

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 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 แต่น้ำยางชั้นมีสีเหลืองก่อนไปทางน้ำตาลอ่อน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 30



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

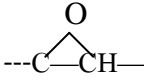
##### 4.1.2 ผลของการวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซค์

จากการทดลองเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่าง น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ทุก 1 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซค์ด้วยเทคนิค แมกนีติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ( $^1\text{H-NMR}$ ) และเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR)



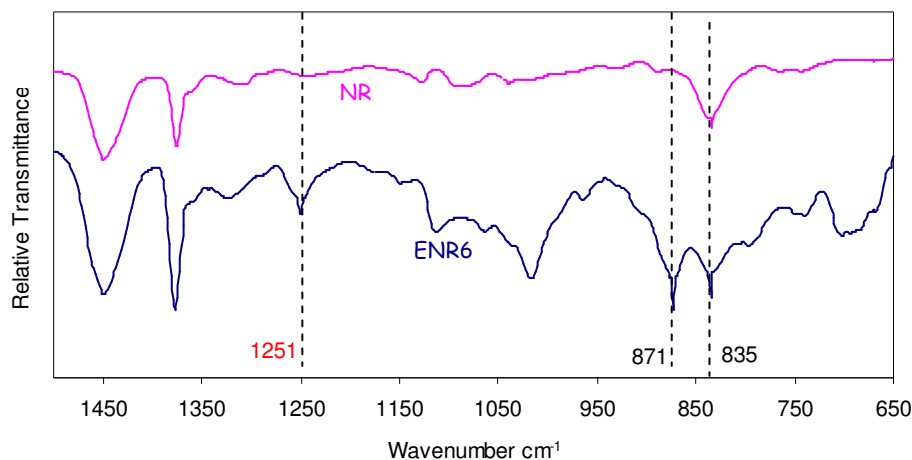
พบตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของวัชรินทร์ สายน้ำใส (2544) แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ [7]

หมู่ฟังก์ชัน	FT-IR (cm <sup>-1</sup> )	<sup>1</sup> 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	-

หลังจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FT-IR) เพื่อหาสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติอีพอกไซค์แสดงดังภาพประกอบที่ 31 พบแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่นใหม่เพิ่มขึ้นมาจากสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติ คือปรากฏที่ตำแหน่งเลขคลื่น 871 cm<sup>-1</sup> และ 1251 cm<sup>-1</sup> ซึ่งแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งของหมู่อีพอกไซค์ แสดงว่ามีหมู่อีพอกไซค์อยู่บนโครงสร้างของยางธรรมชาติ หลังการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน นำสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ได้ไปคำนวณหาอัตราส่วนการดูดกลืนแสง (Absorbance ratio) ดังสมการที่ (1) ของแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 cm<sup>-1</sup> ต่อแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 835 cm<sup>-1</sup> ซึ่งแสดงการเกิด out of plane bending ของพันธะ C-H ที่เกาะกับ C=C เพื่อคำนวณหาปริมาณหมู่อีพอกไซค์

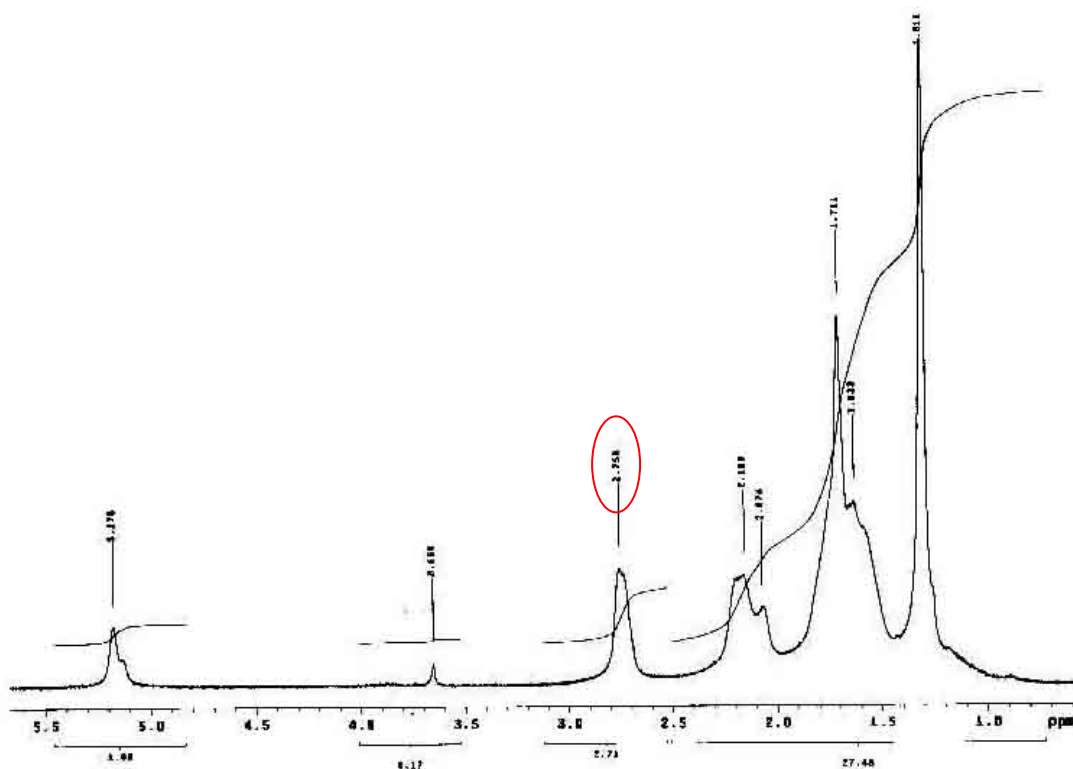
$$\text{Absorbance ratio} = \frac{a_{870}}{a_{870} + a_{835}} \quad (3)$$



ภาพประกอบที่ 31 แสดงกราฟสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ที่ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

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

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

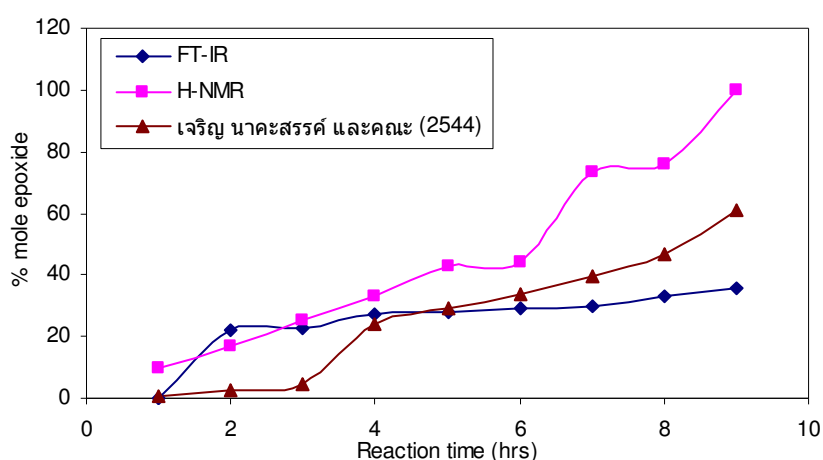


ภาพประกอบที่ 32 แสดง  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอดที่โปรตอนเกาะอยู่กับคาร์บอนที่เกิดพันธะคู่ที่ประมาณ 5.14 ppm ต่อพื้นที่ใต้จุดยอดของโปรตอนที่เกาะอยู่กับคาร์บอนของหมู่อีพอกไซค์ที่ประมาณ 2.70 ppm และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ได้สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ แล้วนำไปคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืน (Absorbance ratio) ของแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $870\text{ cm}^{-1}$  ต่อแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $835\text{ cm}^{-1}$  เพื่อคำนวณปริมาณหมู่อีพอกไซค์โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน [11] ซึ่งผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 12 และในภาพประกอบที่ 33

