

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ลักษณะทั่วไปของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

สารละลายไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และสารละลายจากพอลิเมอร์ผสมเมื่อตั้งทิ้งไว้ 2-3 วันในภาชนะเปิดมีราเกิดขึ้น ในขณะที่สารละลายไคโตแซนไม่พบจุลินทรีย์ใด ๆ จึงเติมโปแตสเซียมซอร์เบท เพื่อป้องกันการเกิดราขณะขึ้นรูปฟิล์ม ซึ่งใช้วิธีการระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง โปแตสเซียมซอร์เบททำหน้าที่เป็นสารถนอมที่ใช้ในอาหาร และพบว่าไม่ทำให้สารละลายพอลิเมอร์ผสมเกิดการแยกชั้น หรือตกตะกอน

ลักษณะของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วนมีความใส เรียบ ความเข้มของสีเหลืองเปลี่ยนแปลงตามปริมาณไคโตแซนในสารละลายพอลิเมอร์ผสม และไม่พบจุลินทรีย์ ดังรูปที่ 4.1 โดยความหนาเฉลี่ยของฟิล์มทั้งหมดเป็น  $19.68 \pm 6.48$  ไมโครเมตร นอกจากนี้ปริมาณความชื้นของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วนซึ่งขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้อง และที่อบด้วยความร้อนมีค่า 1.52-11.63 % แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของการอบฟิล์มด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ ต่อปริมาณความชื้นของฟิล์ม

Blend Films	ปริมาณความชื้น (%)			
	ก่อนอบ	60°C	90°C	120°C
Chitosan/HPMC				
0/100(HPMC)	2.90	2.17	1.81	1.52
10/90	2.48	2.17	2.22	1.73
30/70	3.18	2.82	2.41	2.38
50/50	3.73	3.31	2.14	2.99
70/30	6.43	5.44	2.75	3.71
90/10	6.33	7.66	4.16	4.04
100/0(Chitosan)	11.63	9.97	8.99	8.03

ฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (0/100)

ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิล-  
เซลลูโลส อัตราส่วน chitosan/HPMC 10/90

ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม 30/70

ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม 50/50

ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม 70/30

ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม 90/10

ฟิล์มไคโตแซน (100/0)

รูปที่ 4.1 ลักษณะของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ

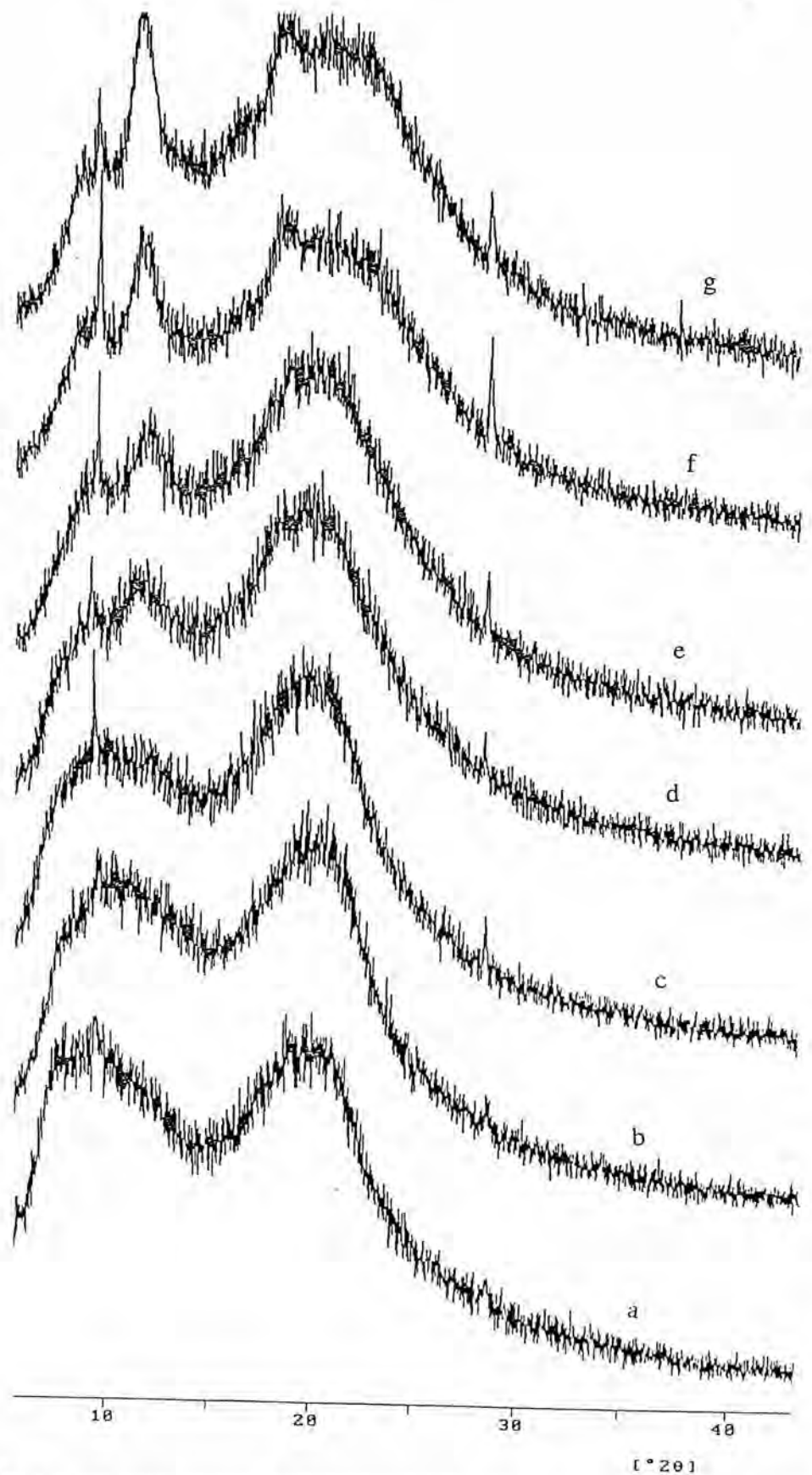
ความขึ้นของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณโคโตนในพอลิเมอร์ผสม และฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีความขึ้นน้อยกว่าฟิล์มโคโตน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซีโพรพอกซิล ( $-OCHCHOHCH_3$ ) ในขณะที่ฟิล์มโคโตนมีหมู่แอมิน ( $-NH_2$ ) ดังนั้นทั้งไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและโคโตนจึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำได้ โดยทั่วไปความเป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์มีผลต่อปริมาณความขึ้นในพอลิเมอร์ ถ้าสายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบนัก การส่งผ่านความขึ้นเกิดไม่ต่อเนื่อง ปริมาณความขึ้นจึงต่ำ ในทำนองเดียวกันไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซีโพรพอกซิลขนาดใหญ่ ทำให้การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสไม่ค่อยเป็นระเบียบเมื่อเทียบกับสายโซ่โมเลกุลโคโตน ซึ่งหมู่แอมินมีขนาดเล็กกว่า ดังนั้น การส่งผ่านความขึ้นโดยการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลน้ำและสายโซ่โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสจากสายโซ่หนึ่งไปอีกสายโซ่หนึ่งจึงไม่ต่อเนื่อง ทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับโคโตน ซึ่งมีการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลเป็นระเบียบ และเมื่อมีปริมาณโคโตนในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น จึงมีการส่งผ่านความขึ้นระหว่างสายโซ่โมเลกุลได้มากขึ้น ความขึ้นจึงเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้การอบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ  $60^{\circ}C$   $90^{\circ}C$  และ  $120^{\circ}C$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ความขึ้นของฟิล์มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการกำจัดโมเลกุลน้ำโดยใช้ความร้อน เมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น การกำจัดโมเลกุลน้ำก็มากขึ้นด้วย

#### 4.2 การวิเคราะห์ความเป็นผลึกฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม

จากการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของฟิล์มโคโตน ฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของโคโตนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ จะได้ diffractogram ดังแสดงในรูปที่ 4.2

