

### บทที่ 3 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

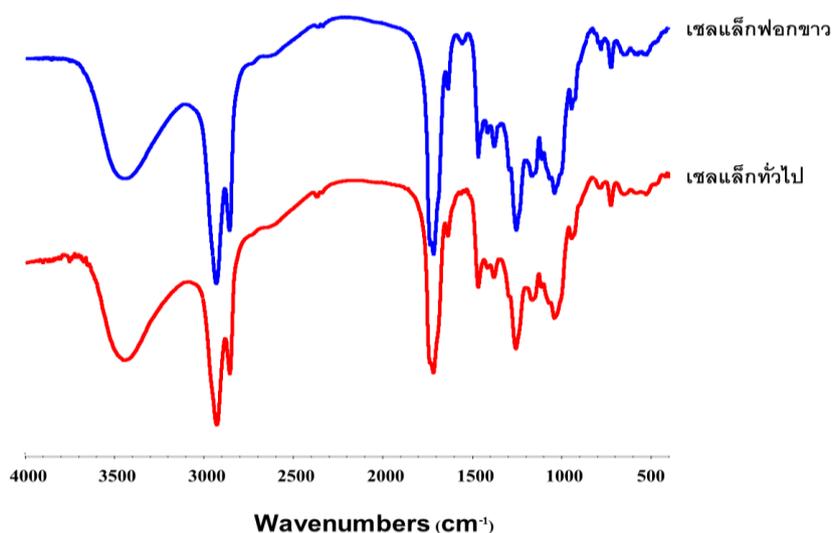
#### 1. เซลล์ฟอกขาว

เซลล์เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีคุณสมบัติคล้ายกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ ในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) [45, 53] โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเรซินแข็งซึ่งในส่วนนี้ประกอบด้วยพอลิเอสเทอร์ และองค์ประกอบอีกส่วนหนึ่งคือเรซินอ่อน ซึ่งประกอบด้วยเอสเทอร์เดี่ยว [8, 9] สีของเซลล์ส่วนใหญ่เกิดมาจากสีของ lac dye ที่โมเลกุลมีโครงสร้างที่เป็นคลอโรฟอร์ม ได้มาจากสารคัดหลั่งของแมลงครั้ง เป็นสารประเภท laccaic acid การฟอกขาวเซลล์โดยใช้สารเคมี (bleaching agent) เป็นวิธีที่ใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมผลิตเซลล์ฟอกขาวในปัจจุบัน สารฟอกขาวที่ใช้จะเป็นสารออกซิไดส์ ได้แก่โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) [32] โดยสารฟอกขาวจะทำลายพันธะในคลอโรฟอร์มให้กลายเป็นพันธะเดี่ยวทำให้การดูดกลืนแสงลดลง หรือเปลี่ยนโครงสร้างในคลอโรฟอร์มของสีครั้งให้ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นอื่นๆ ที่ตามนุษย์มองไม่เห็นทำให้เซลล์มีสีจางลง ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมเซลล์ฟอกขาวขึ้นมาใช้เองโดยพยายามควบคุมสภาวะในการฟอกจนได้เซลล์ฟอกขาวที่มีความขาวที่น่าพอใจโดยที่สมบัติต่างๆ ยังคงคล้ายกับเซลล์ทั่วไปหรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ตารางที่ 1 แสดงสมบัติของเซลล์ก่อนฟอกขาวและหลังฟอกขาว พบว่าเซลล์หลังจากฟอกขาวจะมีค่าของกรดเพิ่มขึ้นจาก 84.29 เป็น 117.03 มิลลิกรัม โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำหนักเซลล์ที่ละลาย 1 กรัม มีปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายเพิ่มขึ้นจาก 0% เป็น 4.83 % ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก  $4.44 \times 10^{-9}$  เป็น  $5.98 \times 10^{-9}$  ค่าความเป็นขั้วเพิ่มขึ้นจาก 25.19% เป็น 31.15% แต่สมบัติเชิงกลได้แก่ ความเค้น ความเครียด และโมดูลัสของยังมีค่าไม่แตกต่างจากเดิม โดยผลดังกล่าวเกิดจาก ในโครงสร้างของเซลล์ประกอบด้วยสายพอลิเอสเทอร์ของ hydroxyl aliphatic และ sesquiterpenoid จำนวนหมู่คาร์บอกซิลิกจะเป็นตัวกำหนดค่าของกรดของเซลล์ สารฟอกขาวโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในขบวนการฟอกขาวเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นกรดไฮโปคลอไรต์ (HOCl) และสารประกอบไฮดรอกไซด์ที่เป็นต่าง โดยต่างดังกล่าวมีความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเซลล์ [23] รวมถึงไอออนไฮโปคลอไรต์ (OCl) จากสารฟอกขาวที่สามารถเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงกับหมู่คาร์บอนิล (carbonyls) ในโมเลกุลของเซลล์ทำให้เกิดการแตกของสายโซ่เซลล์ ส่งผลให้ค่าของกรดของเซลล์ฟอกขาวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเซลล์ทั่วไป ผลจากค่าความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย เนื่องจากกลุ่มกรดอิสระของกลุ่มเอสเทอร์โมเลกุลเดี่ยวของเซลล์ที่เกิดขึ้นจะสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นพอลิเอสเทอร์ โดยเฉพาะในกระบวนการฟอกขาวที่เกิดอนุมูลอิสระที่เป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้มีของแข็งที่ไม่ละลายเกิดขึ้นในส่วนของการซึมผ่านของไอน้ำและค่าความขั้วของเซลล์ฟอกขาวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเซลล์ทั่วไป สาเหตุก็เกิดจากกลุ่มกรดอิสระที่มากขึ้น โดยกลุ่มกรดอิสระที่เพิ่มขึ้นจะแสดงสมบัติขั้วทำให้ค่าความขั้วของฟิล์มเซลล์ฟอกขาวมีค่ามากกว่าฟิล์มเซลล์ทั่วไป ค่าความขั้วที่เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมีส่วนที่ขบน้ำเพิ่มขึ้น ไอน้ำจึงซึมเข้าและผ่านฟิล์มได้ง่ายขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำมากขึ้น ผลที่ได้สอดคล้องกับงานของสนทยาและคณะ [23] ที่พบว่าเซลล์ที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ด้วยด่างเข้มข้นจะมีกลุ่มกรดอิสระเพิ่มขึ้นและทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำมากขึ้นด้วย

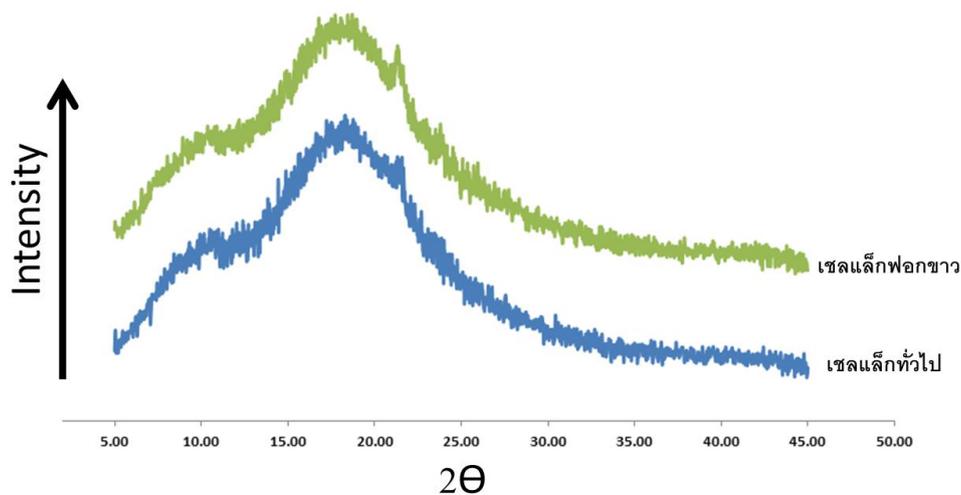
ภาพที่ 8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเซลล์ทั่วไปและเซลล์ฟอกขาวศึกษาโดยใช้ ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ พบว่าเซลล์ทั่วไปและเซลล์ฟอกขาว มี FTIR สเปกตรัมที่เหมือนกันกล่าวคือพบพีกกว้างที่บริเวณ 3600-3200 เซนติเมตร<sup>-1</sup> โดยมีจุดสูงสุดที่ประมาณ 3400 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเกิดจาก O-H stretching พีกที่ 1716 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเกิดจาก C=O stretching ของหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) [24, 25, 26, 27, 28] โดยไม่มีพีกใหม่เกิดขึ้น หรือมีพีกใดๆหายไป เช่นเดียวกับผลการศึกษาโครงสร้างออสัญฐานและผลึกของเซลล์ทั่วไปและเซลล์ฟอกขาวด้วยเครื่อง Powder X-ray diffractometer (ภาพที่ 11) ที่พบว่า XRD diffractogram ของเซลล์ก่อนและหลังฟอกขาวมีลักษณะที่คล้ายกัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการฟอกขาวไม่ส่งผลต่อโครงสร้างทางเคมีและโครงสร้างออสัญฐานและผลึก ของเซลล์

ตารางที่ 1 สมบัติของเซลลูล์ก่อนฟอกขาวและหลังฟอกขาว

สมบัติ	เซลลูล์	
	เซลลูล์ทั่วไป	เซลลูล์ฟอกขาว
ค่าของกรด (มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ น้ำหนักเซลลูล์ที่ละลาย 1 กรัม)	84.29±1.56	117.03±3.88
ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย (%)	0	4.83±1.09
ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำ ( $\text{gh}^{-1} \text{mm}^{-1} \text{mmHg}^{-1}$ )	$4.44 \times 10^{-9} \pm 0.32 \times 10^{-9}$	$5.98 \times 10^{-9} \pm 0.62 \times 10^{-9}$
ค่าความชื้น (%)	25.19±1.54	31.15±2.16
ค่าความเค้น (MPa)	10.63±3.57	9.06±1.3
ค่าความเครียด (%)	2.2±0.96	2.51±0.84
มอดุลัสของยัง	5.2±0.56	4.91±1.03



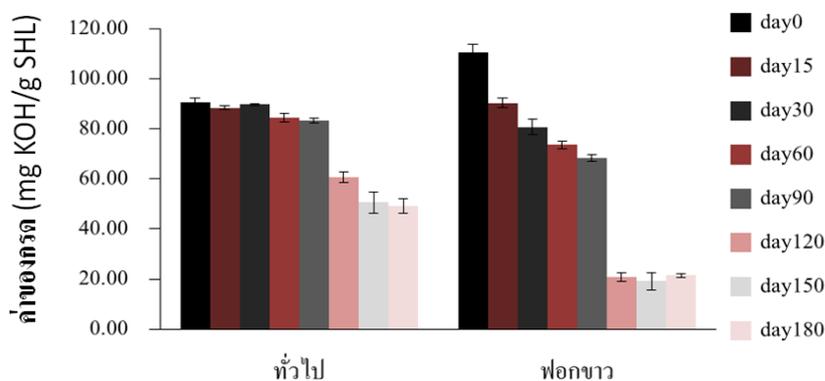
ภาพที่ 8 FTIR สเปกตรัมของของเซลลูล์ทั่วไปและเซลลูล์ฟอกขาว



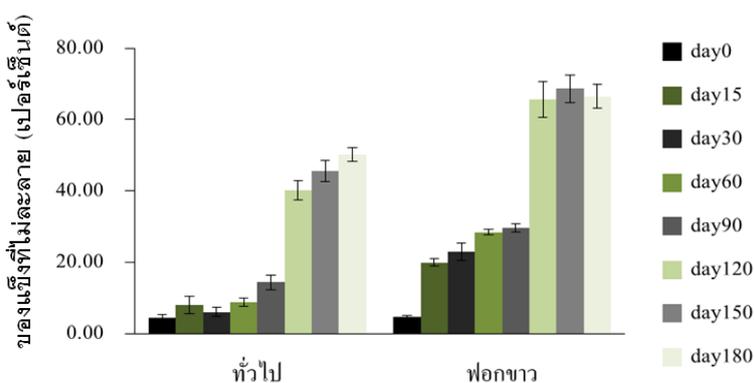
ภาพที่ 11 XRD diffractogram ของเซลลูล์ทั่วไปและเซลลูล์ฟอกขาว

การศึกษาความคงตัวของเซลแล็กทำโดยการนำเซลแล็กเก็บไว้ในตู้ที่มีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน โดยมีการสุ่มมาตรวจสอบเป็นระยะๆ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเซลแล็ก ได้แก่ ค่าของกรด ปริมาณตะกอน และฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยภาพที่ 12 และ 13 แสดงผลของระยะเวลาในการเก็บที่มีต่อค่าของกรดของเซลแล็ก 1 กรัมและปริมาณตะกอนของเซลแล็กทั่วไปและเซลแล็กฟอกขาว หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าเซลแล็กฟอกขาวมีการเปลี่ยนแปลงค่าของกรดและปริมาณตะกอนอย่างชัดเจน ( $P < 0.05$ ) หลังจากเก็บไว้เพียง 15 วัน ค่าของกรดมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาที่เก็บ เช่นเดียวกับปริมาณตะกอนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่เก็บ โดยเซลแล็กทั่วไปพบการลดลงของค่าของกรดอย่างชัดเจน ( $P < 0.05$ ) หลังจากเก็บไว้ 120 วัน ในขณะที่ปริมาณตะกอนมีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ( $P < 0.05$ ) หลังจากเก็บไว้ 90 วัน ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความคงตัวของเซลแล็กฟอกขาวที่มีค่าน้อยกว่าเซลแล็กทั่วไป เนื่องจากเซลแล็กฟอกขาวมีค่าของกรดที่แสดงถึงปริมาณของกลุ่มกรดอิสระมากกว่าเซลแล็กทั่วไป ทำให้โอกาสในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกันระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและไฮดรอกซิลบนสายพอลิเมอร์ของเซลแล็กด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันมีมาก ความคงตัวจึงลดลง ส่งผลให้ค่าของกรดลดลงและเกิดปริมาณตะกอนที่ไม่ละลายในเอทานอล [33]

จากผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการฟอกขาวทำให้สมบัติต่างๆ ของเซลแล็กเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย ยกเว้นความคงตัวซึ่งเดิมทีเซลแล็กทั่วไปก็มีความคงตัวที่ค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อผ่านกระบวนการฟอกขาวเซลแล็กที่ได้ความคงตัวยิ่งต่ำกว่าเดิมมาก ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์เพิ่มความคงตัวของเซลแล็กฟอกขาวโดยการเตรียมให้อยู่ในรูปเกลือบางส่วน ศึกษาอัตราส่วนความเป็นเกลือต่อความคงตัวและค่าการละลาย โดยความคงตัวที่เพิ่มขึ้นต้องไม่ทำให้เซลแล็กละลายน้ำได้ดีเกินไป รวมถึงการเพิ่มความคงตัวของเซลแล็กฟอกขาวโดยเตรียมให้อยู่ในรูปพอลิเมอร์คอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลส



ภาพที่ 12 ค่าของกรดของเซลแล็กทั่วไปและเซลแล็กฟอกขาวหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน



ภาพที่ 13 ปริมาณตะกอนของเซลแล็กทั่วไปและเซลแล็กฟอกขาวหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน

### 3. เซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือบางส่วน

เซลล์ฟอกขาวและเซลล์ฟอกขาวปกติจะอยู่ในรูปของกรด (acid form) ทำให้มีการละลายที่ไม่ดีในพีเอชที่ต่ำกว่า 7 ประกอบกับภายในโครงสร้างของเซลล์ฟอกขาวมีหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่คาร์บอกซิลิกที่จะทำให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างหมู่ดังกล่าวบนสายพอลิเมอร์ทำให้เซลล์สูญเสียความคงตัวโดยเฉพาะเซลล์ฟอกขาวที่มีหมู่คาร์บอกซิลิกมากกว่าเซลล์ฟอกขาวทั่วไป ดังนั้นการป้องกันการสลายตัวของเซลล์สามารถทำได้โดยการป้องกันการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันที่ตำแหน่งดังกล่าว การแก้ปัญหาหลายวิธีดังที่กล่าวมาแล้วในบทนำ โดยการดัดแปลงที่หมู่คาร์บอกซิลิกด้วยการเตรียมให้อยู่ในรูปของเกลือเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและไม่ซับซ้อน มีรายงานการเตรียมเซลล์ในรูปเกลือแอมโมเนียม โดยการนำเซลล์มาทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียม คาร์บอเนต พบว่าเซลล์ที่เตรียมได้มีการละลายที่ดีกว่าเซลล์ในรูปกรด [68] นอกจากนี้ยังมีรายงานการเตรียมเซลล์ในรูปเกลือคอมโพสิตโดยใช้ 2-อะมิโน-2-เมทิล-1-โพรพานอล (2-amino-2-methyl-1-propanol, AMP) และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide, AMN) ที่อัตราส่วนต่างกัน พบว่าสามารถเพิ่มการละลายและความคงตัวให้กับเซลล์มากขึ้น โดยเฉพาะเกลือคอมโพสิตที่มีอัตราส่วนของ AMP สูงขึ้น [28] อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับการเตรียมเซลล์ให้อยู่ในรูปของเกลือโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารที่มีความอันตรายต่ำเมื่อเทียบกับสารก่อเกลือที่ได้กล่าวมา รวมถึงยังไม่มีรายงานการเตรียมให้อยู่ในรูปเกลือเพียงบางส่วน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมเซลล์ฟอกขาวให้อยู่ในรูปเกลือคาร์บอเนตบางส่วน โดยศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของเกลือคาร์บอเนตในการทำให้เกิดความคงตัว

#### 3.1 การเตรียมและประเมินเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือบางส่วน

จากหัวข้อที่ 2 จะเห็นได้ว่าเซลล์ที่ผ่านกระบวนการฟอกขาวจะมีค่าความเป็นกรดที่สูงกว่าเซลล์ฟอกขาวทั่วไป ผลดังกล่าวบ่งบอกถึงความคงตัวของเซลล์ฟอกขาวที่ต่ำกว่าเซลล์ฟอกขาวทั่วไปเนื่องจากการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจะเกิดได้ง่ายกว่า ดังนั้นในการทดลองนี้ได้ทำการเตรียมเซลล์ฟอกขาวให้อยู่ในรูปเกลือเพื่อทดสอบความคงตัวและศึกษาคุณสมบัติของเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือสัดส่วนต่างกัน โดยเตรียมให้อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตในสัดส่วนต่างกัน ได้แก่ร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, และ 100 ของค่าความเป็นกรด จากนั้นนำไปประเมินค่าต่างๆ ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.1.1-3.1.7

##### 3.1.1 ค่าของกรด ปริมาณตะกอนและปริมาณความชื้น

ตารางที่ 2 แสดงค่าของกรด ปริมาณตะกอน และปริมาณความชื้น ของเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนที่แตกต่างกัน เซลล์ฟอกขาวในรูปกรดมีค่าความเป็นกรดประมาณ 108.88 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำหนักเซลล์ 1 กรัม มีความชื้นประมาณ 7.12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภายหลังจากนำเซลล์ฟอกขาวมาดัดแปลงให้อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนแตกต่างกันทำให้ค่าความเป็นกรดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่ค่าความชื้นไม่เปลี่ยนแปลง ปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าของกรดลดลง การเติมเกลือปริมาณ 10% ทำให้ค่าของกรดลดลงเหลือ 90 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำหนักเซลล์ 1 กรัมและลดลงเป็นลำดับเมื่อปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นจนเหลือเพียง 4 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำหนักเซลล์ 1 กรัมเมื่อเตรียมเป็นรูปเกลือ 100% การลดลงของค่าของกรดแสดงให้เห็นว่า ความเป็นต่างของโซเดียมคาร์บอเนต ไม่มีผลเพิ่มการสลายตัว (hydrolysis) ที่จะทำให้ค่าของกรดมากขึ้น ซึ่งแตกต่างกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเป็นด่างที่ค่อนข้างสูงกว่าจึงทำให้การสลายตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าของกรดเพิ่มขึ้นในระหว่างการเตรียม [23] การลดลงของค่าความเป็นกรดของเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือเกิดจากเกลือโซเดียมของโซเดียมคาร์บอเนตสามารถจับกับหมู่คาร์บอกซิลิกในโมเลกุลของเซลล์ฟอกขาวจึงทำให้ค่าของกรดมีค่าลดลง ผลของเกลือต่อปริมาณของตะกอนที่ไม่ละลายในเอทานอลเซลล์นั้นไม่พบตะกอนเซลล์ฟอกขาวในเบื้องต้นเลย และผลของการเติมเกลือเพิ่มขึ้นไม่มีผลเพิ่มปริมาณตะกอน แสดงให้เห็นว่าการเตรียมเซลล์ฟอกขาวให้อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตนั้นไม่ทำให้เกิดความไม่คงตัวในระหว่างการเตรียมตัวอย่าง ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานการเตรียมเซลล์ในรูปเกลือ AMP [28] ค่าของกรดและปริมาณตะกอนที่แสดงดังกล่าวมานี้จะถูกใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการศึกษาเปรียบเทียบความคงตัวต่อไป

ตารางที่ 2 ค่าของกรดปริมาณตะกอนและความชื้นของเซลแล็กฟอกขาวที่อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตในสัดส่วนต่างกัน

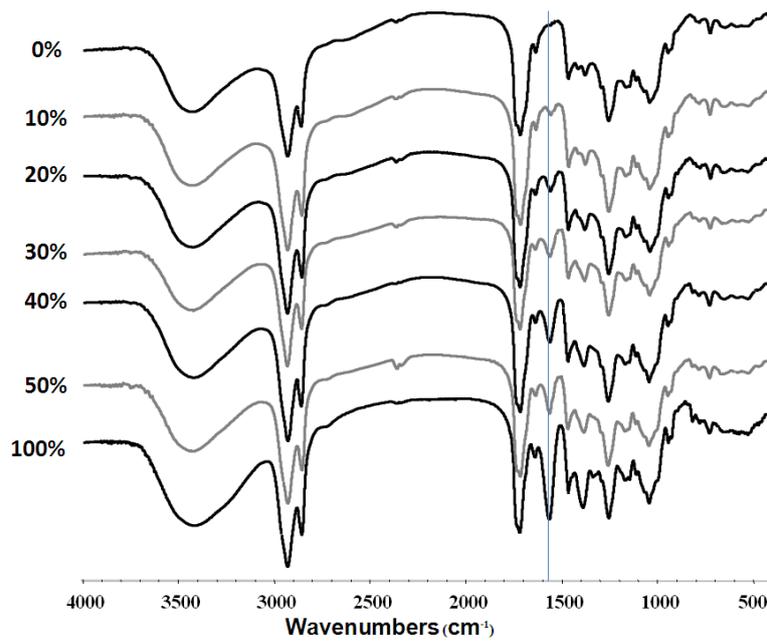
อัตราส่วนความเป็นเกลือ(เปอร์เซ็นต์)	ค่าของกรด (มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ น้ำหนักเซลแล็ก 1 กรัม)	ปริมาณตะกอน (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
0	108.88±4.37	0	7.12±2.17
10	90.44±0.87	0	9.72±0.64
20	76.80±0.85	0	6.83±1.03
30	69.23±1.11	0	6.18±1.82
40	61.25±0.15	0	4.67±3.12
50	54.43±0.15	0	7.12±0.57
100	4.30±0.05	0	5.97±0.62

### 3.1.2 โครงสร้างทางเคมี

ภาพที่ 14 แสดงฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกตรัม ของเซลแล็กฟอกขาวและเซลแล็กฟอกขาวที่เตรียมในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตบางส่วนที่สัดส่วนต่างกัน เซลแล็กฟอกขาวพบพีกที่มีลักษณะกว้างที่บริเวณ 3600-3200 เซนติเมตร<sup>-1</sup> มีการดูดกลืน (absorbance) สูงสุดที่ประมาณ 3400 เซนติเมตร<sup>-1</sup>ซึ่งเกิดจาก O-H stretching และพบพีกที่ 1716 เซนติเมตร<sup>-1</sup>ซึ่งเกิดจาก C=O stretching ของหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) แต่เมื่อเตรียมในรูปเกลือของโซเดียมคาร์บอเนตบางส่วนจะพบพีกใหม่เกิดขึ้นที่ประมาณ 1556 และ 1385 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเกิดจาก C=O stretching ของหมู่คาร์บอกซิเลต (-COO<sup>-</sup>) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของเซลแล็กจากรูปกรดกลายเป็นรูปเกลือ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยซึ่งเป็นการเตรียมเซลแล็กในรูปเกลือ AMN อย่างเดียว [34] เมื่อนำเซลแล็กในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตในสัดส่วนที่ต่างกันมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของคาร์บอกซิเลตต่อคาร์บอกซิลิก ( $ABS_{1556}/ABS_{1716}$ ) ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าเซลแล็กฟอกขาวในรูปเกลือบางส่วนมีค่า  $ABS_{1556}/ABS_{1716}$  สูงกว่าเซลแล็กฟอกขาวในรูปกรด นอกจากนี้ยังพบว่า  $ABS_{1556}/ABS_{1716}$  จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเกลือโซเดียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของหมู่คาร์บอกซิเลต (-COO<sup>-</sup>)[28]

ตารางที่ 3 อัตราส่วนการดูดกลืนแสงของ COO<sup>-</sup>/-COOH (absorbance ratio,  $ABS_{1556}/ABS_{1716}$ ) ของเซลแล็กฟอกขาวที่อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนต่างๆ

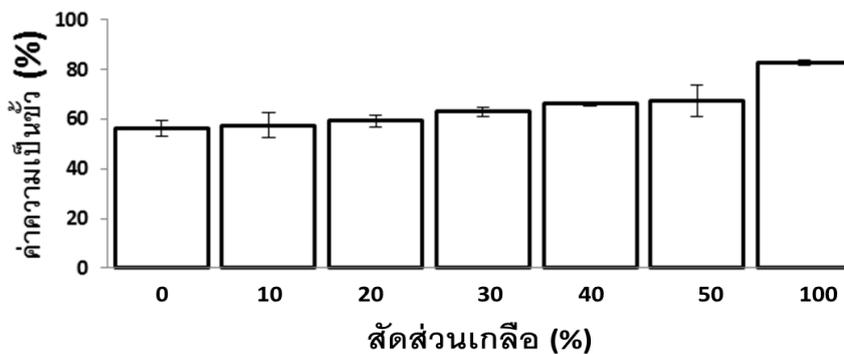
สัดส่วนความเป็นเกลือ (%)	$ABS_{1556}/ABS_{1716}$
0	0.00
10	0.06±0.03
20	0.13±0.01
30	0.21±0.09
40	0.32±0.03
50	0.31±0.06
100	0.93±0.12



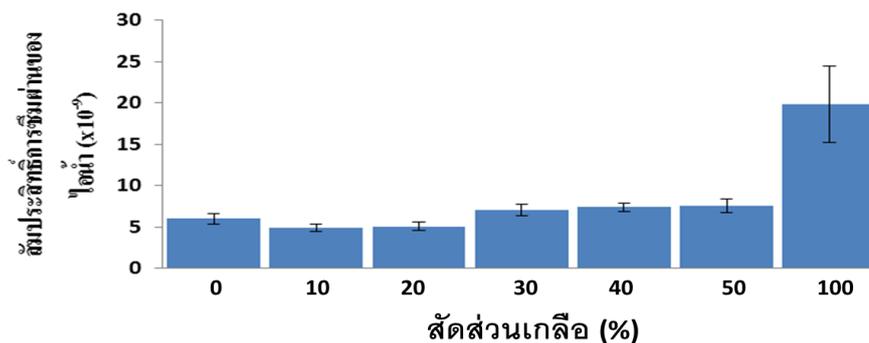
ภาพที่ 14 FTIR สเปกตร้าของเซลลูลอสฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตในสัดส่วนที่ต่างกัน