ตารางที่ 12 อัตราส่วนการดูดกลืนและปริมาณหมู่เอพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เวลาต่างๆ 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



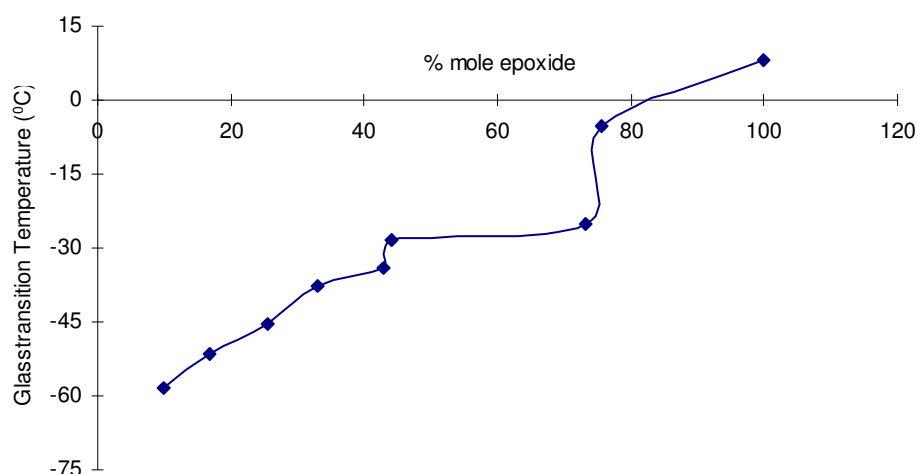
ภาพประกอบที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

จากภาพประกอบที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะทำให้เกิดหมู่เอพอกไซด์บนโมเลกุลยางธรรมชาติมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของเจริญ นาคะสรรงค์ และคณะ (2544) โดยพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน หมู่เอพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลของยางธรรมชาติก็จะมีมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสที่กรด

เปอร์ฟอร์มิกจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ที่ไม่อิ่มตัวบน โมเลกุลของยางธรรมชาติ เพื่อเกิดเป็นหมู่อีพอกไซด์มีมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ยังมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์อยู่มาก ซึ่งหากดูจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนมาก 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 พบว่าค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซค์ที่มีบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ โดยรายงานการวิจัยของ Baker และคณะ (1985) พบว่าการเกิดหมู่อีพอกไซค์ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เปอร์เซนต์โมลบนโมเลกุลยางธรรมชาติจะทำให้ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นประมาณ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของเจริญ นาคะสรรค์ และคณะ (2544) ทั้งนี้เนื่องจากหมู่อีพอกไซค์มีสภาพเป็นขั้ว และสามารถเกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ ทำให้โมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซค์เกิดการเลื่อนไหลหรือเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลได้ยากขึ้นส่งผลให้ความอ่อนตัวของโมเลกุลลดลงด้วย ทำให้ค่า Tg มีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าค่า Tg สามารถบ่งบอกถึงสภาพความเป็นขั้วบนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ได้ ถ้า Tg มีค่าสูงแสดงว่ายางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ได้มีสภาพความเป็นขั้วสูง

#### 4.2 การเตรียมสารเพิ่มการยึดติด

แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เตรียมได้มีสีขาวขุ่น ลักษณะเหนียวเหมือนแป้งเปียก ส่วนคิวมาโรน อินดิน เรซินในรูปอิมัลชันนั้นมีสีน้ำตาลเข้ม เนื้อมีลักษณะเป็นเหมือนครีม แต่เหนียวหนืดมาก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 35



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

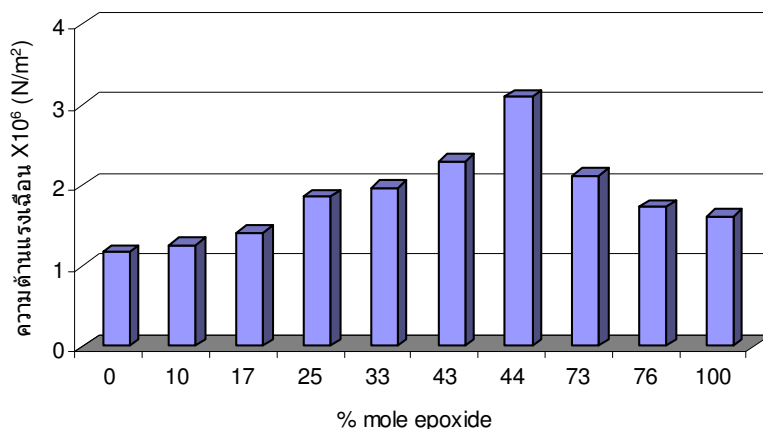


### 4.3 การเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ของยางธรรมชาติ-อีพอกไซค์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ และการศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่มีผลต่อสมบัติของกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ โดยใช้กาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์สูตรพื้นฐานตามสูตรอ้างอิงการผลิตกาวจากน้ำยางเพื่อใช้ในงานทั่วไปของวารสาร วิจารณ์ ชจร ไชยกุล และวิภา เสวตกนิษฐ์ (2541)

#### 4.3.1 การเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมกาวยาง

โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ในการเตรียมกาวยาง และทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อของกาวด้วยเครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง (Universal testing machine) โดยการวัดค่าความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM D2339



ภาพประกอบที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์กับค่าความต้านแรงเฉือน

จากภาพประกอบที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์กับค่าความต้านแรงเฉือน พบว่าในช่วงแรกค่าความต้านแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์จนถึงจุดหนึ่งที่เปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์มีค่าเท่ากับ 44% โมลอีพอกไซค์ ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นความต้านแรงเฉือนจะมีค่าลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่มีเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์สูงมีความ

เป็นข้าวมากจนเกินไปแทนที่จะเกิดการดึงดูระหว่างโมเลกุลของกากกับไม้เท่านั้น แต่กลับเกิดการดึงดูระหว่างโมเลกุลของกากกันเองด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของกากกับชิ้นไม้ลดลง