Diffractogram ของฟิล์มโคโตน ประกอบด้วย major crystalline peak ที่ตำแหน่ง  $2\theta = 9.5^{\circ}$ ,  $11.5^{\circ}$  และ  $28.5^{\circ}$  และ weak absorption band ที่ตำแหน่ง  $2\theta = 20^{\circ}$  การเกิด peak ที่ตำแหน่ง  $2\theta = 10^{\circ}$  ที่ตำแหน่ง  $2\theta = 20^{\circ}$  เป็นไปตามรายงานของ Sakurai และคณะ (1984)



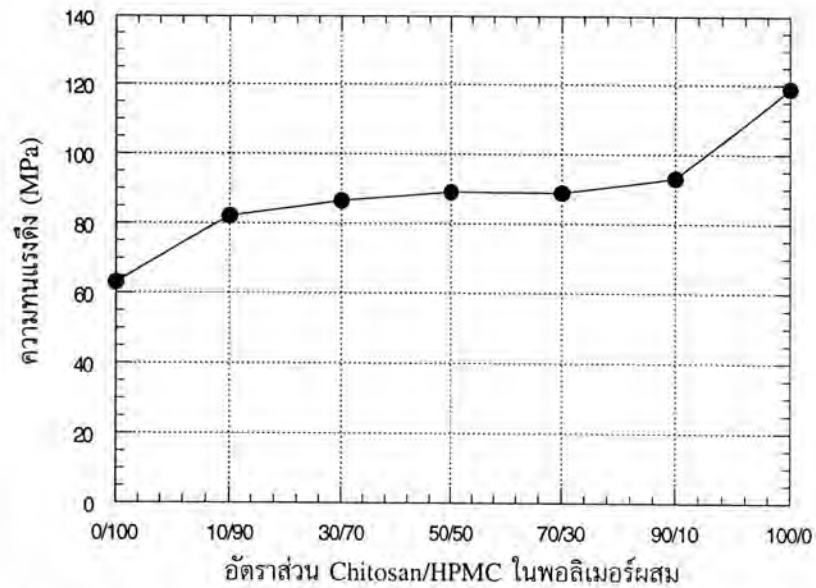
รูปที่ 4.2 X-ray Diffractogram ของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน Chitosan/HPMC ดังนี้ a : 0/100(HPMC), b : 10/90, c : 30/70, d : 50/50, e : 70/30, f : 90/10, g : 100/0 (Chitosan)

สำหรับ diffractogram ของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ นั้น เมื่อปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น พบว่า crystalline peak ที่ตำแหน่ง  $2\theta = 11.5^\circ$  มีความเข้มลดลง จนกระทั่งเมื่อปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส 70% พบว่า peak ที่ตำแหน่ง  $2\theta = 11.5^\circ$  ไม่ปรากฏ แต่พบ weak absorption band ที่ตำแหน่ง  $2\theta = 10^\circ$  แทน ในขณะที่ตำแหน่ง  $2\theta = 9.5^\circ$  ยังคงปรากฏอยู่ อย่างไรก็ตาม crystalline peak ที่ตำแหน่ง  $2\theta = 28.5^\circ$  ค่อย ๆ ลดลงตามปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็น 90% และ 100% ไม่พบ peak ที่ตำแหน่ง  $2\theta = 9.5^\circ$

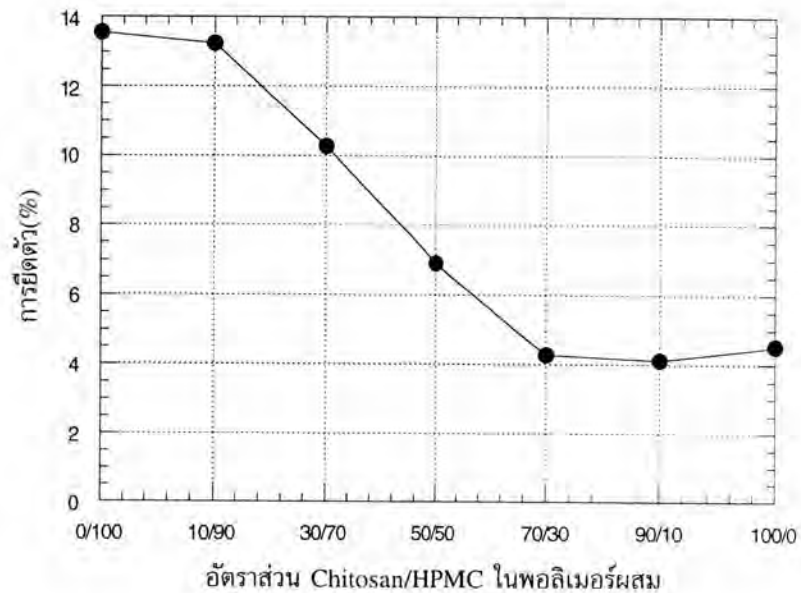
จาก diffractogram แสดงให้เห็นว่าฟิล์มไคโตแซนมีความเป็นผลึกสูงกว่าฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของไคโตแซนนั้นเป็นสายโซ่ตรง ทำให้การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลเป็นระเบียบ ส่วนไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่อยู่ภายในโครงสร้าง จึงขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล ทำให้มีความเป็นระเบียบน้อยกว่าไคโตแซน จึงแสดงความเป็นผลึกน้อยกว่าไคโตแซน สำหรับฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเมื่อปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเป็นผลึกลดลง ซึ่งที่ปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสสูง(90%) จะได้ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่มีลักษณะความเป็นผลึกใกล้เคียงกับฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ดังนั้นปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้นจึงไปลดความเป็นผลึกของไคโตแซนได้

#### 4.3 การวิเคราะห์ความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม

จากรูปที่ 4.3 ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องพบว่า ไม่มีฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วนใด ๆ ที่มีความทนแรงดึงเท่ากับฟิล์มไคโตแซน(100/0) ความทนแรงดึงของฟิล์มอยู่ระหว่าง 63.03-118.82 MPa โดยฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส(0/100) มีค่าต่ำสุด ความทนแรงดึงของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 10/90 จนถึง 100/0 หรืออาจกล่าวได้ว่าความทนแรงดึงของฟิล์มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไคโตแซนในพอลิเมอร์ผสม ในขณะที่การยืดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมดังรูปที่ 4.4 พบว่า ฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มีการยืดตัวสูงสุด คือ 13.55% และการยืดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ อยู่ระหว่าง 4.12-13.55% โดยการยืดตัวค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.3 ความทนแรงดึงของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซน และไฮดรอกซี-โพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.4 การยืหดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน



การที่ความทนแรงดึงของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้นตามปริมาณโคโคแซนในพอลิเมอร์ผสม อาจพิจารณาได้จากความเป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ทำให้ทราบว่าโมเลกุลโคโคแซนมีความเป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลมากกว่าโมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส โดยทั่วไปเมื่อสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ผสมมีความเป็นระเบียบมากย่อมมีความทนต่อแรงกระทำได้มาก ดังนั้นความทนแรงดึงของฟิล์มโคโคแซนจึงมากกว่าฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และเมื่อปริมาณโคโคแซนในฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่มปริมาณสายโซ่โมเลกุลที่เป็นระเบียบในพอลิเมอร์ผสม ทำให้ความทนแรงดึงในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น

การยึดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในพอลิเมอร์ผสม เกี่ยวข้องกับการที่สายโซ่โมเลกุลของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นเส้นตรงที่เนื่องจากการมีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ เมื่อได้รับแรงดึง สายโซ่โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ขดอยู่จึงเกิดการยึดตัวออก และแรงดึงที่ได้รับถูกเปลี่ยนเป็นการยึดตัวออกของสายโซ่โมเลกุลมากกว่าการเก็บสะสมพลังงานไว้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในพอลิเมอร์ผสม จึงเท่ากับมีจำนวนสายโซ่โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมากขึ้น ทำให้ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมมีการยึดตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การที่ปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสทำให้การยึดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น และฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมมีความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณโคโคแซน จึงเกี่ยวข้องกับความเป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ทั้งสอง

#### 4.4 การวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ และการละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมในสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง ต่าง ๆ กัน