### 3.1.3 ค่าความเป็นขี้และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำ

ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการเตรียมเซลลูลอสฟอกขาวให้อยู่ในรูปเกลือมีผลต่อค่าความขี้และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มเซลลูลอสฟอกขาว โดยภาพที่ 15 แสดงค่าความขี้ของฟิล์มเซลลูลอสฟอกขาวที่เตรียมให้อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตในสัดส่วนต่างๆ พบว่าค่าความขี้ของฟิล์มเซลลูลอสฟอกขาวมีค่าเท่ากับ 31.15 % และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเตรียมฟิล์มเซลลูลอสฟอกขาวให้อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนต ค่าความขี้จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่เพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเตรียมฟิล์มเซลลูลอสฟอกขาวให้อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่มีสัดส่วนของเกลือตั้งแต่ 40% ขึ้นไป โดยฟิล์มเซลลูลอสฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนต 100% มีค่าความขี้ 52.74% ผลของค่าความขี้ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงส่วนที่ชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นของฟิล์มทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสัดส่วนของเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้นไปด้วย ดังแสดงในภาพที่ 16 โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อฟิล์มเซลลูลอสฟอกขาวอยู่ในรูปเกลือ 100% โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำอยู่ที่  $1.99 \times 10^{-8} \text{ gh}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ mmHg}^{-1}$  ซึ่งมีค่ามากกว่าฟิล์มเซลลูลอสฟอกขาวในรูปกรดอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำเท่ากับ  $5.98 \times 10^{-9} \text{ gh}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ mmHg}^{-1}$  แต่ค่าการซึมผ่านไอน้ำนี้ยังมีค่าที่น้อยเมื่อเทียบกับ เอนเทอร์ริกพอลิเมอร์ชนิดอื่น เช่น เซลลูโลส อะซิเตด พทาเลต (cellulose acetate phthalate, CAP) [35] หรือกลุ่มอะครีเลตพอลิเมอร์ (Eudragit L-30D) มีค่าประมาณ  $1 \times 10^{-7} - 3 \times 10^{-5} \text{ g h}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$  [36]



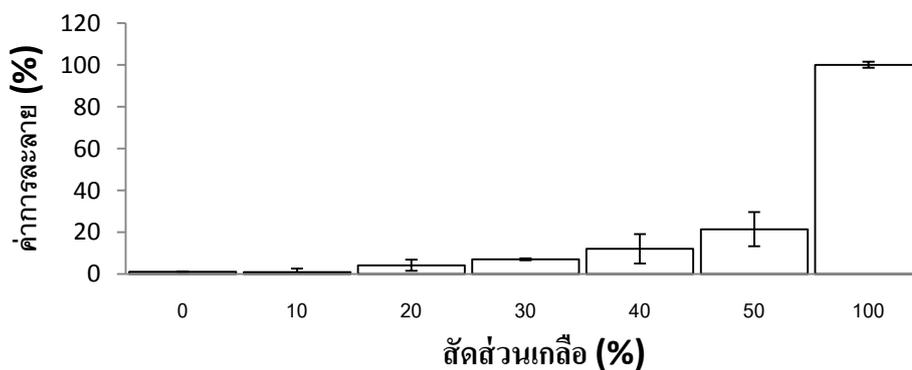
ภาพที่ 15 ค่าความขี้ของเซลลูลอสฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนที่ต่างกัน



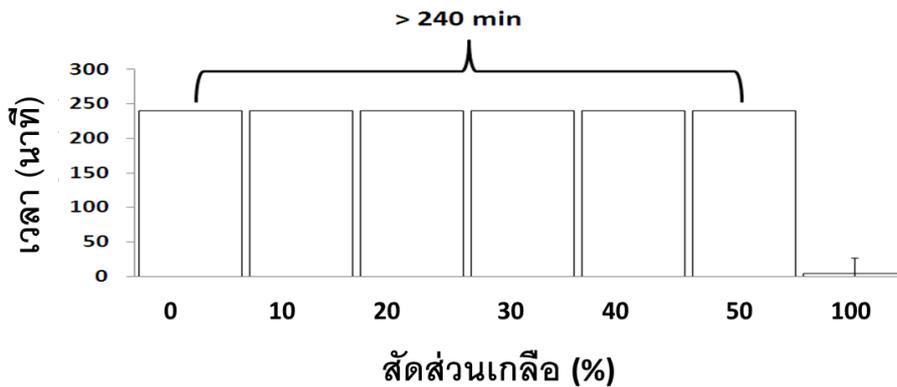
ภาพที่ 16 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำของเซลลูล์ฟอกขาวที่อยู่ในรูปกลีเซอลโซเดียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนต่างๆ

### 3.1.4 ค่าการละลาย

เซลลูล์ฟอกขาวสามารถเตรียมเป็นฟิล์มที่มีความสวยงามมีความมันเงา ป้องกันความชื้นได้ดีและไม่ละลายน้ำ จึงมีการนำมาใช้ในการเคลือบวัสดุต่างๆ รวมถึงอาหารและยาโดยใช้เคลือบอาหารประเภทผลไม้เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บให้นานขึ้น และใช้เคลือบยาเพื่อป้องกันความชื้นและใช้เป็นสารเคลือบเอ็นเทอร์ริก เพื่อป้องกันยาที่มีการระคายเคืองต่อกระเพาะอาหารหรือป้องกันยาเสื่อมสลายในกระเพาะอาหารที่มีสภาวะเป็นกรด แต่การเตรียมเซลลูล์ฟอกขาวให้อยู่ในรูปกลีเซอลจะลดการเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำของเซลลูล์ฟอกขาว อาจทำให้การเคลือบเอ็นเทอร์ริกไม่ประสบผลสำเร็จเนื่องจากเซลลูล์ฟอกขาวจะละลายระหว่างการรับประทานยาของผู้ป่วยพร้อมน้ำ การเตรียมเซลลูล์ฟอกขาวให้อยู่ในรูปกลีเซอลบางส่วนสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยภาพที่ 17 แสดงให้เห็นค่าการละลายของฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวที่เตรียมให้อยู่ในรูปกลีเซอลโซเดียมคาร์บอเนต ในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์การละลายของฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวในน้ำในระยะเวลา 1 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกลีเซอลอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) โดยฟิล์มจะละลายน้ำหมดภายใน 1 ชั่วโมงเมื่ออยู่ในรูปกลีเซอล 100% เท่านั้น การทำฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวให้อยู่ในรูปกลีเซอลบางส่วนยังสามารถเพิ่มระยะเวลาในการละลายของฟิล์มได้ดังแสดงในภาพที่ 18 ที่แสดงระยะเวลาในการละลายของฟิล์มในน้ำ โดยฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวที่เตรียมในรูปกลีเซอลโซเดียมคาร์บอเนต 100% จะละลายในน้ำหมดภายในเวลา 4.57 นาที แต่ฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวในรูปกลีเซอลบางส่วนจะละลายไม่หมดภายใน 4 ชั่วโมง ผลที่ได้สามารถอธิบายได้จากค่าความเป็นขี้และจำนวนหมู่คาร์บอกซิเลตที่เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มละลายน้ำได้ดีขึ้นดังที่ได้อธิบายในภาพที่ 15 และตารางที่ 4 ตามลำดับ



ภาพที่ 17 ค่าการละลายน้ำภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงของฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวในรูปกลีเซอลโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน



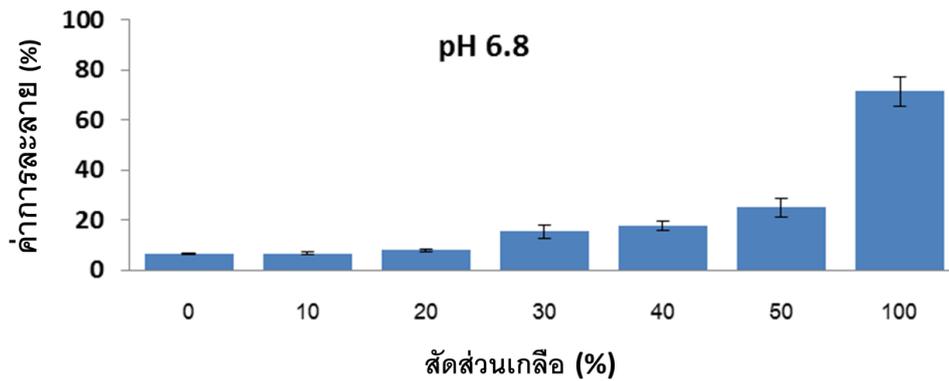
ภาพที่ 18 ระยะเวลาในการละลายในน้ำของฟิล์มเซลลิวโลสในรูปกลีโกลโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน

เพื่อเป็นการยืนยันว่าฟิล์มเซลลิวโลสในรูปกลีโกลบางส่วนมีความสามารถทนกรดได้ จึงได้ทดสอบการละลายในสารละลายน้ำยอยำลองในกระเพาะอาหารพีเอช 1.2 ของฟิล์มพบว่าฟิล์มทั้งหมดละลายไปไม่ถึง 8% ดังแสดงในตารางที่ 5 จากนั้นทำการทดสอบดูการละลายในตัวกลางพีเอช 6.8 และ 7.4 พบว่าฟิล์มทั้งหมดละลายได้บางส่วนในตัวกลางพีเอช 6.8 และละลายได้หมดในตัวกลางพีเอช 7.4 ในระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยภาพที่ 19 แสดงค่าการละลายของฟิล์มเซลลิวโลสในรูปกลีโกลโซเดียมคาร์บอเนตในสัดส่วนต่างกัน ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมงพบว่าค่าการละลายของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของความเป็นกลีโกลของฟิล์มเซลลิวโลส ฟิล์มเซลลิวโลสในรูปกลีโกล 10 % สามารถละลายในตัวกลางพีเอช 6.8 ได้เพียง 6.51% และจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่ออัตราส่วนความเป็นกลีโกลมากกว่า 30% และจะเพิ่มเป็น 71.13% เมื่อฟิล์มเซลลิวโลสอยู่ในรูปกลีโกล 100%

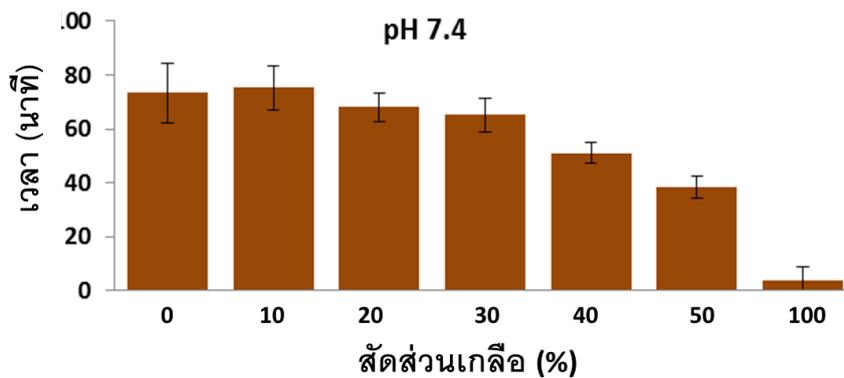
ภาพที่ 20 แสดงระยะเวลาในการละลายของฟิล์มเซลลิวโลสในสัดส่วนต่างกัน ในตัวกลางพีเอช 7.4 พบว่าระยะเวลาจะลดลงเมื่อฟิล์มอยู่ในรูปกลีโกลที่อัตราส่วนสูง ๆ ฟิล์มเซลลิวโลสในรูปกลีโกล 100% จะใช้เวลาเพียง 3 นาที 58 วินาทีซึ่งน้อยกว่าฟิล์มเซลลิวโลสที่อยู่ในรูปกรดที่ใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง 13 นาที โดยระยะเวลาในการละลายจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่ออัตราส่วนของกลีโกลมีค่ามากกว่า 40 % สำหรับกลไกการละลายที่เพิ่มขึ้นนั้นคาดว่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดหมู่คาร์บอกซิเลต ซึ่งยืนยันด้วยค่า  $ABS_{1556}/ABS_{1716}$  ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในตารางที่ 3 ที่พบว่าหมู่คาร์บอกซิเลตมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนความเป็นกลีโกลเพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มละลายได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามไม่สามารถบอกได้ว่าฟิล์มเซลลิวโลสในรูปกลีโกลโซเดียมคาร์บอเนตอัตราส่วนใดเหมาะกับการนำไปเป็นสารเคลือบเอนเทอริกโดยดูจากค่าการละลายอย่างเดียว ผลของความคงตัวจะเป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งที่จะใช้ในวิเคราะห์โดยจะแสดงในหัวข้อที่ 3.2 ต่อไป

ตารางที่ 4 ค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 1.2 ระยะเวลา 2 ชั่วโมงของฟิล์มเซลลิวโลสในรูปกลีโกลโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน

สัดส่วนความเป็นกลีโกล(เปอร์เซ็นต์)	ค่าการละลาย (%)
0	5.16±0.62
10	4.13±0.21
20	6.19±0.44
30	5.28±0.68
40	7.63±1.17
50	6.58±0.95
100	6.73±0.47