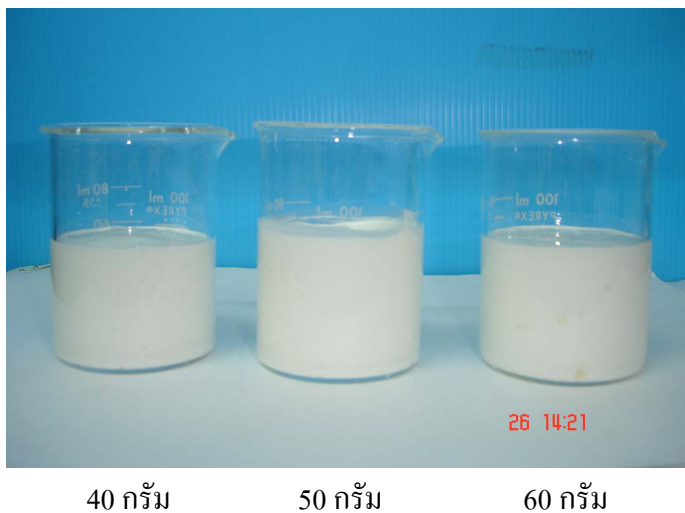
จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์โพลีพอกไซค์ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมกากยางธรรมชาติโพลีพอกไซค์ คือ ประมาณ 44% โพลีพอกไซค์ ซึ่งให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด และหลังจากนี้จะใช้คำว่ากากยางแทนกากยางธรรมชาติโพลีพอกไซค์ 44% โพลีพอกไซค์

#### 4.3.2 กากยาง โดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์

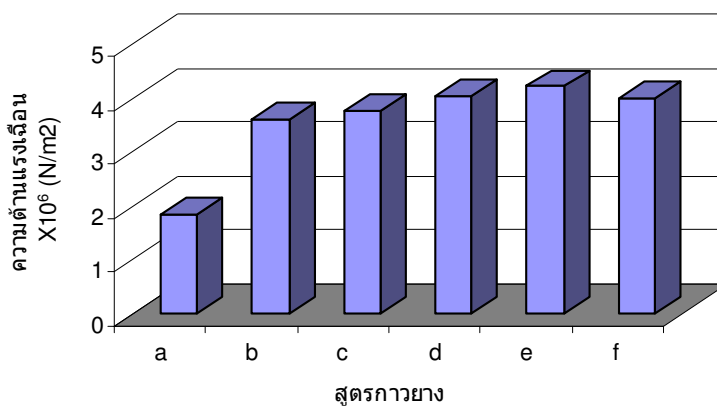
โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ เพื่อเลือกเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติดในกากยาง

ตารางที่ 13 กากยางสูตรต่างๆ โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์

สูตรกากยาง	ความเข้มข้นของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เตรียม	ปริมาณแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เติมลงไปในกากยาง (กรัม)
a	5	50
b	10	40
c	10	50
d	10	60
e	15	50
f	15	60



ภาพประกอบที่ 37 แสดงกายางสูตรพื้นฐานที่ใช้ 10% โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ เป็นสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ



ภาพประกอบที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกายางสูตรต่างๆ กับค่าความต้านแรงเฉือน

ผลการทดสอบความต้านแรงเฉือนของกายางสูตรพื้นฐาน เมื่อปรับค่าเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ ได้ผลดังนี้ คือ

- กายางซึ่งผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ในปริมาณที่เท่ากัน คือ 50 กรัม พบว่ากาย e ที่ใช้แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 15% โดยน้ำหนัก ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด
- กายางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก ความต้านแรงเฉือน มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่ใช้ แต่กายางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 15% โดยน้ำหนัก ความต้านแรงเฉือนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสาร

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าควรเลือกใช้แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก เนื่องจากความต้านแรงเหนือนมีค่าสูงและเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใช้

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

จากงานวิจัยของสุรชัย สันติวงศ์สถิต (2543) พบว่าสารยึดติดที่นำมาใช้กับน้ำยางควรอยู่ในรูปอิมัลชัน และจำเป็นต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางและสารเพิ่มการยึดติดก่อนด้วย 10% โดยน้ำหนักของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากการผสมคิวมาโรนอิมัลชันกับยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกันมากอาจทำให้น้ำยางเหนียว จับตัวเป็นก้อนและเสียดสภาพได้ จึงทำการศึกษาโดยปรับเปลี่ยนความเป็นกรด-ด่างต่างกัน 3 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 14 และทำการทดสอบความต้านแรงเหนือนเป็นคุณสมบัติหลัก ได้ผลดังนี้

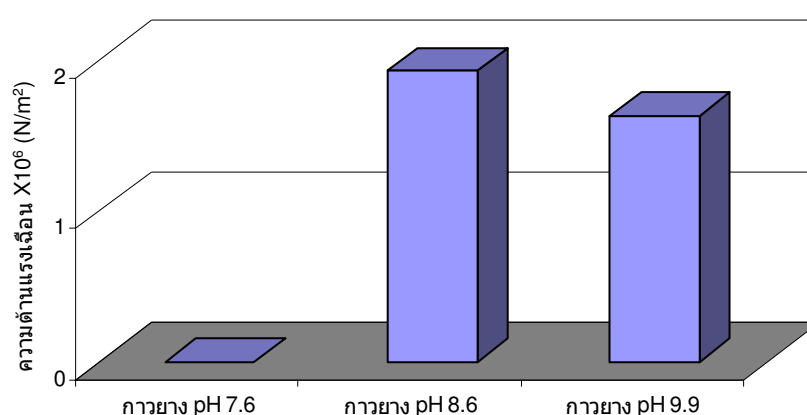


ภาพประกอบที่ 39 แสดงกาวยางที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr เป็นสารเพิ่มการยึดติด

จากภาพประกอบที่ 39 แสดงลักษณะของกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดชนิดคิวมาโรนอิมัลชัน และมีการแปรค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 7.6, 8.6 และ 9.9 พบว่ากาวยางที่มีความเป็นกรด-ด่าง 7.6 มีลักษณะเป็นก้อน อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างน้ำยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.6 กับคิวมาโรนอิมัลชันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5 ทำให้กาวยางเกิดการเสียดสภาพจับตัวเป็นก้อน แต่กาวยางที่มีความเป็นกรด-ด่าง 8.6 และ 9.9 ยังคงสภาพเป็นของเหลวเหนียวเหมือนเดิม

ตารางที่ 14 แสดงผลของความต้านแรงเฉือนในกาวยางสูตรต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr เป็นสารเพิ่มการยึดติด โดยปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างในสูตรกาวพื้นฐาน

สูตรกาว	ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	ความต้านแรงเฉือน (N/m <sup>2</sup> )
g	7.6	ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากกาวจับตัวเป็นก้อน
h	8.6	1.9 X 10 <sup>6</sup>
i	9.9	1.6 X 10 <sup>6</sup>



ภาพประกอบที่ 40 กราฟแสดงผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความต้านแรงเฉือน