การทดสอบนี้แบ่งตามความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสามชนิด ได้แก่ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (pH 1.0) น้ำกลั่น (pH 6.1) และสารละลายบัฟเฟอร์โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (pH 7.4) จากตารางที่ 4.3 พบว่า ฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสละลายอย่างสมบูรณ์ในสารละลายทั้ง 3 ชนิด ในขณะที่ฟิล์มโคโคแซนมีการละลาย และการดูดซึมน้ำในปริมาณลดลง เมื่อใช้สารละลายที่มี pH สูงขึ้น (ความเป็นด่างมากขึ้น) สำหรับฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมโคโคแซนและไฮดรอกซี-

โพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ นั้น เมื่ออัตราส่วนของโคโตแซนต่อไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส เป็น 10/90 ลักษณะของฟิล์มในสารละลายทั้ง 3 ชนิด มีการแตกเป็นชั้นเล็ก ๆ กระจายอยู่ในสารละลาย จึงไม่สามารถนำมาชั่งน้ำหนักได้ และที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมเป็น 30/70 50/50 70/30 90/10 และ 100/0 ปริมาณการดูดซึมน้ำในสารละลายกรด และน้ำกลั่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณโคโตแซนในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการดูดซึมน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ไม่แตกต่างกันนัก เมื่ออัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนไป ในขณะที่การละลายของฟิล์มในสารละลายกรด น้ำกลั่น และสารละลายบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้นตามปริมาณของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในพอลิเมอร์ผสม นอกจากนี้สังเกตได้ว่าในสารละลาย pH 7.4 ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วน มีปริมาณการดูดซึมน้ำ และการละลายต่ำกว่าในสารละลาย pH 1.0 และ pH 6.1

ตารางที่ 4.2 การดูดซึมน้ำ และการละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง ต่างกัน

Blend Film*	pH 1.0		pH 6.1		pH 7.4	
	การดูดซึมน้ำ (%)	การละลาย (%)	การดูดซึมน้ำ (%)	การละลาย (%)	การดูดซึมน้ำ (%)	การละลาย (%)
0/100 (HPMC)	-	S	-	S	-	S
10/90	-	PS	-	PS	-	PS
30/70	595	76.46	337	68.29	347	55.98
50/50	1405	71.79	512	52.27	295	32.28
70/30	1872	55.51	537	14.94	316	4.43
90/10	2747	44.63	569	11.99	246	5.09
100/0(Chitosan)	2632	32.67	961	8.18	314	5.67

S = ละลายอย่างสมบูรณ์

PS = ละลายเพียงบางส่วน ชั้นฟิล์มแตกเป็นชั้นเล็ก ๆ

\* อัตราส่วนโคโตแซน : ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ในฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ซึ่งมีลักษณะชอบน้ำ และมีขั้ว (polar hydrophilic group) อยู่บนสายโซ่โมเลกุล ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำได้ดี แม้ว่า



อยู่ในสารละลายกรด และสารละลายบัฟเฟอร์ ขณะเดียวกันสายโซ่โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มีการจัดเรียงตัวไม่ค่อยเป็นระเบียบ เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซีโพรพอกซิลขนาดใหญ่ จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลต่ำ ดังนั้นการที่ฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส สามารถละลายได้ในสารละลายทั้ง 3 ชนิด แสดงว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส กับโมเลกุลน้ำไม่น้อยกว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสเอง

สำหรับฟิล์มโคโตแซน เมื่ออยู่ในสารละลายกรด (pH1.0) หมู่แอมินอิสระของโคโตแซน สามารถถูกโปรโตเนทได้ด้วยไฮโดรเจนไอออนในกรด ทำให้ความหนาแน่นของไอออนบวก ( $-NH_3^+$ ) บนสายโซ่โมเลกุลเพิ่มขึ้น ไอออนบวกนี้เองมีความว่องไวต่อการเกิดแรงกระทำกับโมเลกุลน้ำ โมเลกุลน้ำเข้าล้อมรอบสายโซ่โมเลกุลโคโตแซนได้มากขึ้น ทำให้มีการดูดซึมน้ำและเกิดการละลายได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากฟิล์มโคโตแซนจากงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ทำการปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยด่าง ดังนั้นจึงมีกรดแอสติคหลงเหลืออยู่ เมื่อฟิล์มแช่ในน้ำกลั่น จึงเป็นไปได้ที่หมู่แอมินในโมเลกุลโคโตแซนถูกโปรโตเนทด้วยกรดแอสติคที่หลงเหลืออยู่ ทำให้มีความหนาแน่นของไอออนบวกอยู่ในปริมาณหนึ่ง แต่น้อยกว่าความหนาแน่นของไอออนบวกเมื่อฟิล์มอยู่ในสารละลายกรด ดังนั้นฟิล์มจึงเกิดการดูดซึมน้ำ และละลายได้ในปริมาณน้อยกว่าเมื่อฟิล์มอยู่ในสารละลายกรด ส่วนการแช่ฟิล์มโคโตแซนในสารละลายบัฟเฟอร์ ซึ่งมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบโซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับสภาพฟิล์มโคโตแซนให้เป็นกลาง จึงเป็นการลดความหนาแน่นของไอออนบวกบนโคโตแซนลง ทำให้การดูดซึมน้ำ และการละลายลดลงตามไปด้วย

ผลการทดลองส่วนนี้จึงสนับสนุนงานวิจัยของ Kim และคณะ (1992) ซึ่งรายงานว่า การดูดซึมน้ำของฟิล์มโคโตแซนเพิ่มขึ้น เมื่อสารละลายมี pH ลดลงนั้น มีสาเหตุหลักมาจากการมีหมู่แอมินอิสระบนสายโซ่โมเลกุลโคโตแซน โดยในภาวะที่ ความหนาแน่นของไอออนบวกบนโมเลกุลโคโตแซนต่ำ และ pH ของสารละลายลดลง หมู่แอมินอิสระถูกโปรโตเนทด้วยกรด เกิดเป็นไอออนบวกได้ ( $-NH_2 + H^+ \rightarrow -NH_3^+$ ) เมื่อเข้าสู่สภาพสมดุลจึงมีความหนาแน่นของไอออนบวกมากขึ้น ขณะเดียวกันโมเลกุลโคโตแซนเกิดการเหี่ยยดตัวออก เนื่องจากการผลักรันของไอออนบวก และมีรูปร่างเป็นแท่งเล็ก ๆ (rodlike) การที่ความหนาแน่นของไอออนบวกมากขึ้น ทำให้เพิ่มความสามารถของโมเลกุลโคโตแซนในการเกิดแรงกระทำกับโมเลกุลน้ำ จึงเกิดการดูดซึมน้ำกลายเป็นเจล และการละลายจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้ำและโคโตแซน ไม่น้อยกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลโคโตแซนเอง

การดูดซึมน้ำของฟิล์มไคโตแซน และฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในสารละลาย ขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย โดยเกี่ยวข้องกับการเกิด protonation ของหมู่แอมีนอิสระบนสายโซ่โมเลกุลไคโตแซน สำหรับฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส เกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากการมีหมู่ไฮดรอกซิลที่ชอบน้ำ และมีขั้ว จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำในสารละลายได้ หรืออาจกล่าวได้ว่า ฟิล์มไคโตแซนมีความต้านทานต่อสารละลายทั้งสามชนิดได้ดีกว่าฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

สำหรับการดูดซึมน้ำและการละลายของพอลิเมอร์ผสมจากไคโตแซนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในสารละลายทั้ง 3 ชนิด แบ่งการพิจารณาได้เป็น 2 กรณีดังนี้

กรณีแรก : การละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมในสารละลายทั้งสามชนิดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำได้ นอกเหนือจากหมู่แอมีนและหมู่ไฮดรอกซิลบนโมเลกุลไคโตแซนที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ฟิล์มไฮดรอกซิลในไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีความแรงขั้ว (Polarity) มากกว่าหมู่แอมีนในไคโตแซน จึงมีผลต่อการละลายของพอลิเมอร์ผสมมากกว่าโมเลกุลไคโตแซน ดังนั้นการละลายที่เกิดขึ้นของพอลิเมอร์ผสมจึงสืบเนื่องจาก แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส โมเลกุลไคโตแซนบางส่วน กับโมเลกุลน้ำ มิใช่น้อยกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไคโตแซน และ/หรือ โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

