ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ( $^1\text{H-NMR}$ ) พบว่า

$^1\text{H-NMR}$  spectrum ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในภาพประกอบที่ 32 ซึ่งแสดงโปรตอนที่เกี่ยวข้องอยู่กับคาร์บอนที่พันธะคู่ของยางธรรมชาติที่ประมาณ 5.14 ppm และโปรตอนที่เกี่ยวข้องอยู่กับคาร์บอนของ หมู่อีพอกไซด์ที่ประมาณ 2.70 ppm แสดงว่ามีหมู่อีพอกไซด์เกิดขึ้นบนโครงสร้างของยางธรรมชาติ สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอด โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2)

$$\% \text{ Mole epoxide} = \frac{A_{2.70}}{A_{2.70} + A_{5.14}} \times 100 \quad (2)$$

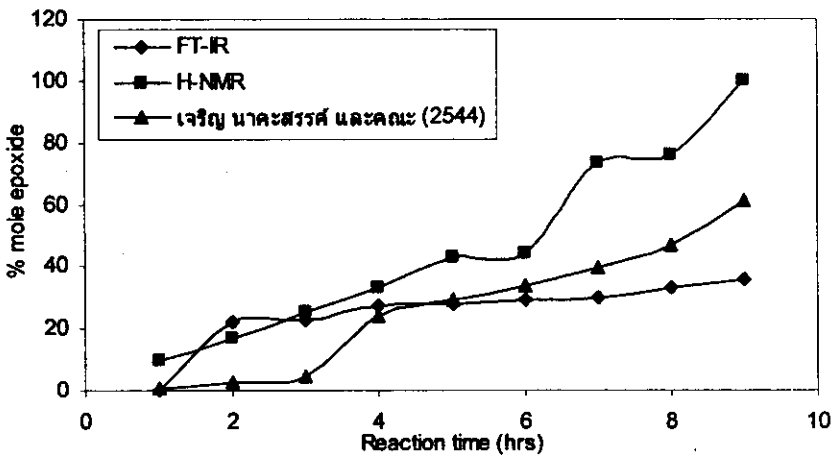


ภาพประกอบที่ 32 แสดง  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอดที่โปรตอนเกาะอยู่กับคาร์บอนที่เกิดพันธะคู่ที่ประมาณ 5.14 ppm ต่อพื้นที่ใต้จุดยอดของโปรตอนที่เกาะอยู่กับคาร์บอนของหมู่อีพอกไซด์ที่ประมาณ 2.70 ppm และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ได้สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แล้วนำไปคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืน (Absorbance ratio) ของแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $870\text{ cm}^{-1}$  ต่อแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $835\text{ cm}^{-1}$  เพื่อคำนวณปริมาณหมู่อีพอกไซด์โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน [11] ซึ่งผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 12 และในภาพประกอบที่ 33

ตารางที่ 12 อัตราส่วนการควบกลืนและปริมาณหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เวลาต่างๆ ในการทำปฏิกิริยาโดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$

เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	เทคนิค FT-IR		เทคนิค $^1\text{H-NMR}$
	Absorbance ratio	% Mole epoxide	% Mole epoxide
1	-	-	9.9
2	0.42	22	16.7
3	0.44	23	25.4
4	0.47	27	32.9
5	0.48	28	42.8
6	0.49	29	44.1
7	0.50	30	73.2
8	0.53	33	75.7
9	0.55	36	100



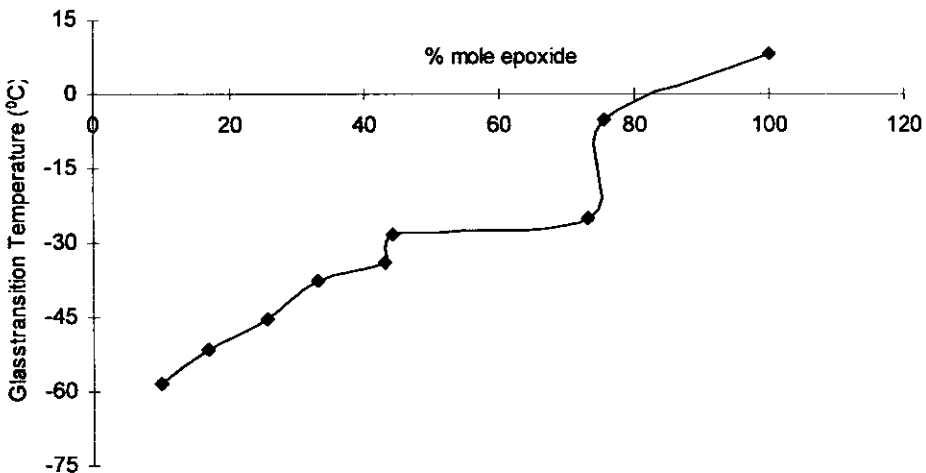
ภาพประกอบที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

จากภาพประกอบที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะทำให้เกิดหมู่อีพอกไซด์บนโมเลกุลยางธรรมชาติมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของเจริญ นาคะสรรค์ และคณะ, 2544 [10]

ด้วยเทคนิค FT-IR โดยพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน หมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลของยางธรรมชาติก็จะมีมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสที่กรดเปอร์ฟอร์มิกจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ที่ไม่อิ่มตัวบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ เพื่อเกิดเป็นหมู่อีพอกไซด์มีมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ยังมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์อยู่มาก ซึ่งหากดูจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ผลที่ได้ อาจมีความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากการคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืนจากความสูงของตำแหน่งเลขคลื่น (a ในสมการที่ 1) ซึ่งหากใช้ Base line ที่ต่างกันก็จะมีผลต่อการคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืนอย่างยิ่ง นอกจากนี้แล้วต้องนำอัตราส่วนที่ได้ไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐานทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งต่างจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอดได้โดยตรง ดังนั้นในการอ้างอิงเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ในงานวิจัยนี้ขออ้างอิงจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$

#### 4.1.3 ผลของการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน

การวิเคราะห์หาอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ได้ โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จากเครื่อง DSC คำนวณหา inflection point ซึ่งเป็นจุดที่แสดงถึงค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) ซึ่งผลที่ได้นำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วกับเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 34

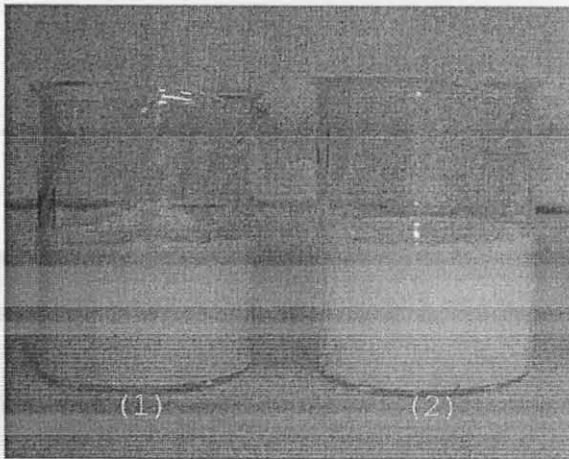


ภาพประกอบที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วกับเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

จากภาพประกอบที่ 34 พบว่าค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซค์ที่มีบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ โดยรายงานการวิจัยของ Baker และคณะ 1985 [12] พบว่าการเกิดหมู่อีพอกไซค์ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์โมลบนโมเลกุลของยางธรรมชาติจะทำให้ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นประมาณ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของเจริญ นาคะสรรค์ และคณะ 2544 [10] โดยยางธรรมชาติมีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -72 องศาเซลเซียส สาเหตุที่ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซค์อาจเนื่องจากหมู่อีพอกไซค์มีสภาพเป็นขั้วและสามารถเกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ ทำให้โมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซค์เกิดการเลื่อนไหลหรือเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลได้ยากขึ้นส่งผลให้ความอ่อนตัวของโมเลกุลลดลงด้วย ทำให้ค่า  $T_g$  มีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าค่า  $T_g$  สามารถบ่งบอกถึงสภาพความเป็นขั้วบนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ได้ ถ้า  $T_g$  มีค่าสูงแสดงว่ายางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ได้มีสภาพความเป็นขั้วสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ 44 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า  $T_g$  ประมาณ -30 องศาเซลเซียส

#### 4.2 การเตรียมสารเพิ่มการยึดติด

แป้งข้าวเหนียวเจลลาตินไนซ์ที่เตรียมได้มีสีขาวขุ่น ลักษณะเหนียวเหมือนแป้งเปียก ส่วนคิวมาโรน อินดิน เรซินในรูปอิมัลชันนั้นมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อมีลักษณะเป็นเหมือนครีมแต่เหนียวหนืดมาก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 35



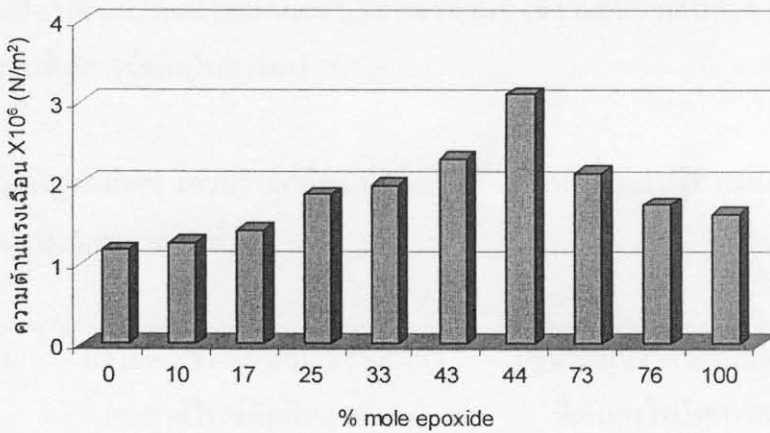
ภาพประกอบที่ 35 แสดงคิวมาโรน อินดิน เรซินในรูปอิมัลชัน (1) แป้งข้าวเหนียวเจลลาตินไนซ์ (2)

#### 4.3 การเตรียมและผลการวิเคราะห์กายภาพของวัสดุอีพอกซี

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกซีของยางธรรมชาติ-อีพอกซีที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมกายภาพของวัสดุอีพอกซี และการศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่มีผลต่อสมบัติของกายภาพของวัสดุอีพอกซี โดยใช้กายภาพของวัสดุอีพอกซีสูตรพื้นฐานตามสูตรอ้างอิงการผลิตกายภาพจากน้ำยาเพื่อใช้ในงานทั่วไปของ วรากรณ์ ขจรไชยกูล และวิภา เสวตกนิษฐ์ [18]

##### 4.3.1 การเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกซีของยางธรรมชาติอีพอกซีที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมกายภาพของวัสดุอีพอกซี

โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกซีของยางธรรมชาติอีพอกซีในการเตรียมกายภาพ และทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อของกาวด้วยเครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง (Universal testing machine) โดยการวัดค่าความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM D2339



ภาพประกอบที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกซีกับค่าความต้านแรงเฉือน

จากภาพประกอบที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกซี โดยพิจารณาจากผลการทดลองแปรเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซีเคชันเป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ชั่วโมงตามลำดับเพื่อให้ได้โมลเปอร์เซ็นต์อีพอกซี 10, 17, 25, 33, 43, 44, 73, 76 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับกับค่าความต้านแรงเฉือน ในพบว่าในช่วงแรกค่าความต้านแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกซีจนถึงจุดหนึ่งที่เปอร์เซ็นต์โมลอีพอกซีมีค่าเท่ากับ 44%



โมลีโอพอกไซด์ ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นความต้านแรงเฉือนจะมีค่าลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์โมลีโอพอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีเปอร์เซ็นต์โมลีโอพอกไซด์สูงมีความเป็นขี้มูกมากเกินไปแทนที่จะเกิดการคึงคูดระหว่างโมเลกุลของกาวกับไม้เท่านั้น แต่กลับเกิดการคึงคูดระหว่างโมเลกุลของกาวกันเองด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของกาวกับชิ้นไม้ลดลง

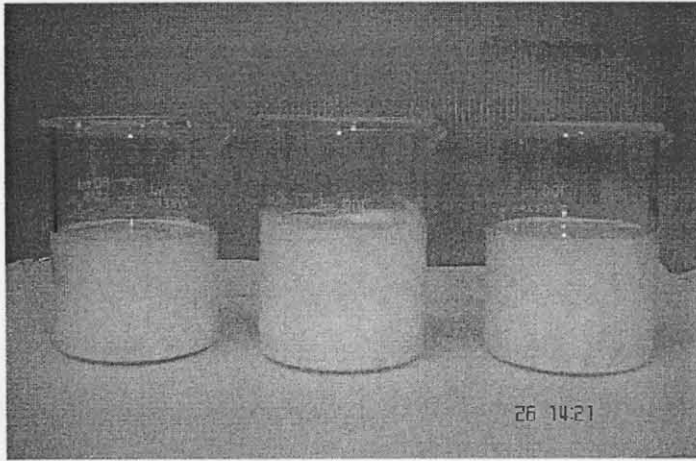
จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์โมลีโอพอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์คือ ประมาณ 44% โมลีโอพอกไซด์ เพราะที่ปริมาณโมลีโอพอกไซด์ที่สูงกว่านี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการออกสูตรกาวเนื่องจากเนื้อกาวที่ได้จะมีลักษณะเป็นก้อนเนื่องจากมีปริมาณโมลีโอพอกไซด์มากเกินไปจึงแสดงความเป็นขี้มูกมากเกินไปจึงทำให้มีการยึดเกาะกันเองได้ดี ซึ่งให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด และหลังจากนี้จะใช้ค่าว่ากาวยางแทนกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 44% โมลีโอพอกไซด์

#### 4.3.2 กาวยาง โดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์

โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ เพื่อเลือกเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติดในกาวยาง

ตารางที่ 13 กาวยางสูตรต่างๆ โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์

สูตรกาวยาง	ความเข้มข้นของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เตรียม % w/w	ปริมาณแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เติมลงไปในกาวยาง (กรัม)
a	5	50
b	10	40
c	10	50
d	10	60
e	15	50
f	15	60

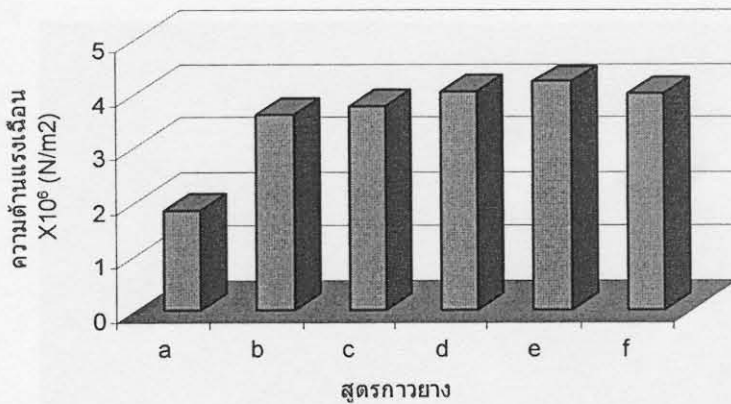


40 กรัม

50 กรัม

60 กรัม

ภาพประกอบที่ 37 แสดงกาวยางสูตรพื้นฐานที่ใช้ 10% โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ เป็นสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ



ภาพประกอบที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกาวยางสูตรต่างๆ กับค่าความต้านแรงเฉือน

ผลการทดสอบความต้านแรงเฉือนของกาวยางสูตรพื้นฐาน เมื่อปรับค่าเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ ได้ผลดังนี้ คือ