ภาพประกอบที่ 40 แสดงผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความต้านแรงเฉือน พบว่าความต้านแรงเฉือนของชั้นทดสอบมีแนวโน้มลดลง เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกาวยางที่ใช้คิวมาโรนอิมัลชันเป็นสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.6 มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-ด่างของคิวมาโรนอิมัลชันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5 ทำให้กาวยางกับคิวมาโรนอิมัลชันสามารถผสมเข้ากันได้ดี กาวยางจึงสามารถยึดเกาะกับเนื้อไม้ได้ดีกว่ากาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า จึงส่งผลให้กาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.6 มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงที่สุด

จากผลการทดสอบจึงเลือกใช้กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 8.6 เป็นสารเพิ่มการยึดติดในการผลิตกาวยาง

เมื่อได้สัดส่วนของสารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสม ได้มีการปรับปรุงกายภาพสูตรพื้นฐานโดยใช้ชื่อว่ากายภาพสูตรปรับปรุง โดยมีการเติม Carboxy methyl cellulose (CMC) 5 % โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความหนืดของกาว, Potassium oleate 10 % โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความเสถียร และ Salicylic acid 15 % โดยน้ำหนัก สำหรับการป้องกันเชื้อรา และได้มีการนำแป้งข้าวเหนียว เจลลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก มาผสมกับคิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก ในสัดส่วนต่างๆ ที่ 7 และ 8 phr แสดงดังตารางที่ 15 เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติดอีกชนิดหนึ่ง โดยปริมาณที่เลือกใช้นี้ได้มาจากผลการทดสอบความต้านแรงเหนือนของกาวยาง ซึ่งพบว่ากาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียว เจลลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงเหนือนสูงสุดเมื่อใช้ที่ปริมาณ 7 phr และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงเหนือนสูงสุดเมื่อใช้ที่ปริมาณ 8 phr

ตารางที่ 15 แสดงกาวยางสูตรปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนชนิด 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 : กาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณต่างๆ : (1) 6 phr (2) 7 phr (3) 8 phr





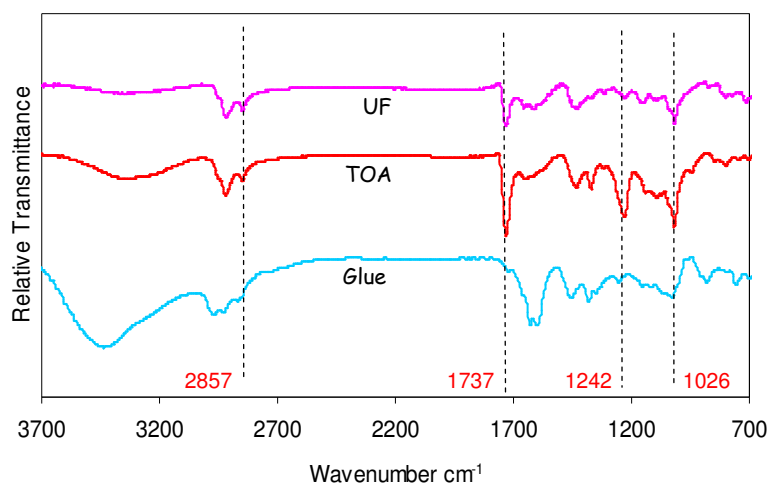
D : กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก : คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 7 phr ที่อัตราส่วนต่างๆ : (1) 5.25 : 1.75 phr (2) 3.5 : 3.5 phr (3) 1.75 : 5.25 phr



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

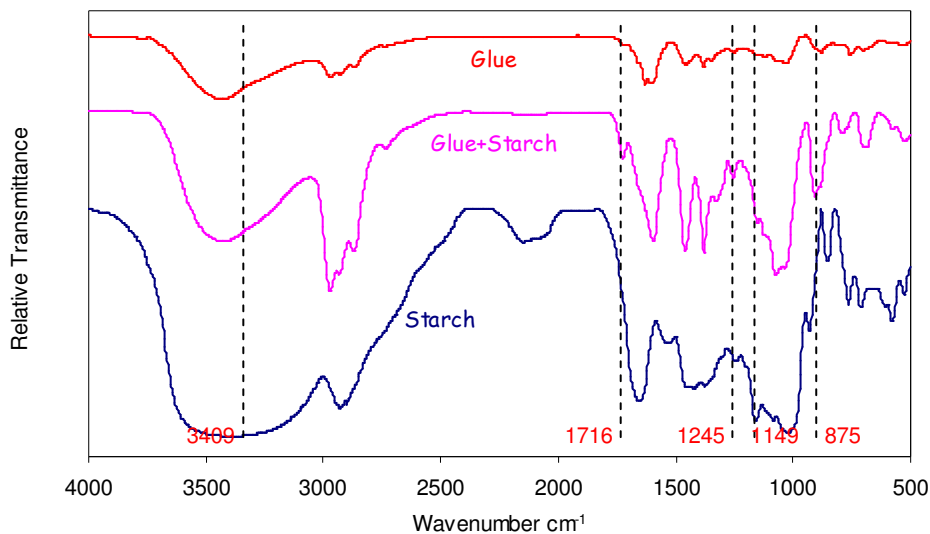
ภาพประกอบที่ 41 แสดงกาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก : คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณต่างๆ

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



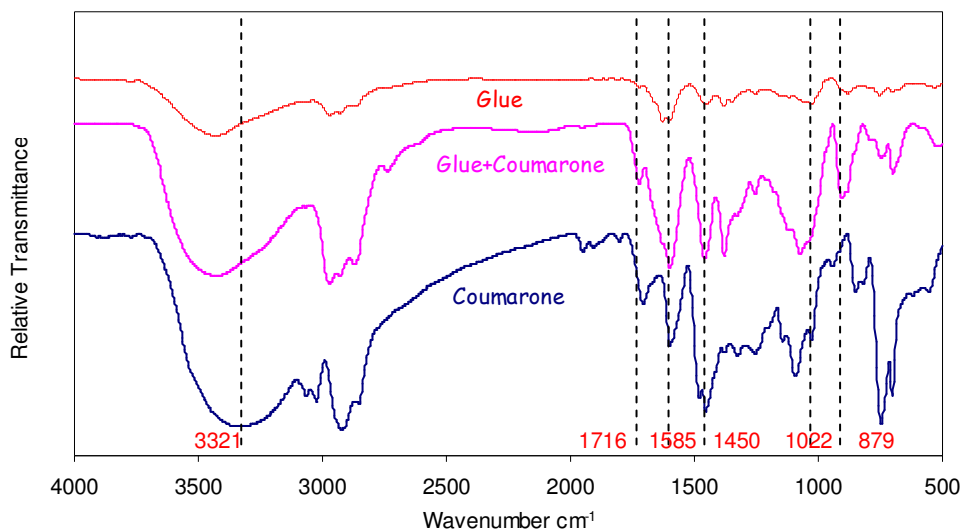
ภาพประกอบที่ 42 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของกาว UF กาว TOA และกาวยาง