กรณีที่สอง : พอลิเมอร์ผสมมีส่วนที่ไม่เกิดการละลาย และส่วนนี้เกิดการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไคโตแซนในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากการมีหมู่แอมีนอิสระบนสายโซ่โมเลกุลไคโตแซนเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไคโตแซนในพอลิเมอร์ผสม ทำให้เกิดไอออนบวก ( $-NH_3^+$ ) มากขึ้น ความหนาแน่นของไอออนบวกบนไคโตแซนมีผลต่อการดูดซึมน้ำ (Kim และคณะ, 1992) การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมจึงเพิ่มขึ้นด้วย

ที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม 10/90 ฟิล์มแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ในสารละลายทั้งสามชนิด แสดงว่าปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่มีมาก เกิดการละลายขึ้น และเหลือชิ้นฟิล์มบางส่วนที่น่าจะเป็นส่วนของไคโตแซน และส่วนของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

ในสารละลายกรด (pH 1.0) สามารถอธิบายการดูดซึมน้ำ และการละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมได้เช่นเดียวกับในน้ำกลั่น (pH 6.1) การที่ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมในสารละลายกรดมีการดูดซึมน้ำ และการละลายมากกว่าเมื่อฟิล์มอยู่ในน้ำกลั่น เกี่ยวข้องกับหมู่แอมินอิสระบางส่วนของไคโตแซนที่ยังไม่ถูกโปรโตเนทโดยกรดแอซิดิกที่หลงเหลืออยู่บนฟิล์ม หมู่แอมินอิสระเหล่านี้จึงสามารถเกิด protonation กับกรดไฮโดรคลอริกได้อีก ดังนั้นที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมเท่ากัน ในสารละลายกรด พอลิเมอร์ผสมจะมีความหนาแน่นของไอออนบวกมากกว่าฟิล์มที่แช่ในน้ำกลั่น จึงทำให้การดูดซึมน้ำ และการละลายมากขึ้น

สำหรับในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.4) การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณไคโตแซนตั้งแต่ 30% ขึ้นไปมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่ฟิล์มถูกปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีพันธะไอออนิกที่แข็งแรงซึ่งอาจดึงโมเลกุลน้ำที่ล้อมรอบไคโตแซน (desolvation of chitosan) ทำให้การดูดซึมน้ำ และการละลายของไคโตแซนในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เกิดขึ้นได้ในปริมาณจำกัด ในขณะที่การละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณการละลายน้อยกว่าเมื่อฟิล์มอยู่ในสารละลายกรด และน้ำกลั่น จึงแสดงว่าสารละลายบัฟเฟอร์มีผลต่อการละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม อย่างไรก็ดี การละลายลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมมีปริมาณไคโตแซนตั้งแต่ 70% ขึ้นไป ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีปริมาณไคโตแซนมากกว่าปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส จึงได้รับอิทธิพลจากสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์โดยตรง

การดูดซึมน้ำ และการละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมในสารละลาย pH ต่าง ๆ กัน จึงเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของหมู่แอมินที่ถูกโปรโตเนทบนโมเลกุลไคโตแซน และความสามารถในการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้ำ กับหมู่แอมิน และหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลไคโตแซน และโมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมจึงมีความไวต่อการดูดซึมน้ำในสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่าง (pH - sensitive swelling) ต่างกัน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่อาจนำไปใช้ในระบบควบคุมการปลดปล่อยสารได้ (controlled-released system)

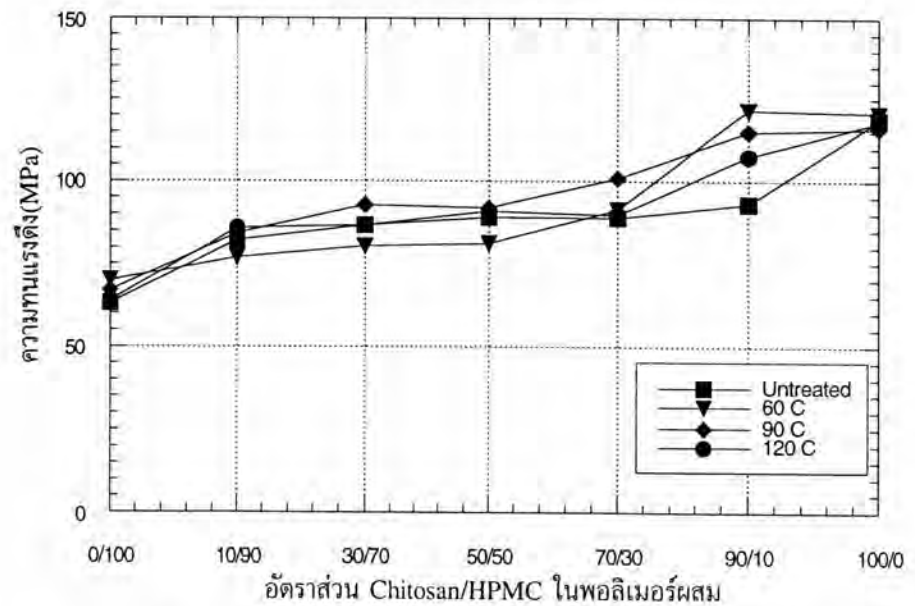
## 4.5 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิในการอบฟิล์มที่มีต่อสมบัติของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม

### 4.5.1 ผลของอุณหภูมิในการอบฟิล์มต่อความทนแรงดึงและการยึดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม

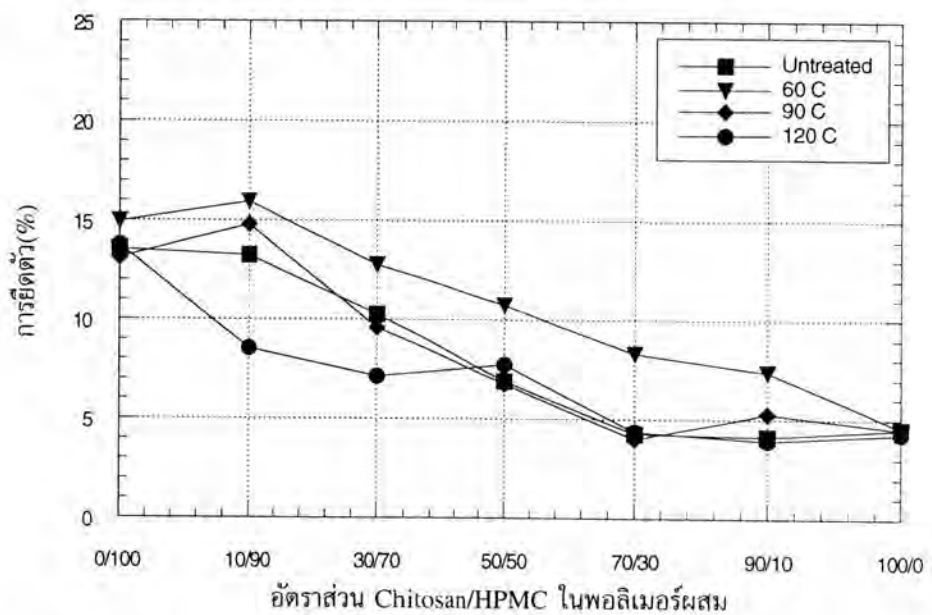
จากรูปที่ 4.5 แสดงความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ และพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน (untreated films) พบว่า ความทนแรงดึงของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อนอยู่ระหว่าง 63.03–118.82 MPa และความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณโคโตนที่เพิ่มขึ้น ขณะที่เมื่ออบฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วนที่ 60°C, 90°C และ 120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ความทนแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน โดยความทนแรงดึงมีค่าสูงสุดที่ฟิล์มโคโตน และมีค่าต่ำสุดที่ฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ในทำนองเดียวกันแนวโน้มการยึดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อบด้วยอุณหภูมิ 60°C, 90°C และ 120°C ก็มีลักษณะเช่นเดียวกับฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน กล่าวคือการยึดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในพอลิเมอร์ผสม ดังรูปที่ 4.6 นอกจากนี้สังเกตได้ว่าทั้งความทนแรงดึงและการยึดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมมีการเปลี่ยนแปลง โดยไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการอบฟิล์ม

โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัสดุพอลิเมอร์ พอลิเมอร์จะค่อย ๆ ขยายตัว ทำให้ปริมาตรภายในวัสดุ (free volume) เพิ่มขึ้น และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ลดลง ดังนั้นความทนแรงดึงจึงลดลง และ มีการยึดตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนในฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมโคโตนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสทุกอัตราส่วน ที่อบด้วยอุณหภูมิ 60°C, 90°C และ 120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากระยะเวลาในการอบฟิล์มน้อยเกินไป ไม่เพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงของสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์อย่างชัดเจน

การที่ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมโคโตนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสซึ่งอบฟิล์มที่อุณหภูมิ 60°C, 90°C และ 120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณโคโตนในพอลิเมอร์ผสม จึงเกี่ยวข้องกับความเป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ เนื่องจากโคโตน



รูปที่ 4.5 ความทนแรงดึงของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่ออบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 60 -120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



รูปที่ 4.6 การยัดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่ออบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 60 -120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



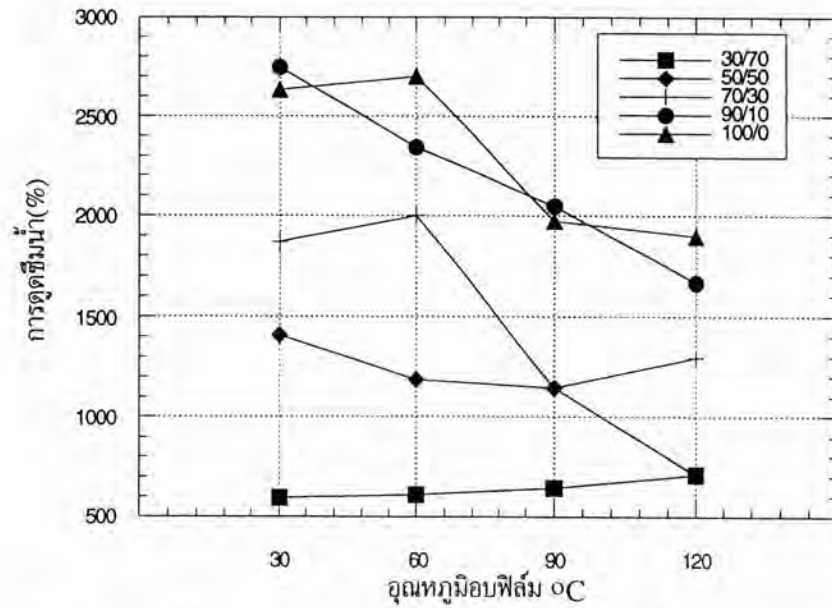
มีความเป็นระเบียบสายโซ่โมเลกุลมากกว่าไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส เมื่อเพิ่มปริมาณโคโตแซน จึงเป็นการเพิ่มปริมาณสายโซ่โมเลกุลที่เป็นระเบียบในพอลิเมอร์ผสม ทำให้ความทนแรงดึงในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ในขณะที่การยึดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมซึ่งอบฟิล์มที่อุณหภูมิ 60°C, 90°C และ 120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในพอลิเมอร์ผสม จึงเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวไม่เป็นเส้นตรงของสายโซ่โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส เนื่องจากการมีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ เมื่อได้รับแรงดึง โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสที่ขดงอจึงเกิดการยึดตัวออกได้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในพอลิเมอร์ผสม การยึดตัวจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การอบฟิล์มที่อุณหภูมิ 60°C, 90°C และ 120°C โดยใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความทนแรงดึง และการยึดตัวในฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม ฟิล์มโคโตแซน และฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส แต่การเปลี่ยนแปลงของความทนแรงดึง และการยึดตัวในพอลิเมอร์ผสมยังคงเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลโคโตแซน และโมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

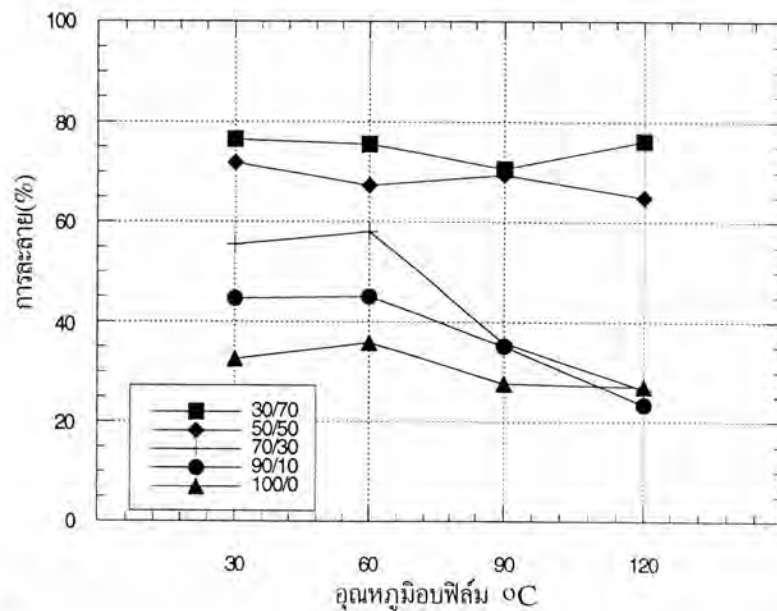
#### 4.5.2 ผลของอุณหภูมิในการอบฟิล์มต่อการดูดซึมน้ำและการละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม

ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของโคโตแซนและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ทุกอัตราส่วนซึ่งอบด้วยอุณหภูมิ 60°C, 90°C และ 120°C เวลา 1 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน ทดสอบการดูดซึมน้ำ และการละลายในสารละลายกรด (pH 1.0) น้ำกลั่น (pH 6.1) และสารละลายบัฟเฟอร์ (pH 7.4) จากการทดลองพบว่าในสารละลายกรดและน้ำกลั่น การดูดซึมน้ำ และการละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณโคโตแซนตั้งแต่ 50% ขึ้นไป และฟิล์มโคโตแซนลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบฟิล์ม สำหรับฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณโคโตแซนน้อยกว่า 50% และฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มีการดูดซึมน้ำ และการละลายในสารละลายกรด และน้ำกลั่นคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในการอบฟิล์ม ดังรูปที่ 4.7 - 4.10 โดยปริมาณการดูดซึมน้ำ และการละลายในน้ำกลั่นต่ำกว่าปริมาณการดูดซึมน้ำ และการละลายในสารละลายกรด ขณะที่ในสารละลายบัฟเฟอร์ กลับพบว่าการดูดซึมน้ำและการละลายของฟิล์มโคโตแซน ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วน และฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในการอบฟิล์มดังรูปที่ 4.11-4.12