- กาวยางซึ่งผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ในปริมาณที่เท่ากัน คือ 50 กรัม

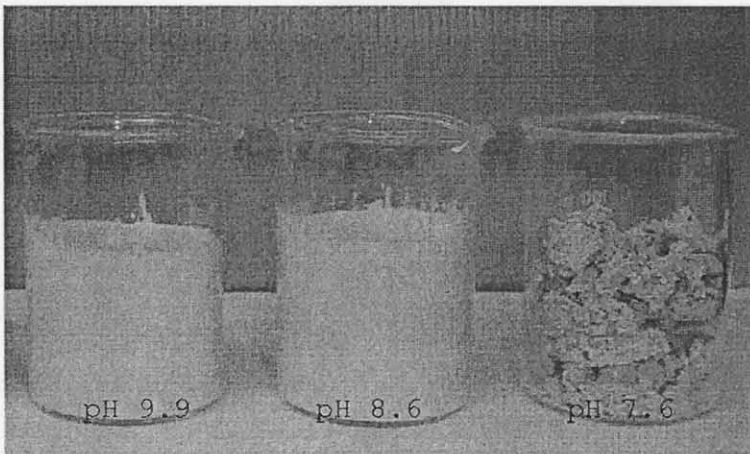
พบว่ากาว c ที่ใช้แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 15% โดยน้ำหนัก ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด

- กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก ความต้านแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่ใช้ แต่กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 15% โดยน้ำหนัก ความต้านแรงเฉือนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสาร

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าควรเลือกใช้แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก เนื่องจากความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงและเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใช้

#### 4.3.3 กาวยาง โดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก

จากงานวิจัยของสุรัชย์ สันติวงศ์สถิต (2543) พบว่าสารยึดติดที่นำมาใช้กับน้ำยางควรอยู่ในรูปอิมัลชัน และจำเป็นต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางและสารเพิ่มการยึดติดก่อนด้วย 10% โดยน้ำหนักของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากการผสมคิวมาโรนอิมัลชันกับยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกันมากอาจทำให้น้ำยางหนืด จับตัวเป็นก้อนและเสียสภาพได้ จึงทำการศึกษาโดยปรับเปลี่ยนความเป็นกรด-ด่างต่างกัน 3 ค่าคือ 7.6, 8.6 และ 9.9 ซึ่งค่าดังกล่าวได้มากจากการวัดน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เตรียมได้ ดังแสดงในตารางที่ 14 และทำการทดสอบความต้านแรงเฉือนเป็นคุณสมบัติหลัก ได้ผลดังนี้



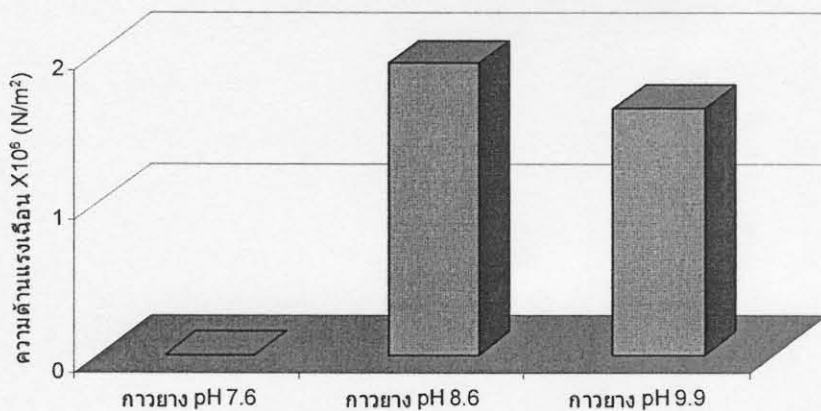
ภาพประกอบที่ 39 แสดงกาวยางที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr เป็นสารเพิ่มการยึดติด

จากภาพประกอบที่ 39 แสดงลักษณะของกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดชนิดคิวมาโรนอิมัลชัน และมีการแปรค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 7.6, 8.6 และ 9.9 พบว่ากาวยางที่มีความเป็นกรด-ด่าง 7.6 มีลักษณะเป็นก้อน อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่าง

ระหว่างน้ำยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.6 กับคิวมาโรนอิมัลชันเมื่อทำการวัดพบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5 ทำให้กาวยางเกิดการเสียดสภาพจับตัวเป็นก้อน แต่กาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.6 และ 9.9 ยังคงสภาพเป็นของเหลวหนืดเหมือนเดิม

ตารางที่ 14 แสดงผลของความต้านแรงเฉือนในกาวยางสูตรต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr เป็นสารเพิ่มการยึดติด โดยปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างในสูตรกาวพื้นฐาน

สูตรกาว	ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)	ความต้านแรงเฉือน ( $N/m^2$ )
g	7.6	ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากกาวจับตัวเป็นก้อน
h	8.6	$1.9 \times 10^6$
i	9.9	$1.6 \times 10^6$



ภาพประกอบที่ 40 กราฟแสดงผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อความต้านแรงเฉือน

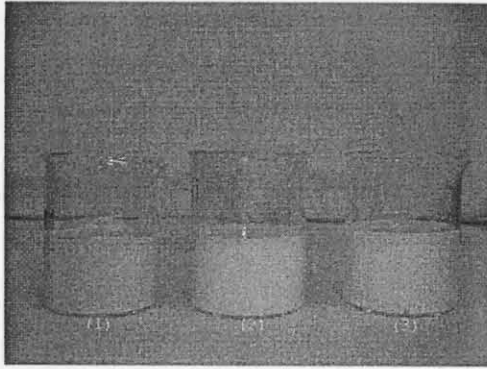
ภาพประกอบที่ 40 แสดงผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อความต้านแรงเฉือน พบว่าความต้านแรงเฉือนของชั้นทดสอบมีแนวโน้มลดลง เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกาวยางที่ใช้ คิวมาโรนอิมัลชันเป็นสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.6 มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-ด่างของคิวมาโรนอิมัลชันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5 ทำให้กาวยางกับคิวมาโรนอิมัลชันสามารถผสมเข้ากันได้ดี กาวยางจึงสามารถยึดเกาะกับเนื้อไม้ได้ดีกว่ากาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า จึงส่งผลให้กาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.6 มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงที่สุด

จากผลการทดสอบจึงเลือกใช้กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชันที่มีค่าความเป็น กรด-  
ด่างประมาณ 8.6 เป็นสารเพิ่มการยึดติดในการผลิตกาวยาง เมื่อได้สัดส่วนของสารเพิ่มการยึดติดที่  
เหมาะสม ได้มีการปรับปรุงกาวยางสูตรพื้นฐานโดยใช้ชื่อว่ากาวยางสูตรปรับปรุง โดยมีการเติม  
Carboxy methyl cellulose (CMC) 5% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความหนืดของกาว, Potassium oleate 10  
% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความเสถียรและ Salicylic acid 15 % โดยน้ำหนัก สำหรับการป้องกันเชื้อรา  
และได้มีการนำแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก มาผสมกับคิวมาโรนอิมัลชัน 22%  
โดยน้ำหนัก ในสัดส่วนต่างๆ ที่ 7 และ 8 phr แสดงดังตารางที่ 15 เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติดอีก  
ชนิดหนึ่ง โดยปริมาณที่เลือกใช้นี้ได้มาจากผลการทดสอบความต้านแรงเฉือนของกาวยาง ซึ่งพบว่า  
กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อใช้ที่  
ปริมาณ 7 phr และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด  
เมื่อใช้ที่ปริมาณ 8 phr

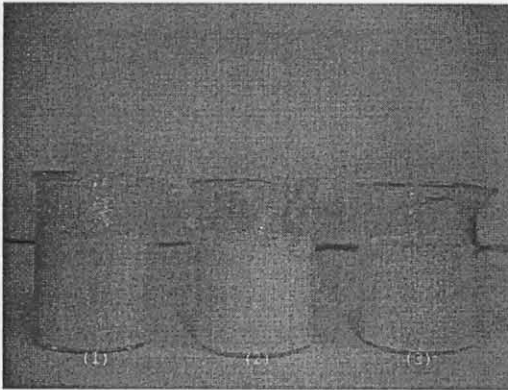
ตารางที่ 15 แสดงกายภาพสูตรปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนชนิด และปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด (แสดงในรูปน้ำหนักเปียก (กรัม) และน้ำหนักแห้ง (phr))

สูตรกาว	สารเพิ่มการยึดติด	ปริมาณ,กรัม (น้ำหนักเปียก)	ปริมาณ phr (น้ำหนักแห้ง)
j	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10%	60	6
k	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10%	70	7
l	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10%	80	8
m	คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	27.3	6
n	คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	31.8	7
o	คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	36.4	8
p	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% : คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	17.5 : 23.89	1.75 : 5.25
q	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% : คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	35 : 15.93	3.5 : 3.5
r	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% : คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	52.5 : 7.96	5.25 : 1.75
s	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% : คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	20 : 27.3	2 : 6
t	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% : คิวมาโรนอิมัลชัน 22 %	40 : 18.2	4 : 4
u	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10 % : คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	60 : 9.1	6 : 2
v	TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเตตอิมัลชัน)	-	-
w*	Urea Formaldehyde (UF)	-	-

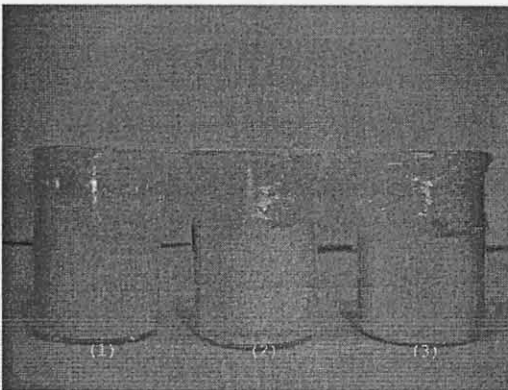
หมายเหตุ\* - กาวสังเคราะห์ที่ใช้ในโรงงานได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงาน APS WOODS PRODUCTS ถนนกาญจนวนิชย์ ตำบลพะตง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90230  
- % คือ % โดยน้ำหนัก



A : (1) กาวยางที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด (2) กาว TOA (3) กาว UF

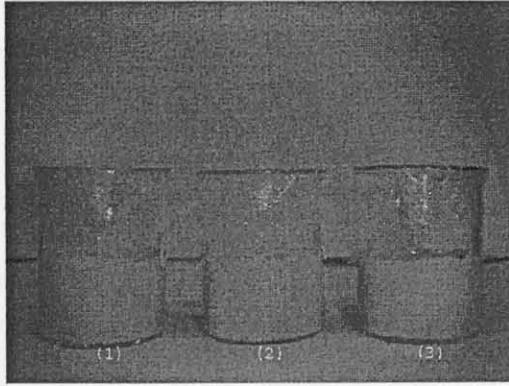


B : กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก ปริมาณต่างๆ : (1) 6 phr (2) 7 phr  
(3) 8 phr

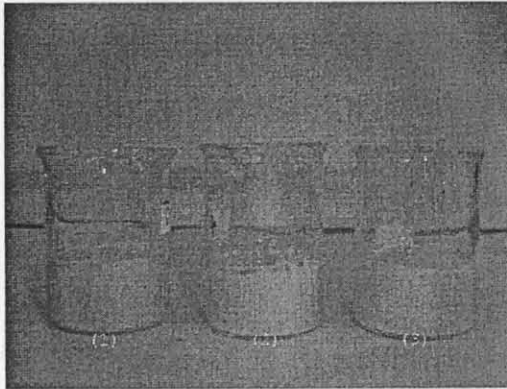


C : กาวยางที่ผสมควิมาโรนอิมัลชันปริมาณต่างๆ : (1) 6 phr (2) 7 phr (3) 8 phr





D : กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก : คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดย น้ำหนัก ปริมาณ 7 phr ที่อัตราส่วนต่างๆ : (1) 5.25 : 1.75 phr (2) 3.5 : 3.5 phr (3) 1.75 : 5.25 phr



E : กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก : คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดย น้ำหนัก ปริมาณ 8 phr ที่อัตราส่วนต่างๆ : (1) 6 : 2 phr (2) 4 : 4 phr (3) 1.75 : 5.25 phr

ภาพประกอบที่ 41 แสดงกาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก : คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณต่างๆ

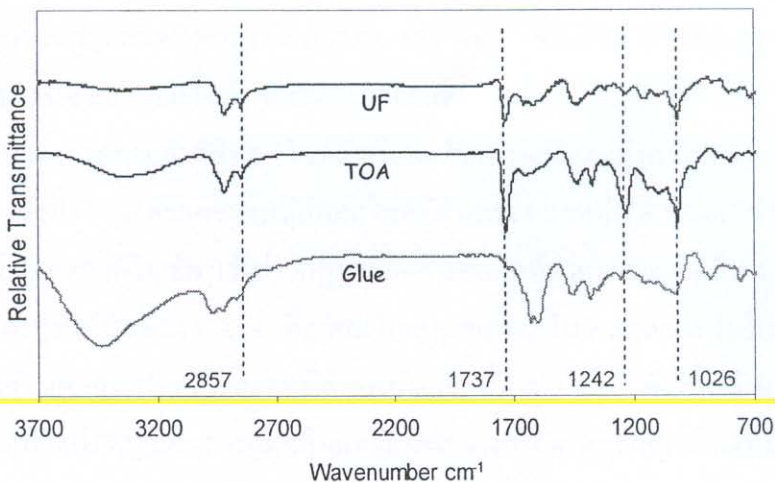
กาวยางที่เตรียมได้แสดงดังภาพประกอบที่ 41 พบว่ากาวยางทุกสูตรมีสีครีมแกมน้ำตาลเมื่อเทียบกับกาว TOA และกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde, UF) ที่มีสีขาวขุ่น กาวยางที่ได้จะมีสีแปรเปลี่ยนไปตามชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด (Tackifier) โดยกาวยางที่ใช้คิวมาโรนอิมัลชันเป็นสารเพิ่มการยึดติดมีสีเข้มกว่ากาวยางที่ใช้แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และ



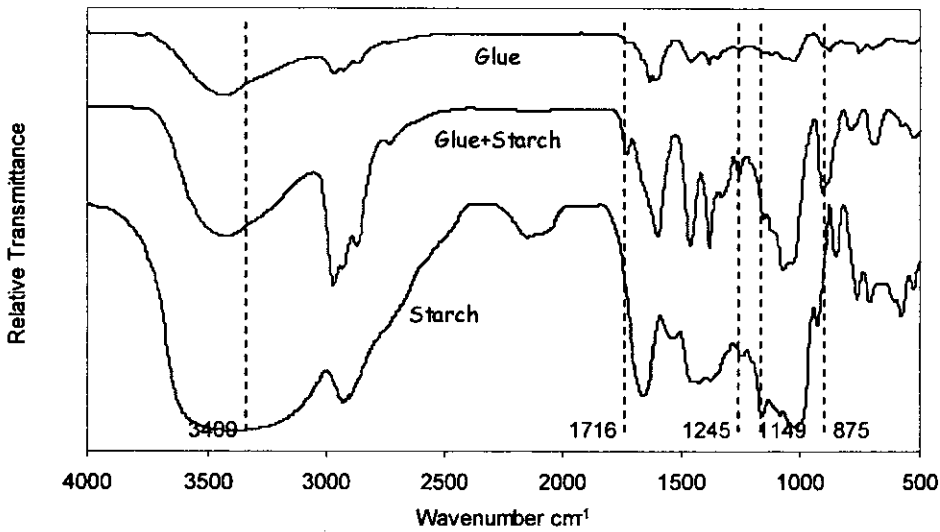
เมื่อใช้ปริมาณความโรนอิมัลชันมากขึ้นกาวยางที่ได้ก็จะมีสีเข้มขึ้นจากสีครีมเป็นสีน้ำตาล กาวยางที่เตรียมได้เนื่อกาวมีลักษณะเหมือนครีมข้นหนืดซึ่งค่าความหนืดแสดงในส่วนของภาคผนวก ง แต่ไม่เหนียวเทียบกั กาว TOA และกาว UF