จากภาพประกอบที่ 42 พบว่าสเปกตรัมอินฟราเรดของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $2857 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ CHO ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1737 \text{ cm}^{-1}$  ปรากฏจุดยอดของหมู่ฟังก์ชันของ C=O และปรากฏจุดยอดของหมู่ฟังก์ชันของ C-N ในโครงสร้างของยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเชื่อมโยงพันธะกันระหว่างโมเลกุลของ ยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ สำหรับกาว TOA ซึ่งผลิตมาจากโพลีไวนิลอะซิเตตอิมัลชันจัดเป็นสารพวก เอสเทอร์จึงพบหมู่ฟังก์ชันของ C=O ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1737 \text{ cm}^{-1}$  และหมู่ฟังก์ชัน ของ C-O ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1242 \text{ cm}^{-1}$  และ  $1026 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ไม่ ปรากฏในกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด



ภาพประกอบที่ 43 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ กาวยางและ กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์

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 ที่อยู่บนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ แสดงว่าน่าจะเกิดการเชื่อมโยง (Cross-link) ด้วยกำมะถันระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่บริเวณตำแหน่งพันธะคู่บนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ แต่ยังไม่ปรากฏจุดยอดของหมู่อีพอกไซค์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $875\text{ cm}^{-1}$  สำหรับกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์พบว่าปรากฏจุดยอดขนาดเล็กที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1149\text{ cm}^{-1}$  และ  $1245\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโมเลกุลของอะไมเลสและอะไมโลเพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $875\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่อีพอกไซค์ นอกจากนี้ยังปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่นใหม่เพิ่มขึ้นมาจากสเปกตรัมอินฟราเรดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1716\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ฟังก์ชันของ C=O ซึ่งสามารถพบได้ในโมเลกุลของกาว TOA และกาว UF เช่นเดียวกัน แสดงว่าที่ตำแหน่งของหมู่ C=O นี้จะเกิดพันธะทางเคมีระหว่างกาวกับไม้ จึงทำให้กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์มีความสามารถในการยึดติดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด

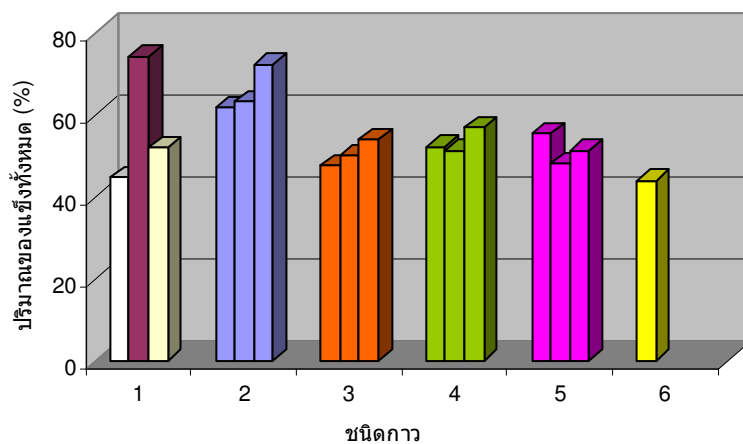


ภาพประกอบที่ 44 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของคิวมาโรนอิมัลชัน กาวยางและกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน

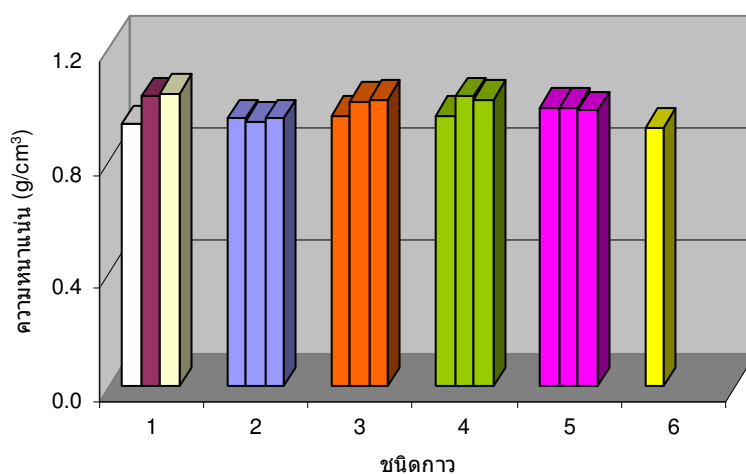
จากภาพประกอบที่ 44 สเปกตรัมอินฟราเรดของคิวมาโรนอิมัลชันแสดงหมู่ฟังก์ชันของ O-H ที่อยู่บนโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $3321\text{ cm}^{-1}$  และปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1450\text{ cm}^{-1}$  และ  $1585\text{ cm}^{-1}$  แสดงว่ามีวงแหวนเบนซีนเป็นองค์ประกอบของคิวมาโรนเรซิน นอกจากนี้ยังปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1022\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O ที่อยู่ในวงแหวนของคิวมาโรนเรซิน สำหรับกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันพบว่าปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $879\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่อีพอกไซด์ และปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดเพิ่มขึ้นมาจากสเปกตรัมอินฟราเรดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1716\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C=O ซึ่งสามารถพบได้ในโมเลกุลของกาว TOA และกาว UF เช่นเดียวกัน แสดงว่าที่ตำแหน่งของหมู่ C=O นี้ อาจจะทำให้เกิดพันธะทางเคมีระหว่างกาวกับไม้ จึงทำให้กาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันมีความสามารถในการยึดติดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้ยังปรากฏจุดยอดขนาดใหญ่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1450\text{ cm}^{-1}$  และ  $1585\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของวงแหวนเบนซีนบนโมเลกุลของคิวมาโรนเรซิน หมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่ปรากฏเพิ่มในกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันแสดงให้เห็นว่ามีการผสมกันระหว่างกาวยางกับคิวมาโรนอิมัลชันบนโมเลกุลของกาวยาง

#### 4.4 การทดสอบคุณสมบัติของกาวยาง

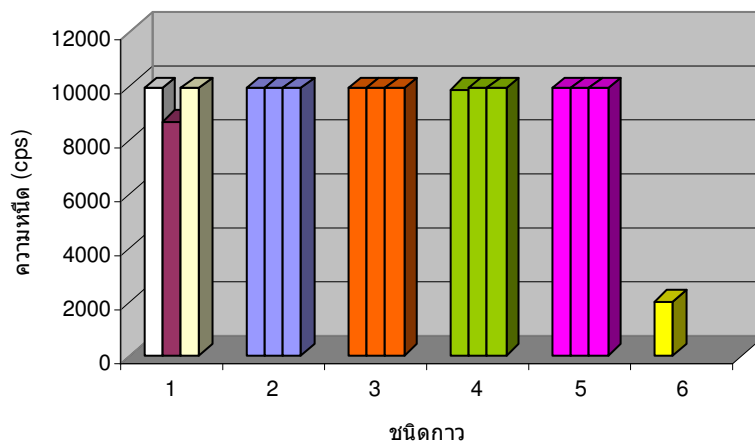
จากกาวยางที่เตรียมได้นำมาทดสอบคุณสมบัติของกาวยางตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยาง (มอก. 521-2527) ได้แก่ การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (เนื้อกาว) ความหนืด ความหนาแน่น และมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวพอลิไวนิลอะซิเตดอิมัลชัน (มอก. 181-2530) ได้แก่ การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 45-48 ตามลำดับ