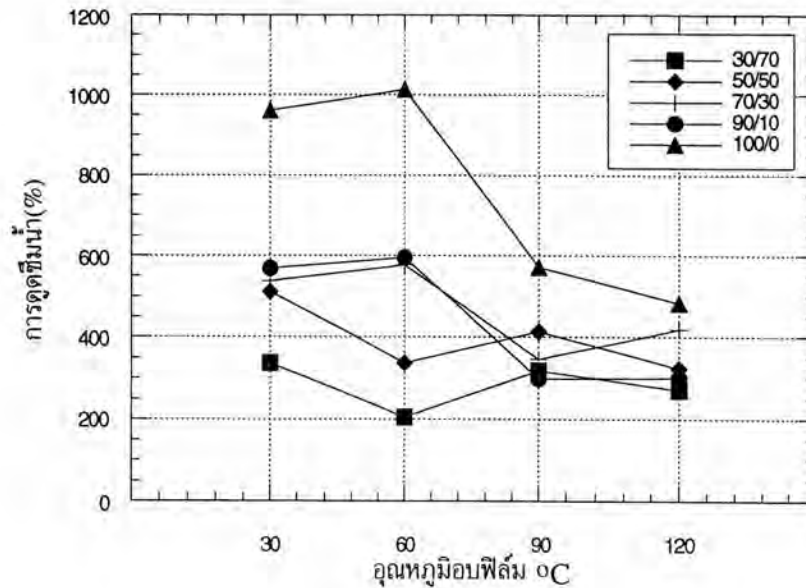




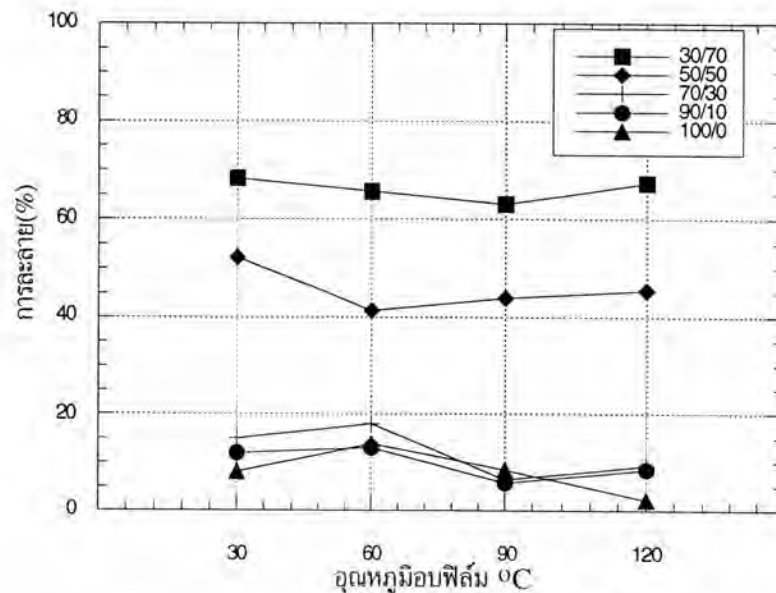
รูปที่ 4.7 การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในสารละลายกรด (pH 1.0) เมื่ออบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 60 -120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



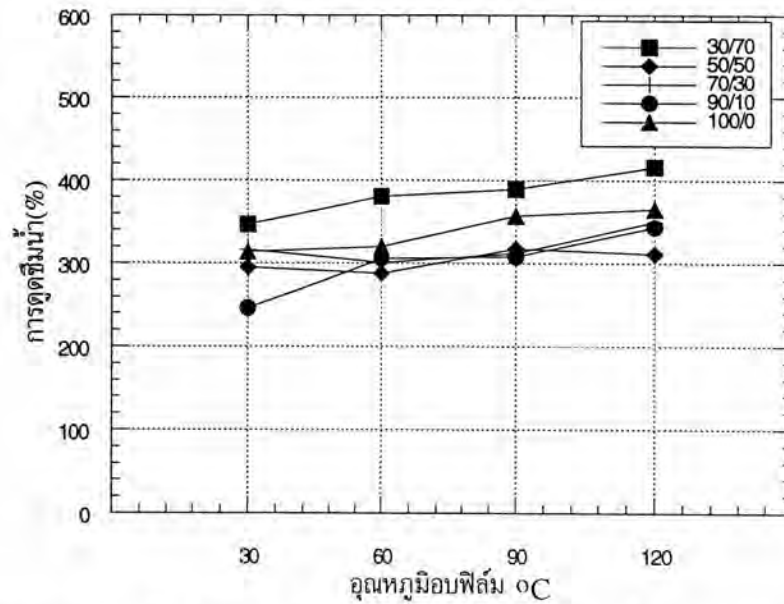
รูปที่ 4.8 การละลายของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในสารละลายกรด (pH 1.0) เมื่ออบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 60 -120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



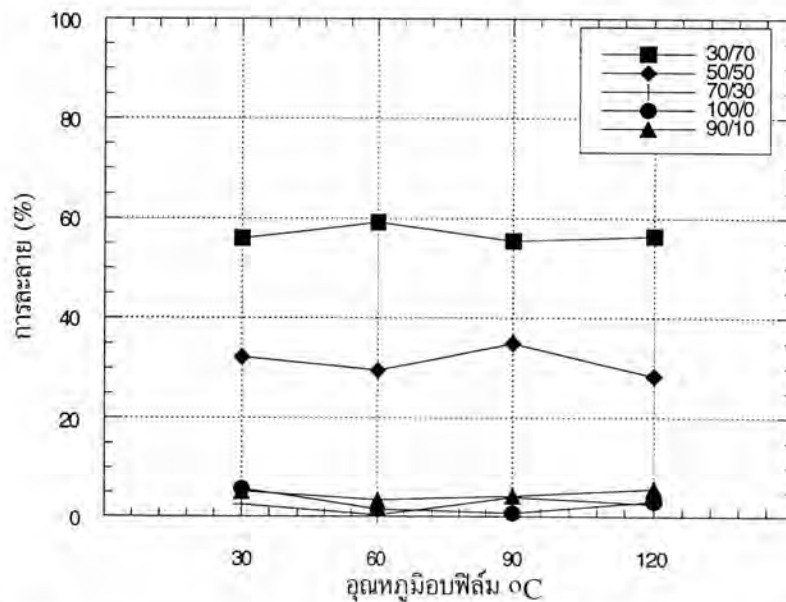
รูปที่ 4.9 การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในน้ำกลั่น (pH 6.1 ) เมื่ออบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 60 -120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



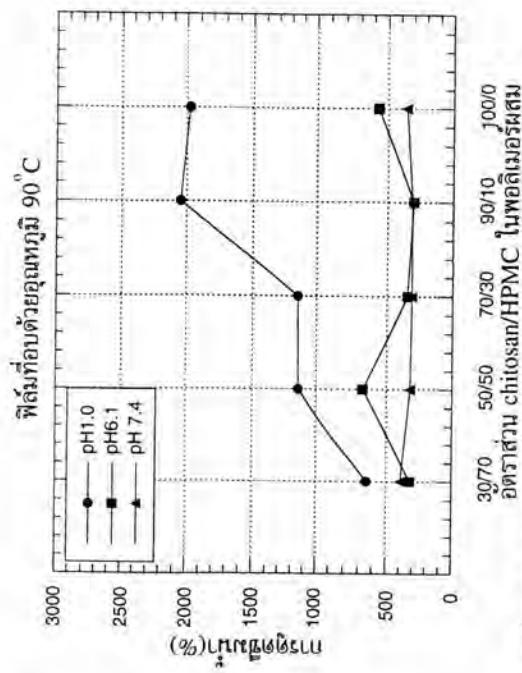
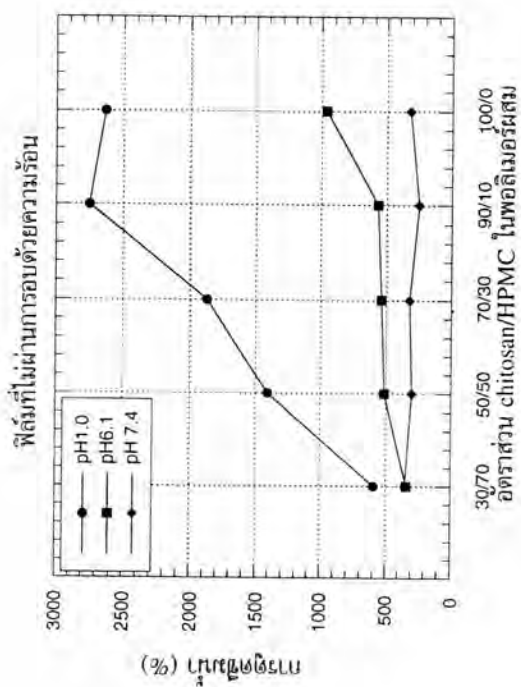
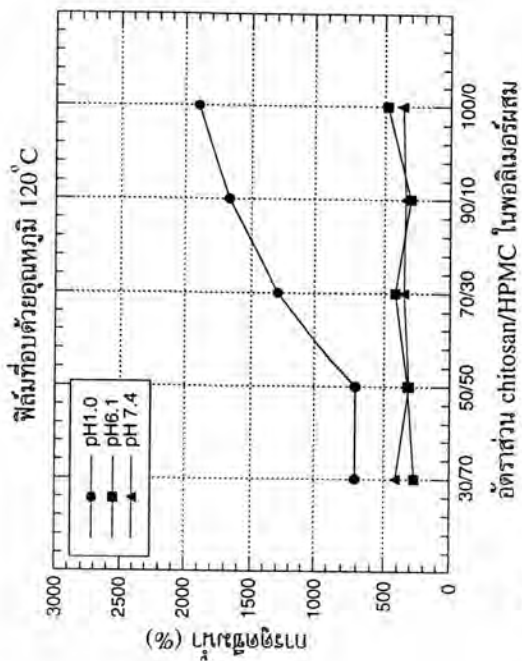
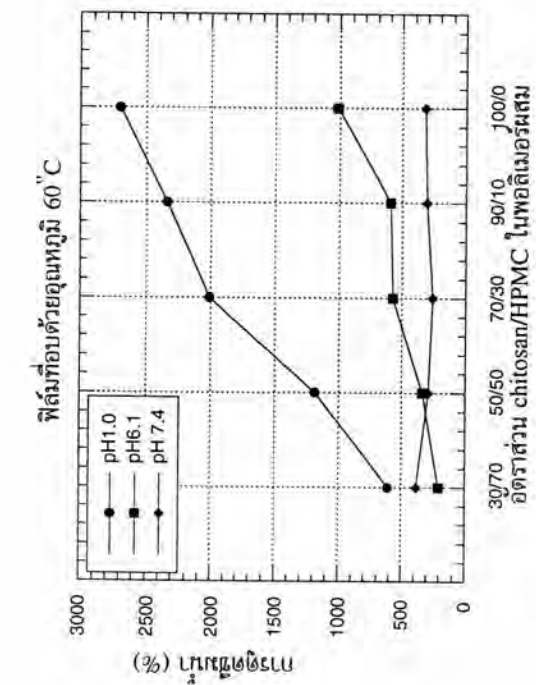
รูปที่ 4.10 การละลายของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในน้ำกลั่น (pH 6.1 ) เมื่ออบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 60 -120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