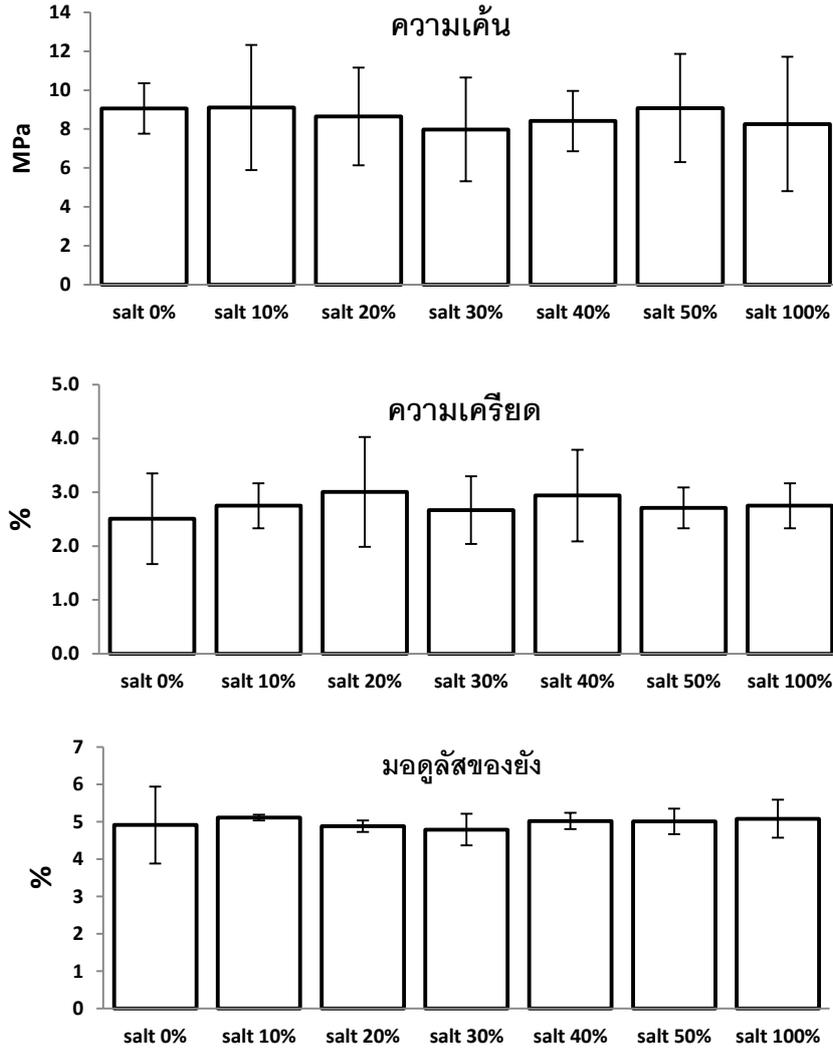
ภาพที่ 19 ค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 6.8 ระยะเวลา 3 ชั่วโมงของฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวในรูปเกล็ดโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน



ภาพที่ 20 ระยะเวลาในการละลายในตัวกลางพีเอช 7.4 ของฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวในรูปเกล็ดโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน

### 3.1.5 สมบัติเชิงกล

ค่าความเค้น (stress) ความเครียด (strain) และค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) เป็นสมบัติที่เป็นตัวชี้วัดถึงความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของฟิล์ม ฟิล์มที่ดีควรมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่มากพอเช่น ในการเคลือบยาฟิล์มจะต้องสามารถทนแรงกระแทกระหว่างการเคลือบได้และต้องมีความยืดหยุ่นที่มากพอที่จะสามารถเคลือบยาเม็ดแกนโดยที่ไม่เกิดการแตกเสียหาย [23, 25] โดยภาพที่ 21 แสดงค่าความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) และ มอดูลัสของยัง (Young's modulus) ของฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวที่อยู่ในรูปเกล็ดโซเดียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าค่าต่างๆ ของฟิล์มที่เตรียมจากเซลลูล์ฟอกขาวในรูปกรดและรูปเกล็ดโซเดียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนต่างๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ทั้งความเค้น ความเครียดและมอดูลัสของยัง แสดงว่าการเตรียมเซลลูล์ฟอกขาวให้อยู่ในรูปเกล็ดโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกันไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล อย่างไรก็ตามผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่แสดงให้เห็นว่าฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวในรูปเกล็ดแอมโมเนียและเกล็ดชนิดอื่นๆ จะมีค่าความเค้นและความเครียดและมอดูลัสของยังต่างจากฟิล์มเซลลูล์ฟอกขาวในรูปกรดขึ้นอยู่กับชนิดของเกล็ด [28, 31]



ภาพที่ 21 ค่าความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) และ โมดูลัสของยัง (Young's modulus) ของฟิล์มเซลแล็กฟอกขาวในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน

### 3.1.6 การเปลี่ยนแปลงภายใต้อุณหภูมิ

การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของเซลแล็กภายใต้อุณหภูมิทำได้โดยการดูการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ด้วยกล้อง microscope ให้ความร้อนตัวอย่างด้วยแท่นความร้อนอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสต่อนาที ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของเซลแล็กฟอกขาวในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน เกิดการหลอมเหลวเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิที่มากกว่า 77 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เซลแล็กเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงและอุณหภูมิที่เซลแล็กละลายหมดได้แสดงในตารางที่ 5 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนในการเป็นเกลือของเซลแล็กฟอกขาวมีผลต่อจุดหลอมเหลวของเซลแล็กดังกล่าว อุณหภูมิที่เซลแล็กหลอมละลายหมดจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนเกลือที่เพิ่มขึ้นโดยจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่ออัตราส่วนเกลือมากกว่า 30% โดยเซลแล็กฟอกขาวในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอเนต 100% จะเห็นการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าเซลแล็กฟอกขาวในรูปกรด (เกลือ 0%) ซึ่งเกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ที่ 77 องศาเซลเซียส และเซลแล็กทั่วไปที่มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 75–85 องศาเซลเซียส (MSDS 2552) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยในการเตรียมเซลแล็กในรูปแบบเกลือคอมโพสิตระหว่างแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์กับ 2-amino-2-methyl-1-propanol ซึ่งแสดงให้เห็นการหลอมเหลวของเซลแล็กภายใต้อุณหภูมิ โดยมีอุณหภูมิที่สูงกว่าเซลแล็กทั่วไป [24] ซึ่ง

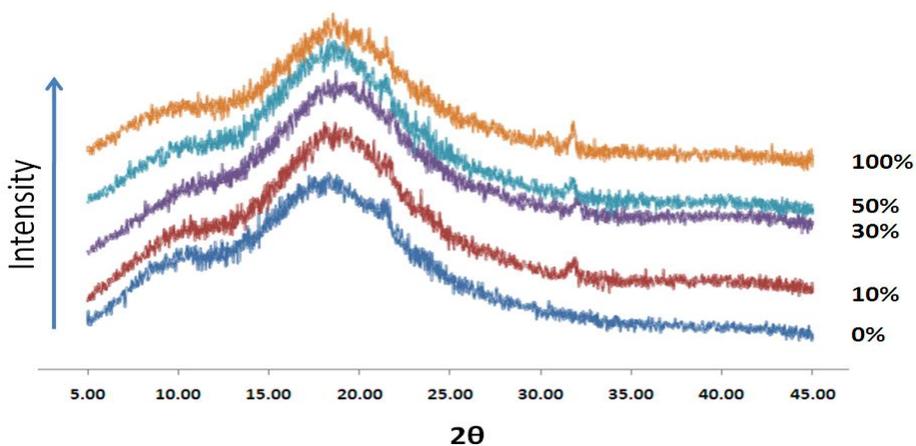
การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิหลอมเหลวสามารถอธิบายได้โดยเซลล์ึกในรูปเกลียวจะเกิดการแทนที่ของโมเลกุลที่หมู่คาร์บอกซิลิกจากไฮโดรเจนอะตอมเปลี่ยนเป็นอะตอมของโซเดียมและการเกิดพันธะไอออนิกที่จุดดังกล่าวซึ่งมีผลทำให้การหมุน การคลายตัว การเปลี่ยนรูปของสายโซ่เกิดได้ยากขึ้นเมื่อได้รับแรงหรือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สภาวะเหล่านี้จะทำให้จุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น [28]

ตารางที่ 5 อุณหภูมิที่เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงและอุณหภูมิที่หลอมเหลวทั้งหมดของเซลล์ึกฟอกขาวในรูปเกลียวโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน ติดตามการเปลี่ยนแปลงภายใต้อุณหภูมิด้วยกล้องไมโครสโคป

สัดส่วนเกลียว (%)	อุณหภูมิที่เริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลง (C°)	อุณหภูมิที่หลอมเหลวทั้งหมด (C°)
0	61-63	77
10	61-63	77
20	62-64	77
30	69-71	81
40	72-74	85
50	78-80	91
100	110-112	135

### 3.1.7 โครงสร้างอสังฐานและผลึก

สารอินทรีย์ทั่วไปโมเลกุลมีขนาดเล็ก น้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถตกผลึกหรืออยู่ในรูปของผลึกได้ แต่สำหรับพอลิเมอร์ ขนาดของโมเลกุลยาว น้ำหนักโมเลกุลสูงจึงมีโอกาสที่จะอยู่ในรูปผลึกน้อยกว่าส่วนของพอลิเมอร์ซึ่งโมเลกุลจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ หรือไม่เป็นผลึกเรียกว่า “พอลิเมอร์อสังฐาน” โดยเซลล์ึกและเซลล์ึกฟอกขาวจัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นผลึก ซึ่งดูได้จากผลของ XRD diffractrogram ภาพที่ 22 แสดง XRD diffractrogram ของเซลล์ึกฟอกขาวในรูปเกลียวโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน พบว่า XRD diffractrogram ของเซลล์ึกทั้งหมดมีลักษณะเป็นอสังฐาน โดยเซลล์ึกที่อยู่ในรูปเกลียวที่สัดส่วนต่างกันจะมีลักษณะเหมือนกันโดยจะมีลักษณะของผลึกเพิ่มขึ้นที่ 2θ เท่ากับ 32 องศาเมื่อเทียบกับเซลล์ึกฟอกขาวในรูปกรด ซึ่งผลดังกล่าวอาจเกิดมาจากเอทิลแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในฟิล์ม (ยืนยันผลจากการทดสอบเซลล์ึกฟอกขาวในรูปฟิล์มแล้วพบลักษณะดังกล่าวเพิ่มขึ้น)



ภาพที่ 22 XRD diffractrogram ของเซลล์ึกฟอกขาวในรูปเกลียวโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน

### 3.2 การศึกษาความคงตัว

การศึกษาความคงตัวของเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน ทำโดยการนำเซลล์ฟอกขาวที่เตรียมได้เก็บไว้ที่อุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน โดยมีการสุ่มมาตรวจสอบเป็นระยะๆ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเซลล์ฟอกขาวที่เปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ ค่าของกรด ปริมาณตะกอน ฟลูออโรทรานสฟอรัมอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี และค่าการละลายของฟิล์มที่ตัวกลางต่างๆ

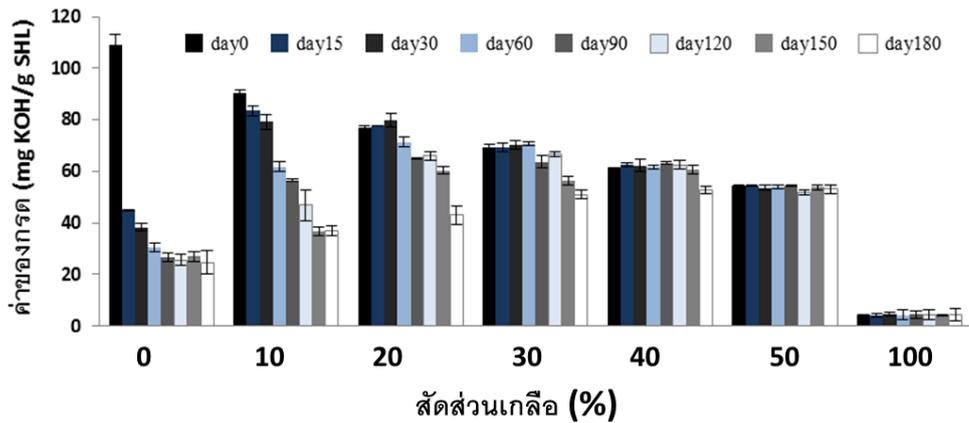
เมื่อนำเซลล์ที่เตรียมในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน มาเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าลักษณะทางกายภาพของเซลล์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และได้ทำการทดสอบคุณสมบัติอื่นๆ ดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 ค่าของกรดและปริมาณตะกอน

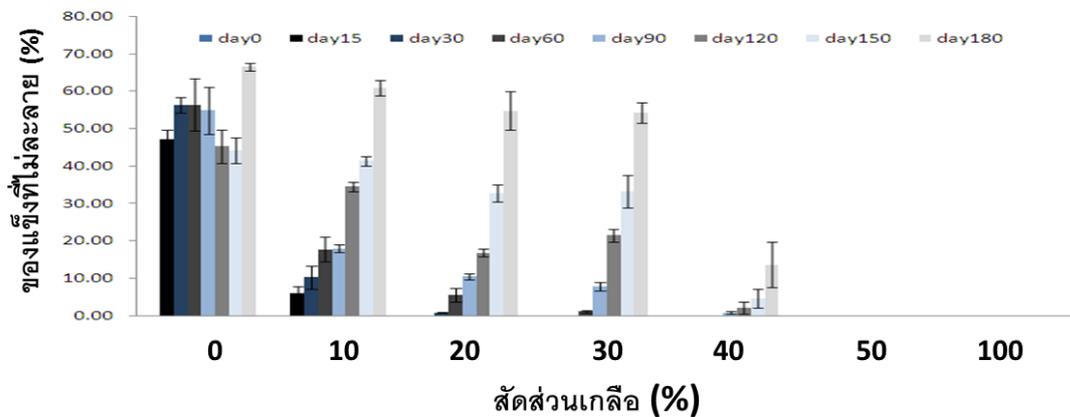
เซลล์ในรูปกรดเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานจะเกิดการเสียสภาพ เนื่องจากเซลล์เกิดการพอลิเมอร์เซชันกันระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและไฮดรอกซิลบนสายพอลิเมอร์ของเซลล์ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ิฟิเคชัน ส่งผลทำให้มีค่าของกรดลดลงและทำให้เกิดปริมาณตะกอนที่ไม่ละลายในเอทานอลเพิ่มมากขึ้น [33] ดังนั้นค่าของกรดและปริมาณตะกอนจึงเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการแสดงถึงความคงตัวของเซลล์ ในการศึกษาครั้งนี้มีการเปลี่ยนแปลงเซลล์ฟอกขาวให้อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตบางส่วน ซึ่งคาดว่าจะทำให้ความคงตัวเพิ่มขึ้น โดยศึกษาผลของเกลือโซเดียมคาร์บอเนตในสัดส่วนต่างกัน ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าของกรดและปริมาณตะกอนเมื่อเก็บเซลล์เป็นระยะเวลา 90 วัน และจะเริ่มมีค่าคงที่หลังจากเก็บนานกว่า 90 วัน ผลของการเตรียมเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงค่าของกรดเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 180 วัน ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณเกลือที่ใช้ โดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าของกรดจะลดลงเมื่อมีสัดส่วนของเกลือมากขึ้นและจะมีค่าคงที่เมื่อสัดส่วนเกลือมีค่ามากกว่า 40% โดยที่สัดส่วนเกลือปริมาณน้อย (10-30%) พบการลดลงของค่าของกรดอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ศึกษา และที่ 40% ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าของกรดจนถึง 150 วัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความคงตัวที่เพิ่มมากขึ้นของเซลล์ฟอกขาวหลังจากเกิดการเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตบางส่วนที่มีสัดส่วนของเกลือมากกว่า 40%

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณตะกอนที่ไม่ละลายในเอทานอลของเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 24 พบว่าเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่มีอัตราส่วนเกลือ 50% และ 100% ไม่พบตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายในเอทานอลตลอดระยะเวลาเก็บซึ่งแตกต่างจากเซลล์ฟอกขาวในรูปกรดที่พบตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายปริมาณมากถึง 47.6% หลังจากเก็บไว้เพียง 15 วัน [28, 33] โดยตะกอนจะเพิ่มขึ้นเป็น 66.51% หลังจากเก็บไว้ 180 วัน ผลที่ได้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดที่ลดลงอย่างมากหลังเก็บเป็นระยะเวลา 180 วัน ผลของการเตรียมเซลล์ในรูปเกลือพบการเกิดตะกอนของแข็งที่ลดลงอย่างมาก เซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนต 10 20 และ 30% พบของแข็งที่ไม่ละลายหลังจากเก็บไว้ 15 30 และ 60 วันตามลำดับและจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่เก็บ อย่างไรก็ตามเซลล์ฟอกขาวที่อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนต 40% พบตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายในปริมาณน้อยมาก (0.80%) หลังจากเก็บไว้ 90 วัน และจะเพิ่มขึ้นเป็น 13.62% หลังจากเก็บไว้ 180 วัน โดยตะกอนที่เกิดขึ้นมีค่าไม่ถึง 5% ในการเก็บ 150 วัน และไม่พบการเกิดตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายตลอดระยะเวลา 180 วันเมื่อเตรียมเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือที่สัดส่วน 50% และ 100% ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเตรียมเซลล์ฟอกขาวให้อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตบางส่วนสามารถลดและป้องกันการเกิดพอลิเมอร์เซชันของเซลล์ฟอกขาวที่ตำแหน่งของหมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เซลล์เสียความคงตัวได้ โดยเฉพาะเซลล์ฟอกขาวที่อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนต 100% จะเกิดพันธะไอออนิกระหว่างหมู่  $\text{COO}^-$  และ  $\text{Na}^+$  ที่มีความแข็งแรงเนื่องจากโซเดียมเป็นธาตุหมู่ 1 กลุ่มโลหะสามารถเกิดพันธะไอออนิกได้ดีทำให้ตลอดระยะเวลาการเก็บพันธะดังกล่าวไม่ได้ถูกทำลายเนื่องจากความชื้นและอุณหภูมิในตัวเก็บเซลล์จึงไม่สามารถเกิดการพอลิเมอร์เซชันส่งผลให้เซลล์มีความคงตัวตลอดระยะเวลาการเก็บ ผลที่ได้แตกต่างจากการเตรียมเซลล์ในรูปเกลือแอมโมเนียมที่มีรายงานการเสียสภาพหลังจากเก็บไว้เกิน 90 วัน [24, 28] เนื่องจากพันธะไอออนิกระหว่าง  $\text{COO}^-$  กับ  $\text{NH}_4^+$  ของเซลล์ในรูปเกลือแอมโมเนียมมีความแข็งแรงต่ำกว่าพันธะไอออนิกระหว่าง  $\text{COO}^-$

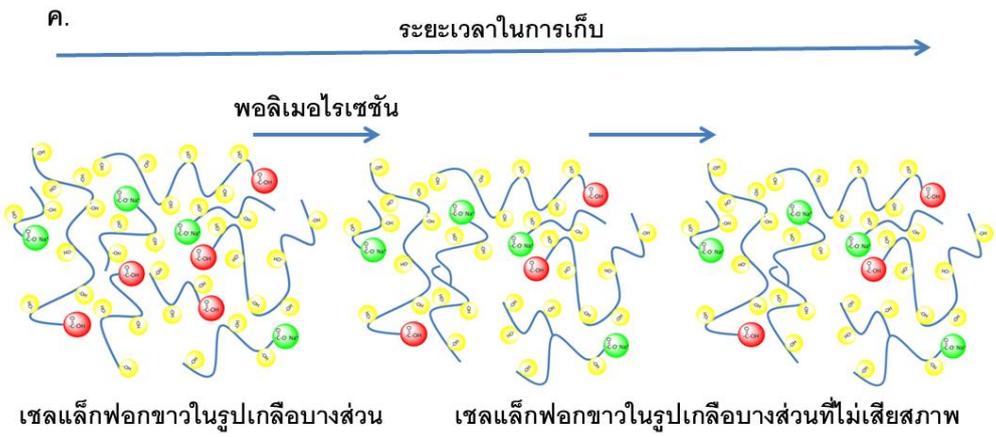
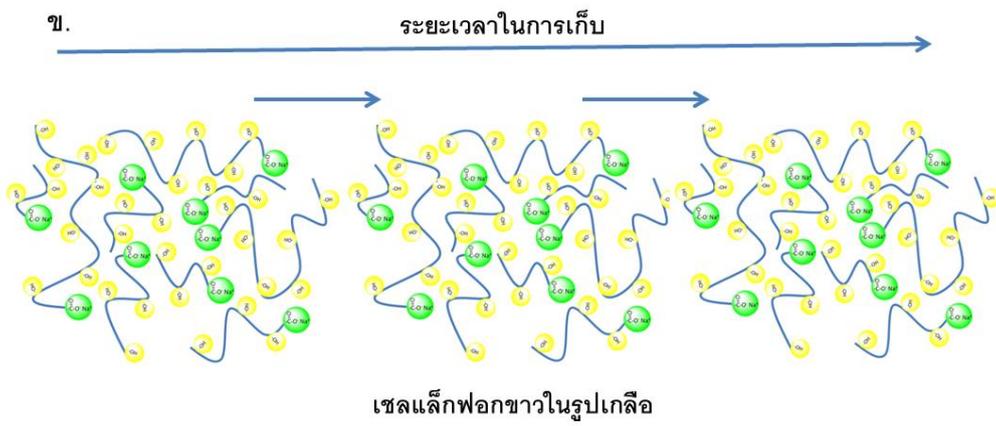
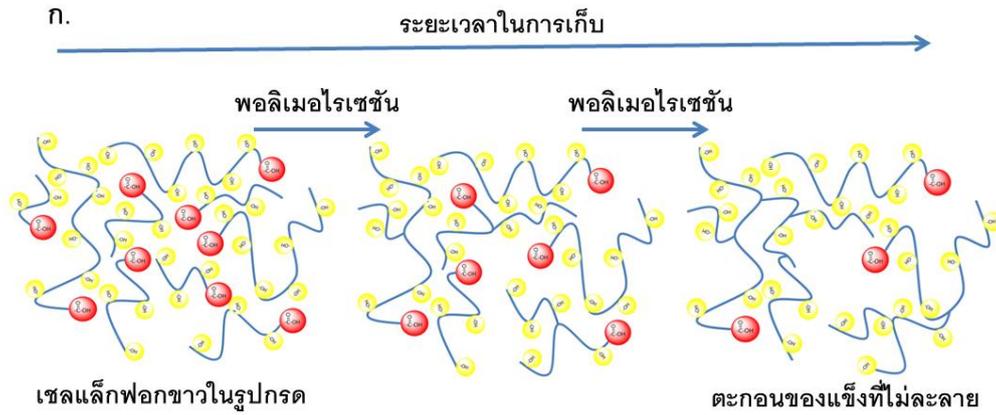
กับ  $\text{Na}^+$  ของเซลล์โรรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนต ถ้าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง กับไอออนมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนบวกของ  $\text{NH}_4^+$  กับไอออนลบของ  $\text{COO}^-$  บวกกับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในตู้เก็บจะทำให้พันธะไอออนิกซึ่งเป็นพันธะที่อ่อนเกิดหลุดออกมา ส่งผลให้เซลล์เกิดกรดอิสระ ทำให้สามารถเกิดพอลิเมอร์โซลที่ตำแหน่งดังกล่าว ความคงตัวจึงลดลงเมื่อเก็บเพียงระยะเวลา 90 วัน โดยภาพที่ 25 แสดงให้เห็นการเสื่อมสภาพของเซลล์ฟอกขาวในรูปกรด รูปเกลือและรูปเกลือบางส่วน เนื่องจากเซลล์ฟอกขาวเกิดการย่อยสลายบางส่วนในกระบวนการฟอกขาว ทำให้มีเซลล์ฟอกขาวที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้นเกิดขึ้นมาก การเสื่อมสภาพของเซลล์จะเกิดจากกระบวนการพอลิเมอร์โซลซึ่งเป็นปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและหมู่ไฮดรอกซิล เซลล์ที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้นจะเกิดได้ง่ายกว่าเซลล์ที่มีสายโซ่โมเลกุลยาว โดยเซลล์ฟอกขาวในรูปกรดจะเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ตลอดระยะเวลาในการเก็บดังภาพที่ 25 ก. ซึ่งตรงข้ามกับเซลล์ในรูปเกลือที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ (ภาพที่ 25 ข.) แต่ในส่วนของเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือบางส่วน เซลล์โมเลกุลสั้นจะสามารถฟอร์มเกลือได้ดีกว่าเซลล์โมเลกุลยาวทำให้เซลล์ที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้นส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเกลือซึ่งไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์โซลได้ ดังนั้นเซลล์ที่อยู่ในรูปกรดจึงเป็นเซลล์ที่มีสายโซ่โมเลกุลยาวซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ยาก ปฏิกิริยาพอลิเมอร์โซลจะเกิดได้บ้างจากเซลล์ในรูปกรดที่สายโซ่โมเลกุลไม่ยาวมาก แต่เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดต่อไปได้เนื่องจากหลังเกิดปฏิกิริยาเซลล์สูญเสียหมู่กรดอิสระไปดังภาพที่ 25 ค. จึงทำให้เซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือสัดส่วน 50% มีความคงตัวที่ดีตลอดระยะเวลาที่เก็บ



ภาพที่ 23 ค่าของกรดของเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกันภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน



ภาพที่ 24 ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายของเซลล์ฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตอัตราส่วนต่างๆภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน

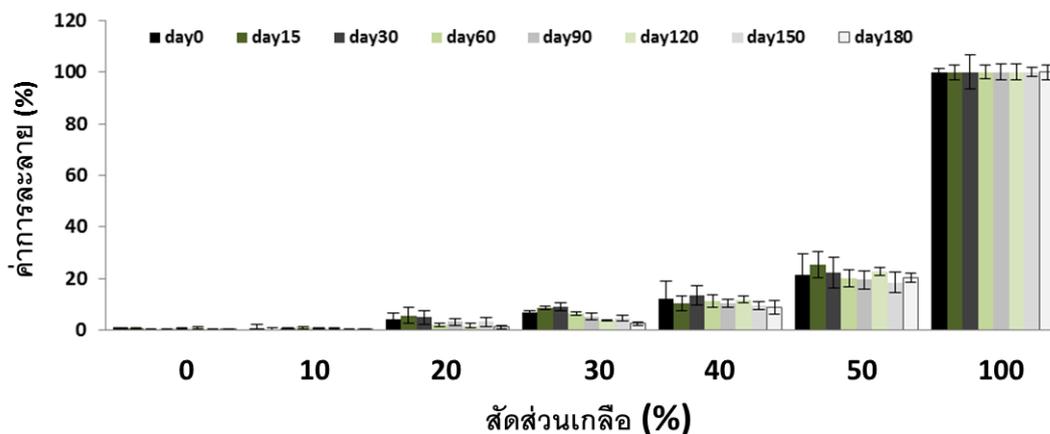


ภาพที่ 25 ผลของเวลาต่อการเสื่อมสภาพของ ก.เซลล์กฟอกขาวในรูปกรด ข.เซลล์กฟอกขาวในรูปเกลือ และ ค.เซลล์กฟอกขาวในรูปเกลือบางส่วน

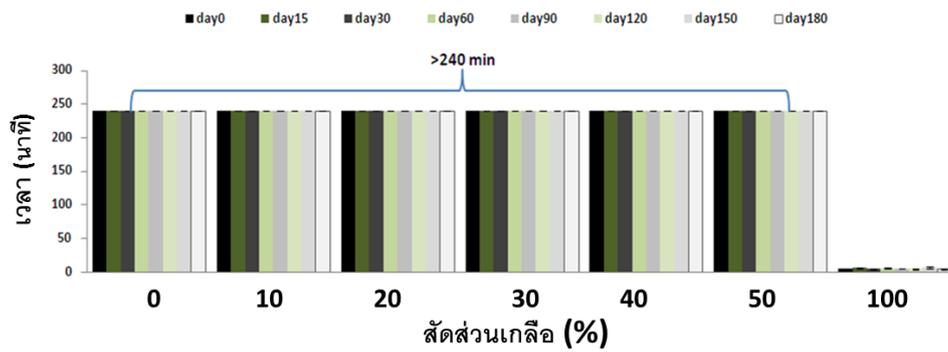
### 3.2.2 ค่าการละลาย

เซลล์เล็กฟอกขาวในรูปกรดมีความสามารถในการละลายน้ำที่ต่ำเมื่อเทียบกับเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนต โดยความสามารถในการละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนความเป็นเกลือของเซลล์เล็กฟอกขาว ภาพที่ 26 แสดงผลของเวลาในการเก็บต่อค่าการละลายน้ำใน 1 ชั่วโมงของฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตสัดส่วนต่างกัน พบว่าค่าการละลายน้ำของฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวสัดส่วนต่างกัน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากเก็บไว้นาน 6 เดือน ยกเว้นค่าการละลายน้ำของฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนต 30% ที่พบว่าค่าการละลายมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเก็บฟิล์มเซลล์เล็กไว้นาน 6 เดือน ซึ่งผลดังกล่าวเกิดจากการเกิดพอลิเมอร์เซชันของฟิล์มทำให้เกิดตะกอนของแข็งที่ไม่ละลาย ส่งผลให้เซลล์เล็กมีการละลายได้น้อยลง อย่างไรก็ตามการเก็บฟิล์มเซลล์เล็กไว้นาน 6 เดือนกลับไม่มีผลต่อเวลาในการละลายของฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตอัตราส่วนต่างๆดังแสดงในภาพที่ 27