#### 4.3.4 สเปกตรัมอินฟราเรดของกาว UF กาว TOA และกาวยาง

การวิเคราะห์ FTIR ของกาวยางทุกชนิดเป็นการวิเคราะห์กาวยางก่อนติดไม้โดยใช้วิธีเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณหมู้อีพอกไซด์ (3.3.2.1) ผลปรากฏดั่งภาพประกอบที่ 42 พบว่าสเปกตรัมอินฟราเรดของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $2857\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1737\text{ cm}^{-1}$  ปรากฏจุดยอดของหมู่ฟังก์ชันของ C=O และปรากฏจุดยอดของหมู่ฟังก์ชันของ C-N ในโครงสร้างของยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเชื่อมโยงพันธะกันระหว่างโมเลกุลของ ยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ สำหรับกาว TOA ซึ่งผลิตมาจากโพลีไวนิลอะซิเตดอิมัลชันจัดเป็นสารพวกเอสเทอร์จึงพบหมู่ฟังก์ชันของ C=O ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1737\text{ cm}^{-1}$  และหมู่ฟังก์ชันของ C-O ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1242\text{ cm}^{-1}$  และ  $1026\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ไม่ปรากฏในกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด

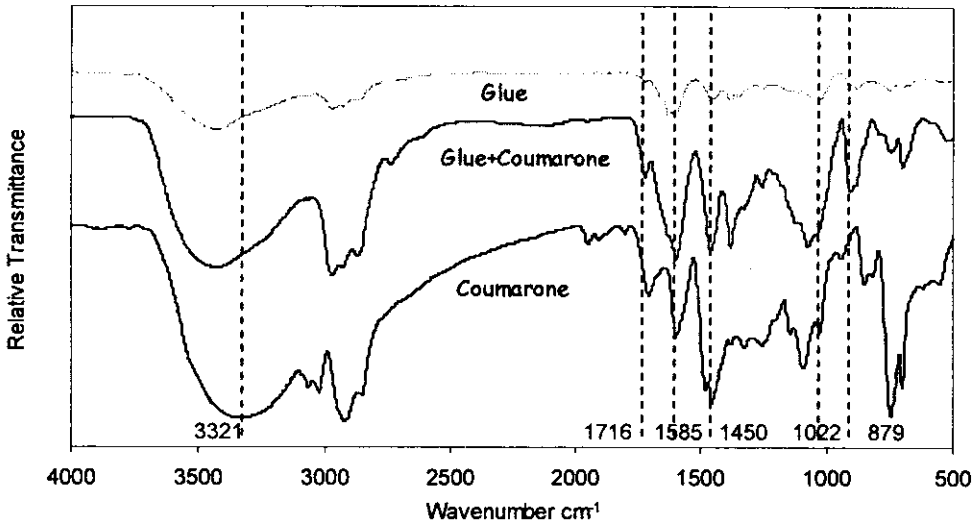


ภาพประกอบที่ 42 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของกาว UF กาว TOA และกาวยาง



ภาพประกอบที่ 43 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ กาวยางและ กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr

จากภาพประกอบที่ 43 ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $3409\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ O-H และจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1149\text{ cm}^{-1}$  และ  $1245\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโมเลกุลของอะไมเลสและอะไมโลเพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และกาวยางพบว่าไม่ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $834\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของ C=C ที่อยู่บนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แสดงว่าน่าจะเกิดการเชื่อมโยง (Cross-link) ด้วยกัมมะถันระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่บริเวณตำแหน่งพันธะคู่บนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แต่ยังปรากฏจุดยอดของหมู่อีพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $875\text{ cm}^{-1}$  สำหรับกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์พบว่าปรากฏจุดยอดขนาดเล็กที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1149\text{ cm}^{-1}$  และ  $1245\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโมเลกุลของอะไมเลสและอะไมโลเพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $875\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่อีพอกไซด์ นอกจากนี้ยังปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่นใหม่เพิ่มขึ้นมาจากสเปกตรัมอินฟราเรดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1716\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ฟังก์ชันของ C=O ซึ่งสามารถพบได้ในโมเลกุลของกาว TOA และกาว UF เช่นเดียวกัน แสดงว่าที่ตำแหน่งของหมู่ C=O นี้ อาจจะทำให้เกิดพันธะทางเคมีระหว่างกาวกับไม้ จึงทำให้กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์มีความสามารถในการยึดติดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด

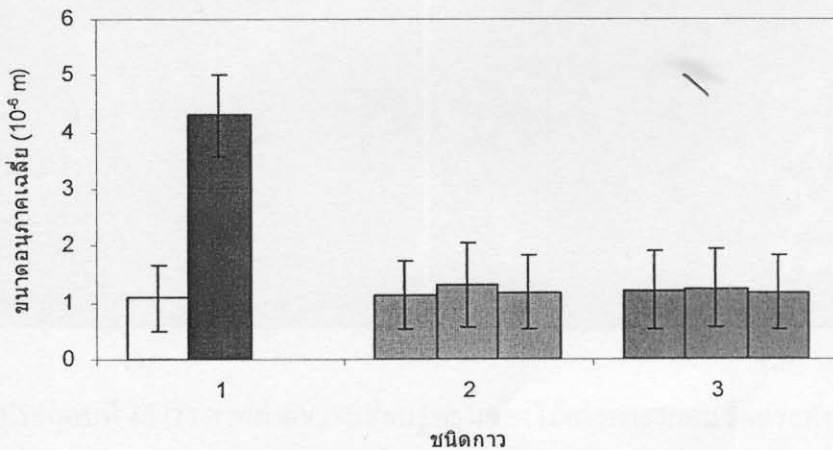


ภาพประกอบที่ 44 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของคิวมาโรนอิมัลชัน กาวยางและกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr

จากภาพประกอบที่ 44 สเปกตรัมอินฟราเรดของคิวมาโรนอิมัลชันแสดงหมู่ฟังก์ชันของ O-H ที่อยู่บนโมเลกุลของพอลิไวน์ิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3321 cm<sup>-1</sup> และปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1450 cm<sup>-1</sup> และ 1585 cm<sup>-1</sup> แสดงว่ามีวงแหวนเบนซีนเป็นองค์ประกอบของคิวมาโรนเรซิน นอกจากนี้ยังปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1022 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O ที่อยู่ในวงแหวนของคิวมาโรนเรซิน สำหรับกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันพบว่าปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 879 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่อีพอกไซด์ และปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่เพิ่มขึ้นมาจากสเปกตรัมอินฟราเรดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1716 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C=O ซึ่งสามารถพบได้ในโมเลกุลของกาว TOA และกาว UF เช่นเดียวกัน แสดงว่าที่ตำแหน่งของหมู่ C=O นี้อาจจะเกิดพันธะทางเคมีระหว่างกาวกับไม้ จึงทำให้กาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันมีความสามารถในการยึดติดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้ยังปรากฏจุดยอดขนาดใหญ่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1450 cm<sup>-1</sup> และ 1585 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นตำแหน่งของวงแหวนเบนซีนบนโมเลกุลของคิวมาโรนเรซิน หมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่ปรากฏเพิ่มในกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันแสดงให้เห็นว่ามีการผสมกันระหว่างกาวยางกับคิวมาโรนอิมัลชันบนโมเลกุลของกาวยาง

#### 4.3.5 ขนาดอนุภาคของกาว UF และกาวยาง

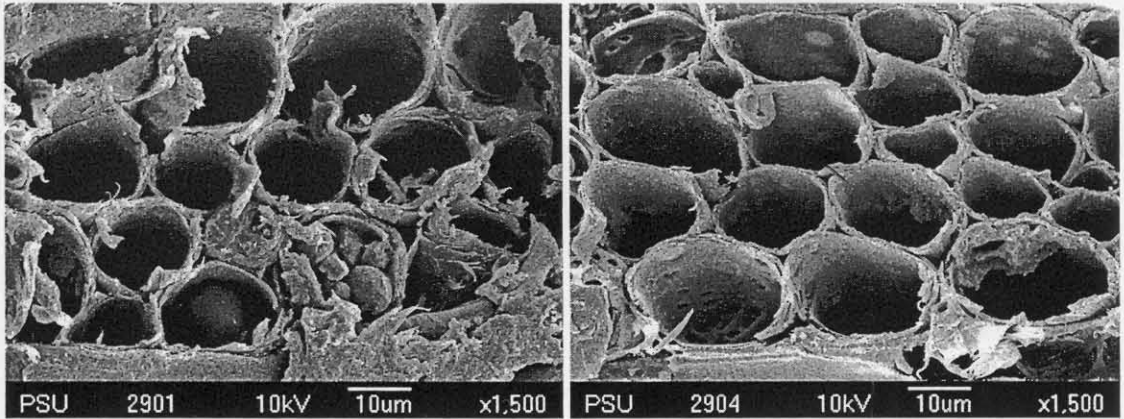
เมื่อนำกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดคือคิวมาโรนอิมัลชัน และแป้งข้าวเหนียวเจลาติโนส์ วิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser Particle Scanning Analyzer) พบว่ากาวยาง และกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 1.1 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.5-0.7 โดยขนาดอนุภาคใหญ่สุดที่วัดได้มีขนาด 5.8 ไมโครเมตร การเพิ่มปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดทั้งคิวมาโรนอิมัลชันและแป้งข้าวเหนียวเจลาติโนส์ จาก 6 phr - 8phr ไม่มีผลกระทบต่อการเพิ่มขนาดของอนุภาคในกาวยางอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 45



ภาพประกอบที่ 45 แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกาวยางชนิดต่างๆ

1. กาวยาง, กาว UF
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาติโนส์ 6 phr, 7 phr, 8 phr

ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกาวยาง และกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีขนาดเล็กกว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 4.3 ไมโครเมตร และพบว่ายังมีขนาดเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนของไม้ยางพาราอีกด้วย จากภาพถ่ายพื้นผิวของไม้ยางพาราที่ผ่านการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) แสดงดังภาพประกอบที่ 46 สามารถประมาณขนาดรูพรุนเฉลี่ยของไม้ยางพาราได้ พบว่ามีค่าประมาณ 20 ไมโครเมตร ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นพบว่าอนุภาคของกาวยางที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนของไม้ยางพารา ดังนั้นขนาดอนุภาคกาวยางไม่เป็นอุปสรรคในการผ่านรูพรุนของไม้ยางพารา



(1)

(2)

ภาพประกอบที่ 46 (1) ภาพถ่ายขวางเส้นรูพรุนของไม้ยางพาราก่อนขีดกระดาศทราย

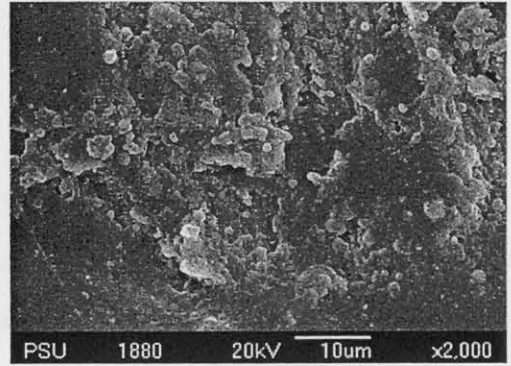
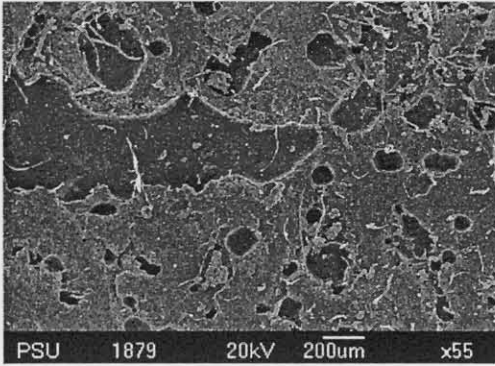
(2) ภาพถ่ายขวางเส้นรูพรุนของไม้ยางพาราหลังขีดกระดาศทราย

#### 4.3.6 ลักษณะพื้นผิวของกาวยางแห้งโดยใช้ Scanning Electron Microscope

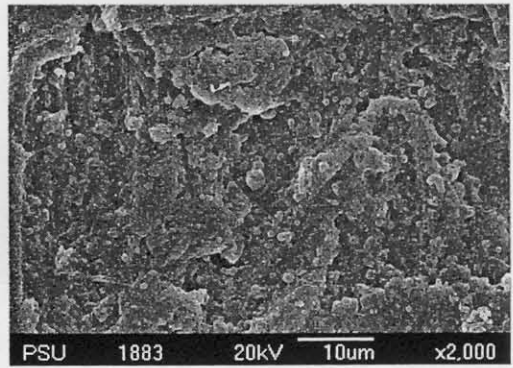
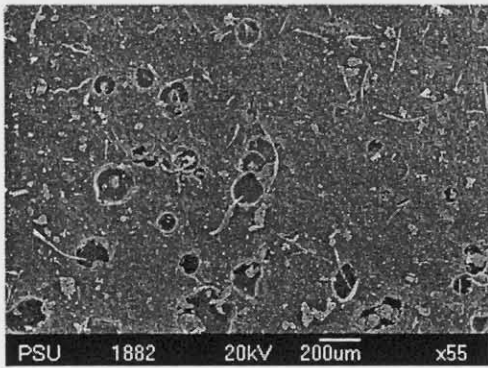
(SEM)

Scanning Electron Microscope เป็นเทคนิคการศึกษาลักษณะพื้นผิวของสาร จากภาพประกอบที่ 47 แสดงลักษณะพื้นผิวของกาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr และกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr สังเกตได้ว่าพื้นผิวของกาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr มีลักษณะขรุขระ ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมาก คล้ายการรวมตัวของอนุภาคในกาว ในทางตรงข้ามพื้นผิวของกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr มีลักษณะเรียบเป็นแผ่นพบอนุภาคขนาดเล็กบ้าง

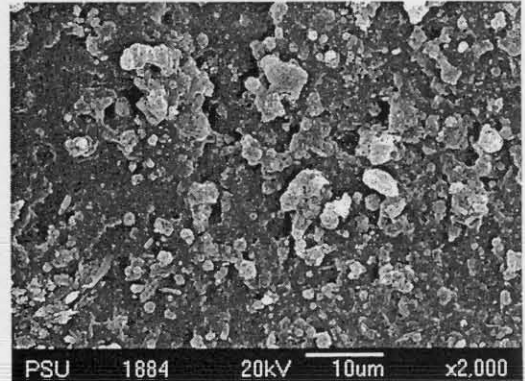
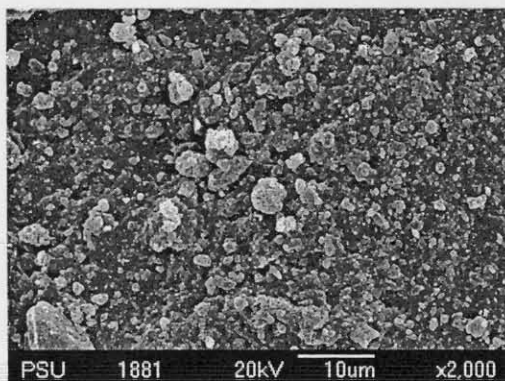




กาวยางผสมคิωμαโรนอิมัลชัน 8 phr กำลังขยาย 55 (ซ้าย) และ 2000 (ขวา) (แผ่นบาง) ตามลำดับ



กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr กำลังขยาย 55 (ซ้าย) และ 2000 (ขวา) (แผ่นบาง)  
ตามลำดับ

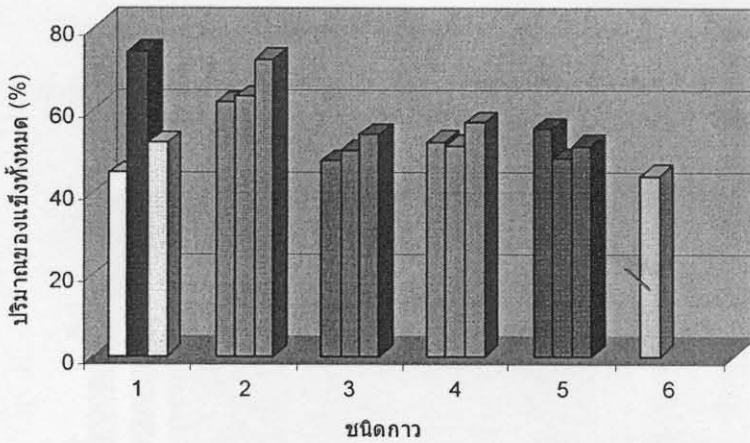


กาวยางผสมคิωμαโรนอิมัลชัน (ซ้าย) และ กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ (ขวา) 8 phr  
กำลังขยาย 2000 (แผ่นหนา) ตามลำดับ

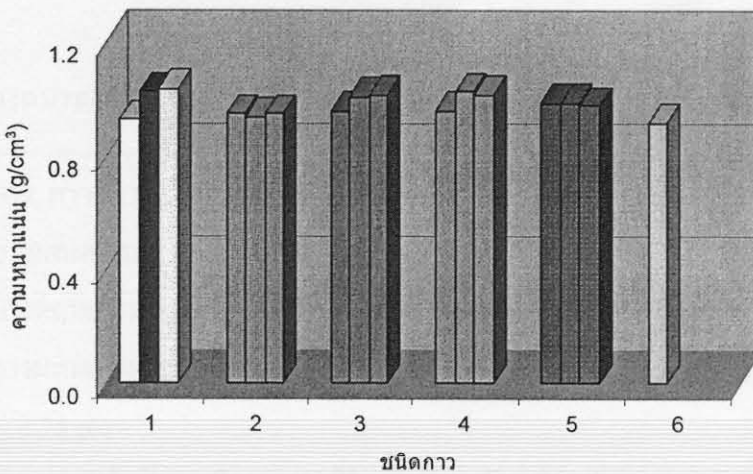
ภาพประกอบที่ 47 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของกาวยางผสมคิωμαโรนอิมัลชัน 8 phr  
และกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr ณ กำลังขยายต่างๆ

#### 4.4 การทดสอบคุณสมบัติของกาวยาง

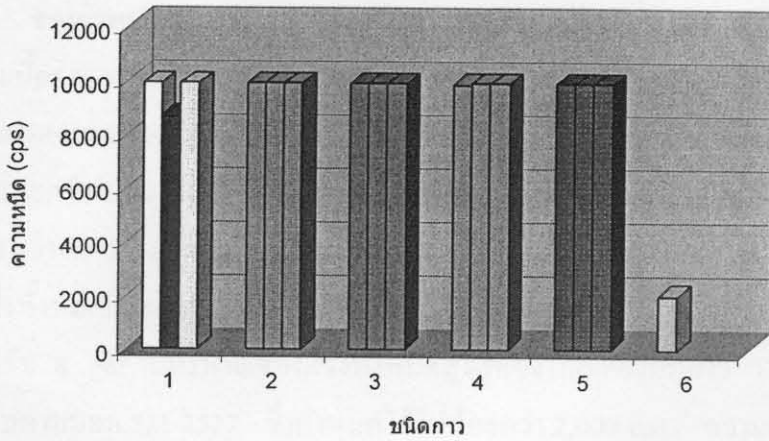
จากกาวยางที่เตรียมได้นำมาทดสอบคุณสมบัติของกาวยางตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยาง (มอก. 521-2527) ได้แก่ การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (เนื้อกาว) ความหนืด ความหนาแน่น และมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวพอลิไวนิลอะซิเตดอิมัลชัน (มอก. 181-2530) ได้แก่ การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 48-51 ตามลำดับ



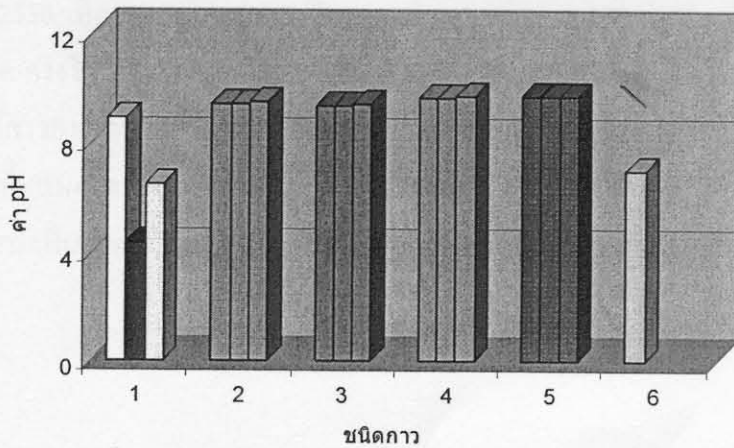
ภาพประกอบที่ 48 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว



ภาพประกอบที่ 49 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนาแน่น



ภาพประกอบที่ 50 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนืด



ภาพประกอบที่ 51 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความเป็นกรด-ด่าง

1. กาวยาง, กาว TOA, กาว UF
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 : 6, 4 : 4, 6 : 2 phr
6. กาวยางตามมอก. 521-2527 (ใช้อ้างอิงการทดสอบปริมาณเนื้อกาว ความหนาแน่น และความหนืด) และมอก. 181-2530 (ใช้อ้างอิงการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง)

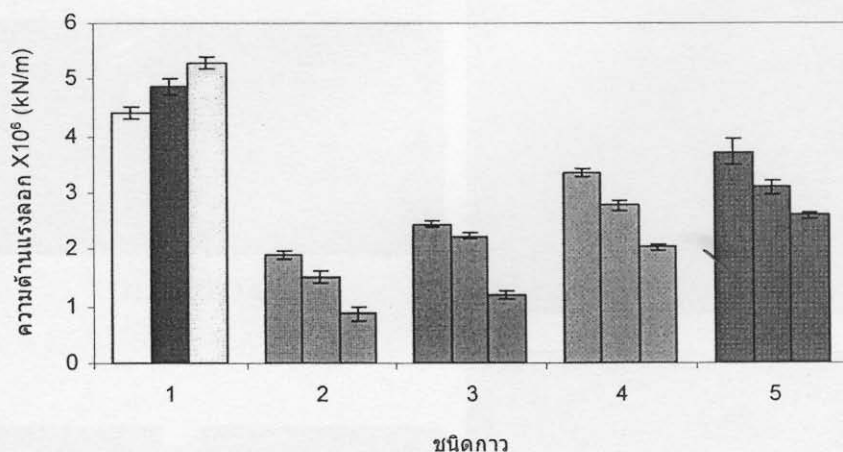
หมายเหตุ - กาวยางแต่ละชุดเรียงลำดับข้อมูลจากซ้ายไปขวา



จากภาพประกอบที่ 48-51 แสดงผลการทดสอบกาวเหลวหรือกาวก่อนที่จะแข็งตัวโดยทดสอบเนื้อกาว พบว่าปริมาณเนื้อกาวหรือเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC) และความหนาแน่นผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยางที่ใช้กับงานทั่วไป (มอก.521-2527) ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 15% และไม่น้อยกว่า 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนิมัลชัน 8 phr มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงสุดซึ่งใกล้เคียงกับกาว TOA ความหนืดของกาวยางผ่านตามอก.521-2527 ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 2,000 cps ความเป็นกรด-ด่างของกาว TOA และกาว UF ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกาวโพลีไวนิลอะซิเตดอิมัลชันสำหรับไม้ (ตามมอก.181-2530) ซึ่งระบุค่าที่ 4-7 แต่กาวยางทุกสูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 8.9-9.7 ซึ่งสูงกว่ามอก.181-2530 ที่กาวยางมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่ามอก.181-2530 เนื่องจากต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่างให้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นกรด-ด่างของสารเพิ่มความยึดติดที่เติมลงไป ในกาวยางเพื่อไม่ให้กาวยางจับตัวเป็นก้อน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่าชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด ไม่มีผลต่อความหนืดและความเป็นกรด-ด่าง

#### 4.5 การทดสอบความต้านแรงลอก

การทดสอบความต้านแรงลอกเป็นการทดสอบกาวที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา โดยการทดสอบจะใช้ชั้นทดสอบ 5 ชั้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ และลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 52 และ 53 ตามลำดับ



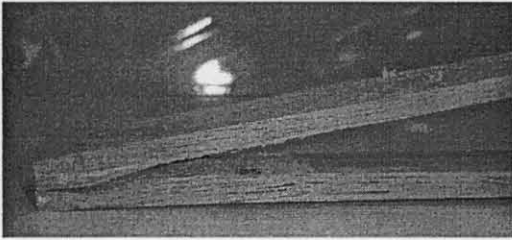
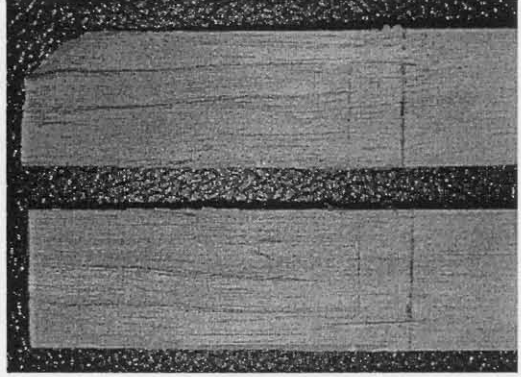
ภาพประกอบที่ 52 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก

1. กาวยาง, กาว TOA, กาว UF
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 : 6, 4 : 4, 6 : 2 phr

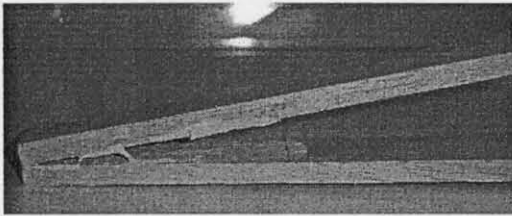
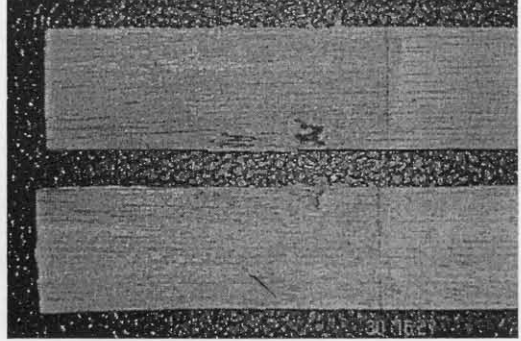
หมายเหตุ - กาวยางแต่ละชุดเรียงลำดับข้อมูลจากซ้ายไปขวา



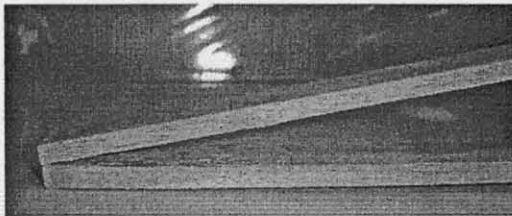
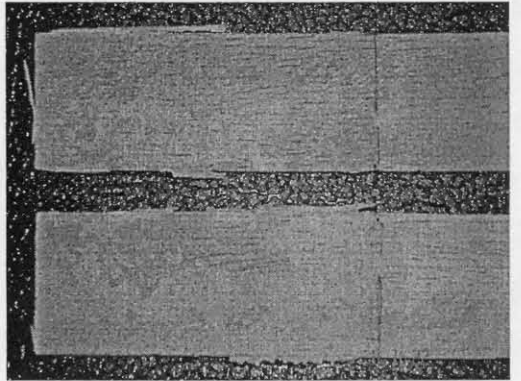
(1) กาว UF



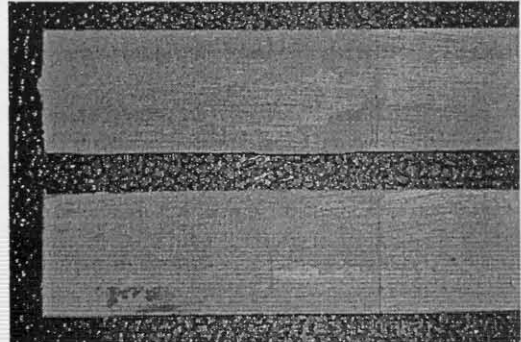
(2) กาว TOA



(3) กาวยาง



(4) กาวยางสูตรต่างๆ



ภาพประกอบที่ 53 แสดงลักษณะขึ้นทศสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงลอก

จากภาพประกอบที่ 52 แสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก และภาพประกอบที่ 50 แสดงลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงลอก พบว่าจากการทดสอบความต้านแรงลอกมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.05-0.23 ผลการทดสอบมีความถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญ ชั้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF (ซึ่งเป็นกาวที่ใช้ปัจจุบันในโรงงานที่ให้ความอนุเคราะห์) ภายหลังการดึงลอกมีส่วนของเศษไม้ของชั้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชั้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงลอกมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ชั้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกันโดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแค่คราบกาวยางที่แห้งติดอยู่บนชั้นทดสอบทั้งสองด้าน ทั้งๆที่อนุภาคของกาวยางที่เตรียมได้ทุกชนิด มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูพรุนของไม้ยางพารา (หัวข้อ 4.3.5) อนุภาคของกาวยางน่าจะซึมซาบเข้าไปในรูพรุนของเนื้อไม้ได้ดีแต่ผลไม่เป็นอย่างที่กล่าวมาอาจเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกาวยางผ่านเข้าไปในเนื้อไม้มีน้อย ส่วนใหญ่กาวอยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่ากาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีความต้านแรงลอกสูงสุด แต่ไม่สูงกว่ากาว TOA และกาว UF อาจเนื่องมาจากกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีสมบัติความเป็นยาง (Elastomer) และมีความเหนียวมากกว่า จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่ากาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด อีกทั้งกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดยังมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารเพิ่มการยึดติดทั้งแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และคิวมาโรนอิมัลชันในกาวยางทำให้ความต้านแรงลอกมีค่าลดลง และกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ ทุกอัตราส่วนมีความต้านแรงลอกสูงกว่ากาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน ทั้งนี้เนื่องมาจากกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยางที่ผสมด้วยคิวมาโรนอิมัลชัน และการรวมตัวเป็นกลุ่มเล็กๆของอนุภาคเมื่อแห้งมีน้อยกว่ากาวยางที่ผสมด้วยคิวมาโรนอิมัลชัน จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่า ดังภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของกาวยางในหัวข้อ 4.3.6

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งกลิ่น [34] ซึ่งใช้สูตรในการผลิตกาวใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้โดยผลิตกาวจากน้ำยางชัน พบว่ากาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.75 kN/m และงานวิจัยของ อาชีชัน แกสมาน และคณะ [32] ศึกษาการเตรียมกาวจากยางธรรมชาติแบบแห้งโดยใช้โทลูอินและ

น้ำมันสปีนเคิล อัตราส่วน 50 : 50 โดยน้ำหนัก เป็นตัวทำละลาย ผสมกับสารเพิ่มการยึดติดชนิด coumarone indene resin ทดสอบความต้านแรงลอกโดยการทาภาวลงบนกระดาษที่มีผิวหยาบจำนวน 2 ชั้นแล้วนำมาประกบกัน พบว่าภาวจากยางแห้งที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $1.90 \times 10^{-3}$  kN/m และภาวที่ผสม coumarone indene resin ที่ 10 phr ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ  $3.53 \times 10^{-3}$  kN/m แต่ค่าที่ได้ยังน้อยกว่าภาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 6 phr มีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $1.89 \times 10^6$  kN/m จากงานวิจัยทั้งสอง พบว่าภาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดให้ค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $4.41 \times 10^6$  kN/m ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่าภาวที่ผลิตจากน้ำยางชั้นและภาวที่ผลิตจากยางแห้ง

นอกจากนี้แล้วหากเปรียบเทียบกับงานวิจัยภาวจากธรรมชาติอีพอกไซค์ที่สามารถหาข้อมูลได้ในขณะนี้คืองานวิจัยของ นาฏยา แซ่ลิ้ม [40] ซึ่งผลิตภาวชนิดทนน้ำมันอยู่ในรูปภาวจากธรรมชาติอีพอกไซค์ 50 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณ wood resin 50 phr ให้ค่าความต้านแรงลอก  $7.9 \times 10^6$  kN/m และทนทานต่อการแช่น้ำทั้งรูปแบบออกแรงดึงทุกๆ วัน และรูปแบบที่ปล่อยให้หลุดเองแต่ไม่ได้ระบุค่าแรงที่สามารถทนได้ จึงมีข้อเด่นคือทนต่อการแช่น้ำกว่าภาวที่ผลิตในงานวิจัยนี้ซึ่งเกิดการหลุดล่อนของภาวและไม้หลังการแช่น้ำ

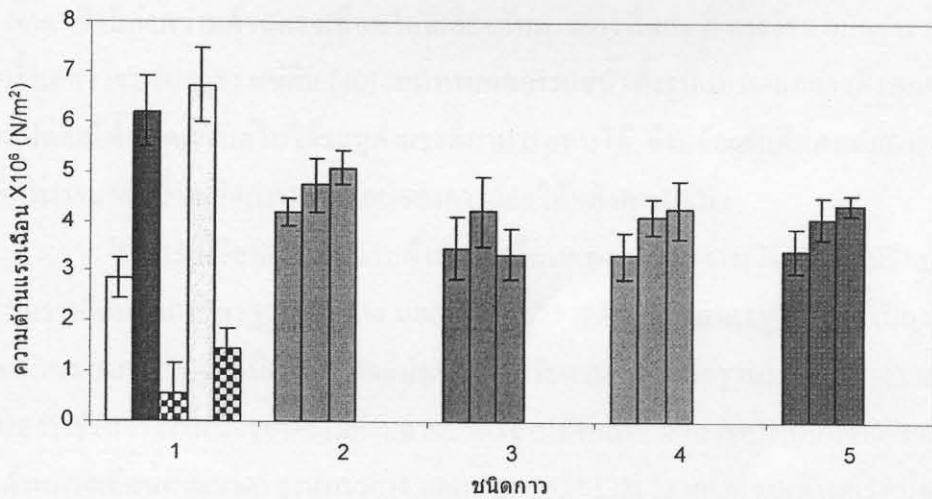
หากเปรียบเทียบกับความต้านแรงลอก (กรณีไม้แช่น้ำ) ของภาวจากตามมาตรฐาน มอก.521-2527 [22] และภาวโพลีไวนิลอะซิเตดอิมัลชัน สำหรับงานไม้ มาตรฐานมอก.181-2530 [23] ซึ่งระบุค่าความต้านแรงลอกไม่ควรน้อยกว่า  $2 \times 10^6$  kN/m พบว่ามีเพียงภาวจากผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr และภาวจากผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตินซ์ 8 phr เท่านั้นที่ไม่ผ่านมาตรฐานดังกล่าว สำหรับกรณีหลังการแช่น้ำเฉพาะภาวจากตามมาตรฐาน มอก.521-2527 [22] เท่านั้นที่ระบุค่าความต้านแรงลอกไม่ควรน้อยกว่า  $2 \times 10^6$  kN/m อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบความต้านแรงลอกหลังการแช่น้ำของภาวทุกชนิดได้เนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของภาวและไม้หลังการแช่น้ำ

#### 4.6 การทดสอบความต้านแรงเฉือน

การทดสอบความต้านแรงเฉือนเป็นการทดสอบภาวที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของภาวกับไม้ยางพารา เช่นเดียวกับการทดสอบความต้านแรงลอก แต่จะใช้ชิ้นทดสอบ 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ และลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 54 และ 55 ตามลำดับ

จากภาพประกอบที่ 54 แสดงผลของชนิดภาวต่อความต้านแรงเฉือน และภาพ

ประกอบที่ 55 แสดงลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงเฉือน พบว่าชั้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF ภายหลังการคั่งมีส่วนของเศษไม้ของชั้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชั้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติด ชั้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่คราบกาวยางที่แห้งติดอยู่บนชั้นทดสอบทั้งสองด้าน เหตุผลเช่นเดียวกับการอธิบายผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก ทั้งๆที่อนุภาคของกาวยางน่าจะซึมซาบเข้าไปในรูพรุนของเนื้อไม้ได้ดีแต่ผลไม่เป็นอย่างที่กล่าวมาอาจเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกาวยางผ่านเข้าไปในเนื้อไม้มีน้อย กาวส่วนใหญ่อยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้า ทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ จึงทำให้ค่าความต้านแรงเฉือนที่ได้มีน้อยลงและลักษณะของชั้นทดสอบของกาวยางภายหลังการคั่งเกิดความเสียหายเฉพาะตรงจุดที่กาวไม่ได้เกิดบริเวณเนื้อไม้



ภาพประกอบที่ 54 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเฉือน

1. กาวยาง, กาว TOA, กาว TOA (แช่น้ำ), กาว UF, กาว UF (แช่น้ำ)
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 : 6, 4 : 4, 6 : 2 phr

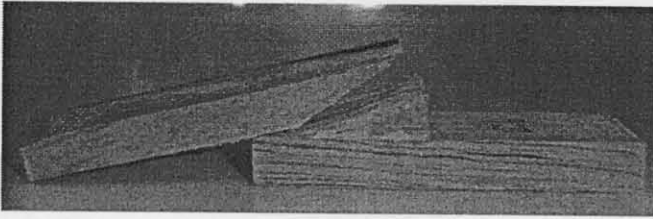
หมายเหตุ – กรณีแช่น้ำชั้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่าความต้านแรงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติด โดยกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ คือ  $5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  แต่ในกรณีของกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตินไนซ์ควรใช้ไม่เกิน 7 phr เพราะการใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียวเจลลาตินไนซ์ที่ 8 phr ทำให้ความต้านแรงเฉือนลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบูรณ์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [34] ที่ผลิตกาวจากน้ำยางชั้น พบว่าความต้านแรงเฉือนของกาวที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเท่ากับ  $0.69 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ซึ่งค่าที่ได้นี้น้อยกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ  $2.85 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

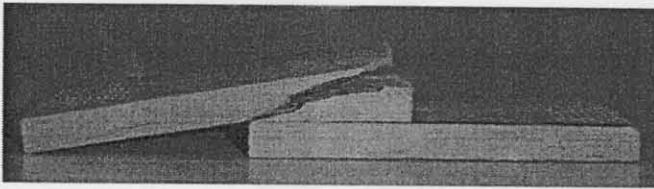
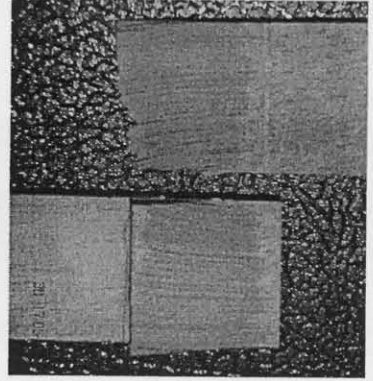
นอกจากนี้แล้วหากเปรียบเทียบกับงานวิจัยกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่สามารถหาข้อมูลได้ในขณะนี้คืองานวิจัยของ นาฎยา แซ่ลิ้ม [40] ซึ่งผลิตกาวชนิดทนน้ำมันอยู่ในรูปกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ 50 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณ wood resin 50 phr ให้ค่าความต้านแรงเฉือน  $5.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ซึ่งมีค่าความต้านแรงเฉือนใกล้เคียงกับกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr ในงานวิจัยนี้ แต่กาวของนาฎยา แซ่ลิ้ม [40] ทนทานต่อการแช่น้ำทั้งรูปแบบออกแรงดึงทุกๆ วัน และรูปแบบที่ปล่อยให้หลุดเองแต่ไม่ได้ระบุค่าแรงที่สามารถทนได้ จึงมีข้อเด่นคือทนต่อการแช่น้ำกว่ากาวที่ผลิตในงานวิจัยนี้ซึ่งเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม้หลังการแช่น้ำ

ในการเปรียบเทียบความต้านแรงเฉือนของกาวในงานวิจัยนี้ขอเปรียบเทียบกับความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐานกาวยาง มอก.521-2527 [22] เพียงมาตรฐานเดียว เนื่องจากความต้านแรงเฉือนของกาวโพลีไวนิลอะซิเตอิมัลชัน สำหรับงานไม้ มาตรฐานมอก.181-2530 [23] นั้นแม้กาว UF ที่ใช้ในโรงงานปัจจุบันก็ไม่ผ่านตามมาตรฐานดังกล่าว ผลการเปรียบเทียบดังกล่าวพบว่าค่าความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐานกาวยาง มอก.521-2527 [22] ระบุค่าความต้านแรงเฉือนไม่น้อยกว่า  $0.22 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ทั้งกรณีก่อนแช่น้ำและหลังการแช่น้ำ กรณีก่อนแช่น้ำพบว่ากาวทุกชนิดในงานวิจัยสามารถผ่านมาตรฐานดังกล่าวได้ โดยมีค่าสูงกว่ามาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 20 เท่า กรณีหลังการแช่น้ำ เมื่อทดสอบกาวโดยการนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำนาน 24 ชั่วโมง พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก สำหรับชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว TOA และกาว UF นั้นไม่หลุดร่อน โดยมีค่าความต้านแรงเฉือนลดลงประมาณ 10 เท่า และ 5 เท่า ตามลำดับ แต่ค่าที่ได้ผ่านมาตรฐานกาวยาง มอก.521-2527 [22]

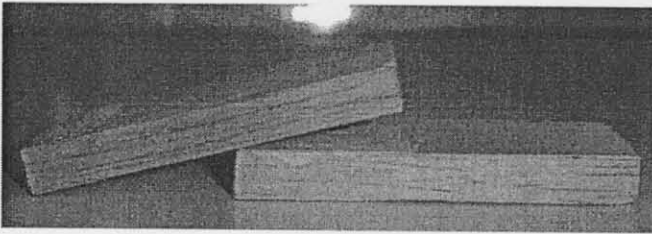
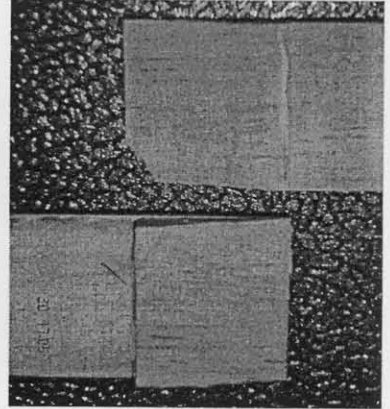




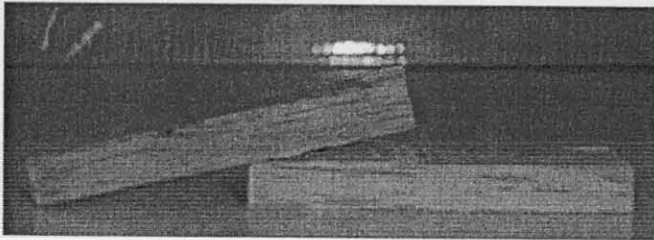
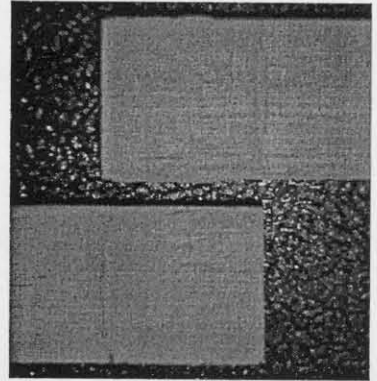
(1) กาว UF



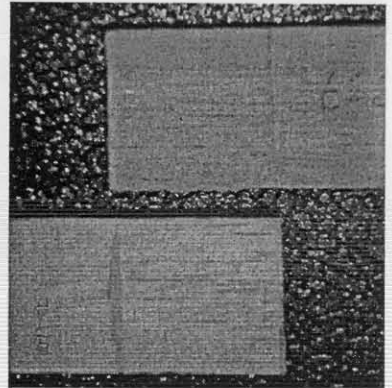
(2) กาว TOA



(3) กาวยาง



(4) กาวยางสูตรต่างๆ

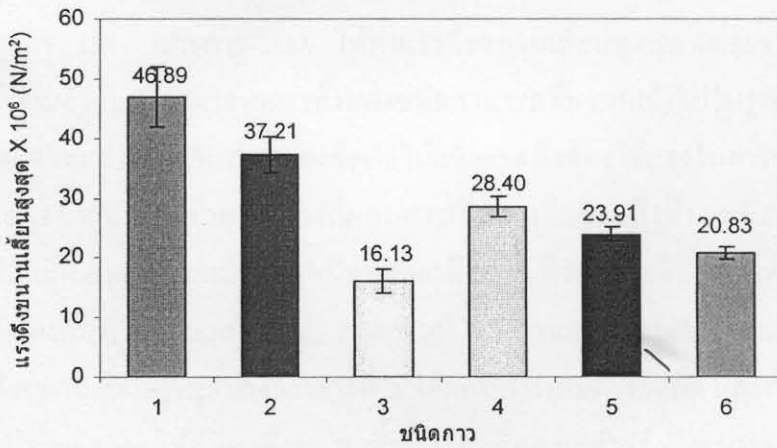


ภาพประกอบที่ 55 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงเฉือน



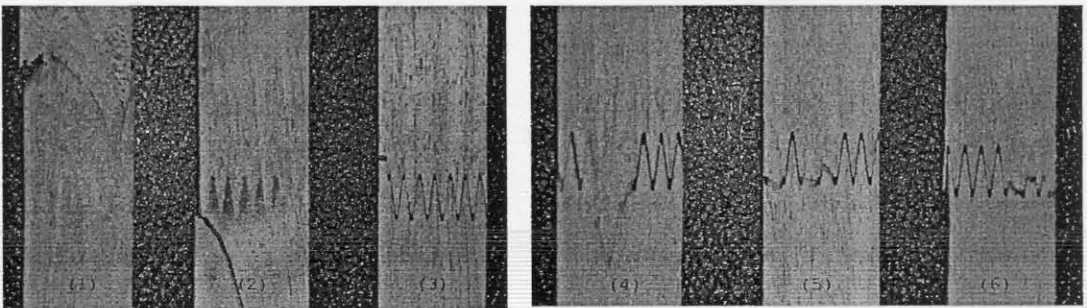
#### 4.7 การทดสอบความแข็งแรงของข้อต่อแบบนิวมีอประสาน