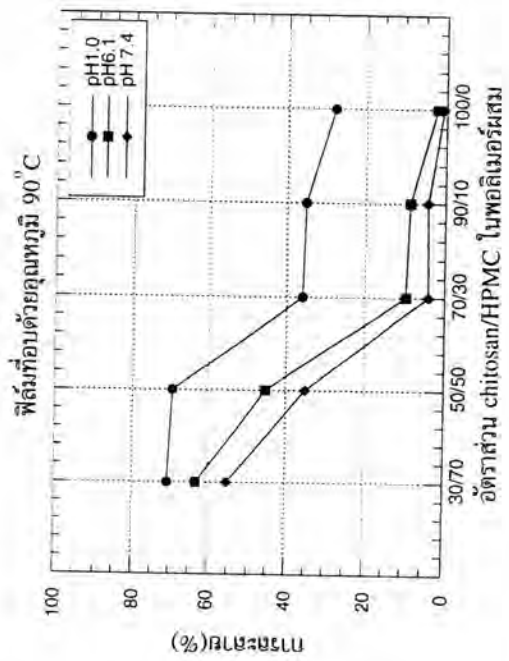
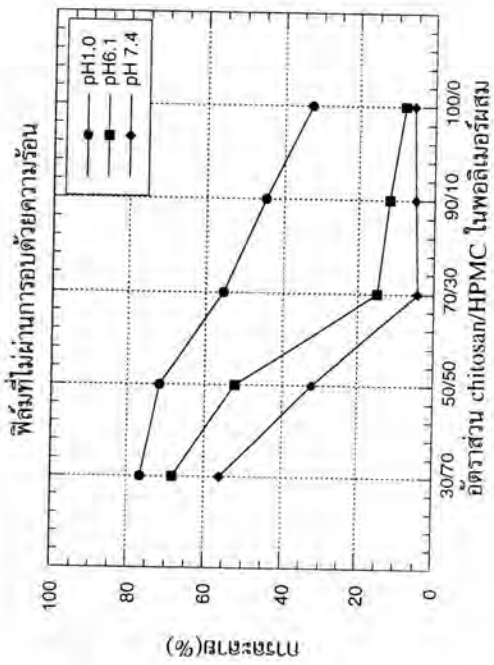
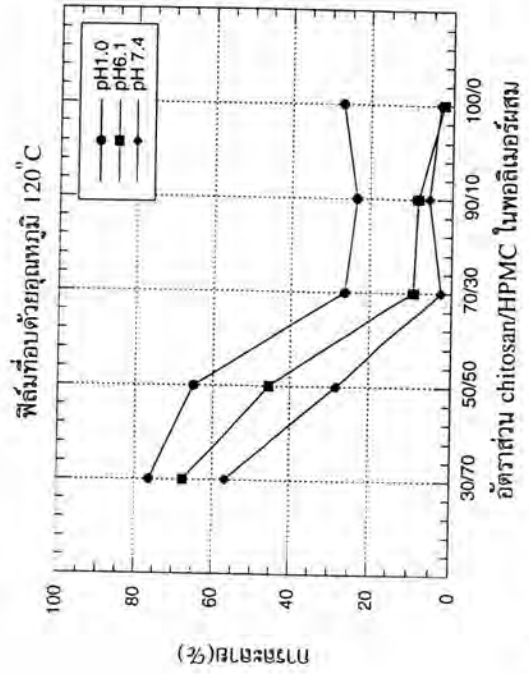
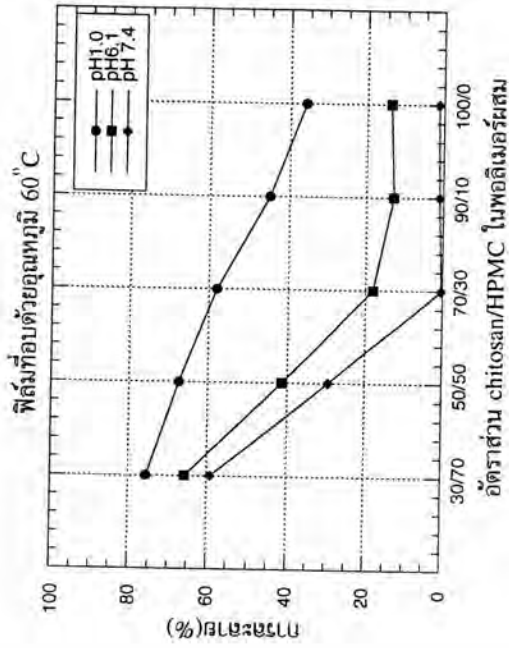
รูปที่ 4.11 การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในสารละลายบัฟเฟอร์ (pH 7.4) เมื่ออบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 60–120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



รูปที่ 4.12 การละลายของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในสารละลายบัฟเฟอร์ (pH 7.4) เมื่ออบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 60–120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



รูปที่ 4.13 การดูดัชนีนำของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมเมื่ออบด้วยอุณหภูมิ 60-120°C เวลา 1 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อนในสารละลาย pH ต่างชนิดกัน



รูปที่ 4.14 การละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมเมื่ออบด้วยอุณหภูมิ 60-120 °C เวลา 1 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อนในสารละลาย pH ต่างชนิดกัน