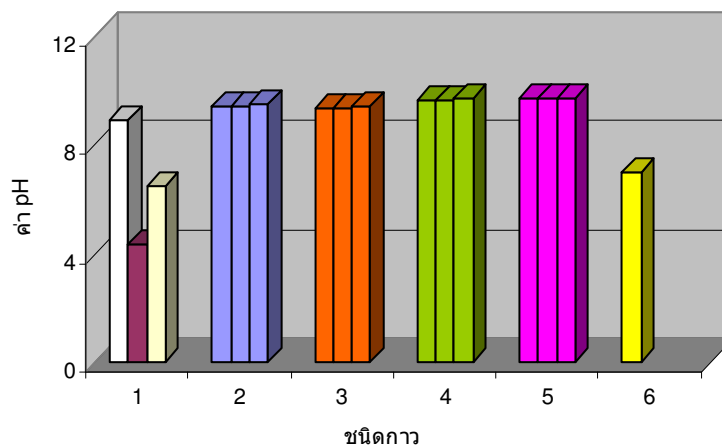
ภาพประกอบที่ 45 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว



ภาพประกอบที่ 46 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนาแน่น



ภาพประกอบที่ 47 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนืด



ภาพประกอบที่ 48 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความเป็นกรด-ด่าง

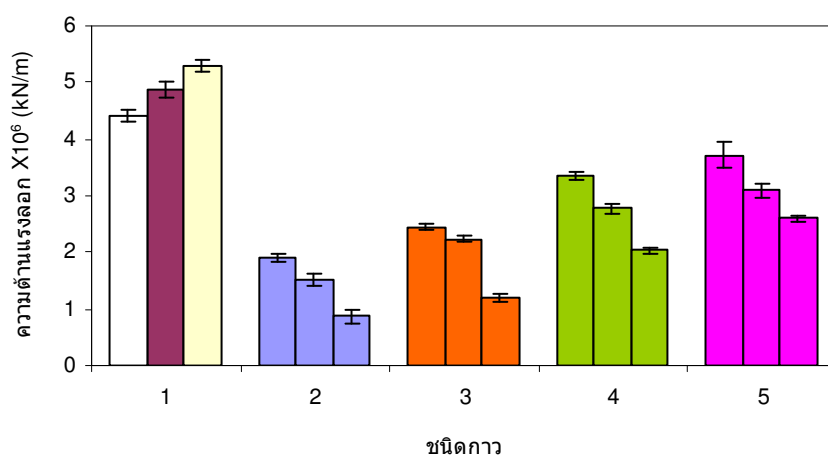
1. กาวยาง, กาว TOA, กาว UF
2. กาวยาง + คิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยาง + แป้งข้าวเหนียวเจลลาดีไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยาง + แป้งข้าวเหนียวเจลลาดีไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยาง + แป้งข้าวเหนียวเจลลาดีไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 : 6, 4 : 4,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

หมายเหตุ - กาวยางแต่ละชนิดเรียงลำดับข้อมูลจากซ้ายไปขวา

จากภาพประกอบที่ 45-48 แสดงผลการทดสอบกาวเหลวหรือกาวก่อนที่จะแข็งตัวโดยทดสอบเนื้อกาว พบว่าปริมาณเนื้อกาวหรือเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC) และความหนาแน่นผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยางที่ใช้กับงานทั่วไป (มอก.521-2527) ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 15% และไม่น้อยกว่า 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 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 พบว่าชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดไม่มีผลต่อความหนืดและความเป็นกรด-ด่าง

#### 4.5 การทดสอบความต้านแรงลอก

การทดสอบความต้านแรงลอกเป็นการทดสอบกาวที่แห้งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา โดยการทดสอบจะใช้ชั้นทดสอบ 5 ชั้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ และลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 49 และ 50 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 49 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก

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

หมายเหตุ - กาวยางแต่ละชุดเรียงลำดับข้อมูลจากซ้ายไปขวา





(1) กาว UF



(2) กาว TOA



(3) กาวยาง



(4) กาวยางสูตรต่างๆ



ภาพประกอบที่ 50 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงลอก

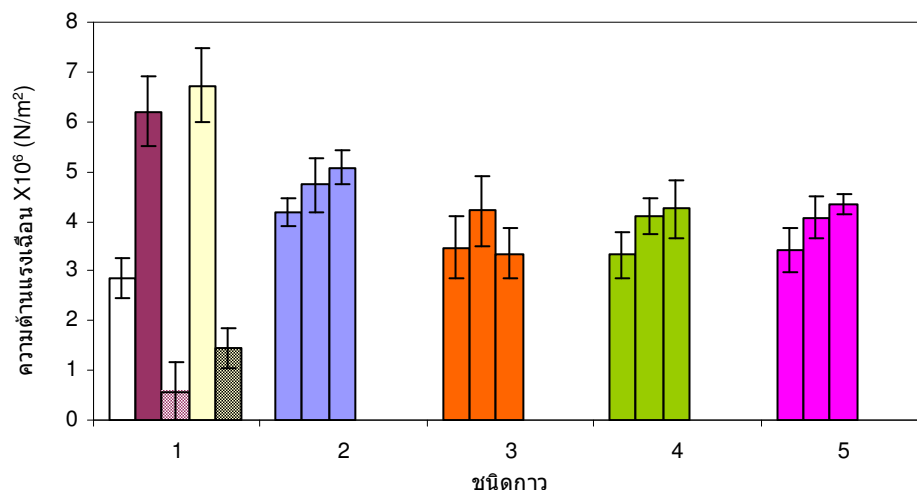
จากภาพประกอบที่ 49 แสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก และภาพประกอบที่ 50 แสดงลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงลอก พบว่าจากการทดสอบความต้านแรงลอกมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.05-0.23 ผลการทดสอบมีความถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญ ชั้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF ภายหลังการดึงลอกมีส่วนของเศษไม้ของชั้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชั้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงลอกมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ชั้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกันโดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่คราบกาวยางที่แห้งติดอยู่บนชั้นทดสอบทั้งสองด้าน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอนุภาคของกาวยางมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนในเนื้อไม้ จึงทำให้ความสามารถในการซึมซาบของกาวเข้าไปในรูพรุนของเนื้อไม้ได้ไม่ดีทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีความต้านแรงลอกสูงสุด แต่ไม่สูงกว่ากาว TOA และกาว UF อาจเนื่องมาจากกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีสมบัติความเป็นยาง (Elastomer) และมีความเหนียวมากกว่า จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่ากาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารเพิ่มการยึดติดทั้งแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และคิวมาโรนอิมัลชันในกาวยางทำให้ความต้านแรงลอกมีค่าลดลง และการผสมสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดที่ปริมาณเท่ากันกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน ทุกอัตรา ส่วนมีความต้านแรงลอกสูงกว่ากาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และคิวมาโรนอิมัลชัน ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบุลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง (2544) ซึ่งใช้สูตรในการผลิตกาวใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้โดยผลิตกาวจากน้ำยางชั้น พบว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.75 kN/m และงานวิจัยของอาชีขัน แกสมาน และคณะ (2540) ศึกษาการเตรียมกาวจากยางธรรมชาติแบบแห้งโดยใช้โทลูอีนและน้ำมันสปีนเดิล อัตราส่วน 50 : 50 โดยน้ำหนัก เป็นตัวทำละลาย ผสมกับสารเพิ่มการยึดติดชนิด coumarone indene resin ทดสอบความต้านแรงลอกโดยการทาภาวลงบนกระดาษที่มีผิวหยาบจำนวน 2 ชั้นแล้วนำมาประกบกัน พบว่ากาวจากยางแห้งที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $1.90 \times 10^{-3}$  kN/m และกาวที่ผสม coumarone indene resin ที่ 10 phr ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ  $3.53 \times 10^{-3}$  kN/m แต่ค่าที่ได้ยังน้อยกว่ากาวยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 6 phr มีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $1.89 \times 10^6$  kN/m จากงานวิจัยทั้งสอง พบว่ากาวยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด

ให้ค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $4.41 \times 10^6$  kN/m ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่าค่าที่ผลิตจากน้ำยางข้นและกาวที่ผลิตจากยางแห้ง

#### 4.6 การทดสอบความต้านแรงเฉือน

การทดสอบความต้านแรงเฉือนเป็นการทดสอบกาวที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา เช่นเดียวกับการทดสอบความต้านแรงลอก แต่จะใช้ชั้นทดสอบ 10 ชั้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ และลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 51 และ 52 ตามลำดับ



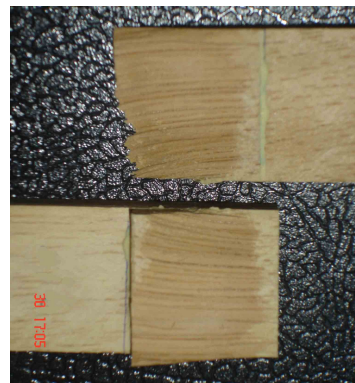
ภาพประกอบที่ 51 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเฉือน

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

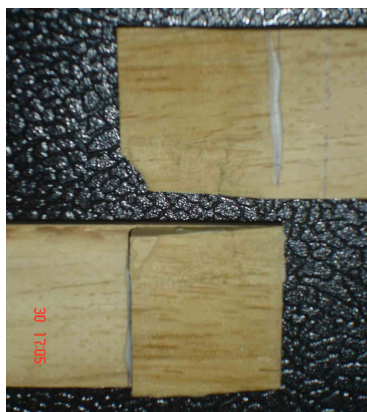
หมายเหตุ – กาวยางแต่ละชุดเรียงลำดับข้อมูลจากซ้ายไปขวา



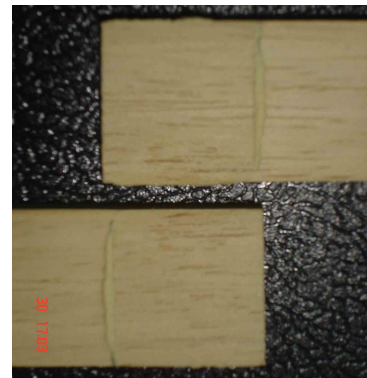
(1) กาว UF



(2) กาว TOA



(3) กาวยาง



(4) กาวยางสูตรต่างๆ



ภาพประกอบที่ 52 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงเฉือน

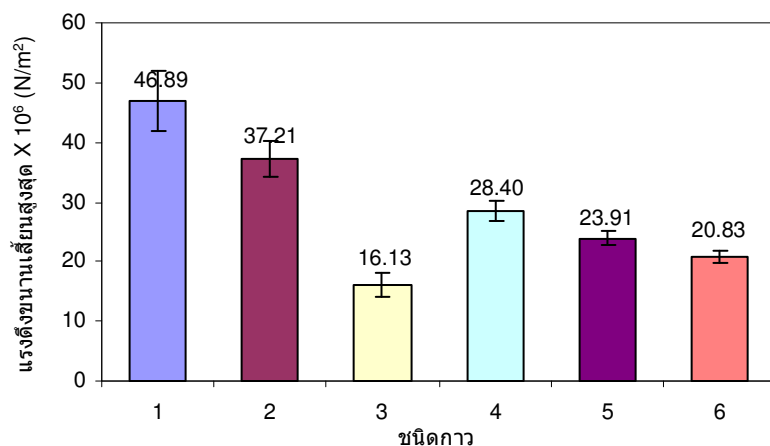
จากภาพประกอบที่ 51 แสดงผลของชนิดการต่อความต้านแรงเฉือน และภาพประกอบที่ 52 แสดงลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงเฉือน พบว่าชั้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF ภายหลังการดึงมีส่วนของเศษไม้ของชั้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชั้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติด ชั้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่คราบกาวยางที่แห้งติดอยู่บนชั้นทดสอบทั้งสองด้าน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของกาวยางมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนในเนื้อไม้จึงทำให้ความสามารถในการซึมซาบของกาวเข้าไปในรูพรุนของเนื้อไม้ได้ไม่ดีทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ เมื่อพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) ที่อยู่ในช่วง 0.20-0.74 ค่าที่ได้มีความถูกต้องค่อนข้างน้อย จึงทำให้ค่าความต้านแรงเฉือนที่ได้ส่งผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่าความต้านแรงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติด โดยกาวยางที่ผสมคิวมาโรนิอิมัลชัน 8 phr มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ แต่ในกรณีของกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในซัควไรซ์ไม่เกิน 7 phr เพราะการใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในซัควไรซ์ที่ 8 phr ทำให้ความต้านแรงเฉือนลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง (2544) ที่ผลิตกาวจากน้ำยางชัน พบว่าความต้านแรงเฉือนของกาวที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเท่ากับ  $0.69 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ซึ่งค่าที่ได้นี้น้อยกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซดีที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ  $2.85 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

เมื่อทดสอบกาวโดยการนำชั้นทดสอบไปแช่น้ำ พบว่าชั้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก สำหรับชั้นทดสอบที่ติดด้วยกาว TOA และกาว UF นั้น ไม่หลุดร่อนแต่ความต้านแรงเฉือนมีค่าลดลงประมาณ 10 เท่า และ 5 เท่า ตามลำดับ