ทำการทดสอบเฉพาะกาวยางสูตรที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดที่ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด โดยทำการทดสอบการดึงขนานเสี้ยนและการคัดสถิต ซึ่งจะใช้ชั้นทดสอบจำนวน 10 ชั้นต่อหนึ่งตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 56 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อแรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด

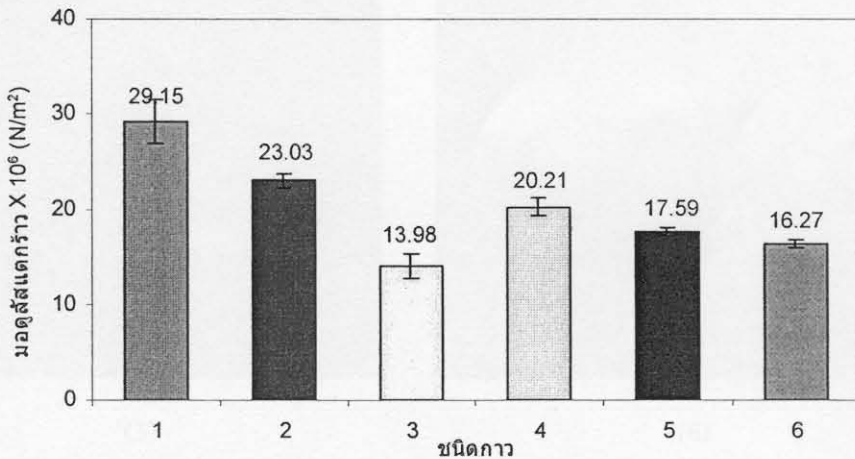
- |            |  |
|------------|--|
| 1. กาว UF  | 4. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr                                   |
| 2. กาว TOA | 5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 7 phr                          |
| 3. กาวยาง  | 6. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 phr |



ภาพประกอบที่ 57 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด

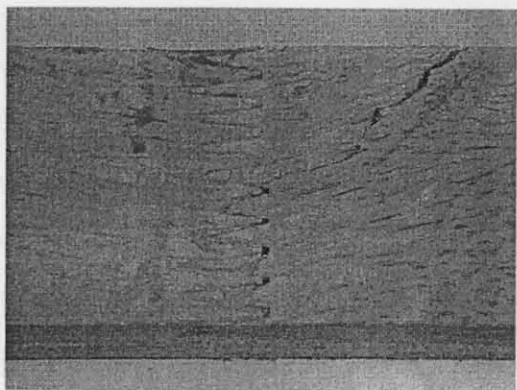
ภาพประกอบที่ 57 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF มีลักษณะการฉีกขาดตามทิศทางการเรียงตัวของ

เสียน และกาว TOA มีลักษณะการฉีกขาดของชั้นทดสอบใกล้แนวรอยต่อ กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งแปงข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และคิวมาโรนิมัลชัน ชั้นทดสอบมีลักษณะการฉีกขาดของไม้ที่ตัวนิ้วมือประสาน ส่วนกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด (3) ชั้นทดสอบมีเพียงการแยกที่รอยต่อ ลักษณะการฉีกขาดของชั้นทดสอบสอดคล้องกับค่าแรงดึงขนานเสียนสูงสุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 56 พบว่าจากการทดสอบแรงดึงขนานเสียนสูงสุดมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.9-4.9 ค่าแรงดึงขนานเสียนที่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งชั้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF และกาว TOA ให้ค่าแรงดึงขนานเสียนสูงสุด  $46.89 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  และ  $37.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ตามลำดับ เนื่องมาจากกาวทั้งสองชนิดสามารถซึมซาบเข้าไปในรูพรุนในเนื้อไม้ได้สูง ทำให้การยึดติดระหว่างกาวกับส่วนของข้อต่อไม้แข็งแรง จึงต้องใช้แรงในการดึงแยกส่วนของข้อต่อให้หลุดออกจากกันมาก ส่วนกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดแปงข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 7 phr, คิวมาโรนิมัลชัน 8 phr และแปงข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนิมัลชันให้ค่าแรงดึงขนานเสียนสูงสุดใกล้เคียงกันที่  $23.91 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ,  $28.40 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  และ  $20.83 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าแรงดึงขนานเสียนสูงสุดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนิมัลชันปริมาณ 8 phr ให้ค่าแรงดึงขนานเสียนสูงสุดที่สุด แต่ค่าแรงดึงขนานเสียนที่ได้ยังมีค่าน้อยกว่าแรงดึงขนานเสียนของกาว UF และกาว TOA ประมาณ 1.6 และ 1.3 เท่า ตามลำดับ

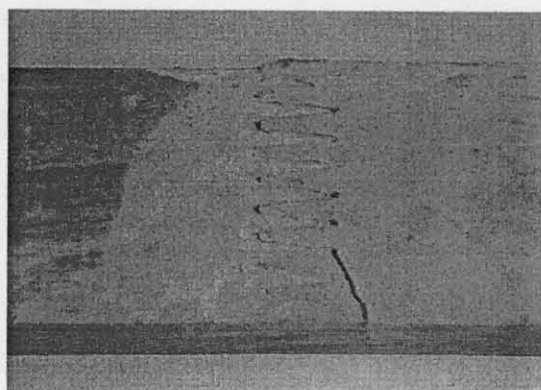


ภาพประกอบที่ 58 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อค่ามอดูลัสแตกกร้าว

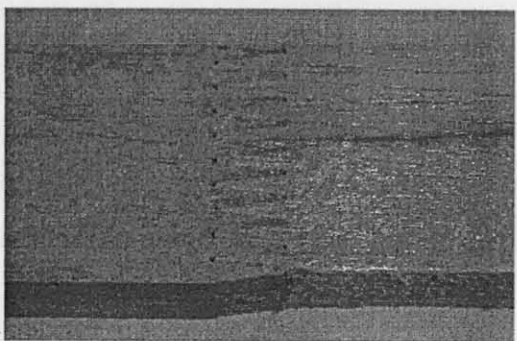
- |            |  |
|------------|--|
| 1. กาว UF  | 4. กาวยางผสมคิวมาโรนิมัลชัน 8 phr                                  |
| 2. กาว TOA | 5. กาวยางผสมแปงข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 7 phr                         |
| 3. กาวยาง  | 6. กาวยางผสมแปงข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr : คิวมาโรนิมัลชัน 2 phr |



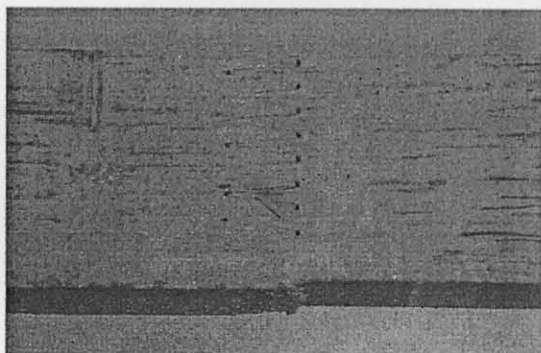
(1)



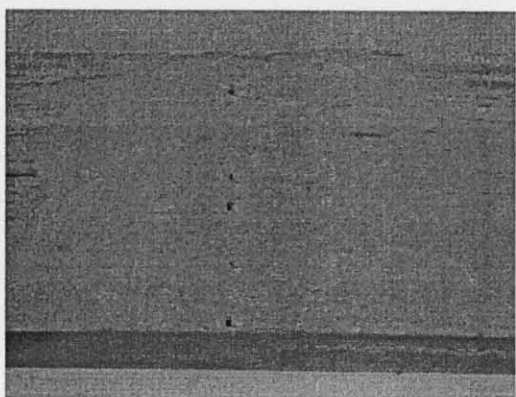
(4)



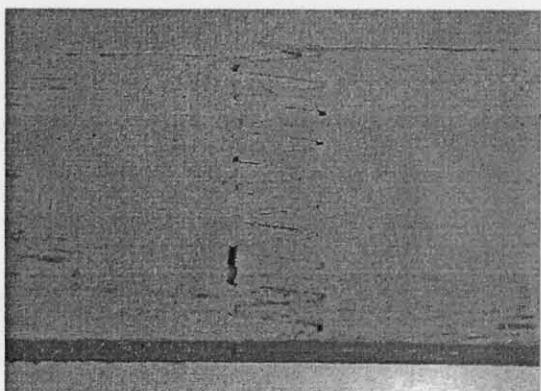
(2)



(5)



(3)



(6)

ภาพประกอบที่ 59 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบการดัดสติลล์

- |            |  |
|------------|--|
| 1. กาว UF  | 4. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr                                   |
| 2. กาว TOA | 5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 7 phr                          |
| 3. กาวยาง  | 6. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 phr |

ภาพประกอบที่ 59 แสดงลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังจากการตัดสถิติ พบว่าชั้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF มีลักษณะการแตกหักที่แนวรอยต่อไม้มองเห็นได้ชัด ส่วนกาว TOA กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งแปงข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และคิวมาโรนอิมัลชัน และกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดชั้นทดสอบมีลักษณะแยกที่รอยต่อแต่เห็นรอยแตกหักไม่ชัดเจน ชั้น-ทดสอบ โกงงอบริเวณรอยต่อเนื่องมาจากแรงที่ตกลงบนชั้นทดสอบ กลสมบัติที่คำนวณได้จากผลการทดสอบการตัดสถิติ คือ มอดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture, MOR) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 58 พบว่าการทดสอบการตัดสถิติมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.4-2.3 ค่ามอดูลัสแตกร้าวที่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ชั้นทดสอบที่ยึดติดด้วยกาว UF ให้ค่ามอดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดที่  $29.15 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  อาจเนื่องมาจากกาวสามารถซึมซาบเข้าไปในรูพรุนในเนื้อไม้ได้สูง เนื่องจากขนาดอนุภาคของกาวมีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุนของไม้ยางพารา ทำให้การยึดติดระหว่างกาวกับส่วนของข้อต่อไม้แข็งแรง จึงต้องใช้แรงกดเพื่อข้อต่อให้หลุดออกจากกันมาก ส่วนกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr ให้ค่ามอดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดที่  $20.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  เมื่อเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ

#### 4.8 การประเมินต้นทุนในการเตรียมกาวยาง

ในการคำนวณต้นทุนการเตรียม 20% โดยน้ำหนักของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ แสดงดังตารางที่ 16 โดยคำนวณจากราคาของ 60% โดยน้ำหนักของน้ำยางชั้น คัดเทียบจากปริมาณเนื้อยางแห้งที่ต้องใช้ในการเตรียมซึ่งเท่ากับ 115.6 กรัม โดยไม่คำนึงถึงต้นทุนในขั้นตอนการปรับความเข้มข้นของ 20% โดยน้ำหนักของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ ให้เป็น 60% โดยน้ำหนัก ก่อนนำไปเตรียมกาวยาง สำหรับการคำนวณต้นทุนในการเตรียม 22% คิวมาโรนอิมัลชัน และต้นทุนในการเตรียมกาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr แสดงดังตารางที่ 17 และ 18 ตามลำดับ

จากการประเมินต้นทุนในการเตรียมกาวยาง โดยคำนวณค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเท่านั้น ไม่คำนึงถึงค่าไฟฟ้าและค่าแรงงาน ราคา กาวยางที่เตรียมได้ประมาณ 219 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 16 แสดงต้นทุนในการเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์

รายการ	มูลค่า (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณ (กรัม)	มูลค่ารวม (บาท)
60% น้ำยางชั้น	60	193	11.58
กรดฟอร์มิก*	1148	174	199.75
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์**	28	797	22.32
10% Teric N30***	128	50	0.64
มูลค่ารวม		1214	234.29
มูลค่ารวม (บาท/กิโลกรัม)			192.99

\* กรดฟอร์มิก เข้มข้น 98-100% ความหนาแน่น 1.22 g/mL

\*\* ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 50% ความหนาแน่น 1.11 g/mL

\*\*\* คำนวณราคา Teric N30 โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง \

ตารางที่ 17 แสดงต้นทุนในการเตรียมน้ำ 22% คิวมาโรนอิมัลชัน

รายการ	มูลค่า (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณ (กรัม)	มูลค่ารวม (บาท)
คิวมาโรนเรซิน	140	40	5.60
โทลูอีน*	228	43	9.80
25% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์**	400	1.36	0.14
12% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์**	1260	98	15.12
มูลค่ารวม		182.36	30.66
มูลค่ารวม (บาท/กิโลกรัม)			168.13

\* โทลูอีน ความหนาแน่น 0.87 kg/L

\*\* คำนวณราคา โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 18 แสดงต้นทุนในการเตรียมกาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr

รายการ	มูลค่า (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณ (กรัม)	มูลค่ารวม (บาท)
60% น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	192.99	167	32.23
10% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์*	400	5	2
50% วิงสเคย์ แอล	195	3	0.59
50% ไททานเนียมไดออกไซด์	140	3	0.42
50% ซิงค์ออกไซด์	105	4	0.42
50% แซคคิอีน	155	2	0.31
50% กำมะถัน	75	4	0.30
5% CMC*	8400	60	25.2
10% Potassium oleate	45	30	1.35
22% คิวมาโรนอิมัลชัน	168.13	36.36	6.11
มูลค่ารวม		314.36	68.93
มูลค่ารวม (บาท/กิโลกรัม)			219.27

\* กำหนดราคาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และ CMC โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง

## ผลการทดลองและวิจารณ์

ส่วนที่ 2 การรายงานผลการศึกษาเพิ่มเติมนอกขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ชัน (Dammar) เป็นส่วนผสมร่วมในกาวนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

### 4.9 สมบัติของนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ต่อระยะเวลาการเก็บ

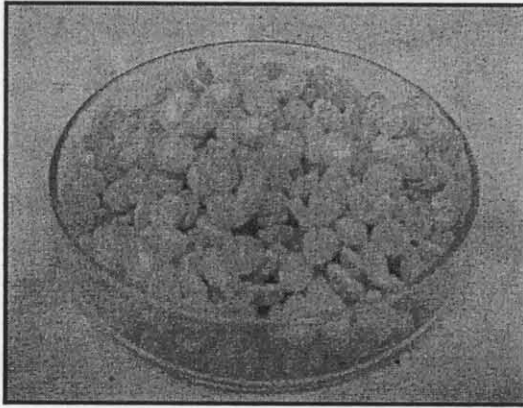
สมบัติของนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ทำการทดสอบต่อระยะเวลาการเก็บ 10 สัปดาห์ คือ ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ อุณหภูมิคล้ายแก้ว ความหนืด และความเป็นกรด-ด่าง ดังตารางที่ 19 พบว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปสมบัติของนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่กล่าวมาทุกตัวมีค่าคงเดิม ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แสดงให้เห็นว่านำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ใช้ในการเตรียมกาวมีความเสถียรค่อนข้างสูง

ตารางที่ 19 แสดงสมบัติของนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ต่อระยะเวลาการเก็บ

ระยะเวลา	Mole% Epoxidized	อุณหภูมิคล้ายแก้ว (°C)	ค่าความหนืด (cps)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
เริ่มต้น	42.8	-24.4	9600	8.33
2 สัปดาห์	42.8	-24.4	9600	8.32
4 สัปดาห์	42.8	-24.4	9600	8.32
6 สัปดาห์	42.8	-24.4	9600	8.32
8 สัปดาห์	42.8	-24.4	9600	8.32
10 สัปดาห์	42.8	-24.4	9600	8.32