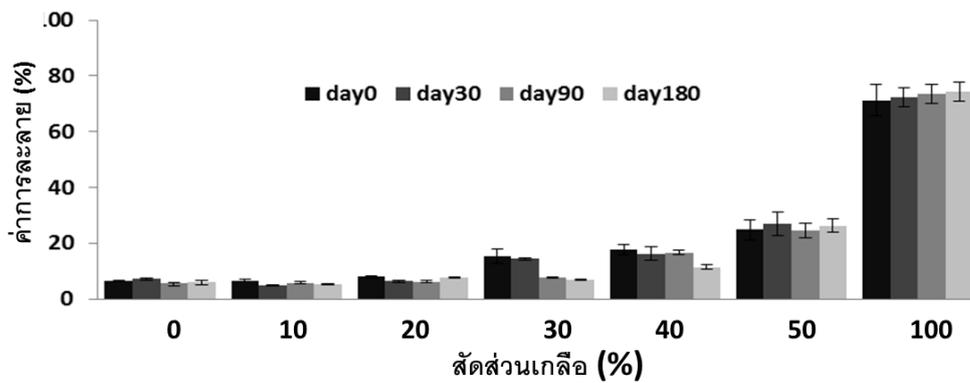
ภาพที่ 28 แสดงผลของเวลาในการเก็บต่อค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 6.8 ในเวลา 3 ชั่วโมง ที่แสดงให้เห็นว่า ตลอดระยะเวลาในการเก็บ ฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตสัดส่วนต่างกัน มีค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 6.8 ในระยะเวลา 3 ชั่วโมงไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับค่าการละลายของฟิล์มก่อนเก็บ ยกเว้นฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือ 30% และ 40% ที่พบค่าการละลายมีการลดลงหลังจากเก็บไว้ 90 และ 180 วัน ตามลำดับ ภาพที่ 29 และ 30 แสดงค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 7.4 ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมงและเวลาในการละลายของฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตอัตราส่วนต่างๆภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าการละลายของฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือสัดส่วนต่ำกว่า 50% มีค่าลดลงจากเดิมที่สามารถละลายได้หมดในตัวกลางดังกล่าวภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยเฉพาะฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปกรดและฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนต 10% ที่ละลายไม่หมดหลังจากเก็บไว้ 1 เดือน โดยฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตสัดส่วน 20% และ 30% ละลายในตัวกลางดังกล่าวไม่หมดหลังจากเก็บไว้นาน 90 วัน และฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนต 40% ละลายไม่หมดหลังจากเก็บไว้นาน 180 วัน อย่างไรก็ตามผลของการเก็บไม่มีผลต่อค่าการละลายของฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตอัตราส่วนที่มากกว่า 50% ผลการละลายดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความคงตัวของเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตสัดส่วนที่มากกว่า 40% ที่ทำให้ค่าการละลายของฟิล์มยังคงไม่เปลี่ยนแปลงแม้จะเก็บไว้นาน 6 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับค่าของกรดที่มีค่าลดลงในเซลล์เล็กฟอกขาวสัดส่วนเกลือต่ำกว่า 40% รวมถึงปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการเก็บ



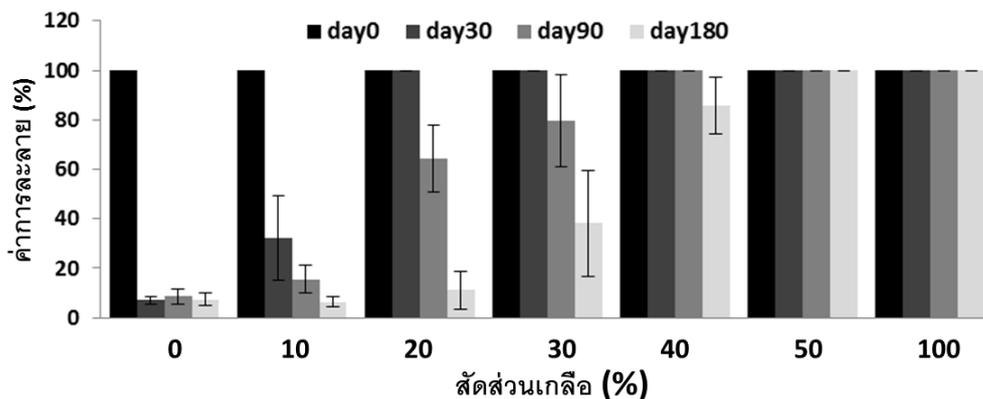
ภาพที่ 26 ค่าการละลายน้ำใน 1 ชั่วโมงของฟิล์มเซลล์เล็กฟอกขาวในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกัน ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน



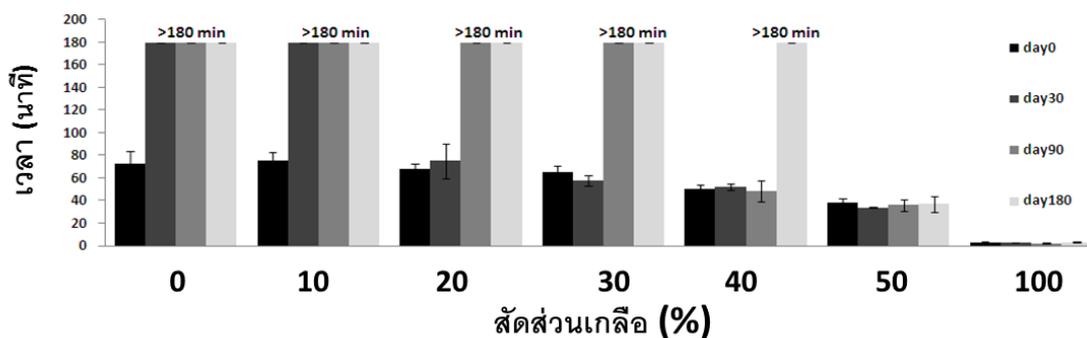
ภาพที่ 27 เวลาการละลายในน้ำของฟิล์มเคลือบฟอกขาวในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกันภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน



ภาพที่ 28 ค่าการละลายในตัวอย่างพีเอช 6.8 ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมงของฟิล์มเคลือบฟอกขาวในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกันภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน



ภาพที่ 29 ค่าการละลายในตัวอย่างพีเอช 7.4 ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมงของฟิล์มเคลือบฟอกขาวในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอเนตอัตราส่วนต่างๆภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน



ภาพที่ 30 เวลาการละลายในตัวกลางพีเอช 7.4 ของฟิล์มเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอเนตที่สัดส่วนต่างกันภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน

จากการศึกษาสมบัติต่างๆ โดยเฉพาะค่าการละลายและค่าความคงตัวของฟิล์มเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอเนตบางส่วนจะพบว่าฟิล์มเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอเนตสัดส่วน 50% มีความคงตัวที่ดีมาก ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทั้งค่าความเป็นกรด ปริมาณตะกอน และค่าการละลายตลอดระยะเวลา 6 เดือน อีกทั้งมีการละลายในน้ำและในตัวกลางพีเอช 1.2, 6.8 และ 7.4 ที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นสารเคลือบเอนเทอริกมากกว่าเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอเนตสัดส่วนเกลืออื่นๆ

#### 4. เซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวในรูปแบบคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลส

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มความคงตัวของเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวโดยเตรียมในรูปแบบคอมพอสิตพอลิเมอร์กับเอทิลเซลลูโลส ซึ่งเดิมที่ต้องการศึกษาการเพิ่มความคงตัวของเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวโดยเตรียมในรูปแบบคอมพอสิตพอลิเมอร์กับเพคติน CU201 แต่ในการศึกษาเบื้องต้นพบว่า การเตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างเพคตินกับเซลลิวโลสจำเป็นต้องเตรียมเซลลิวโลสให้อยู่ในรูปแบบเกลือก่อนจึงจะสามารถผสมกับเพคตินได้ ทำให้ฟิล์มที่ได้ละลายน้ำได้ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการหาสารใหม่ที่สามารถเตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิตกับเซลลิวโลสได้โดยไม่ต้องเตรียมเซลลิวโลสให้อยู่ในรูปแบบเกลือก่อน แต่จะเตรียมโดยการละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ และพบว่าเอทิลเซลลูโลสสามารถนำมาเตรียมได้ ทำให้งานวิจัยนี้เปลี่ยนจากการใช้เพคติน CU201 มาใช้เอทิลเซลลูโลส 10 cps เพิ่มความคงตัวของเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวโดยเตรียมในรูปแบบคอมพอสิตพอลิเมอร์

##### 4.1 การเตรียมและประเมินเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวในรูปแบบพอลิเมอร์คอมพอสิตเอทิลเซลลูโลส

การทดลองนี้ได้ทำการเตรียมเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวให้อยู่ในรูปแบบพอลิเมอร์คอมพอสิตเอทิลเซลลูโลสเพื่อเพิ่มความคงตัว และศึกษาคุณสมบัติของเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวในรูปแบบพอลิเมอร์คอมพอสิตเอทิลเซลลูโลสสัดส่วนต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักเซลลิวโลสต่อเอทิลเซลลูโลสเท่ากับ 9 ต่อ 1, 8 ต่อ 2, 7 ต่อ 3, 6 ต่อ 4 และ 5 ต่อ 5 การประเมินค่าต่างๆ แสดงในหัวข้อที่ 4.1.1-4.1.7

##### 4.1.1 ค่าของกรด

ในโครงสร้างของเซลลิวโลสประกอบด้วยสายพอลิเอสเทอร์ของ hydroxyl aliphatic และ sesquiterpenoid จำนวนหมู่คาร์บอกซิลิกจะเป็นตัวกำหนดค่าของกรดของเซลลิวโลส การเปลี่ยนแปลงค่าของกรดแสดงว่ากลุ่มคาร์บอกซิลิกเกิดการเปลี่ยนแปลง ตารางที่ 6 แสดงค่าของกรดของพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างๆ ค่าของกรดของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวที่มีค่าของกรดเท่ากับ 88.29 mg KOH/g sample โดยค่าของกรดจะลดลงตามอัตราส่วนของเอทิลเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อดูค่าของกรดต่อปริมาณเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวในพอลิเมอร์คอมพอสิตจะพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกับเซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ผลที่ได้สามารถบอกได้ว่าในพอลิเมอร์คอมพอสิต เซลลิวโลสเคลือบฟอกขาวไม่ได้ทำปฏิกิริยากับเอทิลเซลลูโลสแต่กระจายแทรก

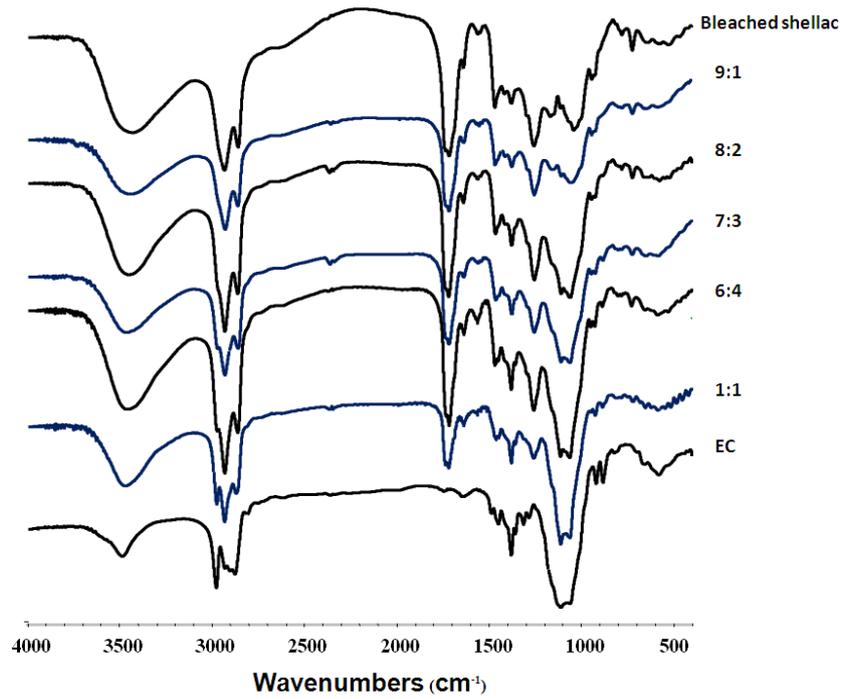
อยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ ผลที่ได้สอดคล้องกับงานของสิทธิพงษ์และคณะซึ่งได้พิสูจน์ว่าเซลแล็กสามารถเกิดคอมพอสิตกับพอลิเมอร์ชนิดที่สองโดยที่ค่าของกรดไม่เปลี่ยนแปลง [25, 26 ]