อย่างไรก็ดี พิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสยังคงมีการละลายสมบูรณ์ในสารละลายทั้งสามชนิด และฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนโคโคแซนต่อไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส 10/90 เกิดการแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ กระจายอยู่ในสารละลายทั้งสามชนิด ไม่สามารถนำมาชั่งน้ำหนักได้ ทั้งนี้ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิในการอบฟิล์ม นอกจากนี้สังเกตได้ว่า ที่อุณหภูมิในการอบฟิล์มหนึ่ง ๆ การดูดซึมน้ำในสารละลายกรด น้ำกลั่นและ สารละลายบัฟเฟอร์ของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของหมู่แอมินบนโมเลกุลโคโคแซนดังรูปที่ 4.13 ขณะที่การละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงตามปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสดังรูปที่ 4.14 ซึ่งแนวโน้มการดูดซึมน้ำและการละลายเป็นเช่นเดียวกันกับฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลที่มีลักษณะชอบน้ำและมีขั้ว ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงกับโมเลกุลน้ำได้ เป็นผลให้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสอยู่ร่วมกับน้ำได้ดี Lim และ Wan (1995) รายงานว่า พอลิเมอร์ชนิดละลายน้ำ จะมีความทนน้ำเพิ่มขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความเป็นผลึก และ/หรือ เกิดโครงสร้างตาข่ายระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ขึ้น ด้วยการให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์นั้น ดังนั้นการที่ฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสเกิดการละลายได้อย่างสมบูรณ์ในสารละลายทั้งสามชนิด โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิในการอบฟิล์ม จึงแสดงว่าอุณหภูมิ ในการอบฟิล์มไม่ทำให้ความเป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสเปลี่ยนแปลงไป และ/หรือ ไม่เกิดโครงสร้างตาข่ายระหว่างโมเลกุลไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส จึงสามารถละลายได้ในสารละลายทั้งสามชนิดตามปกติ

สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณโคโคแซนน้อยกว่า 50 % มีการดูดซึมน้ำและการละลายในสารละลายทั้งสามชนิดคงที่ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในการอบฟิล์ม พอลิเมอร์ผสมอัตราส่วนดังกล่าวมีปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสมากกว่าปริมาณโคโคแซน และเนื่องจากอุณหภูมิในการอบฟิล์มไม่มีผลต่อการละลายของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส แสดงว่าการละลายส่วนใหญ่ของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณโคโคแซนน้อยกว่า 50 % จึงเนื่องมาจาก ความสามารถในการละลายของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในสารละลายทั้งสามชนิด โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิในการอบฟิล์ม ดังนั้นการละลายของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว จึงมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน ขณะที่การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณโคโคแซนน้อยกว่า 50 % ในสารละลายทั้งสามชนิดเกี่ยวข้องกับปริมาณหมู่แอมินอิสระบนสายโซ่โมเลกุลโคโคแซน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมแล้ว ไม่ทำให้การดูดซึมน้ำของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วนดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป



ย่อมแสดงว่าอุณหภูมิในการอบฟิล์ม ไม่ทำให้โมเลกุลโคโตแซนในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มความเป็นผลึก และ/หรือ เกิดโครงร่างตาข่ายระหว่างโมเลกุลขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณโคโตแซนในพอลิเมอร์ผสมมีน้อยกว่าปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส การเปลี่ยนแปลงจึงน้อยมากหรืออาจไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสายโซ่โมเลกุลโคโตแซนเลย ดังนั้นการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณโคโตแซนน้อยกว่า 50 % ในสารละลายทั้งสามชนิดจึงคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในการอบฟิล์ม

พิจารณาฟิล์มโคโตแซน (100/0) ซึ่งมีการดูดซึมน้ำ และการละลายในสารละลายกรดและน้ำกลั่นลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบฟิล์ม ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lim และ Wan (1995) ที่รายงานว่า การอบฟิล์มโคโตแซน ด้วยอุณหภูมิ 90 - 150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ฟิล์มโคโตแซนมีความ ทนน้ำเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก อุณหภูมิในการอบฟิล์มอาจช่วยเพิ่มความเป็นผลึก และ/หรือ การเกิดโครงร่างตาข่ายระหว่างสายโซ่โมเลกุลโคโตแซน จึงลดช่องว่างที่ยอมให้โมเลกุลน้ำแทรกเข้ามา การดูดซึมน้ำและการละลายในสารละลายกรดและน้ำจึงลดลง นอกจากนี้การอบฟิล์มโคโตแซนด้วยความร้อน ทำให้ความทนน้ำของฟิล์มโคโตแซนในสารละลายกรดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ภายใต้สารละลายด่าง ความทนน้ำของฟิล์มโคโตแซนไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

สำหรับฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณโคโตแซนตั้งแต่ 50 % ขึ้นไป มีการดูดซึมน้ำและการละลายในสารละลายกรดและน้ำลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบฟิล์ม อาจอธิบายได้ว่าในสารละลายกรดและน้ำกลั่น ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมส่วนหนึ่งเกิดการดูดซึมน้ำและอีกส่วนหนึ่งเกิดการละลาย ส่วนที่เกิดการดูดซึมน้ำนี้ก็เนื่องจากความหนาแน่นของไอออนบวก( $-NH_3^+$ ) บนโมเลกุลโคโตแซน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบฟิล์ม โมเลกุลโคโตแซนบางส่วนอาจเกิดโครงร่างตาข่าย และ/หรือมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดขวางการเกิด protonation ของโมเลกุลโคโตแซน ทำให้ปริมาณการดูดซึมน้ำลดลง ในขณะที่การละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนดังกล่าว ส่วนหนึ่งมาจากความสามารถในการละลายของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และอีกส่วนหนึ่งมาจากโคโตแซน แต่เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลโคโตแซนบางส่วนซึ่งอาจเกิดโครงร่างตาข่ายหรือมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น จึงเป็นไปได้ที่การละลายอันเนื่องมาจากสายโซ่โมเลกุลโคโตแซนมีปริมาณลดลง เป็นผลให้การละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ลดลงตามไปด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบฟิล์ม ดังนั้นอุณหภูมิในการอบฟิล์ม 60 - 120°C เวลา 1 ชั่วโมง จึงทำให้ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณโคโตแซนตั้งแต่ 50% ขึ้นไปมีความ ทนน้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสารละลายกรด (pH 1.0 ) และ น้ำ (pH 6.1 )

ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ซึ่งมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นองค์ประกอบ พิล์มจากพอลิเมอร์ ผสมทุกอัตราส่วนซึ่งมีกรดแอสติคหลงเหลืออยู่ ได้รับการปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยด่าง และความแข็งแรงของพันธะไอออนิกในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ นอกจากนี้การอบฟิล์มด้วยความร้อนไม่ทำให้ปริมาณการดูดซึมน้ำและการละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงไป จึงแสดงว่าถ้าฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมได้รับการปรับสภาพให้เป็นกลางแล้ว อุณหภูมิในการอบฟิล์มก็ไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม ในสารละลาย pH 7.4 ดังนั้นอุณหภูมิในการอบฟิล์มจึงเกี่ยวข้องโดยตรงกับสายโซ่โมเลกุลโคโคแซน อย่างไรก็ตาม การละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมยังคงเกี่ยวข้องกับความสามารถในการละลายของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสเช่นเดิม

อาจกล่าวได้ว่า อุณหภูมิในการอบฟิล์ม 60 - 120 °C เวลา 1 ชั่วโมง สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสายโซ่โมเลกุลโคโคแซนในพอลิเมอร์ผสมได้ โดยขัดขวางความสามารถในการเกิด protonation ของโมเลกุลโคโคแซนในสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ (pH 1.0 และ pH 6.1)

เมื่อพิจารณาความทนแรงดึง การยึดตัว การดูดซึมน้ำ และการละลายของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมร่วมกันแล้ว แม้ว่าการอบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 60 - 120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะเพิ่มความเป็นผลึกและ/หรือเกิดโครงร่างตาข่ายในฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณโคโคแซน ตั้งแต่ 50% ขึ้นไปได้ นั่นแต่ความทนแรงดึง และการยึดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วน คงมีค่าไม่แตกต่างจากฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน อาจเนื่องจากการอบฟิล์มด้วยความร้อนยังคงมีความชื้นหลงเหลืออยู่ซึ่งอาจก่อให้เกิด plasticizing effect ต่อฟิล์ม จึงมีผลให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความทนแรงดึงและการยึดตัวในฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมไม่ชัดเจน