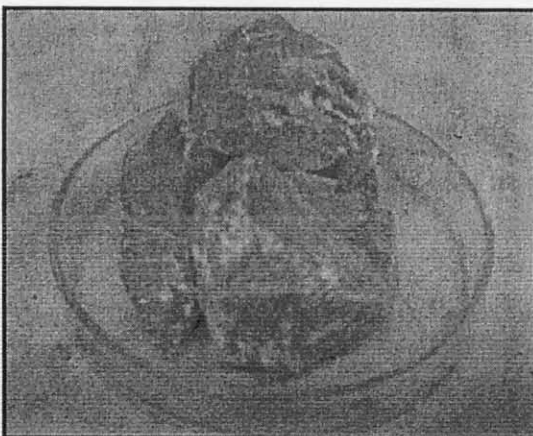
#### 4.10 สารเพิ่มการยึดติด

Petroleum resin มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็กสีเหลืองปนน้ำตาล มีความสามารถในการยึดติดที่ดี เป็นสารที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดติดของ Adhesives ประเภทต่างๆ ทน กรดและสามารถผสมกับน้ำอย่างธรรมชาติได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในภาพประกอบที่ 60



ภาพประกอบที่ 60 Petroleum resin

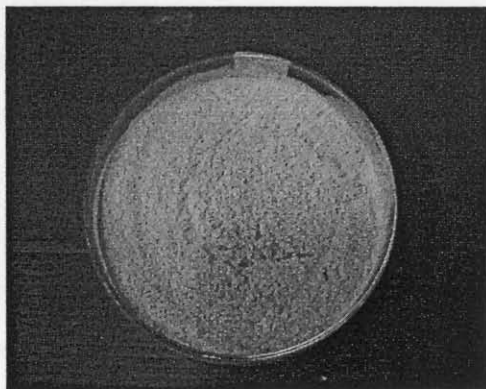
Terpene phenolic resin มีลักษณะเป็นก้อนของแข็งสีเหลืองปนน้ำตาล ดังแสดงในภาพประกอบที่ 61 เป็นสารที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดติดของ Adhesives ประเภทต่างๆ สามารถเติมผสมลงในสารทั้งที่เป็น Organic และ Inorganic และซึมผ่านเข้าสู่โครงสร้างต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว นิยมใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน



ภาพประกอบที่ 61 Terpene phenolic resin



ชัน (Dammar) ลักษณะทางกายภาพของชันมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลเทา เมื่อนำมาวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Laser Particle Size Analyzer) พบว่ามีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.275 ถึง 2.5 ไมโครเมตร แต่เมื่อนำมาทำการบดพร้อมเติมสารช่วยกระจายให้อยู่ในรูป 20 เปอร์เซนต์ดีสเพนชันเป็นเวลา 4 วัน พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยส่วนใหญ่มีค่า 1.42 ไมโครเมตร มีสูตรโครงสร้างที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 62 ซึ่งเป็นหมู่ที่แสดงสมบัติความเป็นขี้ของสาร โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวจะทำให้หน้าที่ในการเชื่อมพันธะกับหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์



ภาพประกอบที่ 62 ชัน (Dammar)

#### 4.11 กาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์

ในการเตรียมกาวยางเช่นเดียวกับการทดลองส่วนที่ 1 ก็ใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 44 โมลเปอร์เซนต์อีพอกไซด์และใช้กาวสูตรปรับปรุง โดยมีการเตรียมกาวตามปริมาณและชนิดของสารเพิ่มการยึดติด ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 แสดงกายภาพสูตรปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนชนิด และปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด

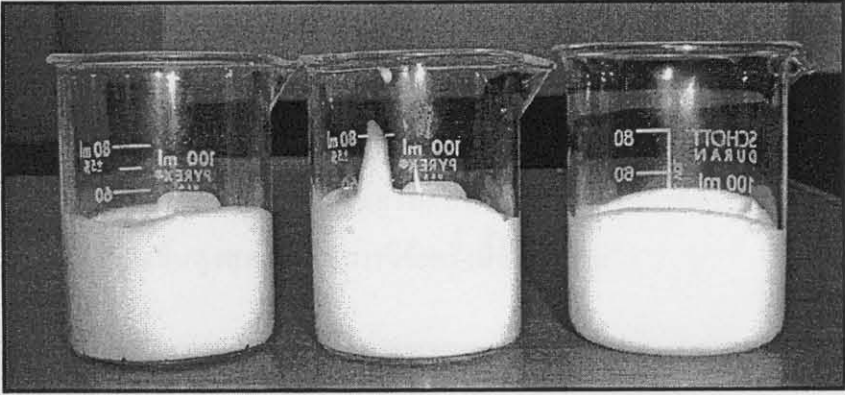
สูตรกาว	กาวและสารเพิ่มการยึดติด	ปริมาณสารเพิ่มการยึดติด phr (น้ำหนักแห้ง)
1	กาวยางไม้ผสมสารเพิ่มการยึดติด	
2	TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเตตอิมัลชัน)	
3	Urea Formaldehyde (UF)*	
4	กาวยางผสม Petroleum resin	15
5	กาวยางผสม Petroleum resin	30
6	กาวยางผสม Petroleum resin	45
7	กาวยางผสม Terpene phenolic resin	30
8	กาวยางผสม Terpene phenolic resin	45
9	กาวยางผสม Terpene phenolic resin	60
10	กาวยางผสมชั้น	10
11	กาวยางผสมชั้น	15
12	กาวยางผสมชั้น	20

หมายเหตุ\* กาวสังเคราะห์ที่ใช้ในโรงงานได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงาน APS WOODS PRODUCTS ถนนกาญจนวนิชย์ ตำบลพะคง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90230

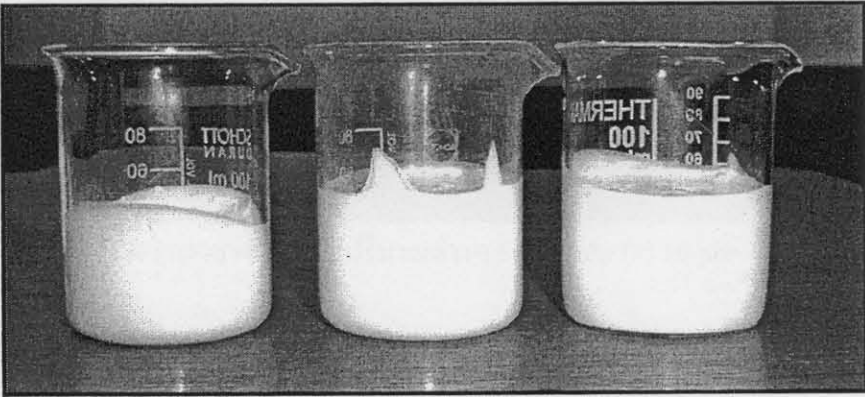
กาวที่ได้มีลักษณะดังนี้

#### 4.11.1 กาวยางผสมสารเพิ่มการยึดติด คือ Terpene phenolic resin และ กาวยางผสมสารเพิ่มการยึดติด คือ Petroleum resin

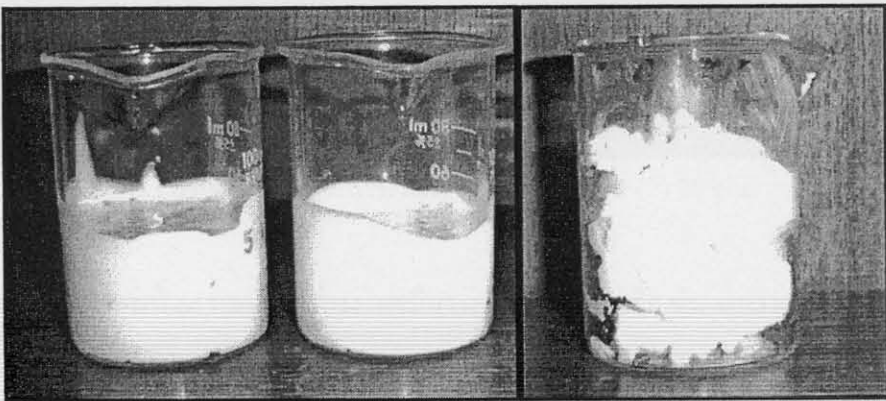
กาวยางที่เตรียมได้จากการใช้ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin เป็นสารเพิ่มการยึดติด โดยมีการแปรปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดทั้งสองชนิดครั้งนี้คือ 15, 30, 45 และ 60 phr พบว่ากาวยางทุกสูตรมีลักษณะเป็นครีมข้นมีสีเหลืองอ่อนๆ ใกล้เคียงกัน ยกเว้นกาวยางผสม Petroleum resin 60 phr มีการจับตัวเป็นก้อนสีเหลืองอ่อน ไม่สามารถนำไปใช้เป็นกาวได้ ดังนั้นปริมาณของ Petroleum resin สูงสุดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ 45 phr



A : กาวยางผสม Terpene phenolic resin ปริมาณต่างๆ : (1) 0 phr (2) 15 phr (3) 30 phr



B : กาวยางผสม Terpene phenolic resin ปริมาณต่างๆ : (1) 45 phr (2) 60 phr  
(3) กาวยางผสม Petroleum resin 15 phr

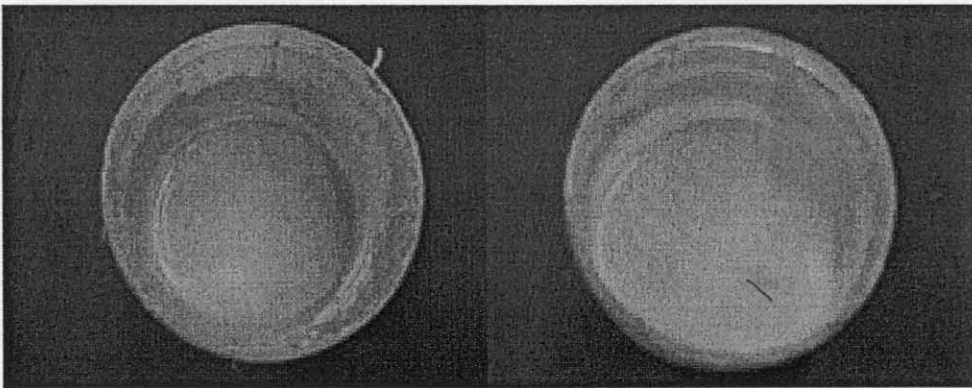


C : กาวยางผสม Petroleum resin ปริมาณต่างๆ : (1) 30 phr (2) 45 phr (3) 60 phr

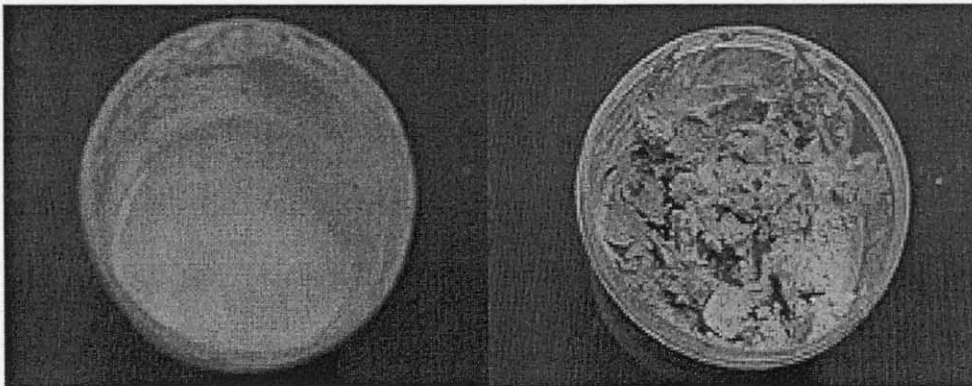
ภาพประกอบที่ 63 แสดงกาวยาง โดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin ที่ปริมาณต่างๆ

#### 4.11.2 กาวยางผสมสารเพิ่มการยึดติดคือ ชัน (Dammar)

กาวยางที่เตรียมได้จากการใช้ชันเป็นสารเพิ่มการยึดติด โดยมีการแปรปริมาณของชันดังนี้คือ 5, 10, 15 และ 20 phr พบว่ากาวยางทุกสูตรมีลักษณะเป็นครีมข้นมีสีน้ำตาลอ่อน ยกเว้นกาวยางผสมชัน 20 phr มีลักษณะเป็นครีมค่อนข้างแห้งสีน้ำตาลอ่อน สามารถนำไปใช้เป็นกาวได้ ดังนั้นปริมาณของชันสูงสุดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ 20 phr



A : กาวยางผสมชันปริมาณต่างๆ : (1) 5 phr (2) 10 phr



B : กาวยางผสมชันปริมาณต่างๆ : (1) 15 phr (2) 20 phr

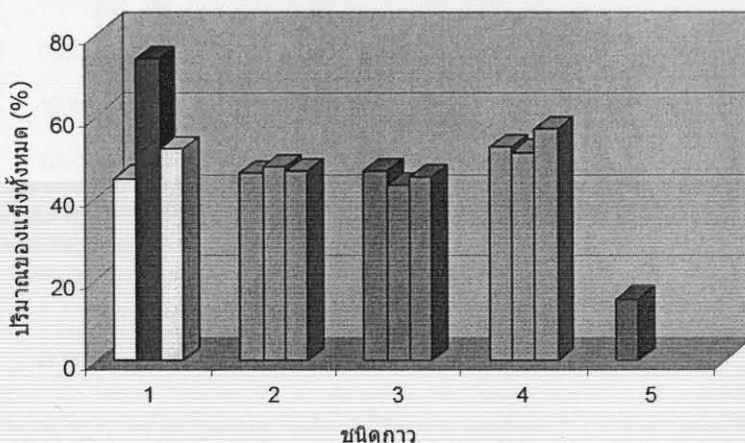
ภาพประกอบที่ 64 แสดงกาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติดคือ ชัน ที่ปริมาณต่างๆ

#### 4.12 การทดสอบคุณสมบัติของกาวยาง

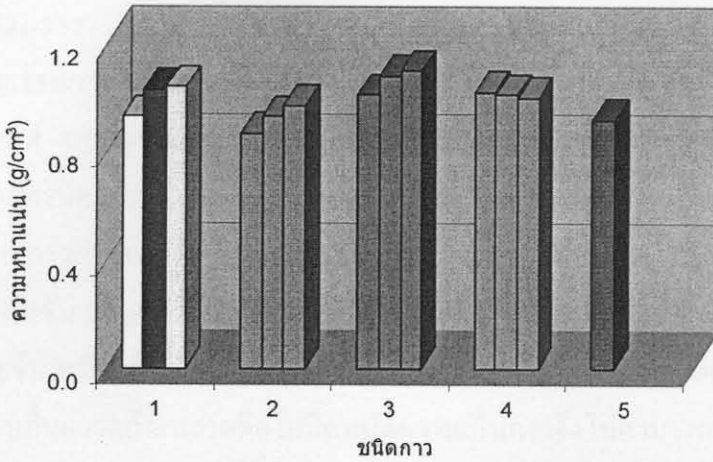
จากกาวยางที่เตรียมได้นำมาทดสอบคุณสมบัติของกาวยางตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยาง มอก. 521-2527 [22] ได้แก่ การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (เนื้อกาว) ความหนาแน่น ความหนืด และมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวพอลิไวนิลอะซิเตดอิมัลชัน มอก. 181-2530 [23] ได้แก่ การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 65-68 ตามลำดับ โดยมีหมายเลขสัญลักษณ์แทนกาวแต่ละชนิดโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาตามรายการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 21 สัญลักษณ์หมายเลขแทนชนิดของกาว

หมายเลข	ชนิดของกาว
1	กาวยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม, กาว TOA, กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์
2	กาวยางผสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr
3	กาวยางผสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr
4	กาวยางผสมชั้น 10, 15 และ 20 phr
5	กาวยางตามมอก. 521-2527 (ใช้อ้างอิงการทดสอบปริมาณเนื้อกาว ความหนาแน่น และความหนืด) และมอก. 181-2530 (ใช้อ้างอิงการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง)

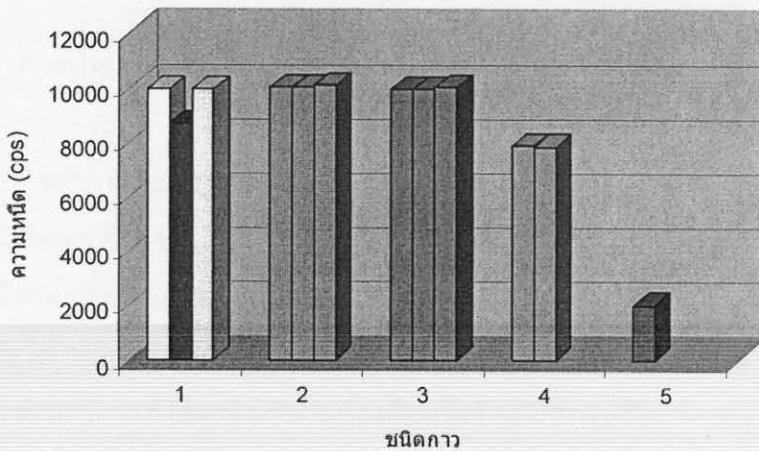


ภาพประกอบที่ 65 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว



ภาพประกอบที่ 66 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนาแน่น

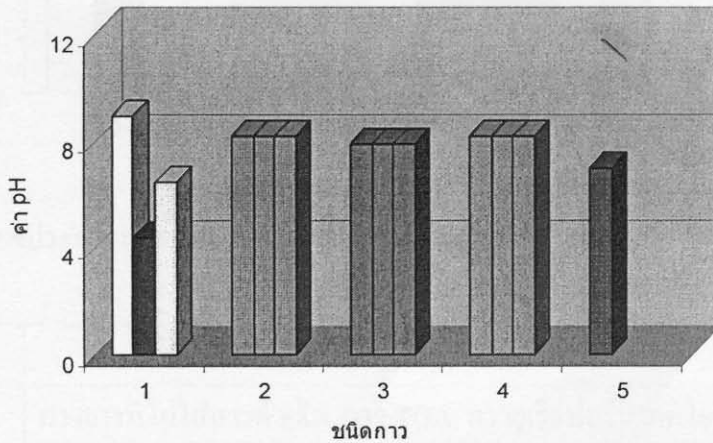
จากภาพประกอบที่ 65 และ 66 พบว่าปริมาณเนื้อกาวทุกสูตรผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง มอก.521-2527 [22] ซึ่งกำหนดว่าในการใช้งานทั่วไปต้องมีปริมาณเนื้อกาวไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 สำหรับความหนาแน่น กาวทุกสูตรผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง มอก.521-2527 [23] ซึ่งค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 0.93 ถึง 1.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ยกเว้นกาวยางผสม Petroleum resin 15 phr ที่ไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง ซึ่งมีค่าความหนาแน่นประมาณ 0.87 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพประกอบที่ 67 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนืด



จากภาพประกอบที่ 67 พบว่ากาวทุกสูตรผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กาวยาง มอก.521-2527 [22] ที่กำหนดไม่น้อยกว่า 1500 เซนติพอยส์ และมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวโพลีไวนิลอะซิเตดอิมัลชันสำหรับไม้ มอก.181-2530 [23] ที่กำหนดไว้ ที่ 2000 เซนติพอยส์ นอกจากนี้พบว่ากาวยางผสม Petroleum resin และกาวยางผสม Terpene phenolic resin ทุกสูตรมีความหนืดใกล้เคียงความหนืดของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งมีค่าประมาณ 9900 เซนติพอยส์ กาวยางผสมชั้น 10 และ 15 phr มีค่าความหนืดประมาณ 7800 เซนติพอยส์ สำหรับกาวยางผสมชั้น 20 phr เมื่อทำการใส่โปแตสเซียมโอเลตลงไปใหม่ๆ พบว่ากาวชนิด ดังกล่าวมีลักษณะข้นเหนียวติดดีแต่เมื่อตั้งทิ้งไว้เกินกว่า 1 ชั่วโมงพบว่ากาวมีลักษณะแห้งคล้าย ฟองน้ำผิวหน้าเรียบลื่นแววคล้ายพลาสติกไม่มีสมบัติความเป็นกาวจึงไม่สามารถทำการทดสอบหา ความหนืดได้

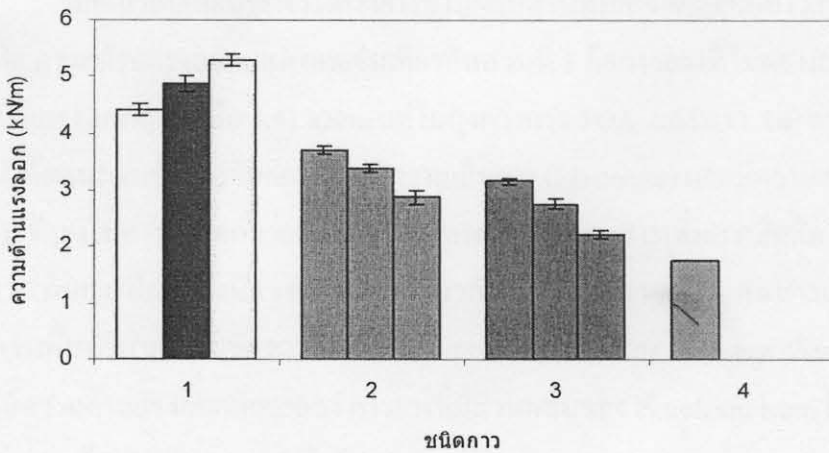


ภาพประกอบที่ 68 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความเป็นกรด-ด่าง

จากภาพประกอบที่ 68 พบว่ากาวทุกสูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกันโดย มีความเป็นด่างอ่อนๆ ซึ่งต่างจากกาว TOA และกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเป็นกรดอ่อนๆ กาวที่ผลิตได้มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โพลีไวนิลอะซิเตด อิมัลชันสำหรับไม้ มอก.181-2530 [23] ซึ่งกำหนดไว้อยู่ในช่วง 4 ถึง 7 เนื่องจากถ้าออกสูตรกาว ในช่วงดังกล่าวพบว่ากาวที่ได้จะจับตัวกันเป็นก้อนจึงจำเป็นต้องปรับให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมี ความใกล้เคียงกับสารเคมีที่ใช้ในการออกสูตรกาว

### 4.13 การทดสอบความต้านแรงลอก

การทดสอบความต้านแรงลอกเป็นการทดสอบกาวที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา โดยการทดสอบจะใช้ชิ้นทดสอบ 5 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 69



ภาพประกอบที่ 69 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก

หมายเลข	ชนิดของกาว
1	กาวยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม, กาว TOA, กาวยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์
2	กาวยางผสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr
3	กาวยางผสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr
4	กาวยางงานวิจัยของออร์สา ภัทรไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [44]

จากภาพประกอบที่ 69 แสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอกของกาวยางผสม Petroleum resin และกาวยางผสม Terpene phenolic resin พบว่าจากการทดสอบความต้านแรงลอกมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.05-0.14 ผลการทดสอบมีความถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญ ชิ้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF ภายหลังการดึงลอกมีส่วนของเศษไม้ของชิ้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชิ้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงลอกมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยาง



สูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ขึ้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกันโดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วย มีแต่คราบกาวยางที่แห้งติดอยู่บนชิ้นทดสอบทั้งสองด้าน ส่วนใหญ่กาวอยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการวัดขนาดของอนุภาคของกาวยางผสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr และกาวยางผสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr เพื่อยืนยันผลว่าขนาดของอนุภาคกาวไม่มีผลต่อซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ความต้านแรงลอกแสดงผลเช่นเดียวกับส่วนที่ 1 คือกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีความต้านแรงลอกสูงสุดคือ 4.41 kN/m แต่ไม่สูงกว่ากาว TOA และกาว UF อาจเนื่องมาจากกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีสมบัติความเป็นยาง (Elastomer) และมีความเหนียวมากกว่า จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่ากาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด อีกทั้งกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดยังมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารเพิ่มการยึดติดทั้ง Petroleum resin และ Terpene phenolic resin ในกาวยางทำให้ความต้านแรงลอกมีค่าลดลง กาวยางที่มีส่วนผสมของ Petroleum resin ที่อัตราส่วน 15 phr แสดงค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ 3.70 kN/m

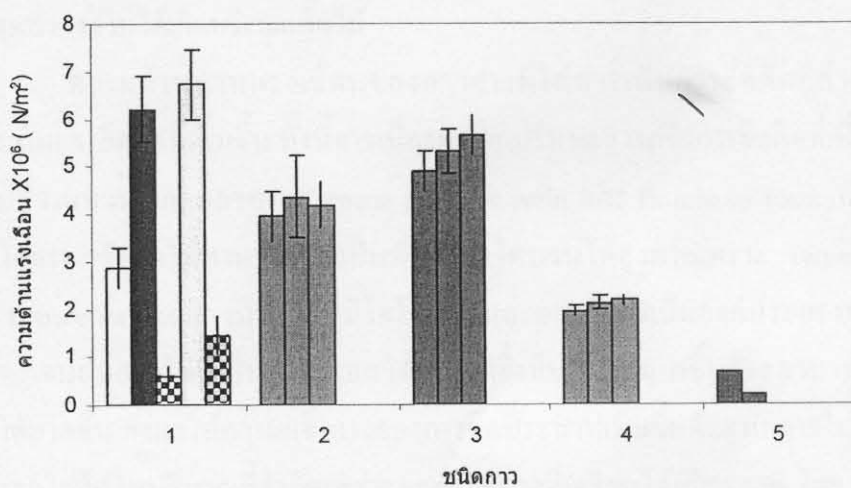
เมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และกาวยางที่มีส่วนผสมของคิวมาโรนอิมัลชัน พบว่าความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสม Petroleum resin และ กาวยางที่มีส่วนผสม Terpene phenolic resin ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงกว่า แต่หากเปรียบเทียบกับความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ ร่วมกับคิวมาโรนอิมัลชัน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสม Petroleum resin และ กาวยางที่มีส่วนผสม Terpene phenolic resin

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง (2544) ซึ่งใช้สูตรในการผลิตกาวใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้โดยผลิตกาวจากน้ำยางชัน พบว่ากาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.75 kN/m และงานวิจัยของอาชีชัน แกสมาน และคณะ [32] พบว่ากาวจากยางแห้งที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $1.90 \times 10^{-3}$  kN/m และกาวที่ผสม coumarone indene resin ที่ 10 phr ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ  $3.53 \times 10^{-3}$  kN/m จากงานวิจัยทั้งสอง พบว่ากาวยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดให้ค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 4.4 kN/m ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางชันและกาวที่ผลิตจากยางแห้ง อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบ

ความต้านแรงลอกหลังการแช่น้ำของกาวทุกชนิดได้เนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม้หลังการแช่น้ำ

#### 4.14 การทดสอบความต้านแรงเฉือน

การทดสอบความต้านแรงเฉือนเป็นการทดสอบกาวที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา เช่นเดียวกับการทดสอบความต้านแรงลอก แต่จะใช้ชิ้นทดสอบ 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 70



ภาพประกอบที่ 70 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเฉือน

หมายเลข	ชนิดของกาว
1	กาวยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม, กาว TOA, กาว TOA (แช่น้ำ), กาวUF, กาว UF (แช่น้ำ)
2	กาวยางผสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr
3	กาวยางผสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr
4	กาวยางผสมชั้น 10, 15 และ 20 phr
5	กาวยางงานวิจัยของอรรถา ภัทรไพบุลย์ชัย และเรวดี แต่งเกตุยง [44], มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโพลีไวนิลอะซิเตดอิมัลชันสำหรับไม้ มอก.181-2530 [23]

จากภาพประกอบที่ 70 แสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเดือน พบว่า ชั้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF ภายหลังการคั่งมีส่วนของเศษไม้ของชั้นทดสอบด้านหนึ่ง ติดอยู่กับชั้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของ กาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรง เดือนมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึด ติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติด ชั้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่คราบกาวยางที่แห้งติดอยู่บน ชั้นทดสอบทั้งสองด้าน เหตุผลเช่นเดียวกับการอธิบายผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก เนื่อง กาวส่วนใหญ่อยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ จึงทำให้ค่าความต้าน แรงเดือนที่ได้มีน้อยลงและลักษณะของชั้นทดสอบของกาวยางภายหลังการคั่งเกิดความเสียหาย เฉพาะตรงจุดหากาวไม่ได้เกิดบริเวณเนื้อไม้

ความต้านทานแรงเดือนของกาวยางที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่มมากขึ้นทำ ให้แนวโน้มที่วงแหวนโมเลกุลของ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin แยกออกแล้ว เกิดเป็นหมู่ไฮดรอกซิลทำให้สามารถเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนได้สูงมากเพราะ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin เป็นสารที่มีไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสามารถเกิด พันธะไฮโดรเจนกับเนื้อไม้ที่เป็นเซลลูโลสได้และถ้ายังมีปริมาณมากขึ้นก็จะสามารถเกิดพันธะ ไฮโดรเจนได้มากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของการติดประสานเพิ่มขึ้นด้วย แต่การใส่สารเพิ่มการ ยึดติดสามารถใส่ได้ในปริมาณที่จำกัดเพราะจะทำให้กาวที่เตรียมได้เสียสภาพ โดย Petroleum resin สามารถใส่ได้ในปริมาณสูงสุด 45 phr ในขณะที่ Terpene phenolic resin ใส่ได้ถึง 60 phr และ ยังมีแนวโน้มนที่สามารถใส่เพิ่มได้อีก จากการทดลองกาวยางที่ใส่ Terpene phenolic resin 60 phr ให้ค่าความต้านแรงเดือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ ซึ่งรวมถึงกาวยางที่มีส่วนผสม ของแป้งข้าวเหนียวเจลลาตินไนซ์ และกาวยางที่มีส่วนผสมของคิวมาโรอินอิมัลชัน

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอรสา ภัทร ไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [44] ที่ผลิตกาวจากน้ำยางชัน พบว่าความต้านแรงเดือนของกาวที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเท่ากับ  $0.69 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ซึ่งค่าที่ได้นี้น้อยกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซดีที่ไม่ผสมสารเพิ่มการ ยึดติดมีค่าแรงเดือนเท่ากับ  $2.85 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตกาวโดยเลือกใช้น้ำยางพาราเป็น วัตถุดิบจะดีกว่าการใช้ยางแห้ง เนื่องจากกาวที่ผลิตได้จะมีสมบัติด้านการยึดติดที่ดีกว่า อย่างไรก็ตาม ใ่ อย่างไรก็ ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบความต้านแรงลอกหลังการแช่น้ำของกาวทุกชนิดได้เนื่องจากการ เกิดการหลุดล่อนของกาวและไม้หลังการแช่น้ำ