ตารางที่ 6 ค่าของกรดของพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างๆ

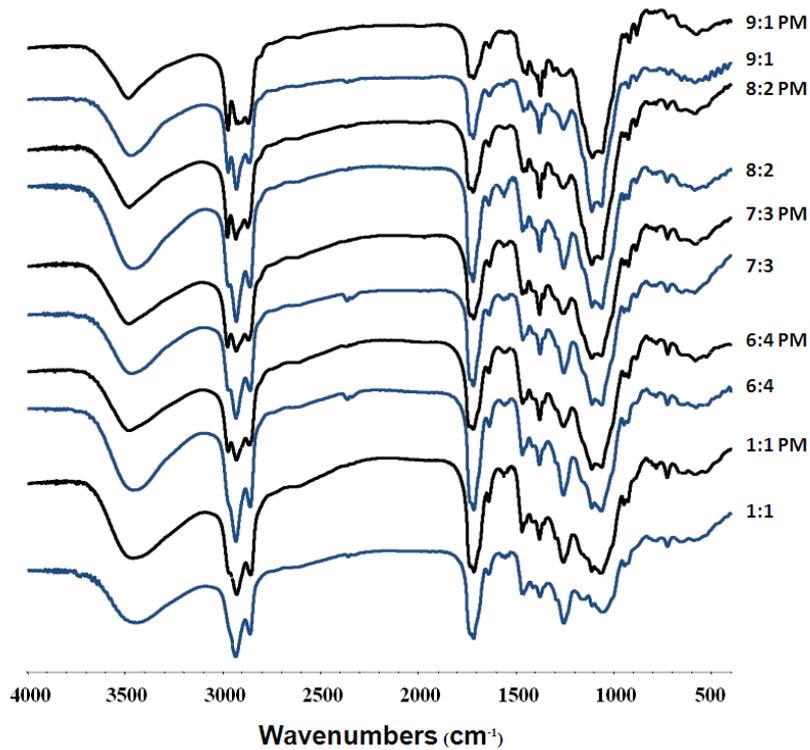
เซลแล็ก	สัดส่วน เซลแล็กฟอกขาว:เอทิลเซลลูโลส	ค่าของกรด (mg KOH/g sample)	ค่าของกรด (mg KOH/g shellac)
ฟอกขาว	-	88.29±1.56	88.29±1.56
ฟอกขาวคอมพอสิต เอทิลเซลลูโลส	9:1	78.71±1.18	87.45
	8:2	71.81±0.97	89.76
	7:3	61.19±0.47	87.41
	6:4	53.39±1.52	88.98
	5:5	43.03±1.27	86.06

#### 4.1.2 โครงสร้างทางเคมี

ภาพที่ 31 แสดง FTIR สเปกตราของเซลแล็กฟอกขาวและพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน โดยเซลแล็กฟอกขาวจะพบพีกกว้างที่บริเวณ 3600-3200 เซนติเมตร<sup>-1</sup> โดยมีจุดสูงสุดที่ประมาณ 3400 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเกิดจาก O-H stretching พีกที่ 1716 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเกิดจาก C=O stretching ของหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เมื่อเตรียมเป็นพอลิเมอร์คอมพอสิตที่สัดส่วนเซลแล็กต่อเอทิลเซลลูโลสเท่ากับ 9 ต่อ 1 จะไม่พบพีกใหม่เกิดขึ้น แต่จะพบพีกที่ 3000 1400 และ 1100 เซนติเมตร<sup>-1</sup> เมื่อสัดส่วนเซลแล็กต่อเอทิลเซลลูโลสเป็น 8 ต่อ 2 และจะชัดขึ้นเมื่ออัตราส่วนเอทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น โดยพีกทั้งสามที่เพิ่มขึ้นมาน่าจะเป็นพีกที่แสดงโครงสร้างทางเคมีของเอทิลเซลลูโลส และเมื่อดูภาพที่ 32 ที่ แสดง FTIR สเปกตราของพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับ FTIR สเปกตราของเซลแล็กฟอกขาวผสมกับเอทิลเซลลูโลส (Physical mixture) ที่อัตราส่วนเดียวกัน ที่แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า มี FTIR สเปกตราที่ไม่ต่างกัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลส เซลแล็กฟอกขาวไม่ได้เกิดพันธะเคมีกับเอทิลเซลลูโลส ผลที่ได้สอดคล้องกับผลค่าของกรดในหัวข้อที่ 4.1.1 ที่บอกว่าในพอลิเมอร์คอมพอสิต เซลแล็กฟอกขาวไม่ได้ทำปฏิกิริยากับเอทิลเซลลูโลสแต่กระจายแทรกอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์



ภาพที่ 31 FTIR สเปกตราของเซลแล็กฟอกขาวและพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน



ภาพที่ 32 FTIR สเปกตราพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน เปรียบเทียบกับ FTIR สเปกตราของของผสมทางกายภาพเซลแล็กฟอกขาวผสมเอทิลเซลลูโลส ที่สัดส่วนเดียวกัน

#### 4.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำและความเป็นขี้

เซลเล็กเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถเกิดฟิล์มและมีความสามารถในการป้องกันความชื้นที่สูง คุณสมบัติข้อนี้เป็นเหตุผลที่สำคัญที่ทำให้เซลเล็กถูกนำมาใช้มาตั้งแต่อดีตเพื่อการปกป้องความชื้น ตารางที่ 7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มเซลเล็กฟอกขาวและพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลเล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างๆ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มเซลเล็กฟอกขาวและฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลเล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อสัดส่วนเซลเล็กต่อเอทิลเท่ากับ 9 ต่อ 1 แต่จะมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนเซลเล็กต่อเอทิลเซลลูโลสเท่ากับ 8 ต่อ 2, 6 ต่อ 4 และ 5 ต่อ 5 แต่เมื่อดูผลของความเป็นขี้กลับพบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตมีขี้มากกว่าฟิล์มเซลเล็กฟอกขาว ซึ่งผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลของฟิล์มเซลเล็กฟอกขาวในรูปเกลือบางส่วนที่พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นขี้ ผลที่ได้ อาจเกิดจากการเรียงตัวของพอลิเมอร์ในฟิล์ม ฟิล์มเซลเล็กฟอกขาวในรูปเกลือมีการจัดเรียงตัวเหมือนกันกับฟิล์มเซลเล็กฟอกขาว เกลือที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการจัดเรียงตัวแต่จะมีผลต่อค่าความขี้ทำให้มีขี้มากขึ้นน้ำจึงซึมผ่านได้มากขึ้น แต่ฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลเล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลส เอทิลเซลลูโลสที่เพิ่มเข้ามานอกจากจะทำให้ความขี้เพิ่มขึ้นแล้ว ยังมีผลต่อการจัดเรียงตัวของฟิล์มด้วย โดยการจัดเรียงตัวของฟิล์มน่าจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมากกว่าความเป็นขี้ ทั้งนี้เอทิลเซลลูโลสเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ ทำให้การกระจายตัวของเอทิลเซลลูโลสไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการซึมผ่านไอน้ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตพบว่าค่าที่ได้ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) แสดงว่าปริมาณเอทิลเซลลูโลสไม่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิต

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำและค่าความเป็นขี้ของฟิล์มเซลเล็กฟอกขาวและฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลเล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างๆ

เซลเล็ก	สัดส่วน เซลเล็กฟอกขาว:เอทิลเซลลูโลส	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำ ( $\text{gh}^{-1} \text{mm}^{-1} \text{mmHg}^{-1}$ )	ค่าความเป็นขี้ (%)
ฟอกขาว	-	$5.38 \times 10^{-9} \pm 0.32 \times 10^{-9}$	32.12
พอกขาวคอมพอสิต เอทิลเซลลูโลส	9:1	$5.26 \times 10^{-9} \pm 0.76 \times 10^{-9}$	41.65
	8:2	$4.62 \times 10^{-9} \pm 0.55 \times 10^{-9}$	49.79
	7:3	$5.25 \times 10^{-9} \pm 0.75 \times 10^{-9}$	51.76
	6:4	$4.09 \times 10^{-9} \pm 0.82 \times 10^{-9}$	50.86
	5:5	$4.18 \times 10^{-9} \pm 0.62 \times 10^{-9}$	51.09

#### 3.1.4 ค่าการละลาย

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเซลเล็กสามารถเตรียมเป็นฟิล์มที่มีความสวยงามมีความมันเงา ป้องกันความชื้นได้ดีและไม่ละลายน้ำ จึงมีการนำมาใช้ในการเคลือบวัสดุต่างๆ รวมถึงอาหารและยาโดยใช้เคลือบยาเพื่อป้องกันความชื้นและใช้เป็นสารเคลือบเอ็นเทอริก เพื่อป้องกันยาที่มีการระคายเคืองต่อกระเพาะอาหารหรือป้องกันยาเสื่อมสลายในกระเพาะอาหารที่มีสภาพเป็นกรด แต่การเพิ่มความคงตัวโดยเตรียมเซลเล็กให้อยู่ในรูปเกลือจะลดการเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำของเซลเล็ก อาจทำให้การเคลือบเอ็นเทอริกไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากเซลเล็กจะละลายระหว่างการรับประทานยาของผู้ป่วยพร้อมน้ำ การเตรียมเซลเล็กให้อยู่ในรูปพอลิเมอร์คอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลสสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยตารางที่ 8 แสดงให้เห็นค่าการละลายของฟิล์มเซลเล็กฟอกขาวและฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลเล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสในสัดส่วนต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์การละลายของฟิล์มทั้งหมดในน้ำในระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าไม่เกิน 6% ซึ่งถือว่าน้อยมาก และเพื่อเป็นการยืนยันว่าฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลเล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสในสัดส่วนต่าง ๆ มีความสามารถทนกรดได้ จึงได้ทดสอบการละลายของฟิล์มในสารละลายจำลองน้ำย่อยใน

กระเพาะอาหารพีเอช 1.2 พบว่าฟิล์มทั้งหมดละลายไปไม่ถึง 7% ดังแสดงในตารางที่ 9 จากนั้นทำการทดสอบดูการละลายในตัวกลางพีเอช 6.8 และ 7.4 ( ตารางที่ 10 และ 11 ตามลำดับ ) พบว่าฟิล์มทั้งหมดละลายได้บางส่วน (ไม่เกิน 9%) ในตัวกลางพีเอช 6.8 ในระยะเวลา 3 ชั่วโมง แต่ในตัวกลางพีเอช 7.4 ฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสสัดส่วน 9 ต่อ 1 และ 8 ต่อ 2 จะละลายได้หมดในระยะเวลา 3 ชั่วโมง สัดส่วน 7 ต่อ 3, 6 ต่อ 4 และ 5 ต่อ 5 จะละลายได้ไม่หมด ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเตรียมเซลลิ่งฟอกขาวให้อยู่ในรูปพอลิเมอร์คอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วน 7 ต่อ 3, 6 ต่อ 4 และ 5 ต่อ 5 จะทำให้ค่าการละลายที่พีเอช 7.4 เปลี่ยนไป ซึ่งอาจทำให้พอลิเมอร์คอมพอสิตที่สัดส่วนดังกล่าวไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นสารเคลือบเอนเทอริก แต่พอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสสัดส่วน 9 ต่อ 1 และ 8 ต่อ 2 ยังคงมีค่าการละลายที่เหมาะสมในการนำมาเป็นสารเคลือบเอนเทอริกได้ แต่ต้องดูผลของความคงตัวประกอบด้วย

ตารางที่ 8 ค่าการละลายน้ำภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงของฟิล์มเซลลิ่งฟอกขาวและฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งฟอกคอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน

เซลลิ่ง	สัดส่วน เซลลิ่งฟอกขาว:เอทิลเซลลูโลส	ค่าการละลายน้ำภายใน ระยะเวลา 1 ชั่วโมง(%)
ฟอกขาว	-	4.21±1.82
ฟอกขาวคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลส	9:01	3.08+1.01
	8:02	5.07+0.71
	7:03	2.12+0.53
	6:04	4.14+0.81
	5:05	3.07+1.02

ตารางที่ 9 ค่าการละลายของฟิล์มของฟิล์มเซลลิ่งฟอกขาวและฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งฟอกคอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน ในตัวกลางพีเอช 1.2 ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

เซลลิ่ง	สัดส่วน เซลลิ่งฟอกขาว:เอทิลเซลลูโลส	ค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 1.2 ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง(%)
ฟอกขาว	-	5.16±0.62
ฟอกขาวคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลส	9:01	4.81±2.42
	8:02	3.84±2.15
	7:03	6.53±1.53
	6:04	6.27±2.11
	5:05	4.38±1.59

ตารางที่ 10 ค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 6.8 ระยะเวลา 3 ชั่วโมงของฟิล์มของฟิล์มเซลลิ่งฟอกขาวและฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งฟอกคอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน

เซลลิ่ง	สัดส่วน เซลลิ่งฟอกขาว:เอทิลเซลลูโลส	ค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 6.8 ใน ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (%)
ฟอกขาว	-	6.15+2.31
ฟอกขาวคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลส	9:01	8.13+1.82
	8:02	6.77+3.08
	7:03	4.15+2.50
	6:04	6.08+1.07
	5:05	8.64+0.89

ตารางที่ 11 ค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 7.4 ระยะเวลา 3 ชั่วโมงของฟิล์มของฟิล์มเซลลิ่งฟอกขาวและฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งฟอกคอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน

เซลลิ่ง	สัดส่วน เซลลิ่งฟอกขาว:เอทิลเซลลูโลส	ค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 7.4 ในระยะเวลา 3 ชั่วโมง (%)
ฟอกขาว	-	100
ฟอกขาวคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลส	9:01	100
	8:02	100
	7:03	78.56+2.37
	6:04	52.12±3.71
	5:05	34.82±4.17

#### 4.1.5 สมบัติเชิงกล

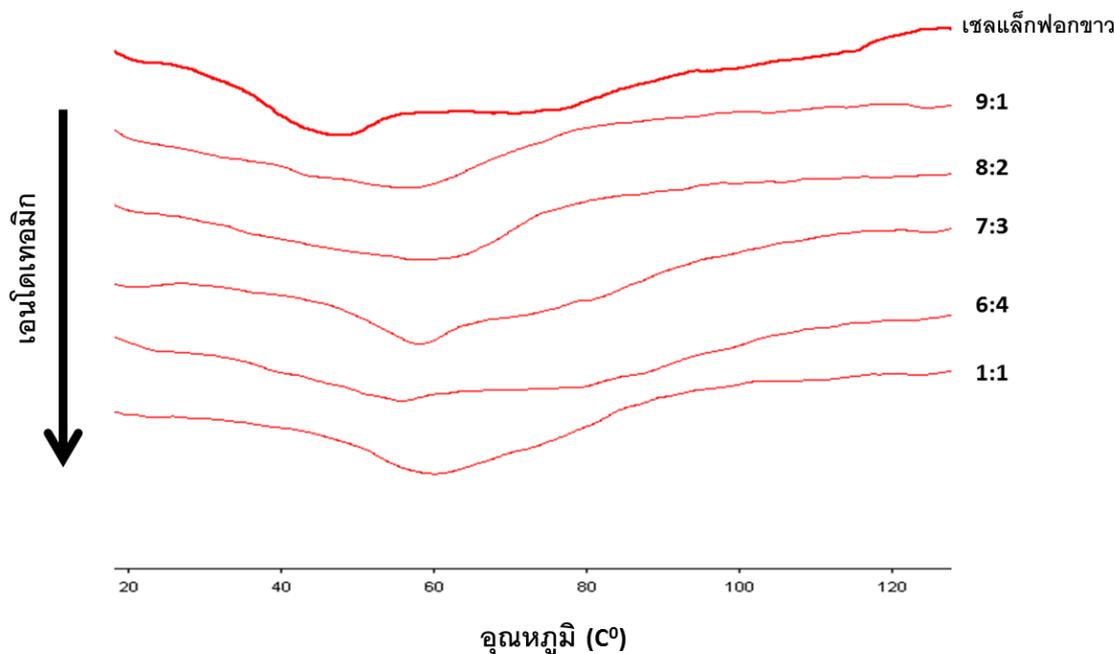
ค่าความเค้น (stress) ความเครียด (strain) และค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) ของฟิล์มเซลลิ่งฟอกขาวและฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งฟอกคอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างๆ แสดงในตารางที่ 12 ที่แสดงให้เห็นว่าค่าต่างๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ทั้งความเค้น ความเครียดและมอดูลัสของยัง แสดงว่าการเตรียมเซลลิ่งฟอกขาวให้อยู่ในพอลิเมอร์คอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลสในอัตราส่วนต่างๆ ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ผลที่ได้คล้ายกับผลของฟิล์มเซลลิ่งฟอกขาวในรูปเกลือบางส่วนที่แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนเกลือไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

ตารางที่ 12 ค่าความเค้น ความเครียดและมอดูลัสของยังของฟิล์มเซลลิ่งพอกขาวและฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งพอกคอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน

เซลลิ่ง	อัตราส่วน เซลลิ่งพอกขาว:เอทิลเซลลูโลส	ความเค้น (MPa)	ความเครียด (%)	มอดูลัสของยัง
พอกขาว	-	9.23+3.61	2.61+0.93	4.95+0.87
พอกขาวคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลส	9:01	10.03+3.05	3.02+0.51	5.17+2.13
	8:02	9.82+2.18	2.17+0.14	6.11+2.08
	7:03	11.35+3.07	1.93+0.32	6.32+1.17
	6:04	12.28+2.83	1.67+0.50	5.98+0.34
	5:05	11.32+2.41	1.73+0.24	6.53+0.47

#### 4.1.6 สมบัติทางความร้อน

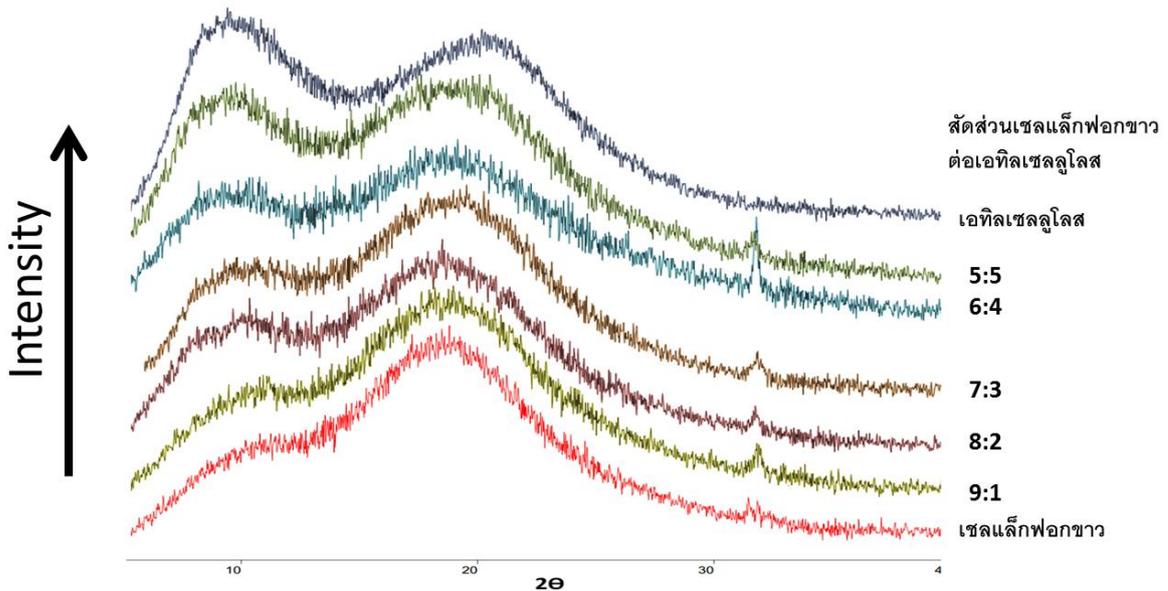
รูปที่ 33 แสดง DSC curves ของเซลลิ่งพอกขาวและพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งพอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างๆ DSC curves ของเซลลิ่งพอกขาว แสดงพีกดูดกลืนความร้อน (endothermic peak) แบบกว้างๆ ที่ประมาณ 45-55 องศาเซลเซียส ซึ่งน่าจะเกิดจากการละลายของเซลลิ่งพอกขาว แต่ DSC curves ของพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งพอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างๆ แสดงพีกดูดกลืนความร้อนแบบกว้างๆ ที่ประมาณ 55-70 องศาเซลเซียส ซึ่งน่าจะเกิดจากการละลายของเซลลิ่งพอกขาวคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลส ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเตรียมเซลลิ่งพอกขาวในรูปคอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลสสามารถเพิ่มจุดหลอมเหลวของเซลลิ่งพอกขาวได้ แต่เมื่อส่องดูด้วยกล้องภายใต้อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปกลับพบว่าเซลลิ่งพอกขาวและพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งพอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสสัดส่วน 9 ต่อ 1 จะละลายหมดที่ช่วงอุณหภูมิดังกล่าว แต่พอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งพอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนอื่นๆ จะมีบางส่วนที่ละลายไม่หมด ซึ่งส่วนที่ไม่ละลายน่าจะเป็นเอทิลเซลลูโลสเนื่องจากเอทิลเซลลูโลสมีจุดหลอมเหลวที่ 125 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 33 DSC curves ของเซลลิ่งพอกขาวและพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลลิ่งพอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน

#### 4.1.7 โครงสร้างอณูฐานและผลึก

ภาพที่ 34 แสดง XRD diffractogram ของเซลแล็กฟอกขาวและพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าการเตรียมเซลแล็กฟอกขาวให้อยู่ในรูปคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอณูฐานและผลึกในทุกอัตราส่วนที่เตรียม โดยลักษณะของ XRD diffractogram เซลแล็กฟอกขาวคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลสแสดงความเป็นอณูฐานมากกว่าผลึกคล้ายกัน โดยจะมีลักษณะของผลึกเพิ่มขึ้นที่  $2\theta$  เท่ากับ 32 องศาเมื่อเทียบกับเซลแล็กฟอกขาว ซึ่งผลดังกล่าวอาจเกิดมาจากเอทิลแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในฟิล์มผลที่ได้สอดคล้องกับผลของเซลแล็กฟอกขาวในรูปเกลือบางส่วนที่พบลักษณะดังกล่าวเช่นกัน



ภาพที่ 34 XRD diffractogram ของเซลแล็กฟอกขาวและพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่างกัน

#### 4.2 ความคงตัว

การทดสอบความคงตัวของพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กฟอกขาวกับเอทิลเซลลูโลส โดยศึกษาผลปริมาณของเอทิลเซลลูโลสในอัตราส่วนต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของกรดและปริมาณตะกอนเมื่อเก็บเซลแล็ก ภายใต้สภาวะเร่ง 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 เดือน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 13 และ 14 ค่าของกรดของเซลแล็กฟอกขาวลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเวลาผ่านไป 1 เดือน และพบของแข็งที่ไม่ละลายเมื่อเวลาผ่านไปเพียง 1 เดือน แต่เมื่อเตรียมเซลแล็กฟอกขาวให้อยู่ในรูปคอมพอสิตกับเอทิลเซลลูโลส พบว่าที่อัตราส่วนเอทิลเซลลูโลสสูงๆ (6:4 และ 5:5) ค่าของกรดไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาที่เก็บ และพบตะกอนของเซลแล็กฟอกขาวคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 6 ต่อ 4 เพียงเล็กน้อยหลังจากเก็บไว้นานถึง 4 เดือน แต่ไม่พบตะกอนเลยที่อัตราส่วน 5 ต่อ 5 ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเตรียมเซลแล็กฟอกขาวในรูปคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนสูงๆ (6:4 และ 5:5) สามารถลดการเสียสภาพของเซลแล็กได้ เนื่องจากเอทิลเซลลูโลสที่แทรกตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาที่หมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอนิลของเซลแล็กฟอกขาวทำให้ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดได้ยากขึ้นเซลแล็กขาวจึงมีความคงตัวเพิ่มขึ้น [25, 26] แต่เมื่อดูผลของค่าการละลายที่พบว่าพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กฟอกขาวที่อัตราส่วน 6 ต่อ 4 และ 5 ต่อ 5 มีค่าการละลายที่ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาเป็นสารเคลือบแอนโทริก เพราะละลายในตัวกลางพีเอช 6.8 และ 7.4 ได้ไม่หมด แต่พอลิเมอร์คอมพอสิตอัตราส่วน 9 ต่อ 1 และ 8 ต่อ 2 ที่มีค่าการละลายที่เหมาะสมกลับมีความคงตัวที่ไม่ดี

ตารางที่ 13 ค่าของกรดของเซลแล็กพอกขาวและพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กพอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน ภายหลังจากเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4 เดือน

เซลแล็ก	อัตราส่วนเซลแล็กต่อเอทิลเซลลูโลส	0 วัน	15 วัน	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน	150 วัน	180 วัน
เซลแล็กพอกขาว	-	88.29+1.56	89.34+0.56	76.37+1.17	69.63+1.47	70.37+2.08	62.59+1.84	65.28+2.51	57.92+3.18
เซลแล็กพอกขาวคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลส	9:01	78.71+1.18	76.32+1.41	77.59+0.47	75.39+0.74	62.38+1.42	63.21+2.08	59.82+2.17	54.22+3.57
	8:02	71.81+0.97	71.07+0.54	72.51+0.62	71.33+0.47	67.32+1.59	65.33+2.17	54.19+2.04	57.17+1.17
	7:03	61.19+0.47	61.97+0.31	59.92+1.82	62.33+1.27	59.31+0.48	56.11+1.52	44.18+3.24	43.82+1.86
	6:04	53.39+1.52	51.94+0.73	53.72+0.73	52.18+0.31	53.74+0.09	52.11+0.17	50.09+0.61	49.38+0.72
	5:05	43.03+0.27	44.61+0.72	41.88+1.55	43.66+0.51	44.82+0.42	43.72+0.35	44.73+1.26	42.58+0.74

ตารางที่ 14 ค่าของแข็งที่ไม่ละลายของเซลแล็กพอกขาวและพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กพอกขาวกับเอทิลเซลลูโลสที่สัดส่วนต่างกัน ภายหลังจากเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4 เดือน

เซลแล็ก	อัตราส่วนเซลแล็กต่อเอทิลเซลลูโลส	0 วัน	15 วัน	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน	150 วัน	180 วัน
เซลแล็กพอกขาว	-	0	0	10.28+3.12	15.38+3.94	20.28+1.17	39.52+2.37	41.67+6.38	48.63+6.41
เซลแล็กพอกขาวคอมพอสิตเอทิลเซลลูโลส	9:01	0	0	0.51+0.23	6.38+1.14	18.62+4.81	28.22+3.54	33.27+3.51	41.61+3.88
	8:02	0	0	0	1.34+0.88	14.25+1.07	15.53+0.47	30.28+4.16	35.18+2.26
	7:03	0	0	0	0	2.27+0.42	14.71+0.27	21.03+5.21	19.63+4.91
	6:04	0	0	0	0	0	0.51+0.08	2.18+0.54	3.11+0.53
	5:05	0	0	0	0	0	0	0	0

จากการศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมพอสิตเซลแล็กพอกขาวกับเอทิลเซลลูโลส โดยเฉพาะ ค่าการละลายและค่าความคงตัวของฟิล์มพบว่า ฟิล์มเซลแล็กพอกขาวในรูปคอมพอสิตพอลิเมอร์เอทิลเซลลูโลสอัตราส่วน 5:5 มีความคงตัวที่ดีมากเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์คอมพอสิตอัตราส่วนอื่นๆ คือไม่พบการเปลี่ยนแปลงทั้งค่าความเป็นกรด ปริมาณตะกอน และค่าการละลายตลอดระยะเวลา 6 เดือน แต่ค่าดูในเรื่องค่าการละลายกลับพบว่าค่าการละลายในตัวกลางพีเอช 6.8 และ 7.4 ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นสารเคลือบเอนเทอริก ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเตรียมเซลแล็กพอกขาวในรูปพอลิเมอร์คอมพอสิตโดยไม่ต้องทำให้อยู่ในรูปเกลือก่อนก็สามารถเพิ่มความคงตัวให้เซลแล็กพอกขาวได้แต่การที่จะใช้เซลแล็กพอกขาวในรูปพอลิเมอร์คอมพอสิตเป็นสารเคลือบเอนเทอริกได้นั้นอาจจำเป็นต้องหาพอลิเมอร์ตัวที่สองที่มีค่าการละลายที่เหมาะสมสำหรับเป็นสารเคลือบเอนเทอริกหรืออาจต้องเตรียมเซลแล็กพอกขาวให้อยู่ในรูปเกลือกเพื่อเพิ่มความคงตัวแล้วใช้เอทิลเซลลูโลสเป็นสารช่วยเพื่อลดความสามารถในการละลายน้ำของพอลิเมอร์คอมพอสิต โดยคณะผู้วิจัยตั้งใจที่จะทำการศึกษาในงานวิจัยต่อไป