#### 4.7 การทดสอบความแข็งแรงของข้อต่อแบบนิ้วมือประสาน

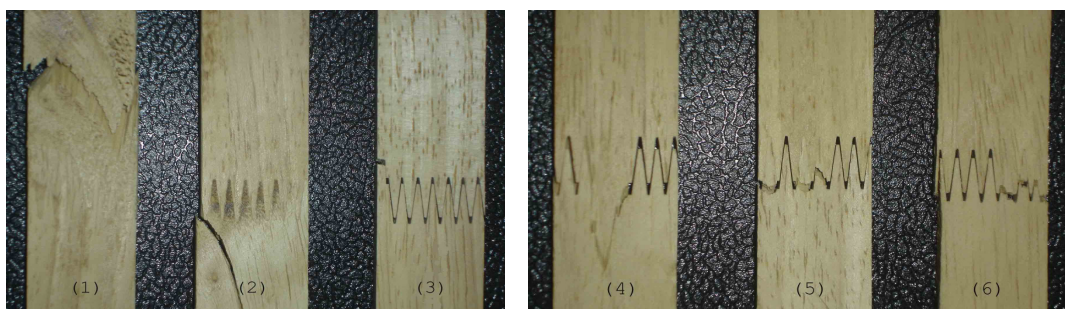
ทำการทดสอบเฉพาะกาวยางสูตรที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดที่ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด โดยทำการทดสอบการดึงขนานเสี้ยนและการตัดสลับ ซึ่งจะใช้ชั้นทดสอบจำนวน 10 ชั้นต่อหนึ่งตัวอย่าง





ภาพประกอบที่ 53 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อแรงดึงขานเส้นสูงสุด

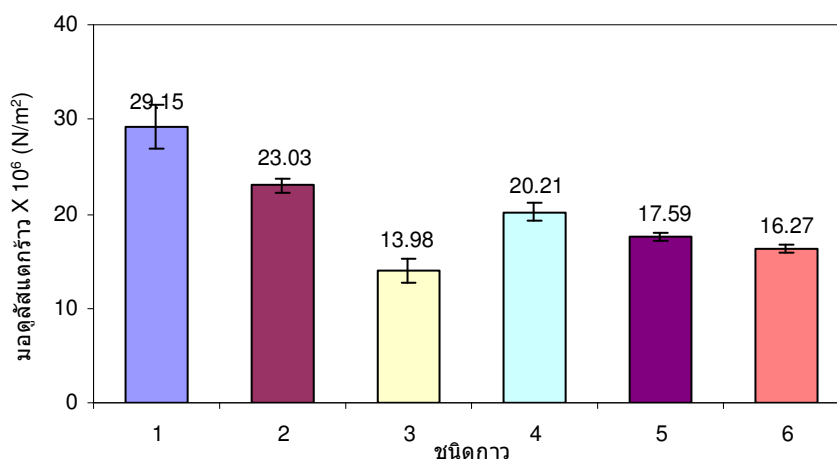
- |            |   |
|------------|---|
| 1. กาว UF  | 4. กาวยาง + คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr                                  |
| 2. กาว TOA | 5. กาวยาง + แป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์ 7 phr                          |
| 3. กาวยาง  | 6. กาวยาง + แป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์ 6 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 phr |



ภาพประกอบที่ 54 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขานเส้นสูงสุด

ภาพประกอบที่ 54 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขานเส้นสูงสุด พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF มีลักษณะการฉีกขาดตามทิศทางการเรียงตัวของเส้น และกาว TOA มีลักษณะการฉีกขาดของชิ้นทดสอบใกล้เคียงแนวรอยต่อ กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งแป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์ และคิวมาโรนอิมัลชัน ชิ้นทดสอบมีลักษณะการฉีกขาดที่รอยต่อ ส่วนกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดชิ้นทดสอบมีลักษณะแยกที่รอยต่อ ลักษณะการฉีกขาดของชิ้นทดสอบสอดคล้องกับค่าแรงดึงขานเส้นสูงสุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 53

พบว่าจากการทดสอบแรงดึงขนานเส้นสูงสุดมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.09-0.49 ค่าแรงดึงขนานเส้นที่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งขึ้นทดสอบที่ติดด้วย กาว UF และกาว TOA ให้ค่าแรงดึงขนานเส้นสูงสุด  $46.9 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  และ  $37.2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากกาวทั้งสองชนิดสามารถซึมซาบเข้าไปในรูพรุนในเนื้อไม้ได้สูง ทำให้การยึดติดระหว่างกาวกับส่วนของข้อต่อไม้แข็งแรง จึงต้องใช้แรงในการดึงแยกส่วนของข้อต่อให้หลุดออกจากกันมาก ส่วนกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ คิวมาโรนอิมัลชัน และแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชันให้ค่าแรงดึงขนานเส้นสูงสุดใกล้เคียงกันที่  $20.8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ,  $28.4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  และ  $23.9 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าแรงดึงขนานเส้นสูงสุดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr ให้ค่าแรงดึงขนานเส้นสูงสุดที่สุด แต่ค่าแรงดึงขนานเส้นที่ได้ยังมีค่าน้อยกว่าแรงดึงขนานเส้นของกาว UF และกาว TOA ประมาณ 1.65 และ 1.3 เท่า ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 55 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อค่ามอดูลัสแตกกร้าว

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



(1)



(4)



(2)



(5)



(3)



(6)

ภาพประกอบที่ 56 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบการตัดสถิติ

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



ภาพประกอบที่ 56 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการตัดสถิติ พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF มีลักษณะการแตกหักที่แนวรอยต่อไม้มองเห็นได้ชัด ส่วนกาว TOA กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งแปงข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และคิวมาโรนอิมัลชัน และกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดชิ้นทดสอบมีลักษณะแยกที่รอยต่อแต่เห็นรอยแตกหักไม่ชัดเจน ชิ้นทดสอบโก่งอบบริเวณรอยต่อเนื่องมาจากแรงที่กดลงบนชิ้นทดสอบ กลสมบัติที่คำนวณได้จากผลการทดสอบการตัดสถิติ คือ โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture, MOR) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 55 พบว่าการทดสอบการตัดสถิติมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.04-0.23 ค่าโมดูลัสแตกร้าวที่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF ให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดที่  $29.1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  อาจเนื่องมาจากกาวสามารถซึมซาบเข้าไปในรูพรุนในเนื้อไม้ได้สูง ทำให้การยึดติดระหว่างกาวกับส่วนของข้อต่อไม้แข็งแรง จึงต้องใช้แรงกดเพื่อข้อต่อให้หลุดออกจากกันมาก ส่วนกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr ให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดที่  $20.2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  เมื่อเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ

#### 4.8 การประเมินต้นทุนในการเตรียมกาวยาง

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

จากการประเมินต้นทุนในการเตรียมกาวยาง โดยคำนวณค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วน of วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเท่านั้นไม่คำนึงถึงค่าไฟฟ้าและค่าแรงงาน 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
โทลูอิน*	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

\* โทลูอิน ความหนาแน่น 0.87 kg/L

\*\* คำนวณราคาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง

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% วิงสเตย์ แอล	195	3	0.59
50% ไททานเนียมไดออกไซด์	140	3	0.42
50% ซิงค์ออกไซด์	105	4	0.42
50% แซดดีอีซี	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

\* คำนวณราคาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และ CMC โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง