การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย สุกิจ ปัญญาชัยเสนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-805-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF CHITOSAN-METHYL CELLULOSE BLEND FILMS

Mr. Sukit Panyachaisena

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology
Department of Materials Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 1999
ISBN 974-333-805-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส
โดย	นายสุกิจ ปัญญาชัยเสนะ
ภาควิชา	วัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.เข็มชัย เหมะจันทร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา)

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.เข็มชัย เหมะจันทร)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์

สุกิจ ปัญญาชัยเสนะ : การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส (PREPARATION OF CHITOSAN-METHYL CELLULOSE BLEND FILMS) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. เข็มชัย เหมะจันทร, 109 หน้า. ISBN 974-333-805-5.

งานวิจัยนี้ได้เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้เมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเปรียบกับเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และขึ้นรูปฟิล์มด้วยเทคนิคการหล่อแบบ แล้วทำการศึกษาสมบติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่เตรียมได้ พบว่า ความเป็นผลึกและการละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสสูงขึ้น โดยฟิล์มที่มีเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำให้ความเป็นผลึกและการละลายน้ำมากกว่าฟิล์มที่มีเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง ขณะที่ความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มทั้งสองชนิดกลับลดลงเมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสสูงขึ้น และเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสสูงกว่าร้อยละ 40 โดยฟิล์มที่มีเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีความทนแรงดึงและการยืดตัวน้อยกว่าฟิล์มที่มีเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง นอกจากนี้การปรับสภาพฟิล์มพอลิเมอร์ผสมให้เป็นกลางด้วยเมทานอล ส่งผลให้การละลายน้ำของฟิล์มทั้งสองชนิดลดลงอีกด้วย

การอบฟิล์มพอลิเมอร์ผสมด้วยความร้อน ทำให้ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นและการละลายน้ำของฟิล์มลดลง และเมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสต่ำกว่าร้อยละ 40 ฟิล์มที่ผ่านการอบจะมีความทนแรงดึงมากกว่าและการยืดตัวน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบ แต่เมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสมากกว่าร้อยละ 40 ฟิล์มที่ผ่านการอบจะให้ความทนแรงดึงน้อยกว่าและการยืดตัวมากกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบ

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต สุกิจ ปัญญาชัยเสนะ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เข็มชัย เหมะจันทร

ปีการศึกษา 2542

AN ABSTRACT

4072493723 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KET WORD : CHITOSAN / METHYL CELLULOSE / BLEND FILMS / MECHANICAL PROPERTIES

SUKIT PANYACHAISENA : PREPARATION OF CHITOSAN-METHYL CELLULOSE BLEND FILMS, THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. KHEMCHAI HEMACHANDRA, Ph.D. 109 pp. ISBN 974-333-805-5

Blended films consisting of different ratio of chitosan and two types of methyl cellulose (MC) : low and high molecular weight, were prepared from a solvent-evaporation casting technique. Physical properties and mechanical properties were investigated. The results indicated that both crystallinity and water solubility of blended films increased with increasing MC content. Furthermore, it was found that films consisting of low molecular weight MC had lower crystallinity and water solubility than films consisting of high molecular weight MC. The tensile strength and elongation decreased with increasing MC content but when MC content was higher than 40%, both properties continued increasing. Films consisting of low molecular weight MC had lower tensile strength and elongation than those consisting of high molecular weight MC. After neutrilization of blended films with methanol, water solubility of both types of blended films also decreased.

Thermal treatment resulted in an increase in crystallinity and a decrease in water solubility of blended films. When MC content was less than 40%, tensile strength of films with thermal treatment was higher but elongation was lower than those of films without thermal treatment. However, when MC content was higher than 40%, tensile strength of films with thermal treatment was lower and elongation was higher than films without thermal treatment.

ภาควิชาวัสดุศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อทางด้านสถานที่ เครื่องมือและวัตถุดิบสำหรับงานวิจัย ตลอดจนได้รับความช่วยเหลือแนะแนวทางในด้านต่างๆดังนี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร.เข็มชัย เหมะจันทร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ช่วยกรุณาให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการและแก้ปัญหาต่างๆจนงานวิจัยสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ และสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท รามาโปรดั๊กชั่น จำกัด ที่เอื้อเฟื้อเมทิลเซลลูโลสที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ ผศ.สุวลี จันทร์กระจ่าง คุณรัดเกล้า ภูติวรนาถ คุณกฤษณา ศิรเลิศมุกุล และเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยให้คำแนะนำความรู้การใช้เครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่อนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ Gel Permeation Chromatography (GPC)

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ช่วยให้กำลังใจพร้อมทั้งคณาจารย์ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาการให้แก่ข้าพเจ้า

สุกิจ ปัญญาชัยเสนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...จ

กิตติกรรมประกาศ...ฉ

สารบัญ..ช

สารบัญตาราง...ญ

สารบัญรูป...ฎ

บทที่

1 บทนำ...1

2 วารสารปริทัศน์..3

2.1 ลักษณะทั่วไปของไคตินและไคโตแซน...3

2.1.1 ไคติน..3

2.1.2 ไคโตแซน..4

2.2 การเตรียมไคตินและไคโตแซน...4

2.3 สมบัติของไคโตแซน...6

2.3.1 การละลาย...6

2.3.2 การไหลและความหนืด..6

2.4 ลักษณะทั่วไปของเมทิลเซลลูโลส...11

2.5 การเตรียมเมทิลเซลลูโลส..12

2.6 สมบัติของเมทิลเซลลูโลส...13

2.6.1 สมบัติการละลาย..13

2.6.2 สมบัติการเกิดเจล...15

2.6.3 สมบัติเมื่อเป็นผงและฟิล์ม...17

2.7 การเตรียมฟิล์มไคโตแซน..18

2.8 พอลิเมอร์ผสม..20

2.8.1 ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและพอลิเมอร์อื่นๆ.............................20

2.8.2 ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของเมทิลเซลลูโลสและพอลิเมอร์อื่นๆ.......................24

3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย..26
3.1 ขั้นตอนการวิจัย..26
3.2 วัตถุดิบและสารเคมี..26
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย...28
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย...29
3.4.1 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม..............29
3.4.2 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มที่มีผลต่อสมบัติของ ฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและฟิล์มพอลิเมอร์ผสม..........30
3.4.3 การทดสอบสมบัติของฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและ ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม...30
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง...34
4.1 ลักษณะสารละลายและฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและ เมทิลเซลลูโลส...34
4.2 การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม..................................38
4.3 การวิเคราะห์ความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม..............40
4.4 การวิเคราะห์การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมก่อนและหลังการ ปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง...42
4.4.1 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและ เมทิลเซลลูโลสก่อนปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง........................42
4.4.2 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและ เมทิลเซลลูโลสภายหลังปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง..................43
4.5 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มที่มีต่อสมบัติของ ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม...45
4.5.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มที่มีต่อความเป็นผลึกของ ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม...45
4.5.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มที่มีต่อความทนแรงดึงและ การยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม..47
4.5.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มที่มีต่อการละลายน้ำ ทั้งก่อนและหลังการปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง.......................51
4.6 ภาพจาก Scanning Electron Microscope..55

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..58
รายการอ้างอิง...60
ภาคผนวก ก..62
ภาคผนวก ข..64
ประวัติผู้วิจัย...96

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความสามารถในการละลายของไคโตแซนในสารละลายชนิดต่างๆ..........................7

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของเมทิลเซลลูโลส..................14

2.3 สมบัติของฟิล์มเมทิลเซลลูโลส..17

2.4 ความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน
และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์..21

2.5 ความทนแรงดึงและการยืดตัวของพอลิเมอร์ผสมเมทิลเซลลูโลสและแป้ง..................25

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างทั่วไปของเซลลูโลสและไคติน....3

2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตแซน....4

2.3 ขั้นตอนการผลิตของไคตินและไคโตแซน....5

2.4 การเกิดปฏิกิริยาในภาวะกรดของไคโตแซน....6

2.5 ผลของเวลาในการกำจัดหมู่แอซิติลต่อความหนืดสารละลายไคโตแซน....8

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิของสารละลายไคโตแซน....8

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตแซนกับ
ความหนืดในสารละลายต่างๆ....9

2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและพีเอชของสารละลายไคโตแซน....10

2.9 โครงสร้างทั่วไปของเซลลูโลสและเมทิลเซลลูโลส....11

2.10 ช่วงการละลายที่ DS ต่างๆของเมทิลเซลลูโลสและอนุพันธ์อื่นๆของเซลลูโลส....12

2.11 ความหนืดปรากฏและอัตราการเฉือนของของเหลวที่มีพฤติกรรมการไหลต่างๆ....13

2.12 ความหนืดปรากฏและอัตราการเฉือนของสารละลายเมทิลเซลลูโลส....14

2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิในการเกิดเจลของ
สารละลายเมทิลเซลลูโลส....15

2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลเมทิลเซลลูโลสและความแข็งแรงของเจล....16

3.1 แผนภูมิขั้นตอนการวิจัย....27

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราส่วนของสารละลายพอลิเมอร์ผสมของ
ไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน....34

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดและอัตราส่วนของสารละลายพอลิเมอร์ผสมของ
ไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน....35

4.3 ลักษณะฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
ในอัตราส่วนต่างๆ....36

4.4 ลักษณะฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
ในอัตราส่วนต่างๆ....37

4.5 X-ray diffractogram ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส
น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อัตราส่วน Chitosan/Methyl cellulose ต่างๆ....38

4.6 X-ray diffractogram ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส น้ำหนักโมเลกุลสูงที่อัตราส่วน Chitosan/Methyl cellulose ต่างๆ....................39
4.7 ความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันที่อัตราส่วนต่างๆ....................40
4.8 การยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันที่อัตราส่วนต่างๆ....................41
4.9 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันในอัตราส่วนต่างๆ....................43
4.10 การละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันในอัตราส่วนต่างๆ....................44
4.11 การละลายน้ำภายหลังปรับสภาพให้เป็นกลางของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของ ไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันในอัตราส่วนต่างๆ....................45
4.12 X-ray Diffractogram ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส ภายหลังการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ....................46
4.13 ความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำใน อัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและ ฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน....................48
4.14 ความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงใน อัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและ ฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน....................48
4.15 การยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำใน อัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและ ฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน....................50
4.16 การยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงใน อัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและ ฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน....................50
4.17 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำใน อัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและ ฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน....................51

4.18 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน.....52
4.19 การละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน.....53
4.20 การละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน.....53
4.21 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อนภายหลังปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง.....54
4.22 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงในอัตราส่วนต่างๆที่อบอุณหภูมิ 80 และ 120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อนภายหลังปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง.....54
4.23 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มไคโตแซน.....55
4.24 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อัตราส่วนร้อยละ 50.....55
4.25 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ.....56
4.26 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงที่อัตรส่วนร้อยละ 50.....56
4.27 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง.....57

บทที่ 1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปกุ้งในประเทศไทยได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศเป็นอย่างมาก โดยในปี 2541 ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตกุ้งที่ได้จากการเพาะเลี้ยงและเป็นผู้ส่งออกกุ้งสดแช่แข็งและกุ้งแปรรูปเป็นอันดับหนึ่งของโลก เนื่องจากกุ้งที่ใช้ในการส่งออกมีลักษณะต่างๆกัน เช่น กุ้งเด็ดหัวไม่แกะเปลือก กุ้งเด็ดหัวแกะเปลือกไว้หางและไม่ไว้หาง หรือเนื้อกุ้งเป็นชิ้นๆ ปัญหาที่ตามมา คือ การกำจัดกากของเหลือเช่น หัวกุ้ง เปลือกกุ้ง และหางกุ้งที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งโดยทั่วไปกากดังกล่าวจะถูกนำไปจำหน่ายในราคาต่ำ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ และกากที่ตกค้างอยู่ในโรงงานยังก่อให้เกิดมลภาวะส่งกลิ่นเหม็น และเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ซึ่งทางโรงงานจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้เกิดการวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากกากดังกล่าวอย่างกว้างขวาง

โดยทั่วไปกากของเหลือจากเปลือกกุ้ง จะประกอบด้วยไคติน (chitin) โปรตีนและแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ ยังมีแคลเซียมฟอสเฟต ไขมันและรงควัตถุปะปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ไคตินจัดเป็นสารจำพวกพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) ที่อยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (polysaccharide) และเมื่อทำการกำจัดหมู่แอซิติลในไคตินออก (deacetylation) ก็จะได้อนุพันธ์ที่เรียกว่า ไคโตแซน (chitosan) โครงสร้างของไคโตแซนประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆของ β-(1,4)-amino-2-deoxy-D-glucose หรือ D-glucosamine เนื่องจากไคโตแซนมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพและสามารถเข้ากับร่างกายได้ดี (biocompatibility) จึงมีการนำไปใช้ในวงการแพทย์ เภสัชกรรมและอาหารเป็นจำนวนมาก รวมทั้งมีการวิจัยและพัฒนาไคโตแซนในรูปของวัสดุเชิงประกอบหรือพอลิเมอร์ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรง การละลาย อุณหภูมิหลอมเหลว การดูดซึมน้ำและตัวทำละลายรวมทั้งความสามารถเข้ากันได้กับร่างกาย เป็นต้น พอลิเมอร์ที่ถูกนำมาผสมกับไคโตแซน เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล (polyvinyl alcohol) พอลิเมทิลเมทาคริเลต [poly(methyl methacrylate)] (Blair และคณะ, 1987) พอลิเอทิลีนออกไซด์ [poly(ethylene oxide)] (Zhao และคณะ, 1995) และเซลลูโลส (Hasegawa และคณะ, 1992) เป็นต้น ทั้งนี้สมบัติของพอลิเมอร์ที่ใช้ผสมต้องสามารถละลายในน้ำหรือกรด

และเข้ากับร่างกายได้ดีในกรณีที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ (biomedical material) ไม่เป็นพิษและสามารถย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้(biodegradation)

เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) จัดเป็นเซลลูโลสอีเทอร์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีให้สามารถละลายได้ในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ เตรียมได้จากปฏิกิริยาอีเทอริฟิเคชัน (etherification) เมทิลเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ไร้ประจุ (nonionic polymer) จึงสามารถผสมเข้ากันได้กับพอลิเมอร์หลายชนิดโดยไม่เกิดการแยกตัวหรือตกตะกอน สารที่นิยมใช้ผสมกับเมทิลเซลลูโลสได้แก่ แป้งและอนุพันธ์ของแป้ง พอลิเอทิลีนไกลคอล [poly (ethylene glycol)] และเรซินอื่นๆที่ละลายน้ำได้ (water-soluble resin) เป็นต้น เนื่องจากเมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส จึงเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพและมีสมบัติของความเข้ากับร่างกายได้ดี เป็นที่นิยมใช้ในการทำยา เครื่องสำอางและเภสัชภัณฑ์ โดยใช้เป็นฟิล์มสำหรับการเคลือบยาเม็ด (film coating) สารยึดอนุภาคในยาเม็ด (binders) สารหล่อลื่น (lubicant) ในการตอกอัดยาเม็ด สารเสถียร (stabilizer) และสารข้น (thickener)

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส โดยใช้เมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันและการผสมพอลิเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆ แล้วเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล สมบัติละลาย ความเป็นผลึกและสัณฐานวิทยาของฟิล์มที่ได้กับฟิล์มไคโตแซน พร้อมทั้งศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม โดยคาดหวังว่าให้เป็นแนวทางในการพัฒนาฟิล์มชนิดใหม่ที่มีสมบัติเข้ากับร่างกายได้ดี (biocompatible films) ซึ่งอาจประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์ด้านอาหาร ยา เครื่องสำอางและวัสดุทางการแพทย์

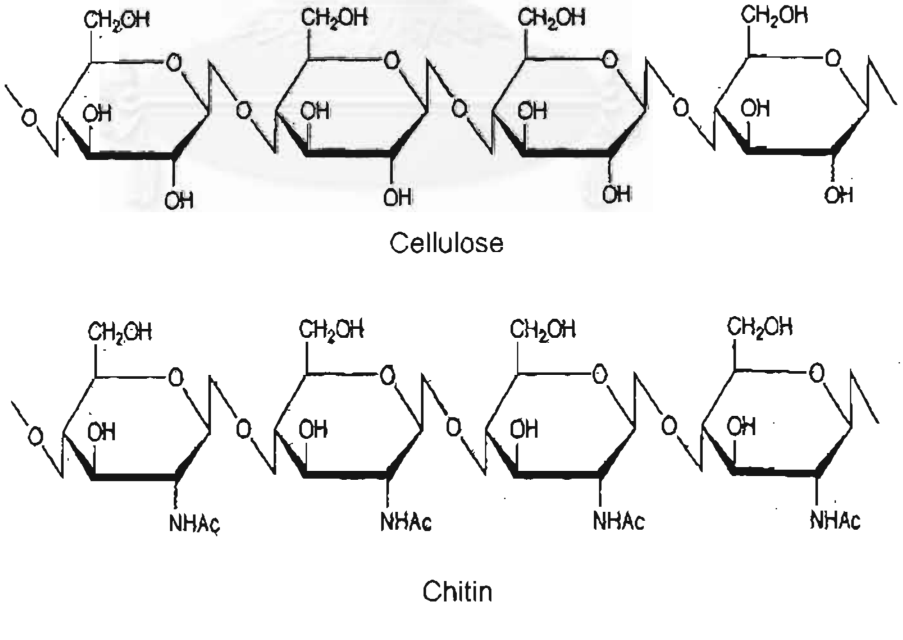
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ลักษณะทั่วไปของไคตินและไคโตแซน

2.1.1 <u>ไคติน</u> (Chitin)

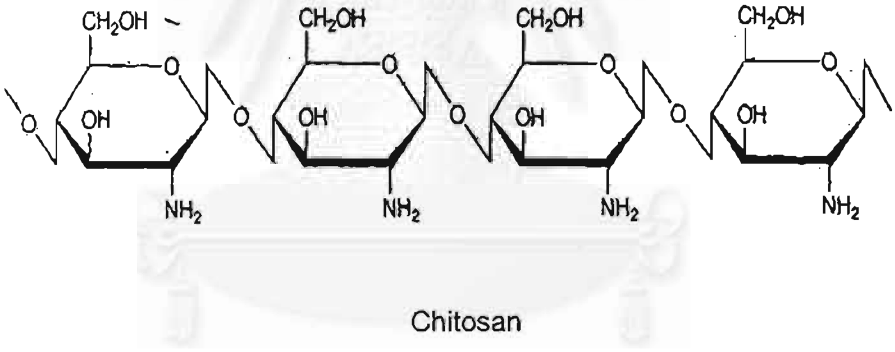
ไคติน เป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพจำพวกคาร์โบไฮเดรต พบในธรรมชาติมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดยแหล่งของไคตินส่วนใหญ่อยู่ในสัตว์จำพวกโครงร่างภายนอกแข็ง (exoskeleton) กลุ่ม Crustacea เช่น กุ้ง ปู และแมลงต่างๆ สูตรโครงสร้างทางเคมีของไคตินมีชื่อว่า poly-β-(1,4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glycosamine หรือ poly N-acetyl-glucosamine โดยแต่ละหน่วยจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-(1,4) และมีสูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ ไคตินมีลักษณะคล้ายกับเซลลูโลสแต่ต่างกันที่หมู่ไฮดรอกซิลบนคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งถูกแทนด้วยหมู่ acetamide ($-NHCOCH_3$) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของเซลลูโลสและไคติน

2.1.2 ไคโตแซน (Chitosan)

ไคโตแซน เป็นอนุพันธ์ของไคติน มีชื่อทางเคมีว่า poly-β(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose สูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{11}NO_4)_n$ และมีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังรูปที่ 2.2 ไคโตแซนได้จากการกำจัดหมู่แอซิติลในไคตินออก โดยหมู่แอซิติล $(-COCH_3)$ บนคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนกลายเป็นหมู่เอมีน $(-NH_2)$ ซึ่งส่งผลให้ไคโตแซนมีสมบัติเป็น polycationic activity โดยการเกิดประจุบวกบนหมู่เอมีนในสารละลายกรด การเกิดไคโตแซนขึ้นอยู่กับปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติล (degree of deacetylation) ไคตินที่มีปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป จะถูกเรียกว่า ไคโตแซน ซึ่งโดยทั่วไปไคโตแซนจะมีปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลอยู่ในช่วงร้อยละ 70 ถึง 90 และส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 10 ถึง 30 ยังคงเป็นหมู่ N-acetyl และถ้าปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลมากกว่าร้อยละ 90 ขึ้นไปจะเรียกว่า full deacetylation



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตแซน

2.2 การเตรียมไคตินและไคโตแซน

โดยทั่วไปไคตินในธรรมชาติอยู่ในลักษณะสารประกอบเชิงซ้อน (complex) ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมฟอสเฟต และ คาโรทีนอยด์ ด้วยเหตุนี้ในการผลิตไคตินจึงมีขั้นตอนต่างๆมากมาย ขั้นตอนที่สำคัญได้แก่ deproteination และ demineralization ดังรูปที่ 2.3

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Crustacea Schell → Size reduction → Protein Seperation (1% w/w NaOH)

↓

Washing

↓

Chitin ← Washing and Dewatering ← Demineralization (0.5 M HCl)

↓

Deacetylation (50% NaOH)

↓

Washing and Dewatering

↓

Chitosan

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตแซน

Deproteination เป็นขั้นตอนการกำจัดโปรตีน ไขมัน และเป็นขั้นตอนป้องกันการเน่าเสียและย่อยสลายของเปลือกกุ้งจากเอนไซม์และแบคทีเรีย ก่อนผ่านขั้นตอนดังกล่าวจะต้องทำการล้างและบดเปลือกให้มีขนาดเล็ก เพื่อทำให้ง่ายต่อการกำจัดโปรตีน

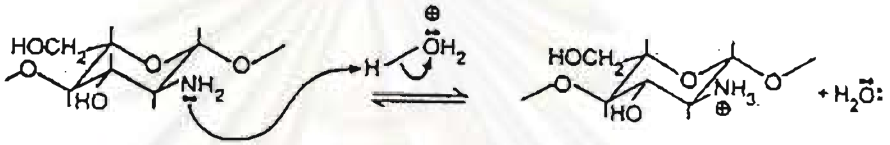
Demineralization เป็นขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมฟอสเฟต โดยการใช้กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง ในขั้นตอนนี้จะต้องระมัดระวังอย่างมากเนื่องจากไคตินสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิล ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ขณะเดียวกันสภาวะที่ใช้ต้องไม่รุนแรงและยาวนาน ในระดับอุตสาหกรรมมักนิยมใช้กรดซัลฟูริกแทนกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีข้อได้เปรียบคือ ลดการสูญเสียธรรมชาติของไคติน เนื่องจากกรดซัลฟิวริกเป็นกรดอ่อน

ส่วนการผลิตไคโตแซนประกอบด้วยขั้นตอนหลักเพียงขั้นตอนเดียวคือ การกำจัดหมู่แอซิติลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

2.3 สมบัติของไคโตแซน

2.3.1 การละลาย (Solubility)

เนื่องจากโครงสร้างไคโตแซนประกอบด้วยหมู่เอมีนอิสระ (free amine) และเป็น primary amine ที่มีคู่อิเล็กตรอนว่างอยู่ จึงทำให้ไคโตแซนมีสมบัติเป็นด่างอ่อน สามารถรับโปรตอนจากสารละลายกรดเกิดเป็น cationic amino (NH_3^+) และเป็นผลให้ไคโตแซนเกิดการละลาย ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเกิดปฏิกิริยาในภาวะกรดของไคโตแซน

โดยทั่วไปไคโตแซนไม่สามารถละลายในตัวทำละลายที่มีพีเอชมากกว่า 6.5 รวมทั้งตัวทำละลายด่างและ mineral acid เช่น กรดซัลฟิวริก แต่สามารถละลายในตัวทำละลายจำพวกกรดอินทรีย์เช่น สารละลายกรดแอซิติก สารละลายกรดซิตริกและสารละลายกรดฟอร์มิกที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0.2-100 โดยปริมาตร นอกจากนี้ไคโตแซนยังสามารถละลายในสารละลายกรดอนินทรีย์เจือจาง เช่น สารละลายกรดไฮโดรคลอริก สารละลายกรดไนตริก และสามารถละลายได้เล็กน้อยในสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ดังตารางที่ 2.1

2.3.2 การไหลและความหนืด (Rheology and Viscosity)

พฤติกรรมการไหลของสารละลายไคโตแซนเป็นแบบ pseudoplastic กล่าวคือ เมื่ออัตราการเฉือนเพิ่มขึ้นความหนืดของสารละลายจะลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตแซน ความหนืดของสารละลายไคโตแซนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆได้แก่ ภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอซิติล น้ำหนักโมเลกุล อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารละลาย

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการละลายของไคโตแซนในสารละลายชนิดต่างๆที่ความเข้มข้นของกรดต่างๆกัน (Hon, 1996)

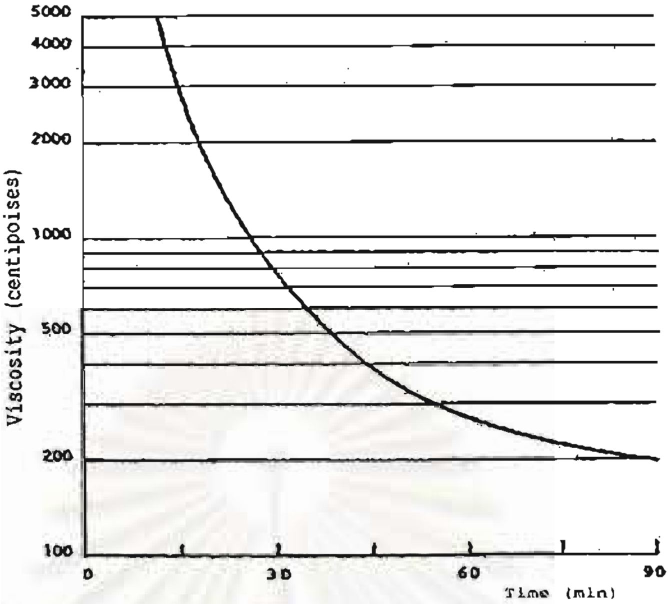
ชนิดของกรด	ความเข้มข้นของสารละลายกรด (v/v)				
	1%	5%	10%	50%	มากกว่า 50%
Acetic	+	+	+	+	
Adipic	+				
Citric	-				
Formic	+	+	+	+	+
Lactic	+	+	+		
Malic	+	+	+		
Tartaric	-		+		
Hydrochloric	+	-	-		
Nitric	+	-	-		
H_3PO_4*	-	-	-		
Sulfuric*	-	-	-		

หมายเหตุ + แสดงว่าไคโตแซนสามารถละลายได้

- แสดงว่าไคโตแซนไม่สามารถละลายได้

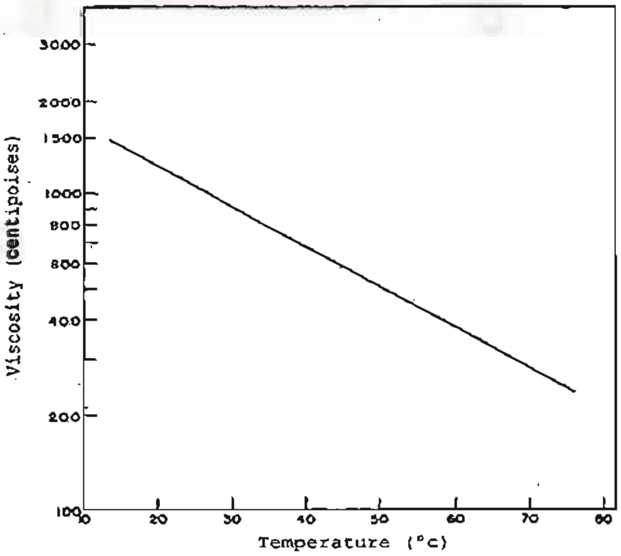
* แสดงว่าไคโตแซนไม่สามารถละลายได้ในกรดซัลฟุริกและกรดฟอสฟอริก แต่สามารถละลายได้ในกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นกรดน้อยกว่า 0.5%

ความเป็นกรดด่างและชนิดของกรด เป็นต้น ในการกำจัดหมู่แอซิติลของไคติน การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เข้มข้นมากและเวลาในการกำจัดหมู่แอซิติลนานขึ้น จะทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการแตกขาดของสายโซ่โมเลกุล ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ผลของเวลาในการกำจัดหมู่แอซิติล (ในสารละลาย NaOH 50%, อุณหภูมิ 118°C) ที่มีต่อความหนืดสารละลายไคโตแซน (Muzzarelli, 1977)

เมื่ออุณหภูมิของสารละลายไคโตแซนเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายย่อมลดลงและจะกลับเข้าสู่สภาพความหนืดเดิมเมื่อปล่อยให้สารละลายเย็นลง และอุณหภูมิที่สูงเป็นเวลานานๆสามาถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสบนสายโซ่โมเลกุล ทำให้ความหนืดไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมแม้ปล่อยให้สารละลายเย็นลง โดยทั่วไปสารละลายไคโตแซนมีสมบัติการไหลสม่ำเสมอในช่วงอุณหภูมิที่กว้างโดยไม่เกิดเจลหรือตกตะกอน ดังรูปที่ 2.6

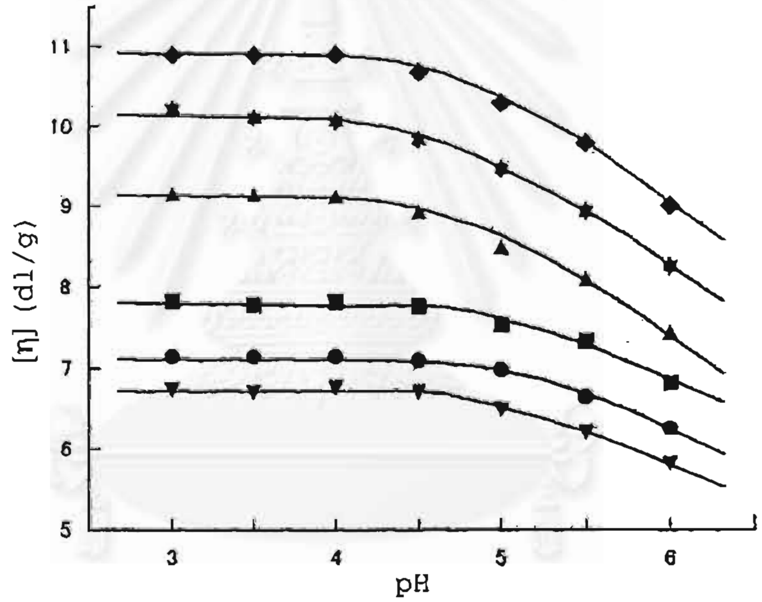


รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิของไคโตแซน (McNeely, 1959)

ไคโตแซนในสารละลายกรด จะแสดงสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte ความหนืดของสารละลายจึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและความเป็นกรดด่าง รวมถึงปริมาณสารละลายบัฟเฟอร์และเกลือที่ใส่ลงไปในสารละลาย ซึ่งจะมีผลต่อความหนาแน่นและการผลักกันของไฟฟ้าสถิตของประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุล โดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไคโตแซนมากขึ้น ความหนืดจำเพาะ (specific viscosity) ของสารละลายจะเพิ่มขึ้นตามในทางกลับกันเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไคโตแซนลดลง ความหนืดจำเพาะของสารละลายก็จะลดลงด้วยเช่นกัน แต่ถ้าความเข้มข้นของสารละลายไคโตแซนต่ำกว่าร้อยละ 0.1 พบว่า ความหนืดจำเพาะกลับเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากการยืดออกของโมเลกุลเนื่องจากการผลักกันของประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุล ทำให้โอกาสในการเกาะเกี่ยวกันของโมเลกุลสูงขึ้นเมื่อสารละลายได้รับแรงกระทำ ความหนืดจำเพาะจึงกลับเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตแซนกับความหนืดในสารละลายต่างๆ : a= 0.2 M acetic acid; b= 0.2 M acetic acid + 0.01 M sodium acetate; c= 0.2 M acetic acid + 0.1 M sodium acetate; d= 0.2 M acetic acid + 0.2 M sodium acetate; e= 0.2 M acetic acid + 0.5 M sodium acetate (Muzzarelli, 1977)

ค่าพีเอชของสารละลายไคโตแซนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการลดลงของแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตของประจุบวกที่อยู่ระหว่างโมเลกุลและภายในโมเลกุลของไคโตแซน ทำให้โมเลกุลของไคโตแซนสามารถเข้าใกล้กันและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลขึ้น ในขณะเดียวกัน hydrodynamic volume ของโมเลกุลก็จะลดลง ส่งผลให้ความหนืดของสารละลายไคโตแซนลดลง นอกจากนี้การเติมสารละลายบัฟเฟอร์และเกลือแกง (NaCl) สามารถลดความหนืดของสารละลายไคโตแซน เนื่องจากโมเลกุลที่เป็นประจุลบของสารละลายบัฟเฟอร์หรือเกลือแกง จะเข้าไปล้อมรอบประจุบวก ส่งผลให้การผลักกันระหว่างประจุบวกของสายโซ่โมเลกุลลดลง ดังรูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและค่าพีเอชของสารละลายไคโตแซนที่ใส่เกลือแกงที่ความเข้มข้นต่างๆ

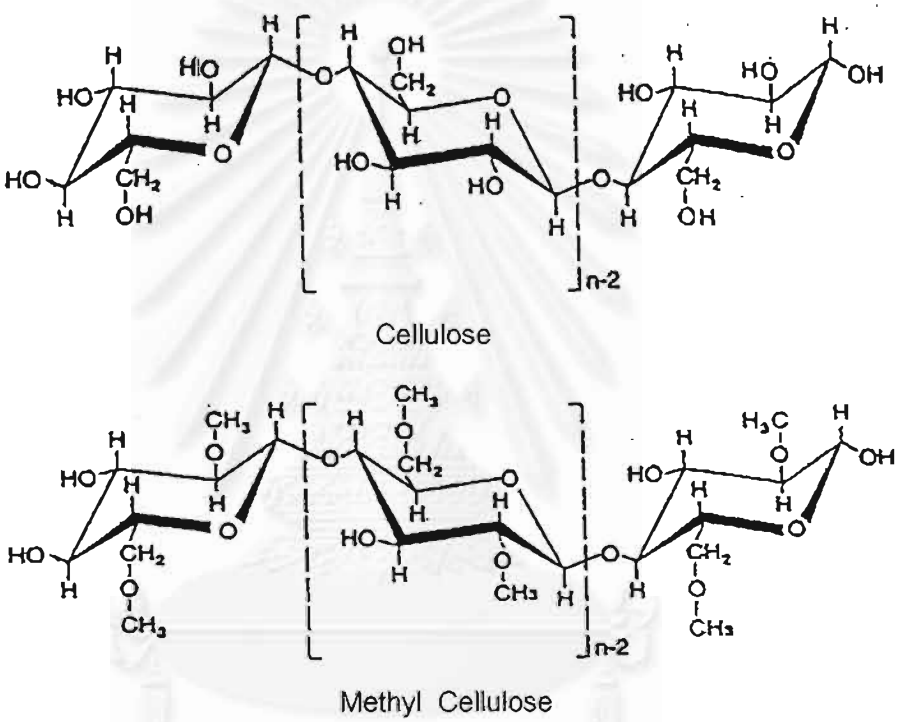


รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและพีเอชของสารละลายไคโตแซนที่ใส่ : ◆, 0.050 M; ✶,0.075 M; ▲,0.100 M; ■,0.200 M; ●,0.300 M; ▼,0.500 M NaCl (Dumitriu,1998)

ความหนืดของสารละลายไคโตแซนยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวทำละลายเช่น ความหนืดของไคโตแซนในกรดแอซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนืดของไคโตแซนในกรดไฮโดรคลอริกจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของไคโตแซนเกิดการขาด

2.4 ลักษณะทั่วไปของเมทิลเซลลูโลส (Methyl Cellulose)

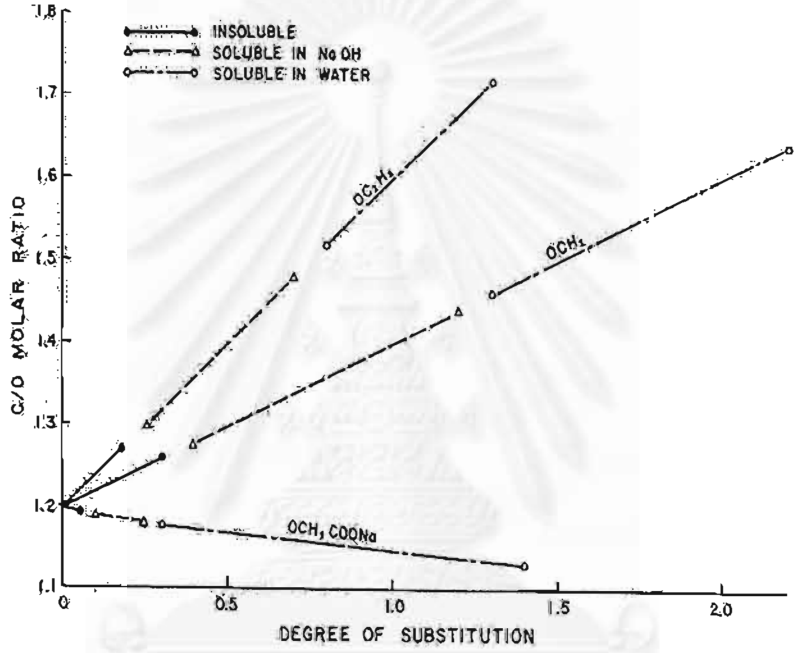
เมทิลเซลลูโลสจัดเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสและอยู่ในกลุ่มของเซลลูโลสอีเทอร์ โดยมีโครงสร้างสายโซ่หลักเหมือนกับเซลลูโลส ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆกันของ anhydroglucose มาเรียงต่อกัน และมีการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลบางหมู่ในเซลลูโลสด้วยหมู่เมท็อกซิล (methoxyl group) ด้วยปฏิกิริยาอีเทอริฟิเคชัน (etherification) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทั่วไปของเซลลูโลส และเมทิลเซลลูโลส

DS (degree of substitution) หมายถึง จำนวนหมู่ไฮดรอกซิลหรือตำแหน่งเฉลี่ยที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการแทนที่อีเทอริฟิเคชันต่อ anhydroglucose 1 หน่วย แต่ละหน่วยของ anhydroglucose ในโมเลกุลจะมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ (neucleophilic substitution reaction) เมื่อเกิดการแทนที่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ จะหมายถึง DS = 1 และถ้าหมู่ไฮดรอกซิลถูกแทนที่ทั้ง 3 หมู่จะมี DS = 3 ดังนั้น ค่า DS จะมีค่าไม่เกิน 3 และในทางการค้าเมทิลเซลลูโลสจะมีค่าเฉลี่ย DS = 1.5-2.0

เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูงเนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน การละลายน้ำจึงต่ำมาก การแทนที่ของหมู่เมท็อกซิลในเซลลูโลส จะทำให้ลดปริมาณพันธะไฮโดรเจนและเพิ่มความไม่เป็นระเบียบในสายโซ่โมเลกุล ส่งผลให้น้ำหรือตัวทำละลายอื่นๆสามารถเข้าล้อมรอบสายโซ่ได้ง่ายเกิดการพองตัวและละลายในที่สุด นอกจากนี้ปริมาณการแทนที่ของหมู่เมท็อกซิลยังมีผลต่อการละลายในตัวทำละลายต่างๆ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงช่วงการละลายที่ DS ต่างๆของเมทิลเซลลูโลสและอนุพันธ์อื่นๆของเซลลูโลส (Callihan, 1975)

2.5 การเตรียมเมทิลเซลลูโลส

เนื่องจากเซลลูโลสไม่ละลายน้ำและมีความเป็นผลึกสูง ดังนั้น ในการผลิตจึงไม่สามารถใช้หมู่แทนที่เข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงได้ ต้องลดความเป็นผลึกในเซลลูโลสลงเสียก่อน โดยให้เซลลูโลสเกิดปฏิกิริยากับสารละลายด่างความเข้มข้นร้อยละ 35-60 ต่อจากนั้นจึงใช้เมทิลคลอไรด์เข้าทำปฏิกิริยากับอัลคาไลเซลลูโลส แล้วจึงล้างทำความสะอาดด้วยน้ำร้อน อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทำให้แห้งโดยการอบ บด และวิเคราะห์คุณภาพ

สมการเคมีการเตรียมเมทิลเซลลูโลสเป็นดังนี้

$$R_{cell}OH + NaOH \rightarrow R_{cell}OH \cdot NaOH \text{ (complex)}$$

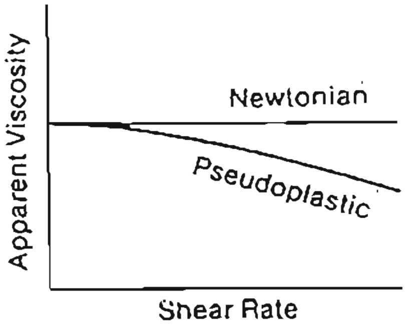
$$R_{cell}OH \cdot NaOH \leftrightarrow R_{cell}ONa + H_2O$$

$$R_{cell}ONa + CH_3Cl \rightarrow R_{cell}OCH_3 + NaCl$$

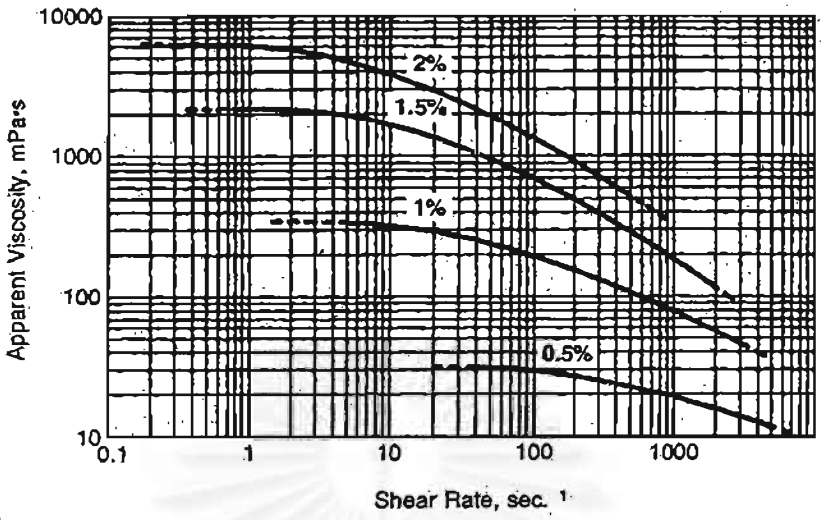
2.6 สมบัติของเมทิลเซลลูโลส

2.6.1 สมบัติสารละลาย (Solution Properties)

เมทิลเซลลูโลสเมื่อละลายน้ำให้สารละลายใส มีความหนืดและไหลได้เป็นสายต่อเนื่องกัน พฤติกรรมการไหล (rheology) ของสารละลายเมทิลเซลลูโลสจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุลและสารประกอบอื่นๆที่อยู่ในสารละลาย เช่น อิเล็กโตรไลท์ (electrolytes) เอทานอล โพรพิวลีนไกลคอล เมื่อความเข้มข้นหรือความหนืดของสารละลายสูงขึ้น สารละลายจะแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic กล่าวคือ ความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการเฉือน (shear rate, γ) โดยไม่ขึ้นกับเวลา (time-independence) และพฤติกรรมการไหลเข้าใกล้แบบ Newtonian มากขึ้นเมื่อสารละลายมีความหนืดและความเข้มข้นต่ำ ดังรูปที่ 2.11 และ 2.12 นอกจากนี้เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้นตามด้วยเช่นกันดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.11 ความหนืดปรากฏและอัตราการเฉือนของของเหลวที่พฤติกรรมการไหลต่างๆ (Feddersen และ Thorp,1993)



รูปที่ 2.12 ความหนืดปรากฏและอัตราการเฉือนของสารละลายเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นต่างๆ (Grover,1993)

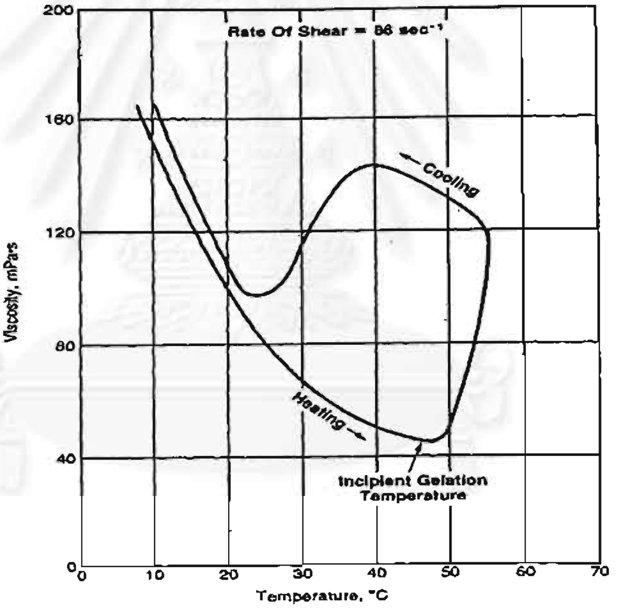
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของสารละลาย 2 % เมทิลเซลลูโลส (Grover,1993)

Viscosity, cps	Intrinsic viscosity, dL / g	Degree of polymerization (DP)	Number average molecular weight
5	1.2	53	10,000
10	1.4	70	13,000
40	2.05	110	20,000
100	2.65	140	26,000
400	3.90	220	41,000
1,500	5.70	340	63,000
4,000	7.50	460	86,000
8,000	9.30	580	110,000
15,000	11.00	650	120,000
19,000	12.00	750	140,000
40,000	15.00	950	180,000
75,000	18.40	1,160	220,000
100,000	21.00	1,280	246,000

สารละลายเมทิลเซลลูโลสโดยทั่วไปจะเสถียรที่พีเอช 3 ถึง 10 เมื่อพีเอชน้อยกว่า 3 จะเกิดปฏิกิริยา acid-catalyzed hydrolysis ทำให้สายโซ่โมเลกุลขาดที่บริเวณเชื่อมต่อของ anhydroglucose แต่ละหน่วย และที่พีเอชมากกว่า10 จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง (oxidative degradation) โดยมีเบสเป็นคะตะลิสท์ด้วยเช่นกัน

2.6.2 สมบัติการเกิดเจล (Gelation Properties)

เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเมทิลเซลลูโลสสูงขึ้น ความหนืดของสารละลายจะลดลงและสามารถเกิดเจล (thermal gelation) ได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง ในขณะเดียวกันเมื่อปล่อยทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลง เจลดังกล่าวจะกลับมาอยู่ในรูปสารละลายที่มีความหนืดคงเดิม ดังรูปที่ 2.13

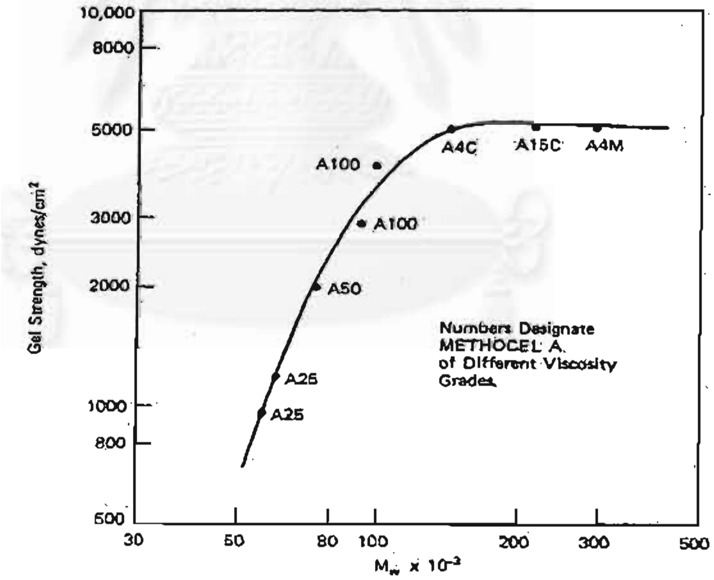


รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิในการเกิดเจล
ของสารละลาย 2% เมทิลเซลลูโลส (Grover,1993)

ลักษณะการเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อนนี้ อธิบายโดยเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำ (dehydration) ตามด้วยการเกิดรวมกันของสายโซ่พอลิเมอร์ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic association of chain) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพลังงานที่ทำให้โมเลกุลน้ำเกิดการสั่นสะเทือนและเคลื่อนไหวมีมากกว่าพลังงานของพันธะไฮโดรเจนน้ำที่ล้อมรอบสายโซ่พอลิเมอร์ โมเลกุลน้ำที่มีพลังงานสูงจึงพยายามแยกตัวออกจากสายโซ่โมเลกุล ในขณะเดียวกันบางส่วนของพอลิเมอร์

ที่ไม่ชอบน้ำเริ่มหันเข้ามารวมกันเอง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือให้เวลาที่อุณหภูมิสูงนานขึ้น ส่วนที่ไม่ชอบน้ำของพอลิเมอร์ จะเกิดแรงกระทำต่อกันมากขึ้นและได้เจลที่มีโครงสร้าง 3 มิติ (three dimensional structure) ลักษณะของสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีแนวโน้มมาอยู่รวมกันและเกิดเป็นเจลที่มีโครงสร้าง 3 มิตินี้เป็นปรากฏการณ์ของ thixotropy ซึ่งจะแสดงอย่างชัดเจนเมื่อถึงอุณหภูมิการเกิดเจล โครงสร้างของเจลดังกล่าวถูกทำลายลงได้เมื่อลดอุณหภูมิลงจนถึงอุณหภูมิห้องโดยเจลเปลี่ยนกลับเป็นของเหลวหนืดที่มีสมบัติคงเดิม

การเกิดเจลและความแข็งแรงของเจลนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการแทนที่ (DS) น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้นและปริมาณเกลือของโลหะ เมื่อปริมาณของหมู่เมท็อกซิลลดลงอุณหภูมิในการเกิดเจล (gelation temperature) และความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ได้มีการศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลพบว่า ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น และความแข็งแรงของเจลเริ่มคงที่เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสมากกว่า 15,000 ขึ้นไป ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลเมทิลเซลลูโลสและความแข็งแรงของเจล (Grover,1993)

โดยทั่วไปเกลือของโลหะหรืออิเล็กโตรไลท์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ สามารถผสมเข้ากันได้กับสารละลายเมทิลเซลลูโลสเนื่องจากความเป็นพอลิเมอร์ไร้ประจุ (nonionic polymer) อย่างไรก็ดีเมื่ออิเล็กโตรไลท์เพิ่มขึ้นมากเกินขีดจำกัด จะส่งผลให้

อุณหภูมิในการเกิดเจลลดลงและสารละลายพอลิเมอร์แยกตัวออกมา ทั้งนี้เนื่องจากอิเล็กโตรไลท์สามารถดึงโมเลกุลน้ำที่ล้อมรอบเมทิลเซลลูโลส ทำให้เมทิลเซลลูโลสอุ้มน้ำได้น้อยลง อุณหภูมิการเกิดเจลจึงลดลง นอกจากนี้การเติมเอทานอลหรือโพรพิวลีนไกลคอลสามารถเพิ่มอุณหภูมิการเกิดเจลได้ถึง 20 องศาเซลเซียลด้วยเช่นกัน

2.6.3 *สมบัติเมื่อเป็นผงและฟิล์ม (Powder and Film Properties)*

โดยทั่วไปเมทิลเซลลูโลสมีลักษณะเป็นผงสีขาวแข็ง ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 40 เมช เพื่อการละลายที่รวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีลักษณะเป็นแบบแกรนูลเพื่อลดการฟุ้งกระจายของผงเมทิลเซลลูโลส และง่ายต่อการละลายโดยการเติมสาร จำพวกไกลคอล เช่น โพรพิวลีนไกลคอล วิธีการละลายผงเมทิลเซลลูโลสโดยส่วนใหญ่จะละลายในน้ำร้อนอุณหภูมิสูงกว่าการเกิดเจลพร้อมกับการกวน เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อนและให้ผงเมทิลเซลลูโลสกระจายตัวอุ้มน้ำได้อย่างทั่วถึง แล้วปล่อยให้สารละลายเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จะได้สารละลายใส

ตารางที่ 2.3 สมบัติของฟิล์มเมทิลเซลลูโลสที่ไม่ใส่พลาสติไซเซอร์ (Grover,1993)

Specific gravity	1.39
Refractive index	1.49
Equilibrium moisture	6.5%
Melting point	290-605°C (554-561°F)
Tensile strength	58.6-78.6 MPa
Elongation	10-15%
Moisture vapor transmission rate 100 °F, 90-100% RH	10.5 g/100 cm^2 per 24 h per 25.4 μm
Oxygen transmission rate 75 °F	3.9 mL/100 cm^2 per 24 h per 25.4 μm
Ultraviolet transmission	
400 nm	54.6%
210 nm	25.7%

ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสมีลักษณะใส ไม่มีสี ผิวขรุขระ มีความแข็งแรงสูง เปราะ ความยืดหยุ่นต่ำ และละลายน้ำ ไม่ละลายในไขมันและน้ำมัน สามารถลดความเปราะบางโดยการเติมพลาสติไซเซอร์เช่น โพรพิวลีนไกลคอล โพลิเอทิลีนไกลคอล กลีเซอลีน เป็นต้น ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสสามารถทำให้ไม่ละลายน้ำได้โดยการเกิดโครงร่างตาข่ายที่หมู่ไฮดรอกซิลกับหมู่อัลดีไฮด์ เช่น Glyoxal Urea-formaldehyde Melamine-formaldehyde และ Polyphenolic compound

Wan และ Prasad (1990) ได้ศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลต่ออัตราการพองตัวของฟิล์มเมทิลเซลลูโลส ซึ่งพบว่า อัตราการพองตัวของฟิล์มเมทิลเซลลูโลสในน้ำลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากขนาดโมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น ทำให้การยึดเกาะระหว่างโมเลกุลสูงขึ้นและเกิดเป็นเจลที่บริเวณผิวของฟิล์ม โมเลกุลน้ำจึงเข้าล้อมรอบโมเลกุลเมทิลเซลลูโลสที่อยู่ภายในยากขึ้น ซึ่งส่งผลให้อัตราการพองตัวของฟิล์มทั้งหมดลดลง

2.7 การเตรียมฟิล์มไคโตแซน

ไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์จำพวกพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีพันธะไฮโดรเจนแข็งแรงมาก ความเป็นผลึกสูง อุณหภูมิของการหลอมเหลวใกล้เคียงกับอุณหภูมิการสลายตัว การขึ้นรูปไคโตแซนจึงต้องใช้วิธีละลายในตัวทำละลาย แล้วทำให้แห้งโดยการระเหยหรือชะล้างตัวทำละลายออก วิธีการขึ้นรูปจากสารละลายไคโตแซนจึงมีด้วยกัน 2 วิธี คือ การขึ้นรูปเส้นใยและการขึ้นรูปฟิล์ม ในที่นี้จะขอกล่าวแต่เฉพาะการขึ้นรูปฟิล์มไคโตแซนเท่านั้น

การขึ้นรูปฟิล์มไคโตแซนโดยวิธีหล่อแบบ (casting method) เป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและสะดวก จึงเป็นที่นิยมใช้ในการเตรียมฟิล์มเพื่อการศึกษาวิจัย ราวปี ค.ศ. 1926 การวิจัยฟิล์มไคโตแซนได้เริ่มต้นขึ้น โดยการละลายไคโตแซนในกรดแอซิติกเข้มข้นร้อยละ 6-10 ขึ้นรูปด้วยวิธีเทสารละลายลงในแม่แบบแล้วปล่อยให้แห้ง จะได้ฟิล์มที่มีลักษณะใส การวิจัยนี้มีส่วนสำคัญแสดงให้เห็นความสามารถในการขึ้นรูปฟิล์มไคโตแซนที่ใสโดยวิธีการหล่อแบบและใช้กรดอ่อนเป็นตัวทำละลาย

สมบัติของฟิล์มไคโตแซนส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับสัณฐานวิทยา (morphology) ของฟิล์มและปัจจัยที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของฟิล์มได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย น้ำหนักโมเลกุล

ปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติล การระเหยของตัวทำละลาย นอกจากนี้สภาพในการเตรียมฟิล์มก็เป็นสิ่งสำคัญต่อสมบัติเชิงกลและความเป็นผลึกของฟิล์มด้วยเช่นกัน

Kienzle-Sterzer, Rodriguez และ Rha (1982) ได้รายงานผลของความเข้มข้นสารละลายไคโตแซนและชนิดของกรดต่อสมบัติของฟิล์มไคโตแซน โดยการเตรียมสารละลายไคโตแซนเข้มข้นร้อยละ 0.80-1.40 โดยน้ำหนักในกรดแอซิติกและกรดโพรพิออนิกความเข้มข้น 0.1665 โมลต่อลิตร ด้วยวิธีการหล่อแบบและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส จากนั้นปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลการวิจัยพบว่า ค่าโมดุลัสของยังของฟิล์มไคโตแซนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสารละลายไคโตแซนมากขึ้น และการใช้กรดแอซิติกเป็นตัวทำละลาย จะให้ค่าโมดุลัสของยังของฟิล์มมากกว่าการใช้กรดโพรพิออนิกเป็นตัวทำละลาย ทั้งนี้ค่าโมดุลัสของยังของฟิล์มเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากความเป็นผลึกของฟิล์มไคโตแซนมากขึ้นเมื่อขนาดโมเลกุลของกรดลดลง และจากรายงานวิจัยของ Ogawa และคณะ (1992) ซึ่งศึกษาฟิล์มไคโตแซนที่ขึ้นรูปโดยใช้กรดแอซิติก กรดฟอร์มิก และกรดไฮโดรคลอริก พบว่า X-ray pattern ของฟิล์มเมื่อใช้กรดแอซิติกและกรดฟอร์มิกไม่เห็นความแตกต่าง ในขณะที่กรดไฮโดรคลอริกจะทำให้ความเป็นผลึกของฟิล์มลดลง เนื่องจากเกิดจากการแตกขาดของสายโซ่ไคโตแซนจากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสในระหว่างการขึ้นรูปฟิล์ม จากงานวิจัยทั้งสองนี้ชี้ให้เห็นถึงการเลือกชนิดของกรดในการขึ้นรูป ซึ่งมีความสำคัญต่อสมบัติเชิงกลและความเป็นผลึกของฟิล์มไคโตแซน

Mima และคณะ (1983) ได้วิจัยเกี่ยวกับการกำจัดหมู่แอซิติลของไคโตแซนที่มีผลต่อความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตแซน พบว่า ไคโตแซนที่มีปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลเป็น 78% 91%และ 96% เมื่อขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบโดยใช้กรดแอซิติกเข้มข้น 2% เป็นตัวทำละลายและปรับสภาพฟิล์มเป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 47% แล้ว จึงล้างน้ำ จะให้ฟิล์มที่มีค่าความทนแรงดึงขณะเปียก 1.65 2.25 และ 3.40 MPa และความทนแรงดึงขณะแห้ง 6.10 6.90 และ 7.30 MPa ตามลำดับ ในขณะที่การยืดตัวขณะเปียกเป็น 110% 120% และ 145% และการยืดตัวขณะแห้ง 27% 51% และ 30% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความทนแรงดึงขณะเปียกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มการกำจัดหมู่แอซิติล ขณะที่ความทนแรงดึงขณะแห้งแสดงแนวโน้มไม่ชัดเจนนัก สำหรับฟิล์มการยืดตัวขณะเปียกมีค่าสูงกว่าการยืดตัวขณะแห้ง การวิจัยนี้ชี้ชัดว่า ถ้าร้อยละการกำจัดหมู่แอซิติลสูง จะให้ความแข็งแรงขณะ

เปียกของฟิล์มสูงขึ้นด้วย และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงถึง 47% ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นฟิล์มไคโตแซน

ความร้อนเป็นกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่สะดวกและถือว่าเป็นกระบวนการฆ่าเชื้อสำหรับทางการแพทย์ที่ดี ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาผลของความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มไคโตแซนที่นำไปใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ (biomaterial) Toffey และคณะ (1996) ได้นำฟิล์มไคโตแซนที่ใช้กรดแอซิติกเป็นตัวทำละลายและไม่มีการปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลางภายหลังการขึ้นรูป (chitosonium acetate film) มาอบที่อุณหภูมิต่างๆกัน พบว่า ความร้อนสามารถเปลี่ยนโครงสร้างของ chitosonium acetate กลับมาเป็นไคตินดังเดิม และจะได้ไคตินกลับมามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบสูงขึ้น

Lim และ Wan (1995) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบฟิล์ม chitosonium acetate เพื่อปรับปรุงสมบัติความทนต่อน้ำด้วยกระบวนการความร้อน (heat treament) พบว่าความเป็นผลึกของฟิล์มไคโตแซนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบสูงขึ้น และการอบฟิล์มด้วยความร้อนสามารถทำให้ฟิล์มทนต่อการละลายในสารละลายกรดและน้ำได้ดี ขณะที่การละลายในสารละลายด่าง ฟิล์มจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก นอกจากนี้ Lim, Khor และ Ling (1997) ได้รายงานการอบฟิล์มไคโตแซนด้วยวิธี dry heat และ saturated steam พบว่า ความเป็นผลึกของฟิล์มไคโตแซนจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการอบฟิล์มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

2.8 **พอลิเมอร์ผสม** (Polymer Blend)

พอลิเมอร์ผสม เป็นการผสมพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้สมบัติร่วมกันของพอลิเมอร์ตามที่ต้องการ การผสมสามารถทำได้หลายวิธีได้แก่ การผสมโดยให้พอลิเมอร์หลอมเหลวด้วยความร้อน (melt mixing) และการผสมสารละลายพอลิเมอร์โดยใช้วิธีหล่อแบบ (solvent casting) การผสมโดยทำให้พอลิเมอร์ผสมเป็นสารละลายมักใช้กับพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงหรือไวต่อการสลายตัวโดยใช้ความร้อน และพอลิเมอร์ที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงมากจนเกือบถึงอุณหภูมิการสลายตัว (decomposition temperature)

2.8.1 **ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและพอลิเมอร์อื่น ๆ**

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่สามารถเข้ากับร่างกายคนได้ดี (biocompatible) การวิจัยและพัฒนาส่วนใหญ่จึงเน้นหนักการนำไปใช้งานกับวงการแพทย์และเภสัชกรรม ดังนั้นคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมจึงต้องเข้ากับร่างกายได้ ไม่เป็นพิษ สามารถย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีวภาพและละลายตัวทำละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบได้ ดังจะได้กล่าวต่อไป

Blair และคณะ (1987) ได้เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อปรับปรุงสมบัติการซอบน้ำของไคโตแซน โดยการใช้ไคโตแซนจากเปลือกปู (SG120) และเปลือกกุ้ง (PS120) ที่มีปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลเท่าๆกัน จากการวิจัยพบว่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2.4 และเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากกว่า 80% จะให้ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการขัดขวางการจัดเรียงตัวของโครงสร้างพอลิเมอร์ ซึ่งยืนยันได้จากการศึกษา X-ray pattern โดยพบว่า สัดส่วนไคโตแซน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20/80 และ 80/20 มีความเป็นผลึกต่ำกว่าสัดส่วนของพอลิเมอร์ผสมอื่นๆ นอกจากนี้ยังเกิด plasticizing effect อันเนื่องมาจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้การยืดตัวของพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ 2.4 ความทนแรงดึงและการยืดตัวของพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนต่างๆ (Blair, 1987)

Sample	Tensile Strength (MN/m^2)	Elongation (%)
PS120	58.1	4.13
SG120	62.9	3.27
PVA	60.0	105.00
SG120/PVA 80/20	50.0	2.55
60/40	51.3	3.45
40/60	56.0	3.48
20/80	46.3	13.78
PS120/PVA 80/20	40.3	3.19
60/40	41.6	4.78
40/60	44.3	5.83
20/80	42.9	16.53

เพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ส่วนสมบัติการชอบน้ำเมื่อพิจารณาจาก gel swelling index พบว่า ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมสามารถดูดน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงการวิจัยนี้ สมบัติด้านการชอบน้ำของไคโตแซนได้รับการปรับปรุงโดยการผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จากรายงานการวิจัยของ Qurashi และคณะ (1992) โดยการใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนผสมกับไคโตแซนที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า ความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก ความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณพอลิเมอร์ไวนิลไพโรลิ-โดนในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากความเป็นอสัณฐานของพอลิไวนิลไพโรลิโดน อย่างไรก็ดีสมบัติด้านการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้นเมื่อปริมาณพอลิไวนิลไพโรลิโดนเพิ่มขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเป็นอสัณฐานและการชอบน้ำของพอลิไวนิลไพโรลิโดน โดยไปทำให้โครงสร้าง 3 มิติเกิดการเปลี่ยนแปลงไป การดูดซึมน้ำจึงมากขึ้น

Zhao และคณะ (1995) ได้ศึกษาความเข้ากันได้และสัณฐานวิทยา (Morphology) ของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและพอลิเอทิลีนออกไซด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า อุณหภูมิหลอมเหลวและความเป็นผลึกของฟิล์มขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสอง โดยค่าทั้งสองแสดงค่าต่ำสุดเมื่อพอลิเมอร์ผสมมีปริมาณไคโตแซนร้อยละ 50 และจากการวิเคราะห์การลดลงของอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม ยืนยันว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่ปริมาณไคโตแซนร้อยละ 50 ในพอลิเมอร์ผสมจริง นอกจากนี้สัณฐานวิทยาของฟิล์มโดยการใช้ Scanning electron microscope (SEM) แสดงให้เห็นความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ทั้งสองเมื่อปริมาณไคโตแซนน้อยกว่าร้อยละ 50 ในขณะที่พอลิเมอร์จะเกิดการแยกเฟส (phase seperation) เมื่อปริมาณไคโตแซนมากกว่าร้อยละ 50 นอกจากนี้ Wang และ Robert (1997) ได้รายงานเพิ่มเติมเกี่ยวกับการศึกษาสมบัติเชิงกล การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซน-พอลิเอทิลีนออกไซด์ โดยการใช้ไคโตแซนที่มีปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลร้อยละ 75 และ 98 ตามลำดับ พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนที่มีปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลร้อยละ 75 ให้ค่าสูงสุดที่อัตราส่วน 50/50 ในขณะที่ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนที่มีปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลร้อยละ 98 ให้ค่าสูงสุดที่อัตราส่วน 80/20 และจากการศึกษาการละลายน้ำภายหลังปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง พบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสามารถละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนออกไซด์สูงขึ้น และเมื่อหาเปอร์เซ็นต์คงเหลือของพอลิเอทิลีนออกไซด์ในฟิล์ม ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนที่มี

ปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลร้อยละ 75 ที่อัตราส่วน 50/50 จะให้ค่าสูงสุด และฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนที่มีปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลร้อยละ 98 ที่อัตราส่วน 80/20 ให้ค่าสูงสุดเช่นเดียวกับอัตราการเพิ่มขึ้นของความทนแรงดึง จากผลการทดลองชี้ให้เห็นถึง การเกิดปฏิกิริยาพันธะไฮโดรเจนระหว่างไคโตแซนกับพอลิเอทิลีน ออกไซด์และปริมาณการกำจัดหมู่แอซิติลในไคโตแซนที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

การศึกษาพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเซลลูโลสหรืออนุพันธ์ของเซลลูโลสก็ได้รับความสนใจเช่นกันเนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีของแกนหลักคล้ายคลึงกัน Hasegawa และคณะ (1992) ได้ทำการผสมไคโตแซนและเซลลูโลสใน trifluoroacetic acid (TFA) และขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงศึกษาสมบัติเชิงกล ความเป็นผลึก การวิเคราะห์ด้วย Raman spectrometer และผลของอุณหภูมิในการอบ พบว่า ความเป็นผลึกในฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมลดลงเมื่อปริมาณไคโตแซนเพิ่มขึ้น และค่าความทนแรงดึงขณะแห้งอยู่ในช่วง 45-100 MPa โดยให้ค่าสูงสุดที่ปริมาณไคโตแซนร้อยละ 30 จากความเป็นผลึกและสมบัติเชิงกลแสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมไคโตแซน-เซลลูโลสมีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลเซลลูโลส โมเลกุลน้ำและโมเลกุลไคโตแซน ในขณะที่ Raman spectras ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆให้ผลที่เหมือนกับเซลลูโลสและไคโตแซนก่อนผสม การเกิดแรงกระทำต่อกันระหว่างโมเลกุลไคโตแซน น้ำและเซลลูโลส อาจเกิดขึ้นในพอลิเมอร์ผสมบริเวณ interfacial region ของพอลิเมอร์ทั้งสอง นอกจากนี้การอบฟิล์มด้วยความร้อนอาจทำลายแรงกระทำต่อกันในบริเวณนี้ ซึ่งเป็นผลให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มลดลง

ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (HPC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาผสมกับไคโตแซน โดย Suto และ Ui (1996) ได้ศึกษาการเกิด Interpenetrating polymer network (IPN) และใช้สารประกอบ dialdehyde ทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย ฟิล์มที่ได้แสดงลักษณะอสัณฐานใส การละลาย ความทนต่อแรงดึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ การยืดตัวของฟิล์มมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไคโตแซนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายของฟิล์มที่ขึ้นรูปโดยการใช้ไกลออกซาลมีมากกว่าฟิล์มที่ขึ้นรูปโดยใช้กลูตาอัลดีไฮด์เป็นสารช่วยเกิดโครงร่างตาข่าย แสดงถึงปริมาณความหนาแน่นของการเกิดโครงร่างตาข่ายในฟิล์มที่ใช้กลูตาอัลดีไฮด์มีมากกว่าการใช้ไกลออกซาล

2.8.2 ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของเมทิลเซลลูโลสกับพอลิเมอร์อื่น ๆ

การที่เมทิลเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ไร้ประจุ สามารถเข้ากับร่างกายได้ดี และย่อยสลายโดยทางชีวภาพ (biodegradation) รวมทั้งสามารถละลายน้ำ มีสมบัติลดแรงตึงผิว ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ จึงมีการวิจัยและพัฒนาฟิล์มเมทิลเซลลูโลสเกิดขึ้น

Kester และ Fennema (1989) ได้ศึกษาฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของเมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซิลเมทิลเซลลูโลส และกรดไขมันผสมของ Stearic acid และ Palmitic acid จากการใช้ scanning electron microscope เพื่อดูสัณฐานวิทยา (morphology) ของฟิล์ม พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไฮดรอกซิลเมทิลและกรดไขมัน กับฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไฮดรอกซิลเมทิล กรดไขมันและเมทิลเซลลูโลส จะมีลักษณะที่เรียบขึ้นและผลึกของกรดไขมันที่เกิดบริเวณผิวจะลดน้อยลงเมื่อปริมาณของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมทิลเซลลูโลสมีความเป็นขั้ว (polarity) น้อยกว่าไฮดรอกซิลเมทิลเซลลูโลส ทำให้อุณหภูมิการเกิดเจล (gelation temperture) ต่ำกว่า จึงเป็นสาเหตุให้กรดไขมันถูกกักขังอยู่ในเมทิลเซลลูโลส และขณะเดียวกันการเกิดผลึกของกรดไขมันในฟิล์มก็จะลดน้อยลง ฟิล์มที่ได้จึงมีลักษณะผิวเรียบมากขึ้น

Arvanitoyannis และ Biliaderis (1999) ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลและอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (Tg) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเมทิลเซลลูโลสและแป้ง โดยใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นพลาสติไซเซอร์ จากรายงานพบว่า อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนเมทิลเซลลูโลสและแป้ง 50:50 ค่า Tg ของพอลิเมอร์ผสมมีเพียงค่าเดียว ทั้งนี้เนื่องจากค่า Tg ของสารจำพวกเซลลูโลสมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก การหา Tg ของพอลิเมอร์ผสมของเมทิลเซลลูโลสและแป้งจึงมองไม่เห็นความแตกต่าง และเมื่อความชื้นในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้นจะทำให้ค่า Tg ของพอลิเมอร์ผสมลดน้อยลงทั้งนี้เป็นผลมาจาก plasticizing effect นอกจากนี้เมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความทนแรงดึงลดลง ในขณะเดียวกันค่าการยืดตัวของพอลิเมอร์ผสมก็เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2.5 ทั้งนี้เป็นผลจากความเป็น hygroscopic polymer ของเมทิลเซลลูโลส จึงทำให้เมทิลเซลลูโลสแสดงสมบัติเป็นพลาสติไซเซอร์แทน

จากลักษณะงานวิจัยของพอลิเมอร์ผสมของเมทิลเซลลูโลสและพอลิเมอร์อื่นๆมักเป็นความพยายามเพื่อให้เข้าใจถึงหน้าที่ของเมทิลเซลลูโลสในการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับฟิล์มเคลือบ (coating films) อย่างไรก็ดีการพัฒนาเมทิลเซลลูโลสเพื่อใช้งานด้านอื่นๆก็มีมากเช่นกัน ทั้งนี้การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความสำคัญ 4 ประการของเมทิลเซลลูโลส ได้แก่ ความเป็นสารข้นที่มี

ประสิทธิภาพ การช่วยลดแรงตึงผิวได้ดี สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ และการเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน (Coffey และ Bell, 1995)

ตารางที่ 2.5 ความทนแรงดึงและการยืดตัวของพอลิเมอร์ผสมของเมทิลเซลลูโลสกับแป้ง (Arvanitoyannis ,1999)

Soluble starch%	MC%	Water%	Tensile strength (MPa)	Elongation%
90	0	10	50.5±5.4	4.2±0.5
80	10	10	42.7±4.0	6.5±0.8
70	20	10	33.2±2.9	8.0±0.6
60	30	10	20.5±2.0	9.5±1.0
50	40	10	12.6±1.1	10.6±1.1
47.5	47.5	5	73.1±5.9	4.0±0.3
45	45	10	61.2±6.5	8.9±0.7
40	40	20	49.5±4.0	6.7±1.4
35	35	30	38.7±3.5	4.5±2.2

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

แผนภูมิขั้นตอนการวิจัย แสดงในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

3.1.1 การเตรียมฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันในอัตราส่วนต่างๆ ด้วยเทคนิคการหล่อโดยการระเหยของตัวทำละลาย (solvent- evaporate casting technique) และการตรวจสอบสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์ผสม ได้แก่ ความหนืด ความเป็นกรดด่าง

3.1.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆที่อุณหภูมิ 80 และ120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง

3.1.3 การทดสอบสมบัติของฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วน

: สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงดึง และการยืดตัว

: สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การละลายในน้ำและเมทานอล ความเป็นผลึก

3.2 วัตถุดิบและสารเคมี

- ไคโตแซน

ไคโตแซนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Grade	Commercial
Source	Shrimp shell (Black Tiger Shrimp)
Form	Creamy white powder
Molecular weight	6,025
Moisture (%)	11.92
Ash content (%)	1.56

3.1.1 การเตรียมฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม

รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการวิจัย

Degree of deacetylation (%) 75.25

- เมทิลเซลลูโลส

สารนี้เป็นผลิตภัณฑ์จากบริษัท รามาโปรดักชั่น จำกัด มีสมบัติดังนี้

Product name	Methocel A15V	Methocel A4M
Batch number	LC26012N22	MA12012N13
Form	White Powder	White Powder
Molecular weight	≈ 15,000	≈ 86,000
Viscosity (cps)	15	5191
Methoxyl (%)	29.6	30.8
Moisture (%)	2.0	1.6
Heavy metal (ppm)	<10	<10
Particle size (%Through No.40 sieve)	100	100
pH , 1% Solution in water	7.5	7.5

- กรดแอซิติก J.T. Baker AR Grade
- เมทานอล Merck AR Grade
- น้ำกลั่น

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย

อุปกรณ์/เครื่องมือ	ยี่ห้อ	รุ่น
แม่แบบพลาสติก	ขนาด 23x14x0.6 เซนติเมตร	
เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด 2 ตำแหน่ง	Sartorius	PT 2100
เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง	Sartorius	BT 210S
เตาอบ	WTB BINDER	FED/EED
pH meter	METTLER TOLEDO	MP 220
Microviscometer	Brookfield	LVDV - II +
Universal tester	LLOYD	LR100K

X-Ray Diffractometer	Philips	PW 3710
Scanning Electron Microscope	Philips	XL 30 P
Shaker	MEMMERT	SV 1422
Ultrasonic bath	Elma	T 830/ H
อุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไป	PYREX	-

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์และฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม

3.4.1.1 การเตรียมสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก

1. ชั่งผงไคโตแซนจำนวน 16.5 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นเติมสารละลายกรดแอซิติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร ปริมาณ 1,650 กรัม

2. นำไปละลายในเครื่องเขย่าขวดเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่ความเร็วรอบเบอร์ 10 แล้วเก็บสารละลายที่ได้ไว้ก่อนนำไปใช้งานอีกครั้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.4.1.2 การเตรียมสารละลายเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก

ชั่งผงเมทิลเซลลูโลสจำนวน 16.5 กรัมในขวดรูปชมพู่ขนาด 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาณ 1,650 กรัม แล้วนำไปละลายในเครื่องเขย่าขวดเป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่ความเร็วรอบ เบอร์ 10 และเก็บสารละลายที่ได้ก่อนนำไปใช้งานอีกครั้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.4.1.3 ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส

1. ผสมสารละลายไคโตแซนกับสารละลายเมทิลเซลลูโลสด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไคโตแซนต่อเมทิลเซลลูโลส 100:0 , 90:10 , 80:20 , 70:30 , 60:40 , 50:50 40:60 , 30:70 , 20:80 , 10:90 และ 0:100 ตามลำดับ ปริมาณ 150 กรัม โดยสารละลายพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก

2. คนสารละลายพอลิเมอร์ผสมแล้วนำไปไล่ฟองอากาศด้วยเครื่อง Ultrasonic bath

3. เทสารละลายพอลิเมอร์ผสมลงในแม่แบบพลาสติกที่ปรับระดับให้เสมอทั่วทั้งแม่แบบ ปริมาณ 140 กรัม จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์

4. ลอกฟิล์มออกจากแม่แบบ แล้วเก็บไว้ใน desiccator เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบ

3.4.2 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม

1. นำฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่เก็บไว้ใน desiccator มาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง จากนั้นเก็บฟิล์มไว้ใน desiccator อีกครั้งอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบ

2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการอบเป็น 120 องศาเซลเซียส ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน

3.4.3 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มไคโตแซน แผ่นฟิล์มเมทิลเซลลูโลส และแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

3.4.3.1 ความทนแรงดึง (Tensile Strength) และความยืดตัว (Elongation)

หมายถึง ความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงซึ่งมากระทำที่ปลายแต่ละข้างของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างและความหนาคงที่ จนกระทั่งแผ่นทดสอบนั้นขาดแล้วนำข้อมูลมาคำนวณดังนี้

$$\text{Tensile Strength (MPa)} = F / A$$

$$\text{Elongation (\%)} = L / L_0 \times 100$$

เมื่อ F = แรงดึงสูงสุดที่กระทำต่อแผ่นทดสอบ

A = พื้นที่หน้าตัดของแผ่นทดสอบ (ตารางมิลลิเมตร)

L = ความยาวที่เปลี่ยนไปจากความยาวเดิม (มิลลิเมตร)

L_0 = ความยาวเดิมของแผ่นทดสอบ (มิลลิเมตร)

เครื่องมือทดสอบ : LLOYD Universal Tester (Model LR 100 K)

มาตรฐาน : ISO 572-3

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างขนาด 10X130 มิลลิเมตร โดยบริเวณขอบของแผ่นฟิล์มต้องไม่เกิดรอยตำหนิจากการเตรียมและวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ละเอียด 0.001 มิลลิเมตรแล้วบันทึกผล
2. ภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาด Load Cell	100	กิโลนิวตัน
ระยะ Gage Length	50	มิลลิเมตร
อัตราเร็วในการดึง	5	มิลลิเมตรต่อนาที

3. ทดสอบแรงดึงและการยืดของแผ่นฟิล์มจนกระทั่งแผ่นฟิล์มขาดด้วยเครื่องทดสอบความทนแรงดึง
4. จำนวนแผ่นฟิล์มในการทดสอบแต่ละชุดไม่น้อยกว่า 5 ชิ้นงาน

3.4.3.2 **การละลายน้ำ** (Water Solubility)

การวัดค่าการละลายสามารถหาได้จากน้ำหนักของแผ่นฟิล์มที่หายไปภายหลังแช่ฟิล์มไว้สารละลาย

$$\text{การละลาย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่ในสารละลาย - น้ำหนักฟิล์มหลังแช่ในสารละลาย}}{\text{น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่ในสารละลาย}} \times 100$$

วิธีการทดสอบ

1. นำแผ่นฟิล์มทดสอบขนาด 3x10 เซนติเมตร มาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า w_1
2. แช่แผ่นฟิล์มในบีกเกอร์ขนาด 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่มีน้ำปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง
3. ทิ้งแผ่นฟิล์มไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงนำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า w_2

$$\text{การละลายน้ำ (\%)} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

3.4.3.3 การละลายในเมทานอล (Methanol solubility) และการละลายน้ำหลังการปรับสภาพแผ่นฟิล์มให้เป็นกลาง (Water solubility after neutral condition)

โดยทั่วไปฟิล์มไคโตแซนภายหลังการขึ้นรูปจะมีความเป็นกรด ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสภาพให้เป็นกลาง โดยการใช้ 1 N NaOH แต่เนื่องจากเมทิลเซลลูโลสสามารถละลายได้ในน้ำแต่จะไม่ละลายในเมทานอล ดังนั้นในการปรับสภาพให้เป็นกลางจึงใช้เมทานอลแทน

วิธีการทดสอบ

1. นำแผ่นฟิล์มทดสอบขนาด 3x10 เซนติเมตร มาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า W_1
2. แช่แผ่นฟิล์มในบีกเกอร์ขนาด 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่มีเมทานอลปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมให้สนิท ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. ล้างแผ่นฟิล์มด้วยเมทานอลอีกครั้งและทิ้งไว้ให้แห้งอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า W_2
4. นำแผ่นฟิล์มมาแช่ในน้ำกลั่น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร อีกครั้ง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า W_3

$$\text{การละลายในเมทานอล (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

$$\text{การละลายน้ำ (\%)} = \frac{W_2 - W_3}{W_2} \times 100$$

3.4.3.4 เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X – Ray Diffractometer)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction , XRD) สามารถใช้ในการวัดความเป็นผลึกและความเข้ากันได้ของแผ่นฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม โดยการเปรียบเทียบตำแหน่งและความกว้างของยอดกราฟ (Peak) ของแผ่นฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆกัน

เครื่องมือทดสอบ : PW 3710 BASED ที่มีแหล่งกำเนิดรังสีคือ Cu Anode Tube ของบริษัท Philips

วิธีทดสอบ

1. เตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างขนาด 2x2 เซนติเมตรเป็นอย่างน้อยและมีความหนาประมาณ 30 ไมโครเมตร
2. วางแผ่นฟิล์มลงบนกระจกสไลด์ให้เรียบและไม่มีฟองอากาศ
3. นำเข้าเครื่องทดสอบ

ภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

Generator tension	=	40 kV
Generator current	=	30 mA
Start angle	=	5.010
End angle	=	44.97
Scan speed (2θ / s)	=	0.02
Scan time	=	25 min

3.4.3.5 **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด** (Scanning Electron Microscope, SEM)

สัณฐานวิทยา (morphology) ของพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างเคมีที่ต่างกัน ดังนั้นในการนำพอลิเมอร์แต่ละชนิดมาผสมกันจะทำให้สัณฐานเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยอาจเกิดสัณฐานใหม่หรือเกิดการร่วมกันของสัณฐานของพอลิเมอร์

เครื่องมือทดสอบ : Model XL 30 P ของบริษัท Philips

วิธีการทดสอบ

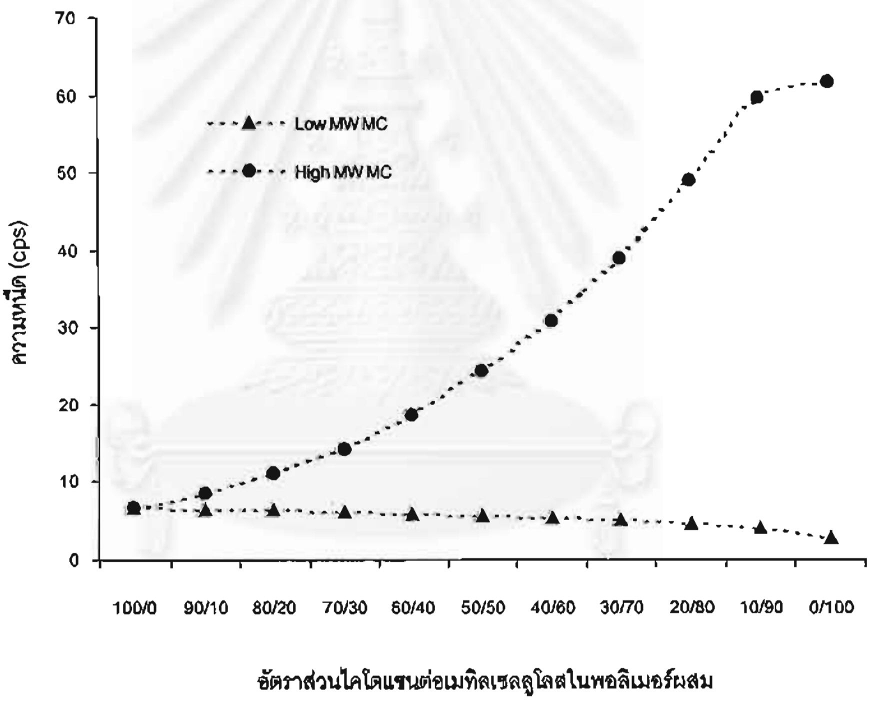
1. เตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างขนาด 2x2 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 50 ไมโครเมตร เก็บไว้ใน desiccator เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง
2. นำแผ่นฟิล์มไปเคลือบทับด้วยคาร์บอน เพื่อเพิ่มความแข็งของผิวฟิล์มแล้วนำไปเคลือบทับด้วยทองและพาลาเดียมอีกครั้งหนึ่ง
3. นำเข้าเครื่องทดสอบ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะสารละลายและฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส

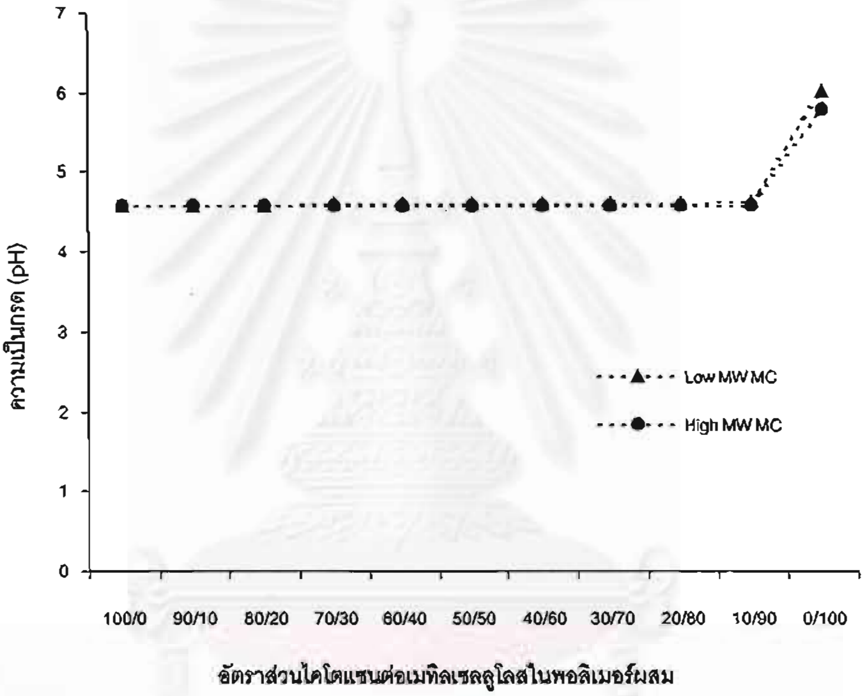
สารละลายพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะใส หนืด และมีสีเหลืองมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนของไคโตแซนเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ผสมขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพอลิเมอร์และน้ำหนักโมเลกุลของเมทิลเซลลูโลส ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราส่วนของสารละลายพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 เมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสในสารละลายเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่สารละลายพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความหนืดของสารละลาย

มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ความหนืดของสารละลายยังขึ้นอยู่กับพีเอช โดยสารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนไคโตแซนในสารละลายน้อยกว่าร้อยละ 10 ดังรูปที่ 4.2 ทั้งนี้เนื่องจากพีเอชที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุลไคโตแซนลดลงและเกิดการหดตัวกลับ ในขณะเดียวกัน hydrodynamic volume ของโมเลกุลก็จะลดลงด้วย (Dumitriu,1988) เป็นผลให้ความหนืดโดยรวมของสารละลายผสมลดลงหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดและอัตราส่วนของสารละลายพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน

ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสทุกๆอัตราส่วนที่ได้มีลักษณะความใส เรียบ และมีสีเหลืองมากขึ้นเมื่อปริมาณไคโตแซนเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 โดยความหนาเฉลี่ยของฟิล์มทั้งหมดเป็น 30 $\pm$ 5 ไมโครเมตร

หน้า 36 – 37 รูปที่ 4.3 และ 4.4 ภาพลักษณะฟิล์ม ที่แสดงในฉบับสำเนาที่นำมาสแกนจางมากจนมองไม่เห็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (0/100)

ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 20/80

ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 40/60

ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 60/40

ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 80/20

ฟิล์มไคโตแซน (100/0)

รูปที่ 4.3 ลักษณะฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในอัตราส่วนต่างๆ (Chitosan/Methyl cellulose)

ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง (0/100)

ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 20/80

ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 40/60

ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 60/40

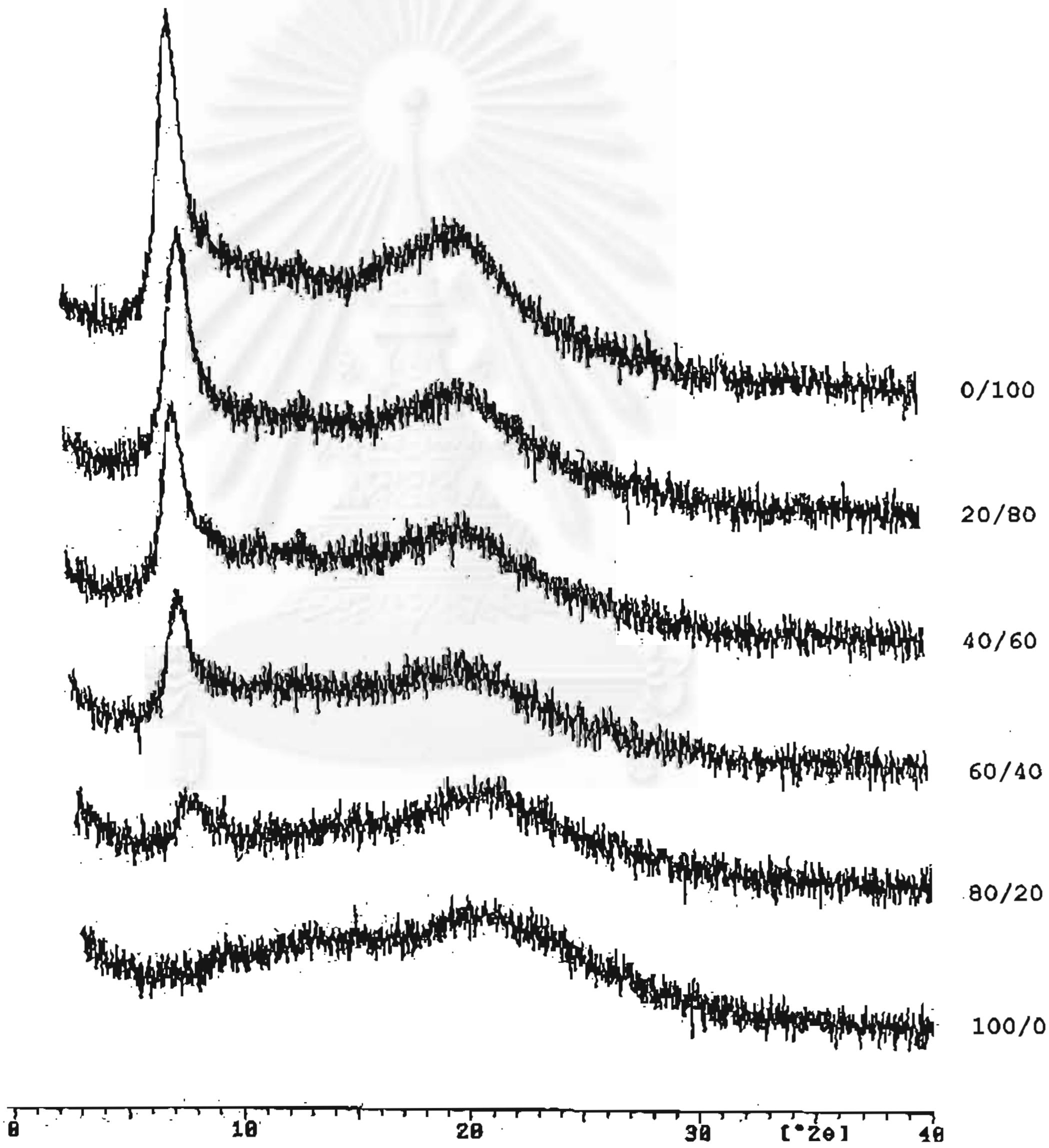
ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 80/20

ฟิล์มไคโตแซน (100/0)

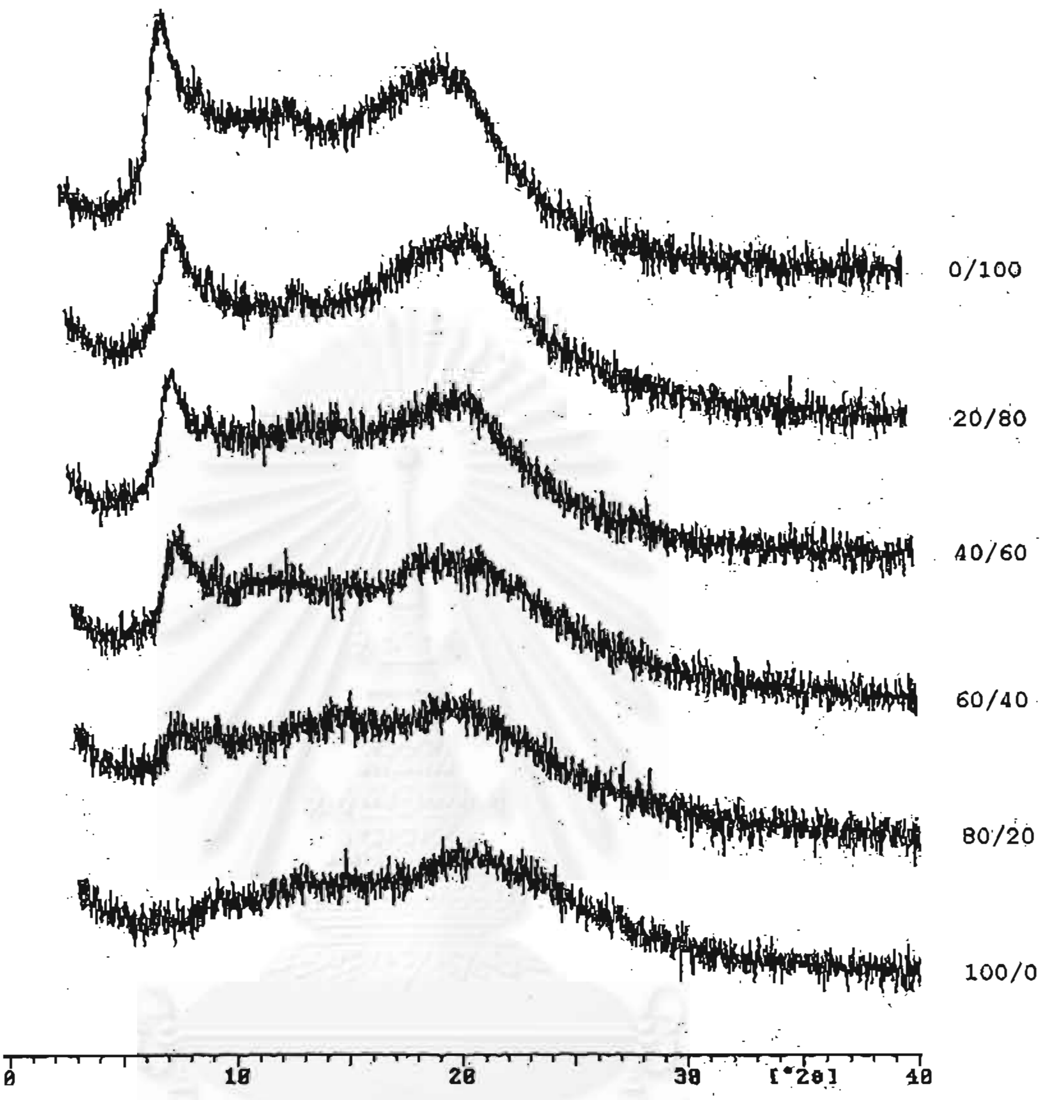
รูปที่ 4.4 ลักษณะฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในอัตราส่วนต่างๆ (Chitosan/Methyl cellulose)

4.2 การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

จากการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่างๆกันด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ จะได้ diffractogram ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 X-ray diffractogram ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อัตราส่วนต่างๆของ Chitosan/Methyl cellulose

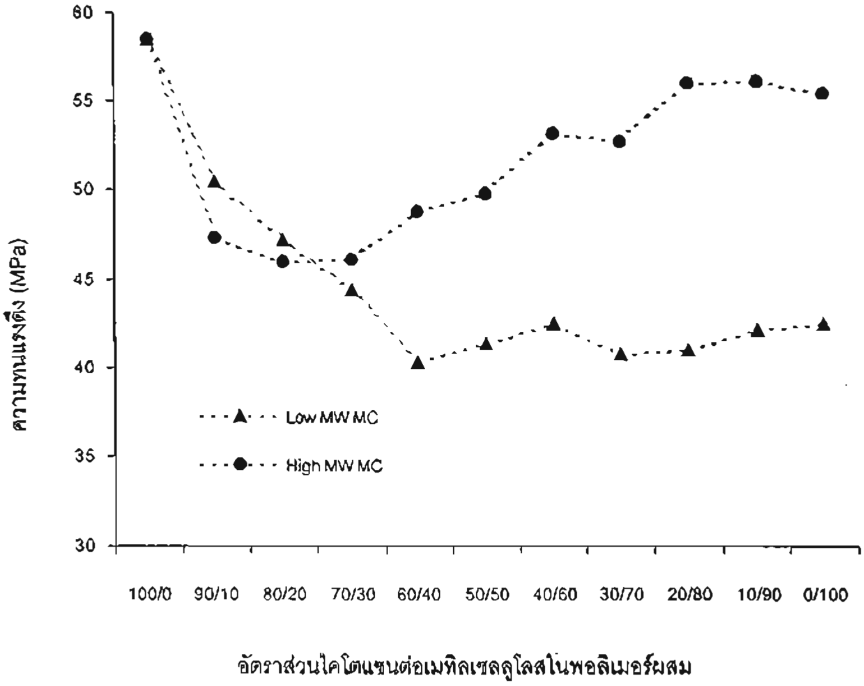


รูปที่ 4.6 X-ray diffractogram ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงที่อัตราส่วนต่างๆของ Chitosan/Methyl cellulose

จาก Diffractrogram แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มไคโตแซนมีความเป็นผลึกต่ำกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมและฟิล์มเมทิลเซลลูโลส และความเป็นผลึกของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของไคโตแซนในฟิล์มลดน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของไคโตแซนในสารละลายมีหมู่ ammonium cation อยู่ acetic anion ที่เกิดจากการแตกตัวของกรดจึงเข้าล้อมรอบ (Toffey และคณะ, 1996) ประกอบกับปริมาณกรดแอซิติกที่หลงเหลืออยู่ เมื่อสารละลายแห้งและขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม จึงทำให้ความเป็นระเบียบของโมเลกุลไคโตแซนน้อยกว่าเมทิลเซลลูโลส และเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ปริมาณไคโตแซนและกรด

แอซิติกที่เหลือก็จะลดน้อยลง ทำให้ความเป็นผลึกของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความเป็นผลึกของฟิล์มของเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมากกว่าเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่งผลให้ความเป็นผลึกของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำมากกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงอีกด้วย

4.3 การวิเคราะห์ความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

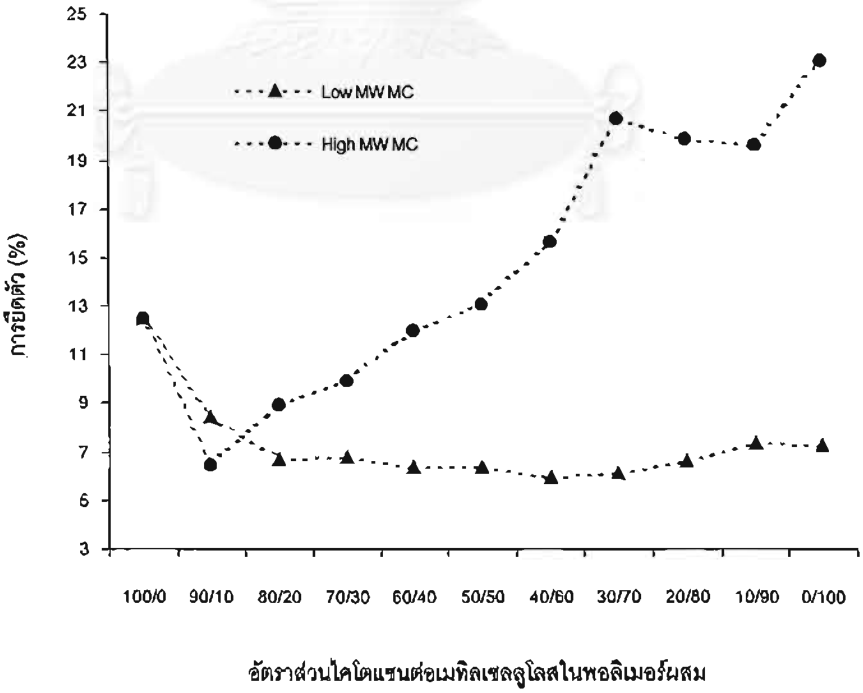


รูปที่ 4.7 ความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส พบว่า ความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มสูงขึ้น และฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงจะให้ความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนเมทิลเซลลูโลสต่ำกว่าฟิล์มที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทั้งนี้การลดลงของความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเนื่องจากขณะทำการขึ้นรูปฟิล์ม ความเป็นกรดของสารละลายพอลิเมอร์ผสมจะลดลง สายโซ่โมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสจึงเกิดการแตกขาด และเมื่ออัตราส่วนของไคโตแซนในสารละลายพอลิเมอร์ผสมลดลง การลดลงของความเป็นกรดในสารละลายขณะกำลังแห้งจึงน้อย

กว่าสารละลายที่มีอัตราส่วนไคโตแซนที่มากกว่า ทำให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการแตกขาดลดน้อยลง ประกอบกับปริมาณโมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มสูงขึ้น ความทนแรงดึงของฟิล์มจึงกลับเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากการวิจัยของ Hasegawa และคณะ (1992) พบว่า ฟิล์มของเซลลูโลสที่ใช้ trifluoroacetic acid เป็นตัวทำละลาย จะมีค่า degree of polymerization ลดลง จาก 1,700 เป็น 600 ขณะทำการละลายและขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม ในขณะที่ degree of polymerization ของฟิล์มไคโตแซน ซึ่งใช้ trifluoroacetic acid เช่นเดียวกัน จะมีค่าคงเดิมทั้งก่อนและภายหลังการขึ้นรูปฟิล์ม

สำหรับการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมก็มีลักษณะแนวโน้มเช่นเดียวกับความทนแรงดึง กล่าวคือ การยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมจะลดลงในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง ดังรูปที่ 4.8 นอกจากนี้การยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงยังมีค่ามากกว่าการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทั้งนี้การยืดตัวที่เพิ่มขึ้นของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเกี่ยวข้องกับขนาดความยาวและการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลเมทิลเซลลูโลส



รูปที่ 4.8 การยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันที่อัตราส่วนต่างๆ

ที่ไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากมีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ เมื่อได้รับแรงดึง สายโซ่โมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสที่ขดงออยู่จึงเกิดการยืดตัวออกและแรงดึงที่ได้รับจะถูกเปลี่ยนเป็นการยืดออกของสายโซ่โมเลกุลมากกว่าการเก็บสะสมพลังงานไว้ ดังนั้นเมื่อปริมาณของเมทิลเซลลูโลสในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นจึงเท่ากับมีจำนวนสายโซ่โมเลกุลเมทิลเซลลูโลสมากขึ้น ทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีการยืดตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

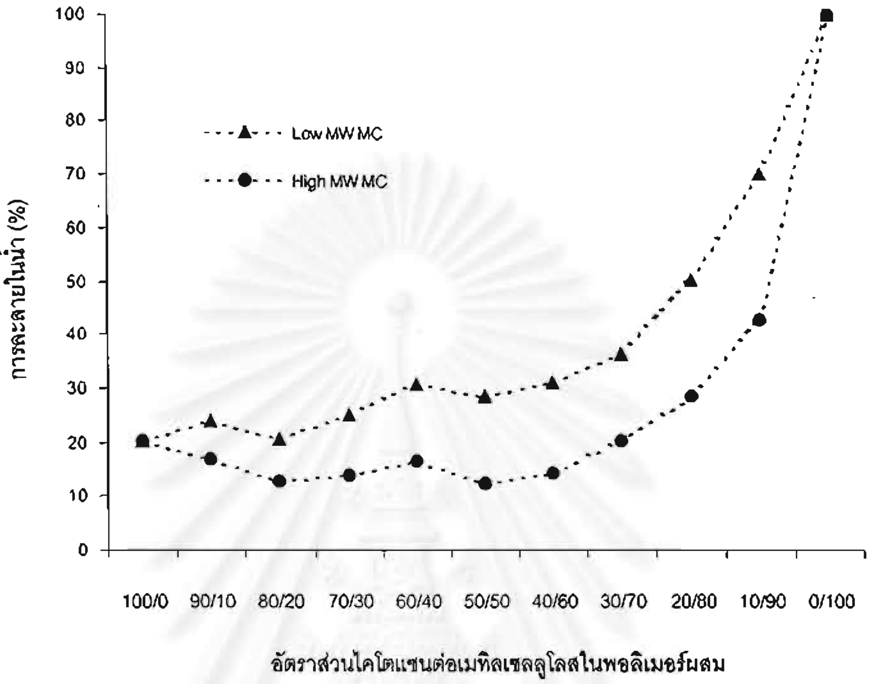
4.4 การวิเคราะห์การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมก่อนและหลังการปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง

4.4.1 <u>การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของฟิล์มไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสก่อนปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง</u>

จากรูปที่ 4.9 พบว่า ฟิล์มไคโตแซนละลายน้ำได้น้อยกว่าฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ฟิล์มที่ได้จากพอลิเมอร์ผสมซึ่งใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่าการละลายมากกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงอีกด้วย

โดยทั่วไปฟิล์มไคโตแซนจะไม่ละลายในน้ำ หรือตัวทำละลายที่มีพีเอชมากกว่า 6.5 แต่สามารถละลายในกรด โดยการเกิด protonation ของหมู่เอมีนอิสระด้วยไฮโดรเจนอิออน ทำให้ความหนาแน่นของไอออนบวก (NH_3^+) บนสายโซ่โมเลกุลเพิ่มขึ้น ซึ่งไอออนนี้มีความว่องไวต่อแรงกระทำกับโมเลกุลน้ำ โมเลกุลน้ำจึงเข้าล้อมรอบและเกิดการละลายในที่สุด เนื่องจากฟิล์มไคโตแซนจากงานวิจัยไม่ได้ทำการปรับสภาพให้เป็นกลางภายหลังการขึ้นรูปจึงยังคงมีหมู่ ammonium cation และกรดแอซิติกหลงเหลืออยู่ ดังนั้นเมื่อนำฟิล์มไคโตแซนมาแช่ในน้ำ จึงทำให้ฟิล์มเกิดการละลายน้ำได้บางส่วน นอกจากนี้การละลายน้ำของฟิล์มไคโตแซนน้อยกว่าฟิล์มเมทิลเซลลูโลส เป็นผลจากภายหลังแช่น้ำหมู่ ammonium cation จะเปลี่ยนมาเป็นหมู่เอมีนเนื่องจากพีเอชของฟิล์มเพิ่มขึ้น ทำให้ไคโตแซนมีหมู่ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน 3 หมู่ต่อ 1 หน่วย glucosamine ในขณะที่เมทิลเซลลูโลสมีหมู่ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนเพียง 2 หมู่ จึงทำให้การยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของไคโตแซน

มากกว่าการยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของเมทิลเซลลูโลส การละลายน้ำของฟิล์มไคโตแซนจึงน้อยกว่าฟิล์มเมทิลเซลลูโลส

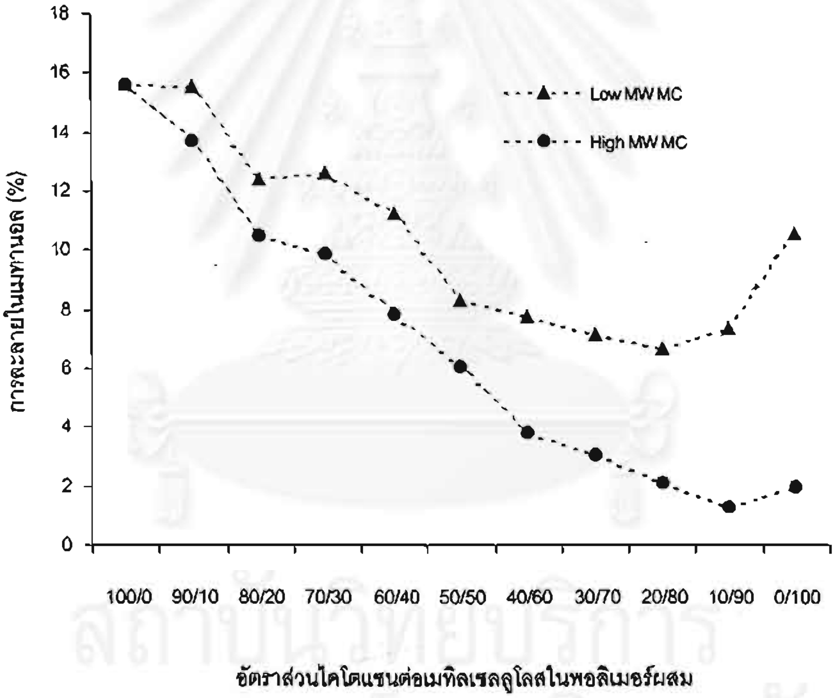


รูปที่ 4.9 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันในอัตราส่วนต่างๆ

เนื่องจากโมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสละลายน้ำได้ง่ายกว่าโมเลกุลของไคโตแซน จึงทำให้การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้น เมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสสูงขึ้น และฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงมีการละลายน้อยกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทั้งนี้เป็นผลจากขนาดความยาวของโมเลกุลเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ทำให้การเกาะเกี่ยวกันของโมเลกุลมากขึ้นและขณะเดียวกันอัตราการพองตัวของเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงน้อยกว่าเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Wan และ Prasad, 1990) จึงส่งผลให้การละลายของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงน้อยกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยเช่นกัน

4.4.2 <u>การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสภายหลังปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง</u>

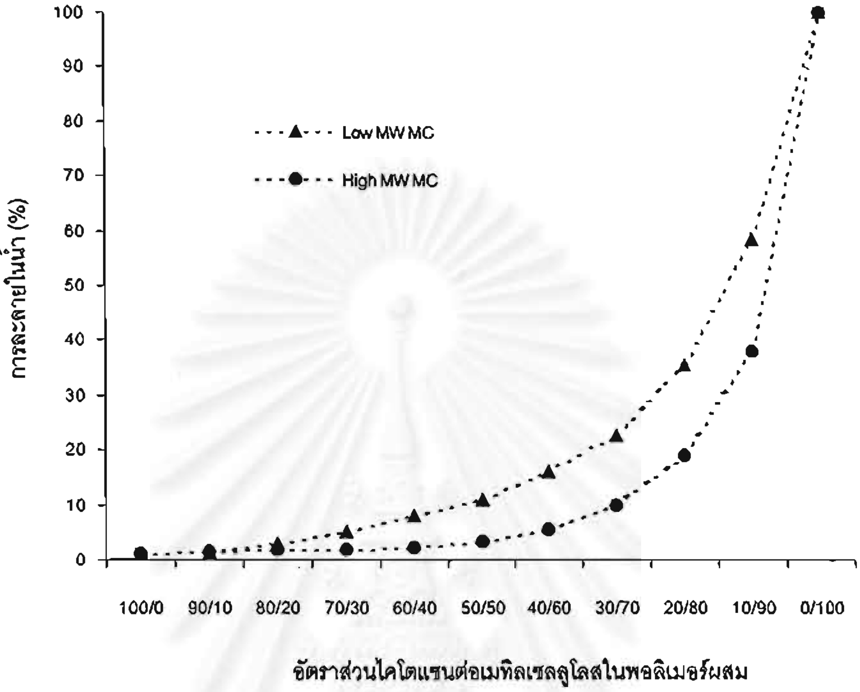
เมื่อนำฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มเมทิลเซลลูโลสไปแช่ในเมทานอล พบว่า การละลายของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมลดลงเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น และการละลายในเมทานอลกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่ออัตราส่วนเมทิลเซลลูโลสเข้าใกล้ร้อยเปอร์เซ็นต์ดังรูปที่ 4.10 ทั้งนี้เป็นผลจากการปริมาณไคโตแซนและกรดแอซิติกที่หลงเหลือในฟิล์มลดลงเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น และขณะเดียวกันโมเลกุลของไคโตแซนเกิดการหดตัวกลับภายหลังฟิล์มถูกปรับสภาพให้เป็นกลาง ซึ่งทำให้เกิดการพันกันของโมเลกุล การละลายของฟิล์มจึงลดลง และเมื่อปริมาณไคโตแซนลดลงถึงจุดๆ หนึ่งซึ่งหมายถึงปริมาณโมเลกุลไคโตแซนลดลงด้วย ทำให้บริเวณการพันกันของโมเลกุลลดลง การละลายจึงมากขึ้น ทั้งนี้การละลายที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องจากการเจือปนของน้ำในเมทานอล ซึ่งโดยทั่วไปฟิล์มเมทิลเซลลูโลสจะไม่ละลายในเมทานอล



รูปที่ 4.10 การละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันในอัตราส่วนต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลน้ำหนักโมเลกุลสูงและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ พบว่า การละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงน้อยกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และให้ค่าการละลายในเมทานอลต่ำสุดในอัตราส่วนเมทิลเซลลูโลสที่มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากขนาดโมเลกุล

ของเมทิลเซลลูโลสมากขึ้น ทำให้การเกาะเกี่ยวระหว่างโมเลกุลมีมากกว่าโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก ส่งผลให้การละลายลดลงและค่าการละลายต่ำสุดขยับไปในอัตราส่วนเมทิลเซลลูโลสที่มากกว่า



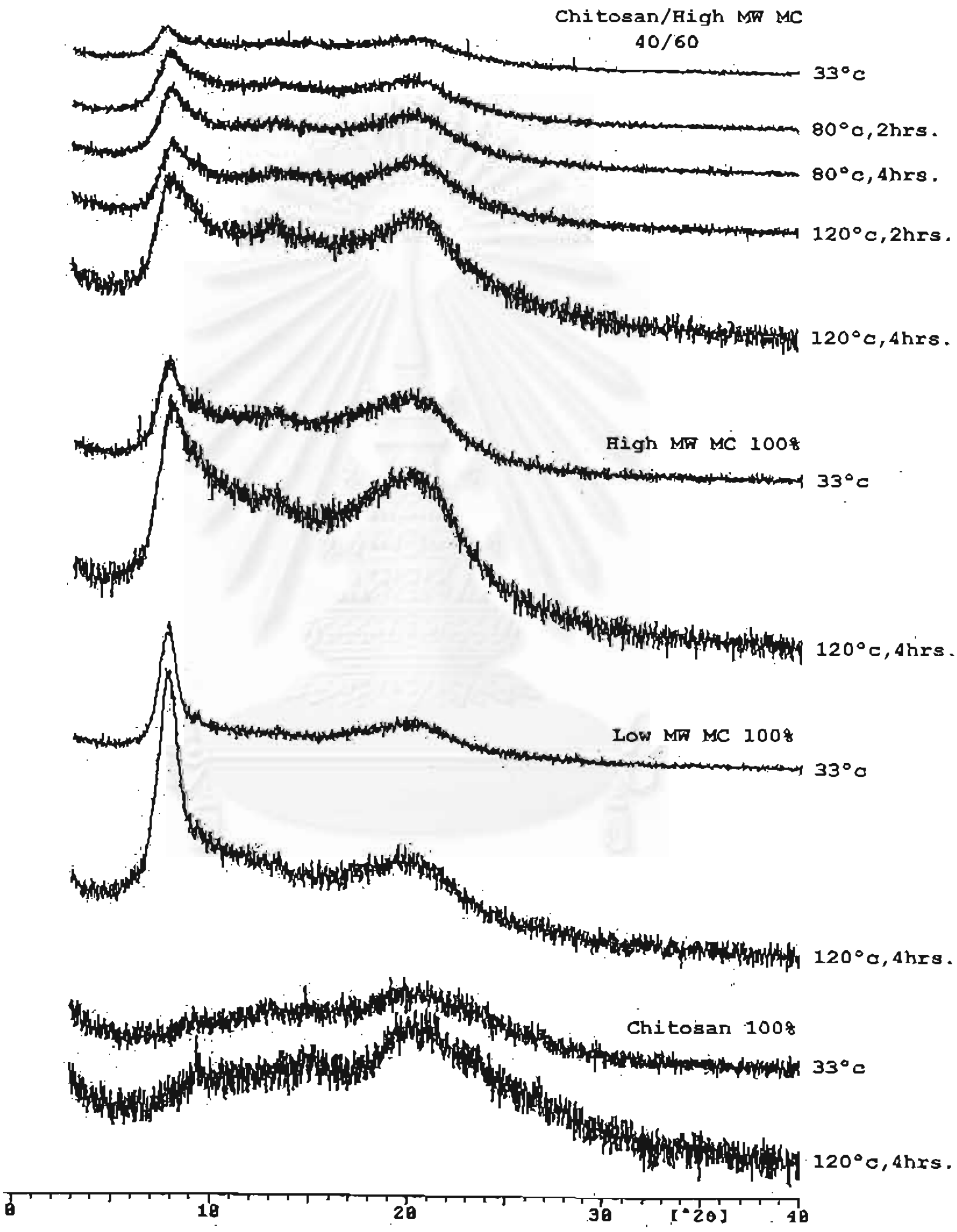
รูปที่ 4.11 การละลายน้ำภายหลังปรับสภาพให้เป็นกลางของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันในอัตราส่วนต่างๆ

เมื่อนำฟิล์มภายหลังการปรับสภาพให้เป็นกลางมาแช่ในน้ำ พบว่า การละลายน้ำของฟิล์มน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพให้เป็นกลาง ขณะเดียวกันการละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสสูงขึ้นเช่นเดียวกับก่อนการปรับสภาพฟิล์มแต่สามารถเห็นได้ชัดเจนกว่า ดังรูปที่ 4.11 ทั้งนี้เป็นผลจากการชะล้างกรดแอซิติกที่หลงเหลือในฟิล์มและหมู่ ammonium cation เปลี่ยนมาเป็นหมู่เอมีนก่อนทดสอบการละลายน้ำ

4.5 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

4.5.1 <u>ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มที่มีต่อความเป็นผลึกของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม</u>

จากรูปที่ 4.12 แสดงความเป็นผลึกของฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อบด้วยอุณหภูมิต่างๆกัน และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบ (untreated films)

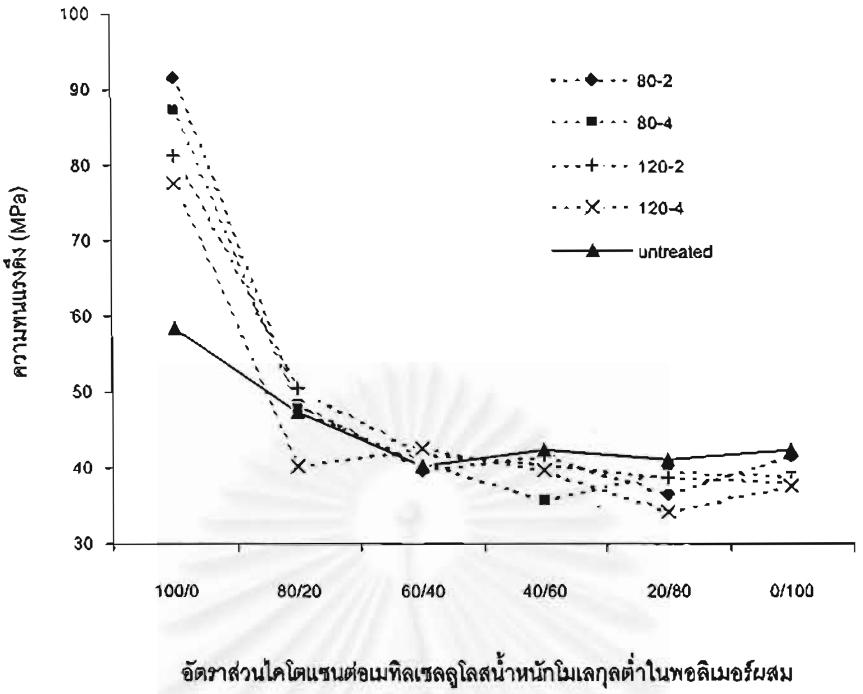


รูปที่ 4.12 X-ray Diffractogram ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสภายหลังการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

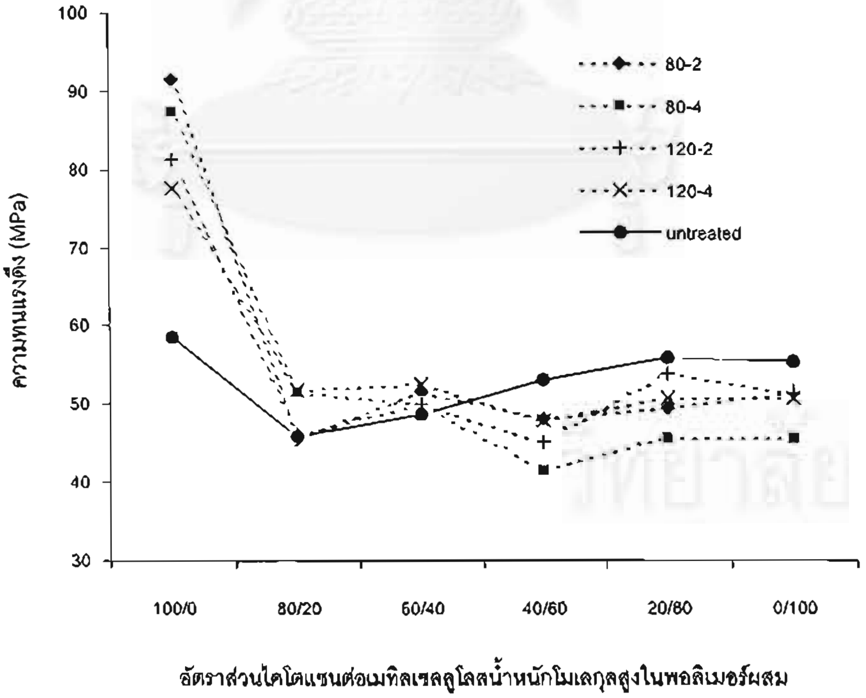
ซึ่งพบว่า ความเป็นผลึกของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความร้อน ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง ขณะเดียวกันปริมาตรภายในพอลิเมอร์ (free volume) เพิ่มขึ้น โมเลกุลจึงเกิดการเคลื่อนไหวและจัดตัวให้เป็นระเบียบมากขึ้น ความเป็นผลึกของฟิล์มจึงเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับ Lim และ Wan (1995) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบฟิล์มไคโตแซนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง (chitosonium acetate films) พบว่า X-ray diffractograms ของฟิล์มมีความสูงและชัดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิการในอบฟิล์มสูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกของฟิล์มที่เพิ่มขึ้น

4.5.2 <u>ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มที่มีต่อความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม</u>

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 แสดงความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการอบและไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน (untreated films) ซึ่งพบว่า ความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตแซนเพิ่มขึ้นเมื่อนำฟิล์มไปผ่านความร้อน โดยให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุดที่อุณหภูมิการอบ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และความทนแรงดึงของฟิล์มจะกลับลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบมากกว่าอุณหภูมิและเวลาดังกล่าว ทั้งนี้ฟิล์มที่อบด้วยอุณหภูมิ 120°C เวลา 4 ชั่วโมง จะให้ค่าความทนแรงดึงต่ำสุด อย่างไรก็ตามฟิล์มที่ผ่านการอบจะให้ความทนแรงดึงมากกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านการอบ ในทางตรงกันข้าม เมื่อนำฟิล์มเมทิลเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันทั้ง 2 ชนิดมาอบด้วยความร้อน พบว่า ความทนแรงดึงของฟิล์มกลับลดลงมากกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านการอบ อีกทั้งไม่สามารถบอกความแตกต่างของอุณหภูมิในการอบต่อความทนแรงดึงของฟิล์มได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้โดยทั่วไปความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์จำพวกเซลลูโลส จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณความชื้นในฟิล์มสูงขึ้น เนื่องจากโมเลกุลน้ำที่เพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลในส่วนของหมู่ไฮดรอกซิล ดังนั้นการลดลงของความทนแรงดึงของฟิล์มเมทิลเซลลูโลสจึงอาจเป็นผลจากการลดลงของปริมาณน้ำหรือความชื้นในฟิล์มภายหลังการอบด้วยความร้อน ในขณะที่ความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตแซนที่ผ่านการอบด้วยความร้อน เป็นผลมาจากอิทธิพลความเป็นผลึกที่เพิ่มมากขึ้นมากกว่าความชื้นในฟิล์ม และเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบมากขึ้นความทนแรงดึงของฟิล์มจึงลดลงเนื่องจากความชื้นในแผ่นฟิล์มลดลง



รูปที่ 4.13 ความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน

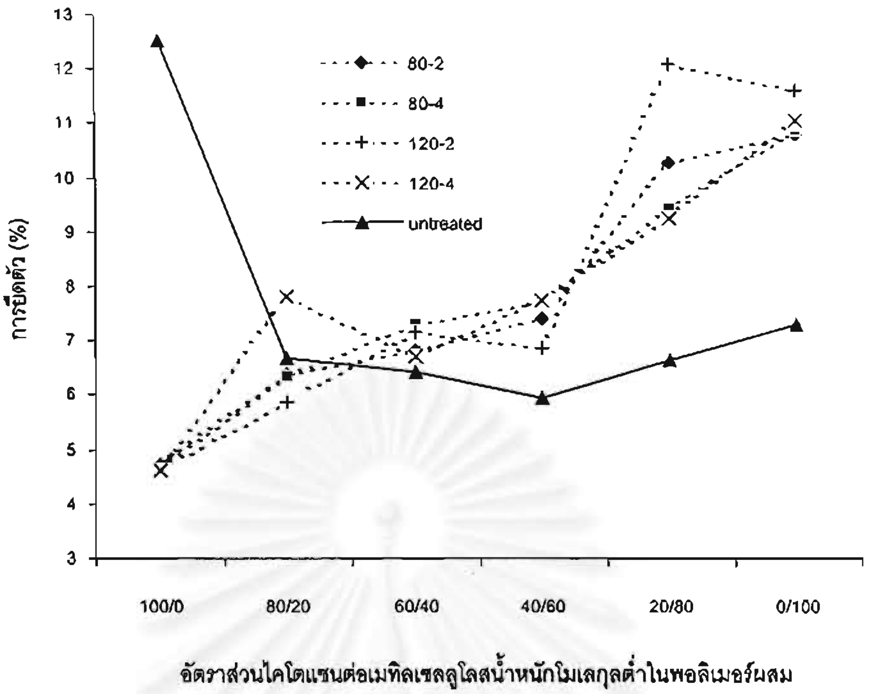


รูปที่ 4.14 ความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน

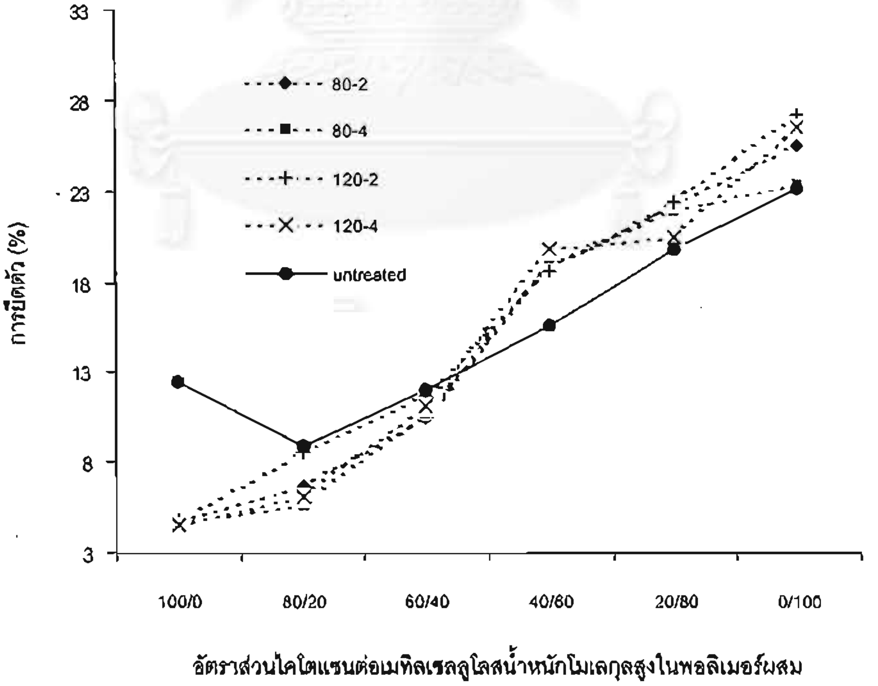
และเมื่อพิจารณาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสในอัตราส่วนต่างๆภายหลังการอบ พบว่า ความทนแรงดึงของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสน้อยกว่าร้อยละ 40 และกลับต่ำกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการอบ เมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสมากกว่าร้อยละ 40 ขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของเมทิลเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นประกอบกับความทนแรงดึงของเมทิลเซลลูโลสภายหลังการอบลดลง จึงส่งผลให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมภายหลังการอบลดลงด้วย

ส่วนการยืดตัวของฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มพอลิเมอร์ผสมภายหลังการอบด้วยความร้อน จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 พบว่า ฟิล์มไคโตแซนมีการยืดตัวลดลง ทั้งนี้เป็นผลจากความเป็นผลึกของฟิล์มที่เพิ่มขึ้น ทำให้แรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลสูงขึ้นการยืดตัวหรือการไหลผ่านของโมเลกุลเป็นไปได้ยาก เมื่อฟิล์มถูกดึงจึงทำให้เกิดการขาดของโมเลกุลก่อนที่จะเกิดการไหล นอกจากนี้การอบฟิล์มไคโตแซนที่อุณหภุมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงยังให้ค่าการยืดตัวที่ไม่แตกต่างกัน สำหรับฟิล์มเมทิลเซลลูโลส พบว่า การยืดตัวกลับเพิ่มขึ้นเมื่อนำฟิล์มไปผ่านการอบและไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการอบเช่นเดียวกับความทนแรงดึง ทั้งนี้การยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นเนื่องจากหมู่เมทิลซึ่งเป็นหมู่ที่เกะกะ ทำให้โมเลกุลเกิดการขดงอภายหลังนำฟิล์มไปผ่านความร้อน เมื่อมีแรงมากระทำ จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่และยืดออกของโมเลกุล เป็นผลให้ฟิล์มมีการยืดตัวมากขึ้น

สำหรับฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการอบด้วยความร้อน พบว่า การยืดตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น และการยืดตัวของฟิล์มจะมากกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการอบ เมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสมากกว่าร้อยละ 20 ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และอัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสมากกว่าร้อยละ 40 ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง ทั้งนี้การยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณหรือจำนวนโมเลกุลของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ซึ่งภายหลังการอบจะมีการยืดตัวมากขึ้น ทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมยืดตัวเพิ่มสูงขึ้นด้วย



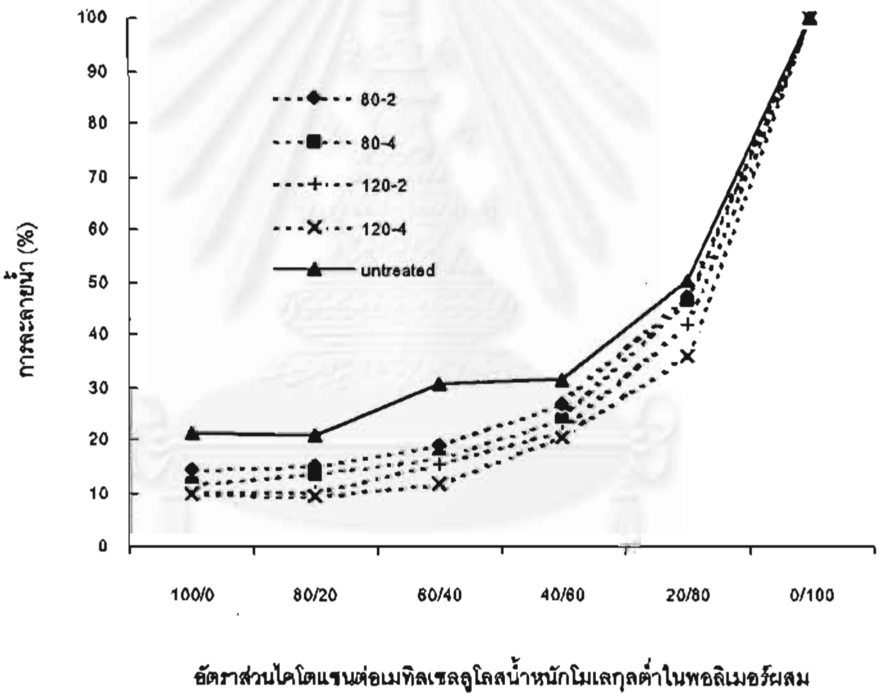
รูปที่ 4.15 การยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



รูปที่ 4.16 การยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน

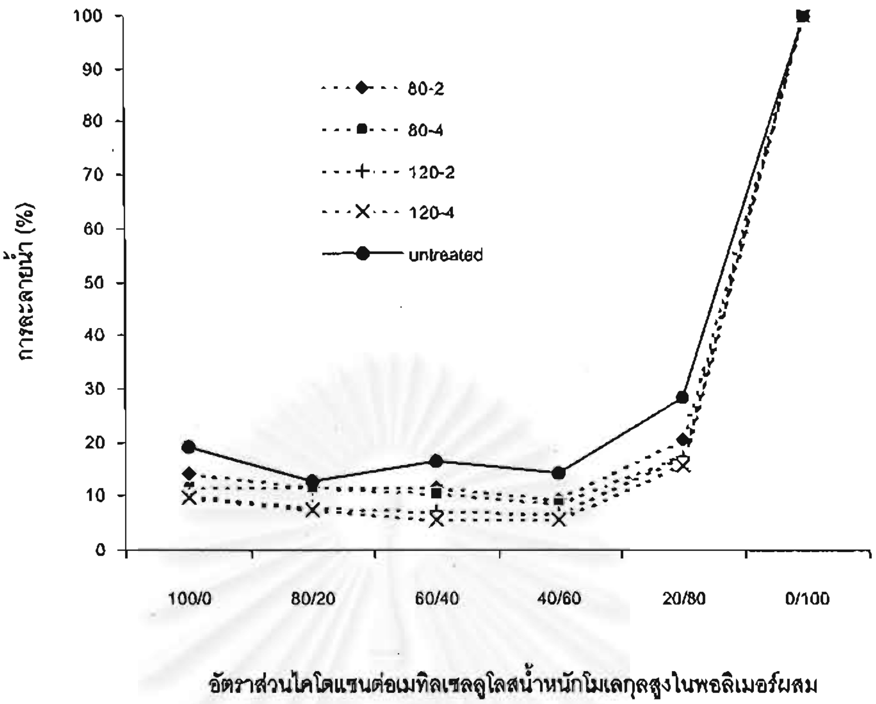
4.5.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มต่อการละลายน้ำทั้งก่อนและหลังการปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง

โดยทั่วไปเมื่อนำพอลิเมอร์ไปอบหรือผ่านความร้อน โมเลกุลของพอลิเมอร์จะมีการจัดเรียงตัวเข้าใกล้กันและเกิดการยึดเหนี่ยวมากขึ้น ทำให้ความเป็นผลึกสูงขึ้น โอกาสที่น้ำหรือตัวทำละลายจะเข้าไปแทรกหรือล้อมรอบเพื่อให้เกิดการละลายจึงลดน้อยลง ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่า การละลายน้ำของฟิล์มไคโตแซนและฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงและน้ำหนักโมเลกุลต่ำลดลง เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มสูงขึ้น ขณะที่การอบฟิล์มเมทิลเซลลูโลสด้วยอุณหภูมิและเวลาดังกล่าวไม่มีผลต่อการละลายน้ำของฟิล์ม แม้ว่าความเป็นผลึกของฟิล์มจะสูงขึ้นก็ตาม



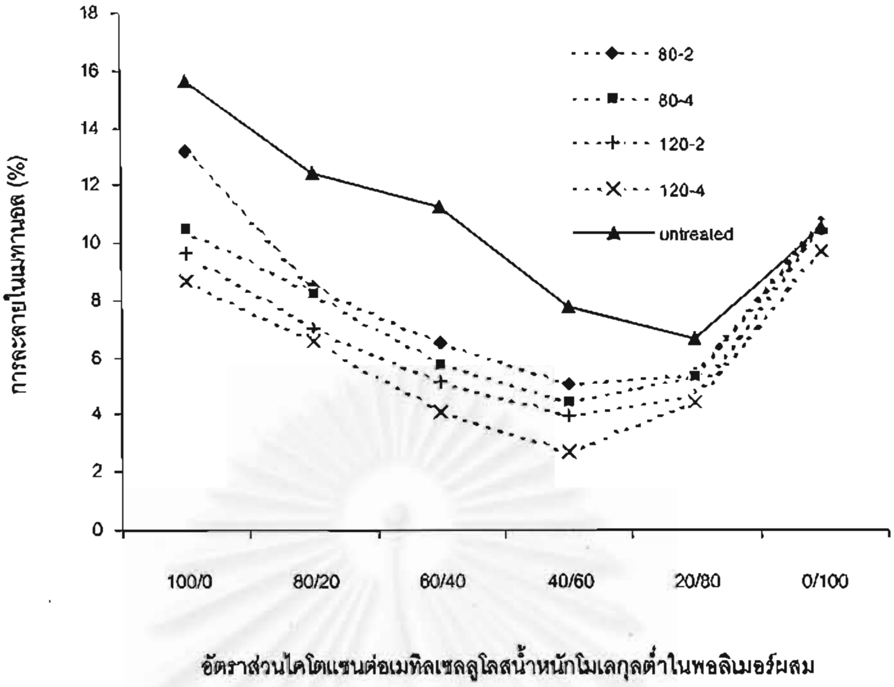
รูปที่ 4.17 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน

เมื่อนำฟิล์มที่อบไปผ่านการปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง พบว่า การละลายในเมทานอลของฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงและฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีแนว

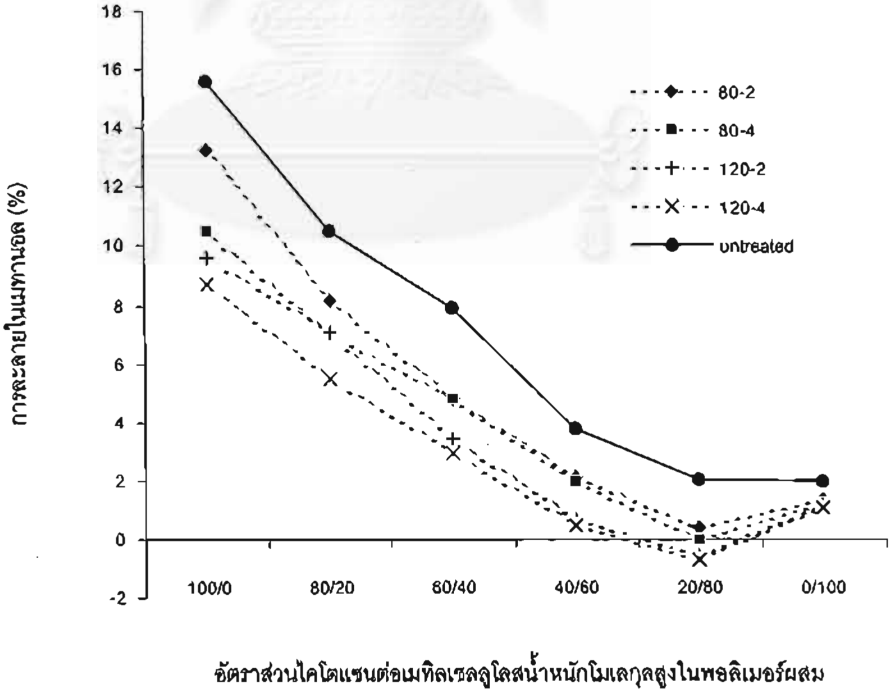


รูปที่ 4.18 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน

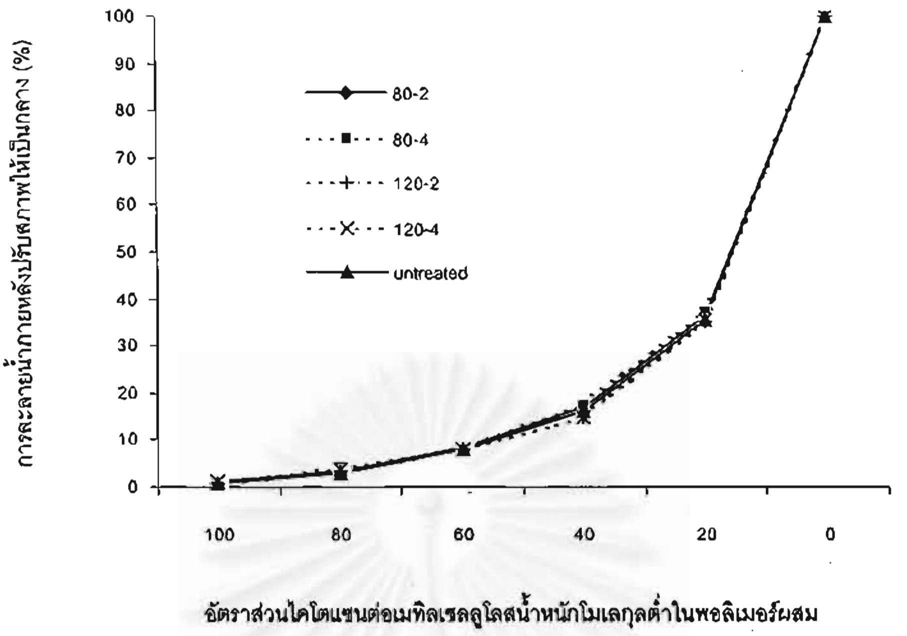
โน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มสูงขึ้น ขณะที่การละลายในเมทานอลของฟิล์มเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 นอกจากนี้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงให้ค่าการละลายเป็นลบเมื่ออบฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการอบฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว นอกจากทำให้ฟิล์มมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้ฟิล์มกลับดูดซึมเมทานอลหรือน้ำแทนด้วย ส่วนการละลายน้ำภายหลังการปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง พบว่า การละลายน้ำของฟิล์มไคโตแซน ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงและน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านการอบ ดังรูปที่ 4.21 และ 4.22 ทั้งนี้เนื่องจากในการปรับสภาพฟิล์ม จะทำให้ acetic anion และกรดแอซิติกที่ตกค้างอยู่ในฟิล์มหลุดลอดออกมา และทำให้เกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุล เป็นผลให้น้ำสามารถแทรกซึมเข้าล้อมรอบโมเลกุลได้ง่ายขึ้น การละลายน้ำของฟิล์มจึงมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านการอบ



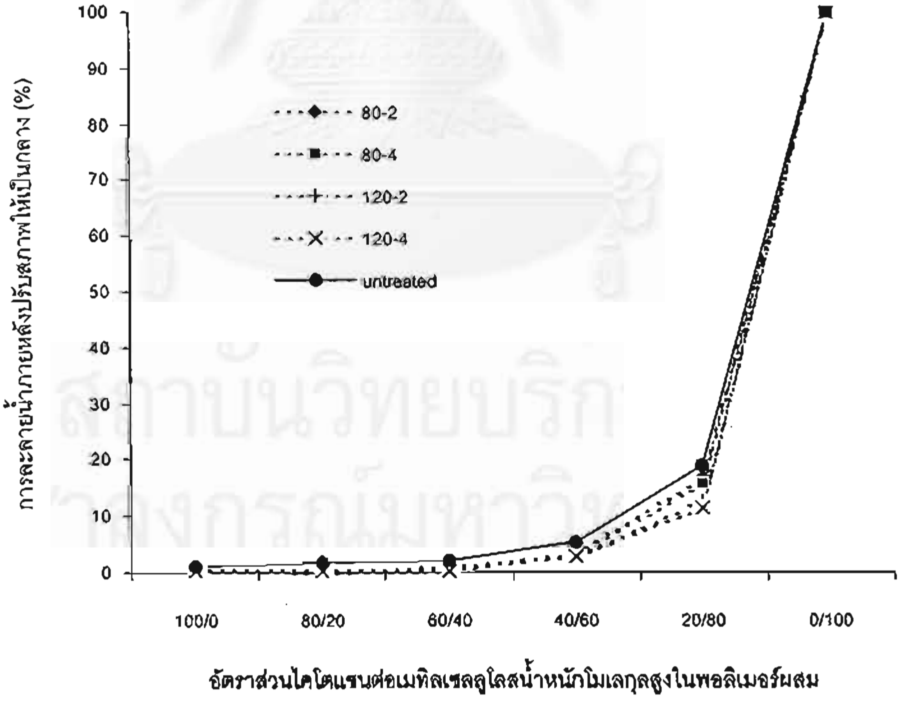
รูปที่ 4.19 การละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



รูปที่ 4.20 การละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน



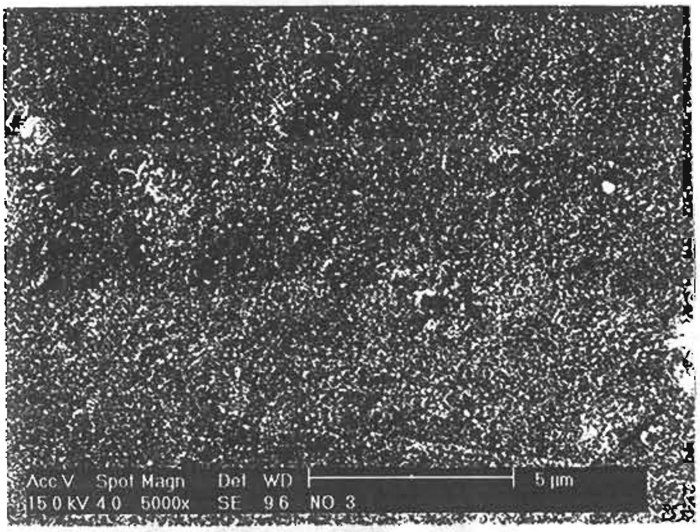
รูปที่ 4.21 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงและฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อนภายหลังปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง



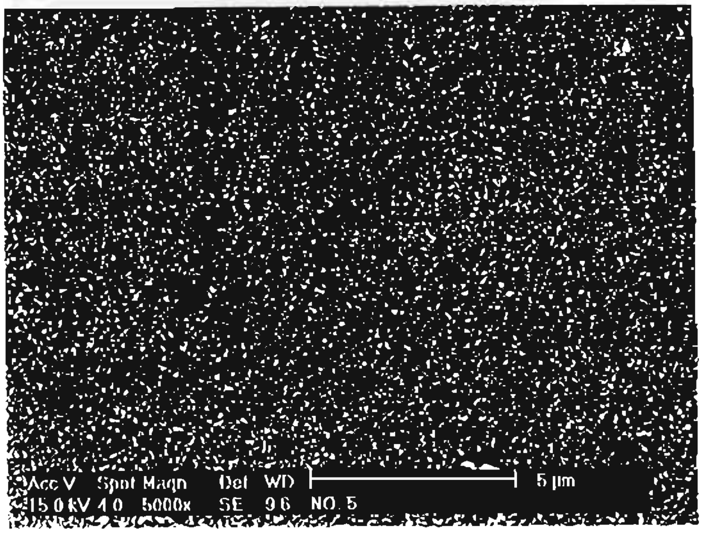
รูปที่ 4.22 การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงในอัตราส่วนต่างๆที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ120°C ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง และฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อนภายหลังปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง

4.6 ภาพจาก Scanning Electron Microscope

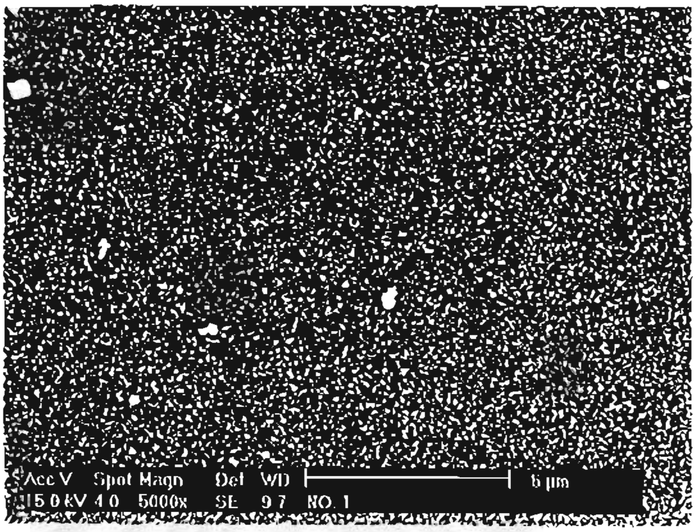
จากภาพ SEM แสดงพื้นผิวของไคโตแซนมีที่ลักษณะเรียบเป็นริ้ว และริ้วนี้ลดลงเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น อีกทั้งไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างบริเวณของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสได้อย่างชัดเจนอีกด้วย



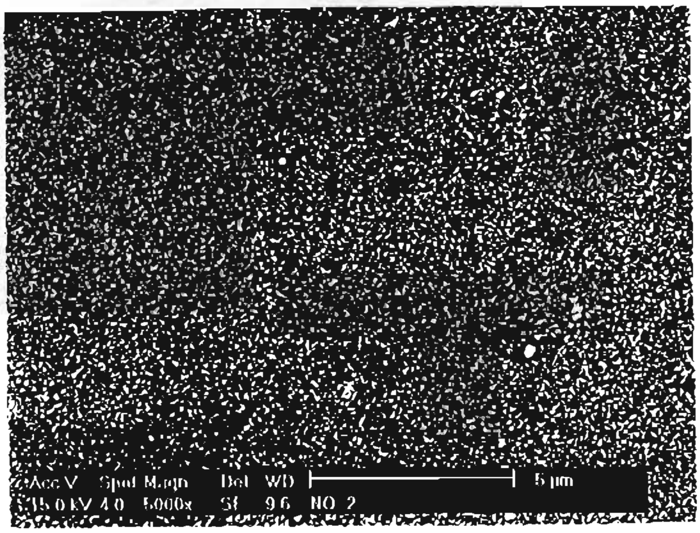
รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มไคโตแซน



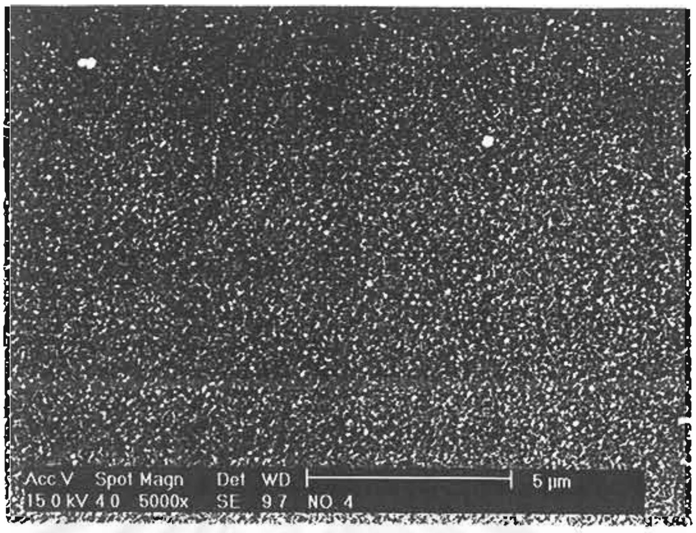
รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อัตราส่วนร้อยละ 50



รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ



รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงที่อัตราส่วนร้อยละ 50



รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายจาก SEM ของฟิล์มเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความเป็นผลึกของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเมทิลเซลลูโลสสูงขึ้น และฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำให้ความเป็นผลึกสูงกว่าฟิล์มที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง

2. ความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกและกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสสูงขึ้น โดยฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงมีความทนแรงดึงและการยืดตัวของมากกว่าฟิล์มที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

3. การละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสสูงขึ้น และฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงละลายน้ำได้น้อยกว่าฟิล์มที่ใช้เมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ รวมทั้งการปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลางด้วยเมทานอล จะทำให้การละลายน้ำของฟิล์มลดลง

4. อุณหภูมิและเวลาในการอบฟิล์มที่สูงขึ้น ทำให้ความเป็นผลึกของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นและการละลายน้ำของฟิล์มลดลง อีกทั้งการอบฟิล์มไม่มีผลต่อการละลายน้ำเมื่อนำฟิล์มที่ผ่านการอบไปปรับสภาพให้เป็นกลาง นอกจากนี้เมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมน้อยกว่าร้อยละ 40 ฟิล์มที่ผ่านการอบจะมีความทนแรงดึงมากกว่าและการยืดตัวน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบ ขณะเดียวกัน เมื่อปริมาณเมทิลเซลลูโลสมากกว่าร้อยละ 40 ฟิล์มที่ผ่านการอบจะให้ความทนแรงดึงน้อยกว่าและการยืดตัวมากกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสม อาจมีการปรับปรุงโดยการเติมสารช่วยเกิดโครงสร้างตาข่าย การเติมพลาสติไซเซอร์และ/หรือพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ที่สามารถเพิ่มความทนแรงดึงและการยืดตัว

2. ศึกษาสัณฐานวิทยาและการเกิดแรงกระทำระหว่างโมเลกุลไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส เพื่อช่วยให้ทราบลักษณะของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3. ในการพัฒนาเพื่อใช้เป็นฟิล์มสำหรับปิดแผลหรือเคลือบยา ควรศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยสาร อัตราการละลายในสารละลาย อัตราการซึมผ่านของสารและ/หรืออัตราการสลายตัวของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

4. การศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตแซนกับพอลิเมอร์อื่นๆ ควรคำนึงถึงพอลิเมอร์ที่มีลักษณะชอบน้ำ มีความเป็นพิษต่ำ และเมื่อพิจารณาการนำไปใช้ทางด้านการแพทย์ เภสัชกรรม หรืออาหาร พอลิเมอร์ที่นำมาผสมควรเข้ากับร่างกายได้ดีและสามารถย่อยสลายโดยกระบวนการชีวภาพได้

รายการอ้างอิง

Arvanitoyannis, I. and Biliaderis, C. Physical Properties of Polyol-plasticized Edible Blends Made of Methyl Cellulose and Soluble Starch. Carbohydrate Polymers 38(1999) : 47-58.

Blair, H.S.; Guthrie, J.; Law, T.K. and Turkinhton, P. Chitosan and Modified Chitosan Membrane. Journal of Applied Polymer Science 33(1987) : 641-656.

Callihan, C.D. Cellulose Derivative; Polymer with a Future. Cellulose Technology Research. Washington : American Chemical Society, 1975.

Coffey, P.G. and Bell, D.A. Food Polysaccharide and Their Applications. New York : Marcell Dekker,1995.

Dumitriu, S. Polysaccharide. New York : Marcel Dekker,1998.

Feddersen, R.L. and Throp, S.N. Sodium Carboxymethyl Cellulose. Industrial Gums Polysaccharides and Their Derivative. New York : Academic Press, 1993.

Greminger, G.K.; Jr. and Krumel, K.L. Alkyl and Hydroxyalkylalkyl Cellulose. Handbook of Water-soluble Gums and Resin. New York : McGraw-Hill, 1980.

Grover, J.A. Methylcellulose and its derivative. Industrial Gums. New York : Academic Press,1993.

Hasegawa, M.; Isogai, A.; Onabe, F.; Usuda, M. and Atalla, R.H. Characterization of Cellulose-Chitosan Blend Films. Journal of Applied Polymer Science 45 (1992) : 1873-1879.

Hon, D.N.S. Chitin and Chitosan Medical application. Polysaccharides in Medical Applications. New York : Marcel Dekker, 1996.

Kester, J.J. and Fennema, O. An Edible Film of Lipids and Cellulose Ether: Barrier Properties to Moisture Vapor Transmission and Structural Evaluation. Journal of Food Science 54(1989) : 1383-1389.

Kienzle-Sterzer, C.A.; Rodriguez, D. and Rha, C. Mechanical Properties of Chitosan Films : Effect of Solvent Acid. Macromolecular Chemistry 183(1982) : 1353-1359.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Lim, L.Y. and Wan, S.C. Heat Treatment of Chitosan Films. Drug Development and Industrial Pharmacy 21(1995) : 839-846.

Lim, L.Y.; Khor, E. and Ling, C.E. Effects of Dry Heat and Saturated Steam on the Physical Properties of Chitosan. Journal of Biomedical Material Research 48 (1999) : 111-116.

McNeely, H.W. Chitin and its derivatives. Industrial Gums Polysaccharides and Their Derivative. New York : Academic Press, 1959

Mima, S.; Miya, M.; Iwamoto, R. and Yoshigawa, S. Highly Deacetylate Chitosan and Its Properties. Journal of Applied Polymer Sciences 28(1983) : 1909-1917.

Muzzarelli, R.A.A. Chitin. Oxford : Pergamon Press, 1977.

Ogawa, K.; Oka, K.; Miganishi, t. and Hiano, S. Chitin, Chitosan and Related Enzymes. New York : Academic, p.327-346.

Qurashi, M.T.; Blair, H.S. and Allen, A.J. Studies on Modified Chitosan Membranes I : Preparation and Charaterization. Journal of Applied Polymer Sciences 46 (1992) : 255-261.

Suto, S. and Ui, N. Chemical Crosslinking of Hydroxypropyl Cellulose and Chitosan Blends. Journal of Applied Polymer Sciences 61(1996) : 2273-2278.

Toffey, A.; Samaranayake, G.; Frazier, C.E. and Glasser, W.G. Chitin derivatives. I. Kinetics of the Heat-Induced Conversion of Chitosan to Chitin. Journal of Applied Polymer Sciences 60(1996) : 75-85.

Wang, W. and Roberts, G.A. Effect of Acetyl Group Content on the Miscibility of Blend of Chitosan with Poly(ethylene oxide). Advances in Chitin Science 2(1997) : 561-566.

Zhao, W.; Yu, L.; Zhong, X.; Zhang, Y. and Sun, J. The Compatibility and Morphology of Chitosan-Poly(ethylene oxide) Blends. Journal of Macromolecular Science - Physics 34(1995) : 231-237.

ภาคผนวก ก

คำศัพท์ในวิทยานิพนธ์

Biocompatibility	ความสามารถเข้ากับเนื้อเยื่อร่างกาย
Biocompatible films	ฟิล์มที่สามารถเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อสิ่งร่างกาย
Biodegradation	การย่อยสลายทางชีวภาพ
Biopolymer	พอลิเมอร์ชีวภาพ
Casting method	วิธีการหล่อแบบ
Chitin	ไคติน
Chitosan	ไคโตแซน
Deacetylation	การกำจัดหมู่แอซิติล
Decomposition temperature	อุณหภูมิการสลายตัว
Degree of substitution (DS)	ดีกรีการแทนที่
Dehydration	การสูญเสียน้ำ
Deminerlization	การกำจัดแร่ธาตุ
Deproteination	การกำจัดโปรตีน
Electrolytes	อิเล็กโตไลท์
Elongation	การยืดตัว
Gel	เจล
Gel strength	ความแข็งแรงของเจล
Heat treatment	การอบด้วยความร้อน
Hydrolysis	การแยกสลายด้วยน้ำ
Interfacial region	บริเวณรอยต่อระหว่างผิว
MC	เมทิลเซลลูโลส
Morphology	สัณฐานวิทยา
Neutralization	การปรับสภาพให้เป็นกลาง
Nonionic polymer	พอลิเมอร์ไร้ประจุ
Phase seperation	การแยกเฟส
Polysaccharide	พอลิแซ็กคาไรด์
Primary amine	เอมีนที่ 1

Shear rate	อัตราการเฉือน
Solvent – evaporate casting technique	เทคนิคการหล่อโดยการระเหยของตัวทำละลาย
Swelling	การพองตัว
Tensile strength	ความทนแรงดึง
Untreated flims	ฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบด้วยความร้อน
Viscosity	ความหนืด
X-ray diffraction	การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบ

ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อัตราส่วนต่างๆ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 100/0

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.027	16.625	61.575	19.468
2	0.027	17.013	63.010	13.101
3	0.027	16.155	59.833	4.734
4	0.027	16.957	62.803	6.467
5	0.027	17.452	64.638	5.234
Total	0.135	84.202	311.859	49.004
Mean	0.027	16.840	62.372	9.801

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 90/10

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.031	14.635	47.210	8.601
2	0.031	14.502	46.781	6.767
3	0.031	14.924	48.142	9.901
4	0.030	14.219	47.396	8.534
5	0.030	14.501	48.337	6.434
Total	0.153	72.781	237.866	40.237
Mean	0.031	14.556	47.573	8.047

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 80/20

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.032	14.261	44.565	9.433
2	0.031	12.605	40.662	10.335
3	0.033	14.227	43.113	9.333
4	0.033	14.059	42.603	5.400
5	0.032	13.192	41.224	5.367
Total	0.161	68.344	212.167	39.868
Mean	0.032	13.669	42.433	7.974

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 70/30

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.033	12.476	37.806	8.234
2	0.034	12.341	36.296	6.567
3	0.037	13.110	35.433	7.068
4	0.033	12.015	36.410	7.534
5	0.033	12.384	37.526	5.834
Total	0.170	62.326	183.471	35.237
Mean	0.034	12.465	36.694	7.047

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 60/40

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.033	12.591	38.153	7.500
2	0.033	11.628	35.238	5.434
3	0.033	12.136	36.776	7.700
4	0.034	13.754	40.454	9.500
5	0.033	11.981	36.307	9.267
Total	0.166	62.090	186.928	39.401
Mean	0.033	12.418	37.386	7.880

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 50/50

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.033	12.700	38.485	8.901
2	0.033	11.613	35.192	5.500
3	0.032	12.000	37.501	7.067
4	0.032	12.040	37.625	7.001
5	0.032	12.416	38.801	8.334
Total	0.162	60.769	187.604	36.803
Mean	0.032	12.154	37.521	7.361

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 40/60

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.032	13.046	40.769	7.833
2	0.031	11.792	38.039	6.000
3	0.032	12.078	37.743	5.501
4	0.032	12.799	39.997	8.666
5	0.031	12.354	39.852	5.834
Total	0.158	62.069	196.400	33.834
Mean	0.032	12.414	39.280	6.767

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 30/70

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.032	13.479	42.122	7.067
2	0.032	12.337	38.554	7.167
3	0.032	13.248	41.400	5.934
4	0.030	11.389	37.965	5.667
5	0.031	12.512	40.360	6.100
Total	0.157	62.965	200.401	31.935
Mean	0.031	12.593	40.080	6.387

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 20/80

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.032	12.964	40.513	8.367
2	0.032	13.214	41.293	5.734
3	0.030	12.767	42.557	9.766
4	0.030	12.412	41.372	5.500
5	0.030	13.163	43.878	7.534
Total	0.154	64.520	209.613	36.901
Mean	0.031	12.904	41.923	7.380

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 10/90

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.032	14.007	43.772	9.068
2	0.030	13.566	45.219	8.634
3	0.034	16.421	48.298	8.200
4	0.030	13.730	45.768	10.101
5	0.034	15.478	45.523	8.834
Total	0.160	73.202	228.58	44.837
Mean	0.032	14.640	45.716	8.967

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 0/100

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.030	12.457	41.523	7.935
2	0.029	13.304	45.877	8.934
3	0.030	13.273	44.242	6.534
4	0.028	11.788	42.102	7.400
5	0.028	11.956	42.700	8.233
Total	0.145	62.778	216.444	39.036
Mean	0.029	12.556	43.289	7.807

ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงที่อัตราส่วนต่างๆ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 100/0

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.025	15.422	61.687	9.201
2	0.025	12.824	51.296	18.167
3	0.030	19.452	64.452	8.400
4	0.025	16.479	65.915	16.801
5	0.025	16.426	65.702	8.034
Total	0.130	80.603	309.052	60.603
Mean	0.026	16.121	61.810	12.121

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 90/10

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.041	18.794	45.838	5.467
2	0.040	19.135	47.838	5.134
3	0.038	18.470	48.606	6.801
4	0.041	18.885	46.060	8.835
5	0.038	18.956	49.885	10.334
Total	0.198	94.240	238.227	36.571
Mean	0.040	18.848	47.645	7.314

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 80/20

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.036	15.478	42.995	8.133
2	0.036	15.385	42.735	8.201
3	0.036	14.981	41.614	6.299
4	0.036	15.429	42.858	10.867
5	0.035	15.543	44.409	7.533
Total	0.179	76.816	214.611	41.033
Mean	0.036	15.363	42.922	8.207

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 70/30

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.039	19.406	49.760	8.601
2	0.040	18.296	45.740	11.533
3	0.040	18.883	47.208	10.501
4	0.040	18.637	46.594	11.667
5	0.040	19.222	48.054	10.033
Total	0.199	94.444	237.356	52.335
Mean	0.040	18.889	47.471	10.467

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 60/40

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.038	18.411	48.449	12.600
2	0.039	19.385	49.705	10.532
3	0.038	18.708	49.232	15.935
4	0.038	18.355	48.303	16.567
5	0.037	16.947	45.803	9.167
Total	0.190	91.806	241.492	64.801
Mean	0.038	18.361	48.298	12.960

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 50/50

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.037	18.357	49.612	15.967
2	0.038	18.563	48.849	16.367
3	0.037	17.028	46.022	14.900
4	0.038	18.151	47.765	9.601
5	0.037	18.134	49.012	17.034
Total	0.187	90.233	241.26	73.869
Mean	0.037	18.047	48.252	14.774

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 40/60

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.033	16.238	49.207	13.567
2	0.033	18.864	57.164	22.468
3	0.033	19.158	58.056	22.901
4	0.033	18.833	57.070	24.633
5	0.034	17.199	50.584	12.967
Total	0.166	90.292	272.081	96.536
Mean	0.033	18.058	54.416	19.307

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 30/70

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.035	19.874	56.782	23.433
2	0.034	18.374	54.040	18.334
3	0.033	19.441	58.912	20.667
4	0.035	19.856	56.731	23.234
5	0.036	19.145	53.180	23.067
Total	0.173	96.690	279.645	108.735
Mean	0.035	19.338	55.929	21.747

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 20/80

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.037	24.531	66.299	30.334
2	0.037	23.877	64.532	31.034
3	0.037	22.298	60.264	24.534
4	0.037	21.840	59.026	23.867
5	0.038	24.287	63.914	27.133
Total	0.186	116.833	314.035	136.902
Mean	0.037	23.367	62.807	27.380

ตารางที่ ก.21 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 10/90

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.038	22.089	58.128	24.233
2	0.037	21.629	58.458	22.966
3	0.036	22.566	62.684	23.267
4	0.037	22.414	60.580	24.901
5	0.037	22.922	61.951	26.868
Total	0.185	111.620	301.801	122.235
Mean	0.037	22.324	60.360	24.447

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 0/100

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.038	21.453	56.456	21.502
2	0.038	24.203	63.693	26.201
3	0.040	22.063	55.156	20.334
4	0.039	26.680	68.411	29.435
5	0.038	24.933	65.614	27.633
Total	0.193	119.332	309.33	125.105
Mean	0.039	23.866	61.866	25.021

ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อัตราส่วนต่างๆ ครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.23 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 100/0

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	%Strain at Break (%)
1	0.027	15.141	56.079	14.366
2	0.027	16.110	59.665	9.634
3	0.028	15.138	54.066	13.233
4	0.026	13.720	52.768	9.134
5	0.027	14.484	53.646	11.567
Total	0.135	74.593	276.224	57.934
Mean	0.027	14.919	55.245	11.587

ตารางที่ ก.24 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 90/10

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	%Strain at Break (%)
1	0.031	14.626	47.182	8.601
2	0.032	15.278	47.734	11.467
3	0.031	15.247	49.182	3.234
4	0.033	16.448	49.841	7.001
5	0.032	15.466	48.331	3.166
Total	0.159	77.065	242.27	33.469
Mean	0.032	15.413	48.454	6.694

ตารางที่ ก.25 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 80/20

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	%Strain at Break (%)
1	0.032	14.641	45.754	4.600
2	0.031	12.827	41.378	6.667
3	0.031	13.558	43.735	4.300
4	0.031	13.163	42.463	6.734
5	0.032	13.572	42.411	6.533
Total	0.157	67.761	215.741	28.834
Mean	0.031	13.552	43.148	5.767

ตารางที่ ก.26 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 70/30

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	%Strain at Break (%)
1	0.032	13.648	42.649	4.801
2	0.032	13.805	43.140	4.734
3	0.032	13.653	42.665	7.034
4	0.032	13.329	41.653	6.467
5	0.032	12.236	38.239	5.869
Total	0.16	66.671	208.346	28.905
Mean	0.032	13.334	41.669	5.781

ตารางที่ ก.27 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 60/40

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	%Strain at Break (%)
1	0.033	11.58	35.08	7.411
2	0.032	12.30	38.45	5.870
3	0.032	11.20	35.01	3.396
4	0.032	11.74	36.67	4.673
5	0.032	12.42	38.80	5.475
Total	0.161	59.24	184.01	26.825
Mean	0.032	11.848	36.802	5.365

ตารางที่ ก.28 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 50/50

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	%Strain at Break (%)
1	0.031	11.33	36.55	5.632
2	0.032	13.16	41.14	5.781
3	0.031	13.59	43.84	6.797
4	0.030	11.05	36.85	4.316
5	0.032	12.46	38.93	5.199
Total	0.156	61.59	197.31	27.725
Mean	0.031	12.318	39.462	5.545

ตารางที่ ก.29 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 40/60

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.028	11.98	42.79	7.589
2	0.031	11.08	35.76	4.255
3	0.032	12.91	40.33	4.949
4	0.032	13.36	41.76	7.017
5	0.031	13.38	43.16	4.989
Total	0.154	62.71	203.8	28.799
Mean	0.031	12.542	40.760	5.760

ตารางที่ ก.30 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 30/70

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.031	11.24	36.26	5.127
2	0.031	11.30	36.44	4.412
3	0.030	11.41	38.04	8.745
4	0.030	10.50	35.01	5.450
5	0.030	10.81	36.03	6.402
Total	0.152	55.26	181.78	30.136
Mean	0.030	11.052	36.356	6.027

ตารางที่ ก.31 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 20/80

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.031	12.28	39.62	4.857
2	0.032	11.00	34.36	5.111
3	0.031	10.70	34.51	7.105
4	0.030	10.48	34.94	5.302
5	0.030	10.62	35.41	7.152
Total	0.154	55.08	178.84	29.527
Mean	0.030	11.016	35.768	5.905

ตารางที่ ก.32 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 10/90

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.028	10.17	36.33	5.863
2	0.029	11.24	38.74	6.056
3	0.029	9.86	34.01	6.087
4	0.028	9.97	35.61	6.678
5	0.028	9.56	34.13	6.751
Total	0.142	50.80	178.82	31.435
Mean	0.028	10.160	35.764	6.287

ตารางที่ ก.33 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 0/100

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.029	10.49	36.18	5.670
2	0.029	10.46	36.06	5.662
3	0.028	10.96	39.13	7.326
4	0.028	10.77	38.48	7.699
5	0.029	11.14	38.43	6.182
Total	0.143	53.82	188.28	32.539
Mean	0.029	10.764	37.656	6.508

ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงที่อัตราส่วนต่างๆ ครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.34 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 100/0

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.028	15.60	55.72	10.810
2	0.026	13.60	52.32	11.070
3	0.032	18.29	57.15	12.130
4	0.026	15.17	58.35	11.490
5	0.028	14.78	52.77	10.290
Total	0.140	77.44	276.31	55.79
Mean	0.028	15.488	55.262	11.158

ตารางที่ ก.35 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 90/10

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.038	17.19	45.23	5.518
2	0.038	17.18	45.20	10.270
3	0.038	18.73	49.29	4.325
4	0.038	18.41	48.44	9.286
5	0.036	17.68	49.11	7.082
Total	0.188	89.19	237.27	36.481
Mean	0.038	17.838	47.454	7.296

ตารางที่ ก.36 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 80/20

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.038	18.79	49.45	11.190
2	0.038	18.49	48.67	10.990
3	0.038	18.68	49.15	6.295
4	0.039	18.55	47.55	10.160
5	0.038	17.43	45.86	8.228
Total	0.191	91.94	240.68	46.863
Mean	0.038	18.388	48.136	9.373

ตารางที่ ก.37 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 70/30

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.038	16.32	45.33	5.364
2	0.038	17.50	46.05	11.660
3	0.037	15.34	41.47	9.486
4	0.037	16.72	45.19	5.466
5	0.037	16.15	43.65	13.310
Total	0.187	82.03	221.69	45.286
Mean	0.037	16.406	44.338	9.057

ตารางที่ ก.38 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 60/40

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.039	19.66	50.42	14.540
2	0.039	17.71	45.42	8.476
3	0.039	21.02	53.90	16.440
4	0.039	18.65	47.82	9.601
5	0.039	18.56	47.58	10.150
Total	0.195	95.60	245.14	59.207
Mean	0.039	19.120	49.028	11.841

ตารางที่ ก.39 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 50/50

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.034	17.64	51.88	13.310
2	0.034	16.59	48.80	10.860
3	0.034	17.36	51.05	14.510
4	0.034	16.60	48.81	13.130
5	0.035	17.30	49.44	10.020
Total	0.171	85.49	249.98	61.83
Mean	0.034	17.098	49.996	12.366

ตารางที่ ก.40 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 40/60

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.036	19.01	52.80	11.700
2	0.034	19.79	58.20	18.710
3	0.034	18.10	53.25	16.780
4	0.036	18.81	52.26	8.409
5	0.037	20.29	54.83	12.970
Total	0.177	96.00	271.34	68.569
Mean	0.035	19.200	54.268	13.714

ตารางที่ ก.41 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 30/70

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.035	18.52	52.93	17.840
2	0.036	19.24	53.44	18.120
3	0.035	19.79	56.53	17.960
4	0.035	18.68	53.38	15.910
5	0.035	18.19	51.99	15.330
Total	0.176	94.42	268.27	85.16
Mean	0.035	18.884	53.654	17.032

ตารางที่ ก.42 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 20/80

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.036	19.77	54.93	16.04
2	0.038	18.84	49.57	14.23
3	0.036	19.01	52.81	17.54
4	0.036	18.51	51.42	15.81
5	0.037	19.69	53.20	15.18
Total	0.183	95.82	261.93	78.80
Mean	0.037	19.164	52.386	15.760

ตารางที่ ก.43 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 10/90

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.039	20.49	52.54	13.53
2	0.038	19.49	51.30	14.69
3	0.038	20.79	54.72	16.24
4	0.038	21.35	56.18	17.78
5	0.040	20.63	51.57	17.60
Total	0.193	102.75	266.31	79.84
Mean	0.039	20.550	53.262	15.968

ตารางที่ ก.44 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 0/100

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.042	23.63	56.27	22.56
2	0.040	21.16	52.89	23.91
3	0.039	18.43	47.25	19.95
4	0.039	18.76	48.11	23.37
5	0.040	19.55	48.88	21.85
Total	0.200	101.53	253.4	111.64
Mean	0.040	20.306	50.68	22.328

ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อัตราส่วนต่างๆ ครั้งที่ 3

ตารางที่ ก.45 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 100/0

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.026	15.54	59.76	20.480
2	0.028	16.11	57.52	19.360
3	0.026	13.06	50.24	19.030
4	0.026	16.59	63.82	12.910
5	0.024	15.82	65.91	19.730
Total	0.130	77.12	297.25	91.510
Mean	0.026	15.424	59.450	18.302

ตารางที่ ก.46 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 90/10

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.030	16.23	54.09	9.649
2	0.030	16.81	56.03	14.380
3	0.030	16.78	55.92	9.467
4	0.030	16.00	53.34	8.520
5	0.030	17.25	57.49	10.970
Total	0.150	83.07	276.87	52.986
Mean	0.03	16.614	55.374	10.597

ตารางที่ ก.47 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 80/20

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.032	17.86	55.83	7.170
2	0.032	17.49	54.66	8.109
3	0.033	18.96	57.46	4.412
4	0.032	17.43	54.47	5.210
5	0.032	18.74	58.56	6.630
Total	0.161	90.48	280.98	31.531
Mean	0.032	18.096	56.196	6.306

ตารางที่ ก.48 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 70/30

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.033	17.66	53.51	8.806
2	0.033	17.84	54.07	8.098
3	0.033	17.90	54.23	7.203
4	0.033	17.89	54.22	7.840
5	0.032	18.28	57.11	6.523
Total	0.164	89.57	273.14	38.47
Mean	0.033	17.914	54.628	7.694

ตารางที่ ก.49 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 60/40

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.030	14.33	47.78	4.470
2	0.030	14.57	48.56	6.557
3	0.030	13.04	43.47	6.339
4	0.030	13.66	45.54	7.471
5	0.030	14.55	48.49	5.015
Total	0.150	70.15	233.84	29.852
Mean	0.030	14.030	46.768	5.970

ตารางที่ ก.50 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 50/50

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.032	14.71	45.98	5.641
2	0.032	14.21	44.40	5.265
3	0.032	14.54	45.45	7.349
4	0.029	14.35	49.48	6.766
5	0.031	15.60	50.33	6.124
Total	0.156	73.41	235.64	31.145
Mean	0.031	14.682	47.128	6.229

ตารางที่ ก.51 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 40/60

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.030	13.40	44.66	4.946
2	0.030	15.13	50.43	4.687
3	0.029	13.46	46.41	5.590
4	0.031	14.26	46.01	5.616
5	0.030	14.68	48.94	5.875
Total	0.150	70.93	236.45	26.714
Mean	0.030	14.186	47.29	5.343

ตารางที่ ก.52 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 30/70

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.027	11.74	43.50	7.751
2	0.028	13.19	47.12	5.812
3	0.027	13.16	48.73	4.665
4	0.028	12.61	45.03	6.338
5	0.026	11.83	45.48	5.250
Total	0.136	62.53	229.86	29.816
Mean	0.027	12.506	45.972	5.963

ตารางที่ ก.53 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 20/80

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.028	12.34	44.07	8.090
2	0.029	12.82	44.22	5.031
3	0.029	12.83	44.24	6.003
4	0.028	13.09	46.75	8.520
5	0.028	13.05	46.60	5.324
Total	0.142	64.13	225.88	32.968
Mean	0.028	12.826	45.176	6.594

ตารางที่ ก.54 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 10/90

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.028	12.94	46.21	6.472
2	0.028	11.85	42.33	7.003
3	0.027	12.24	45.34	7.254
4	0.028	11.95	42.68	6.966
5	0.028	13.20	47.14	6.951
Total	0.139	62.18	223.70	34.646
Mean	0.028	12.436	44.74	6.929

ตารางที่ ก.55 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 0/100

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.028	13.04	46.57	9.134
2	0.028	12.89	46.02	6.653
3	0.029	13.18	45.46	6.917
4	0.028	12.98	46.34	8.041
5	0.028	13.23	47.24	7.357
Total	0.141	65.32	231.63	38.102
Mean	0.028	13.064	46.326	7.620

ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงที่อัตราส่วนต่างๆ ครั้งที่ 3

ตารางที่ ก.56 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 100/0

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.022	11.66	53.01	9.899
2	0.022	11.61	52.78	13.860
3	0.022	12.84	58.38	13.840
4	0.021	11.92	56.78	14.260
5	0.023	14.42	62.68	8.612
Total	0.110	62.45	283.63	60.471
Mean	0.022	12.490	56.726	12.094

ตารางที่ ก.57 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 90/10

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.035	17.13	48.94	4.100
2	0.034	15.91	46.79	6.523
3	0.035	15.75	45.01	3.965
4	0.034	16.59	48.80	3.940
5	0.034	15.32	45.05	6.017
Total	0.172	80.70	234.59	24.545
Mean	0.034	16.140	46.918	4.909

ตารางที่ ก.58 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 80/20

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.037	15.41	41.65	8.233
2	0.036	16.78	46.62	9.245
3	0.035	17.17	49.06	11.260
4	0.037	18.13	49.01	8.160
5	0.037	17.92	48.44	9.266
Total	0.182	85.41	234.78	46.164
Mean	0.036	17.082	46.956	9.233

ตารางที่ ก.59 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 70/30

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.035	16.07	45.91	9.302
2	0.035	16.50	47.14	11.100
3	0.035	15.67	44.78	10.850
4	0.034	15.47	45.50	10.310
5	0.034	16.35	48.10	10.540
Total	0.173	80.06	231.43	52.102
Mean	0.035	16.012	46.286	10.420

ตารางที่ ก.60 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 60/40

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.037	17.92	48.44	13.690
2	0.037	18.22	49.24	6.875
3	0.037	18.37	49.66	13.920
4	0.036	17.75	49.31	13.430
5	0.036	17.38	48.27	8.003
Total	0.183	89.64	244.92	55.918
Mean	0.037	17.928	48.984	11.184

ตารางที่ ก.61 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 50/50

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.037	19.54	52.80	10.14
2	0.036	17.12	47.57	10.18
3	0.035	17.85	51.00	13.49
4	0.036	19.38	53.84	16.23
5	0.036	18.29	50.82	10.94
Total	0.180	92.18	256.03	60.98
Mean	0.036	18.436	51.206	12.196

ตารางที่ ก.62 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 40/60

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.036	18.43	51.20	15.31
2	0.035	17.94	51.27	12.83
3	0.035	17.62	50.35	12.87
4	0.035	17.72	50.64	14.14
5	0.035	18.15	51.87	14.56
Total	0.176	89.86	255.33	69.71
Mean	0.035	17.972	51.066	13.942

ตารางที่ ก.63 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซน และเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 30/70

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.036	19.67	54.66	23.49
2	0.035	16.74	47.84	19.49
3	0.036	17.02	47.27	26.99
4	0.036	16.44	45.67	24.66
5	0.036	17.41	48.35	22.13
Total	0.179	87.28	243.79	116.76
Mean	0.036	17.456	48.758	23.352

ตารางที่ ก.64 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 20/80

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.036	18.61	51.68	13.84
2	0.037	20.63	55.76	20.36
3	0.037	19.07	51.54	15.72
4	0.037	19.69	53.23	16.31
5	0.039	20.11	51.56	15.55
Total	0.186	98.11	263.77	81.78
Mean	0.037	19.622	52.754	16.356

ตารางที่ ก.65 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 10/90

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.038	19.79	52.07	14.29
2	0.038	21.95	57.75	21.19
3	0.038	19.88	52.31	16.98
4	0.038	21.60	56.83	20.04
5	0.039	21.52	55.18	19.19
Total	0.191	104.74	274.14	91.69
Mean	0.038	20.948	54.828	18.338

ตารางที่ ก.66 ข้อมูลดิบความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 0/100

Specimens	Thickness (mm)	Load at Break (N)	Stress at Break (MPa)	Strain at Break (%)
1	0.039	18.89	48.44	25.88
2	0.040	22.41	56.03	24.79
3	0.040	20.58	51.46	19.47
4	0.039	21.71	55.66	19.30
5	0.039	22.28	57.12	20.85
Total	0.197	105.87	268.71	110.29
Mean	0.039	21.174	53.742	22.058

ตารางที่ ก.67 ค่าเฉลี่ยความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	ความทนแรงดึง			รวม	เฉลี่ย	การยืดตัว			รวม	เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
100 : 0	62.372	55.245	59.450	177.067	59.022	9.801	11.587	18.302	39.69	13.23
90 : 10	47.573	48.454	55.374	151.401	50.467	8.047	6.694	10.597	25.338	8.446
80 : 20	42.433	43.148	56.196	141.777	47.259	7.974	5.767	6.306	20.047	6.682
70 : 30	36.694	41.669	54.628	132.991	44.330	7.047	5.781	7.694	20.522	6.841
60 : 40	37.386	36.802	46.768	120.956	40.319	7.880	5.365	5.970	19.215	6.405
50 : 50	37.521	39.462	47.128	124.111	41.370	7.361	5.545	6.229	19.135	6.378
40 : 60	39.280	40.760	47.290	127.330	42.443	6.767	5.760	5.343	17.870	5.957
30 : 70	40.080	36.356	45.972	122.408	40.803	6.387	6.027	5.963	18.377	6.126
20 : 80	41.923	35.768	45.176	122.867	40.956	7.380	5.905	6.594	19.879	6.626
10 : 90	45.716	35.760	44.740	126.216	42.072	8.967	6.287	6.929	22.183	7.394
0 : 100	43.289	37.656	46.326	127.271	42.424	7.807	6.508	7.620	21.935	7.312

ตารางที่ ก.68 ค่าเฉลี่ยความทนแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	ความทนแรงดึง			รวม	เฉลี่ย	การยืดตัว			รวม	เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
100 : 0	61.810	55.262	56.726	173.798	57.933	12.121	11.158	12.094	35.373	11.791
90 : 10	47.645	47.454	46.918	142.017	47.339	7.314	7.296	4.909	19.519	6.506
80 : 20	42.922	48.136	46.956	138.014	46.005	8.207	9.373	9.233	26.813	8.938
70 : 30	47.471	44.338	46.286	138.095	46.032	10.467	9.057	10.420	29.944	9.981
60 : 40	48.298	49.080	48.984	146.362	48.770	12.960	11.841	11.184	35.985	11.995
50 : 50	48.252	49.996	51.206	149.454	49.818	14.774	12.366	12.196	39.336	13.112
40 : 60	54.416	54.268	51.066	159.75	53.250	19.307	13.714	13.942	46.963	15.654
30 : 70	55.929	53.654	48.758	158.341	52.780	21.747	17.032	23.352	62.131	20.710
20 : 80	62.807	52.386	52.754	167.947	55.982	27.380	15.760	16.356	59.496	19.832
10 : 90	60.360	53.262	54.828	168.450	56.150	24.447	15.968	18.338	58.753	19.584
0 : 100	61.866	50.680	53.742	166.288	55.429	25.021	22.328	22.058	69.407	23.136

ตารางที่ ก.69 ข้อมูลดิบการละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ก่อนปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	น้ำหนักก่อนทดสอบ (กรัม)			น้ำหนักหลังทดสอบ (กรัม)			การละลายน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
100 : 0	0.1565	0.1268	0.1424	0.1203	0.1022	0.1133	23.13	19.40	20.44	20.99
90 : 10	0.1606	0.1144	0.1227	0.1141	0.0915	0.0946	28.95	20.02	22.90	23.96
80 : 20	0.1344	0.1219	0.1298	0.1072	0.1001	0.0984	20.24	17.88	24.19	20.77
70 : 30	0.1300	0.1037	0.1115	0.0937	0.0813	0.0831	27.92	21.60	25.47	25.00
60 : 40	0.1475	0.1032	0.1153	0.0941	0.0782	0.0790	36.20	24.22	31.48	30.63
50 : 50	0.1133	0.1122	0.0992	0.0776	0.0846	0.0698	31.51	24.60	29.64	28.58
40 : 60	0.1107	0.0985	0.0942	0.0695	0.0713	0.0669	37.21	27.61	28.98	31.27
30 : 70	0.0919	0.1281	0.0784	0.0606	0.0760	0.0514	34.60	40.67	34.44	36.39
20 : 80	0.1029	0.1028	0.1161	0.0554	0.0527	0.0520	46.16	48.74	55.21	50.04
10 : 90	0.0881	0.0941	0.1065	0.0283	0.0252	0.0327	67.88	73.22	69.29	70.13
0 : 100	0.0910	0.1032	0.0982	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ก.70 ข้อมูลดิบการละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง ก่อนปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	น้ำหนักก่อนทดสอบ (กรัม)			น้ำหนักหลังทดสอบ (กรัม)			การละลายน้ำ (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
100 : 0	0.0219	0.1144	0.1225	0.1531	0.0985	0.1062	30.09	13.90	13.31	19.10
90 : 10	0.1400	0.1157	0.1131	0.1055	0.0986	0.1010	24.64	14.78	10.70	16.71
80 : 20	0.1362	0.1158	0.1094	0.1181	0.1012	0.0963	13.29	12.61	11.97	12.62
70 : 30	0.1408	0.1177	0.1167	0.1141	0.1025	0.1048	18.96	12.91	10.20	14.02
60 : 40	0.1356	0.1231	0.1069	0.1034	0.1068	0.0937	23.75	13.24	12.35	16.45
50 : 50	0.1105	0.1129	0.1239	0.0941	0.0995	0.1105	14.84	11.87	10.82	12.51
40 : 60	0.1193	0.1061	0.1054	0.1001	0.0922	0.0915	16.09	13.10	13.19	14.13
30 : 70	0.1085	0.1058	0.1071	0.0862	0.0850	0.0855	20.55	19.66	20.17	20.13
20 : 80	0.1123	0.1071	0.1088	0.0810	0.0765	0.0775	27.87	28.57	28.77	28.40
10 : 90	0.1085	0.1078	0.1032	0.0630	0.0607	0.0599	41.94	43.69	41.96	42.52
0 : 100	0.1144	0.1046	0.1056	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ก.71 ข้อมูลดิบการละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	น้ำหนักก่อนทดสอบ (กรัม)			น้ำหนักหลังทดสอบ (กรัม)			การละลายในเมทานอล (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
100 : 0	0.1355	0.1392	0.1067	0.1122	0.1165	0.0909	17.20	16.31	14.81	16.11
90 : 10	0.1307	0.1323	0.1206	0.1082	0.1107	0.1047	17.21	16.33	13.18	15.57
80 : 20	0.1094	0.1008	0.1225	0.0946	0.0892	0.1075	13.53	11.51	12.24	12.43
70 : 30	0.1207	0.1384	0.1227	0.1044	0.1206	0.1087	13.50	12.86	11.41	12.59
60 : 40	0.1073	0.1343	0.1076	0.0934	0.1187	0.0977	12.95	11.62	9.20	11.26
50 : 50	0.1054	0.0931	0.1134	0.0943	0.0870	0.1045	10.53	6.55	7.85	8.31
40 : 60	0.1092	0.1230	0.0944	0.0986	0.1130	0.0892	9.71	8.13	5.51	7.78
30 : 70	0.0955	0.1036	0.1371	0.0875	0.0967	0.1284	8.38	6.66	6.35	7.13
20 : 80	0.1037	0.1183	0.0975	0.0959	0.1109	0.0914	7.52	6.26	6.26	6.68
10 : 90	0.0953	0.0967	0.0965	0.0876	0.0900	0.0897	8.08	6.93	7.05	7.35
0 : 100	0.0914	0.0915	0.1075	0.0813	0.0823	0.0962	11.05	10.05	10.51	10.54

ตารางที่ ก.72 ข้อมูลดิบการละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูง

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	น้ำหนักก่อนทดสอบ (กรัม)			น้ำหนักหลังทดสอบ (กรัม)			การละลายในเมทานอล (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
100 : 0	0.1133	0.1604	0.1187	0.0974	0.1335	0.1014	14.03	16.77	14.57	15.12
90 : 10	0.1242	0.1366	0.1239	0.1085	0.1155	0.1077	12.64	15.45	13.08	13.72
80 : 20	0.1076	0.1201	0.1059	0.0980	0.1061	0.0944	8.92	11.66	10.86	10.48
70 : 30	0.1166	0.1207	0.1059	0.1054	0.1074	0.0963	9.61	11.02	9.07	9.90
60 : 40	0.1105	0.1149	0.1175	0.1019	0.1055	0.1085	7.78	8.18	7.66	7.87
50 : 50	0.1230	0.1101	0.1041	0.1134	0.1038	0.0993	7.80	5.72	4.61	6.04
40 : 60	0.1088	0.1087	0.1093	0.1057	0.1038	0.1049	2.85	4.51	4.03	3.80
30 : 70	0.1010	0.1142	0.1185	0.0992	0.1101	0.1140	1.78	3.59	3.80	3.06
20 : 80	0.1097	0.1157	0.1089	0.1088	0.1124	0.1061	0.82	2.85	2.57	2.08
10 : 90	0.1086	0.1117	0.1063	0.1081	0.1100	0.1043	0.46	1.52	1.88	1.29
0 : 100	0.1098	0.1067	0.1091	0.1087	0.1044	0.1060	1.00	2.16	2.84	2.00

ตารางที่ ก.73 ข้อมูลดิบการละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำภายหลังปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง

อัตราส่วนไคโตแซน/	น้ำหนักก่อนทดสอบ (กรัม)			น้ำหนักหลังทดสอบ (กรัม)			การละลายในน้ำ (%)			
เมทิลเซลลูโลส	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
100 : 0	0.1122	0.1165	0.0909	0.1120	0.1156	0.0899	0.18	0.77	1.10	0.68
90 : 10	0.1082	0.1107	0.1047	0.1072	0.1089	0.1024	0.92	1.63	2.20	1.58
80 : 20	0.0946	0.0892	0.1075	0.0929	0.0865	0.1034	1.80	3.03	3.81	2.88
70 : 30	0.1044	0.1206	0.1087	0.0999	0.1148	0.1017	4.31	4.81	6.44	5.19
60 : 40	0.0934	0.1187	0.0977	0.0867	0.1102	0.0883	7.17	7.16	9.62	7.98
50 : 50	0.0943	0.0870	0.1045	0.0846	0.0782	0.0912	10.29	10.11	12.73	11.04
40 : 60	0.0986	0.1130	0.0892	0.0836	0.0956	0.0737	15.21	15.40	17.38	16.00
30 : 70	0.0875	0.0967	0.1284	0.0690	0.0757	0.0965	21.14	21.72	24.84	22.57
20 : 80	0.0959	0.1109	0.0914	0.0646	0.0737	0.0546	32.64	33.54	40.26	35.48
10 : 90	0.0876	0.0900	0.0897	0.0383	0.0370	0.0315	56.30	58.89	60.50	58.56
0 : 100	0.0813	0.0823	0.0962	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ก.74 ข้อมูลดิบการละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงภายหลังปรับสภาพฟิล์มให้เป็นกลาง

อัตราส่วนไคโตแซน/	น้ำหนักก่อนทดสอบ (กรัม)			น้ำหนักหลังทดสอบ (กรัม)			การละลายในน้ำ (%)			
เมทิลเซลลูโลส	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
100 : 0	0.0974	0.1335	0.1014	0.0850	0.1325	0.1006	2.46	0.75	0.79	1.33
90 : 10	0.1085	0.1155	0.1077	0.1058	0.1149	0.1065	2.49	0.52	1.11	1.37
80 : 20	0.0980	0.1061	0.0944	0.0952	0.1053	0.0931	2.86	0.75	1.38	1.66
70 : 30	0.1054	0.1074	0.0963	0.1022	0.1064	0.0946	3.04	0.93	1.77	1.91
60 : 40	0.1019	0.1055	0.1085	0.0987	0.1043	0.1060	3.14	1.14	2.30	2.19
50 : 50	0.1134	0.1038	0.0993	0.1086	0.1013	0.0964	4.23	2.41	2.92	3.19
40 : 60	0.1057	0.1038	0.1049	0.0991	0.0993	0.0985	6.24	4.34	6.10	5.56
30 : 70	0.0992	0.1101	0.1140	0.0886	0.1003	0.1021	10.69	8.90	10.42	10.00
20 : 80	0.1088	0.1124	0.1061	0.0888	0.0916	0.0846	18.38	18.51	20.26	19.05
10 : 90	0.1081	0.1100	0.1043	0.0668	0.0671	0.0662	38.20	39.00	36.53	37.91
0 : 100	0.1087	0.1044	0.1060	0.0000	0.0000	0.0000	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ก.75 ข้อมูลความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ผ่านการอบความร้อนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	ความทนแรงดึง (MPa)			
	80°C , 2 hrs.	80°C , 4 hrs.	120°C , 2 hrs.	120°C , 4 hrs.
100/0	91.630	87.492	81.310	77.640
80/20	48.810	47.890	50.643	40.270
60/40	39.630	40.890	41.780	42.580
40/60	41.580	35.840	40.580	39.810
20/80	36.560	39.440	38.710	34.230
0/100	41.620	38.915	38.190	37.728

ตารางที่ ก.76 ข้อมูลความทนแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ผ่านการอบความร้อนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	ความทนแรงดึง (MPa)			
	80°C , 2 hrs.	80°C , 4 hrs.	120°C , 2 hrs.	120°C , 4 hrs.
100/0	91.630	87.492	81.310	77.640
80/20	45.680	51.530	46.135	51.770
60/40	51.636	49.960	49.952	52.774
40/60	48.170	41.610	45.310	48.020
20/80	49.590	45.760	53.890	50.900
0/100	51.492	45.740	51.474	50.740

ตารางที่ ก.77 ข้อมูลการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ผ่านการอบความร้อนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	การยืดตัว (%)			
	80°C , 2 hrs.	80°C , 4 hrs.	120°C , 2 hrs.	120°C , 4 hrs.
100/0	4.7454	4.6360	4.6300	4.6092
80/20	6.3845	6.3570	5.8670	7.8170
60/40	6.8336	7.3015	7.1538	6.7240
40/60	7.4224	7.6990	6.8476	7.7362
20/80	10.2700	9.4270	12.0700	9.2530
0/100	10.8100	10.8800	11.5980	11.0488

ตารางที่ ก.78 ข้อมูลการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส น้ำหนักโมเลกุลสูงที่ผ่านการอบความร้อนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	การยืดตัว (%)			
	80°C , 2 hrs.	80°C , 4 hrs.	120°C , 2 hrs.	120°C , 4 hrs.
100/0	4.7454	4.6360	4.6300	4.6092
80/20	6.6350	5.6434	8.5540	6.0726
60/40	10.5100	10.6514	11.7100	11.1700
40/60	18.8500	18.9940	18.6300	19.8200
20/80	22.3200	21.9700	22.3700	20.4800
0/100	25.5300	23.4000	27.1940	26.5020

ตารางที่ ก.79 ข้อมูลการละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ผ่านการอบความร้อนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	การละลายน้ำ (%)			
	80°C , 2 hrs.	80°C , 4 hrs.	120°C , 2 hrs.	120°C , 4 hrs.
100/0	14.2388	11.6000	10.1149	9.7322
80/20	14.9922	13.4028	10.2347	9.3548
60/40	18.9863	16.5612	15.3712	11.8095
40/60	26.8316	23.6258	21.6290	20.2147
20/80	47.1014	46.4361	41.7438	35.7529
0/100	100	100	100	100

ตารางที่ ก.80 ข้อมูลการละลายน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส น้ำหนักโมเลกุลสูงที่ผ่านการอบความร้อนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	การละลายน้ำ (%)			
	80°C , 2 hrs.	80°C , 4 hrs.	120°C , 2 hrs.	120°C , 4 hrs.
100/0	14.2388	11.6000	10.1149	9.7322
80/20	11.6641	11.4897	7.7911	7.5153
60/40	11.4428	10.4704	7.0319	5.7357
40/60	9.3162	8.6002	6.7813	5.5740
20/80	20.568	17.7448	17.1889	15.6627
0/100	100	100	100	100

ตารางที่ ก.81 ข้อมูลการละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ผ่านการอบความร้อนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	การละลายในเมทานอล (%)			
	80°C , 2 hrs.	80°C , 4 hrs.	120°C , 2 hrs.	120°C , 4 hrs.
100/0	13.2335	10.4762	9.6395	8.7218
80/20	8.4518	8.244	7.0313	6.6303
60/40	6.4982	5.7843	5.1724	4.0921
40/60	5.0621	4.4610	3.9506	2.7391
20/80	5.4313	5.3297	4.6489	4.4710
0/100	10.6838	10.5315	10.4621	9.7122

ตารางที่ ก.82 ข้อมูลการละลายในเมทานอลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ผ่านการอบความร้อนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	การละลายในเมทานอล (%)			
	80°C , 2 hrs.	80°C , 4 hrs.	120°C , 2 hrs.	120°C , 4 hrs.
100/0	13.2335	10.4762	9.6395	8.7218
80/20	8.4518	8.244	7.0313	6.6303
60/40	6.4982	5.7843	5.1724	4.0921
40/60	5.0621	4.4610	3.9506	2.7391
20/80	5.4313	5.3297	4.6489	4.4710
0/100	10.6838	10.5315	10.4621	9.7122

ตารางที่ ก.83 ข้อมูลการละลายน้ำภายหลังปรับสภาพให้เป็นกลางของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ผ่านการอบความร้อนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	การละลายน้ำ (%)			
	80°C , 2 hrs.	80°C , 4 hrs.	120°C , 2 hrs.	120°C , 4 hrs.
100/0	0.7979	0.4831	0.6938	0.4942
80/20	3.2680	3.0548	2.7731	2.3346
60/40	8.1165	7.9151	7.2727	7.2000
40/60	16.2978	16.4397	14.0531	13.7931
20/80	36.1486	36.4504	34.3361	34.9315
0/100	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000

ตารางที่ ก.84 ข้อมูลการละลายน้ำภายหลังปรับสภาพให้เป็นกลางของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลสน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ผ่านการอบความร้อนด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อัตราส่วนไคโตแซน/เมทิลเซลลูโลส	การละลายน้ำ (%)			
	80°C , 2 hrs.	80°C , 4 hrs.	120°C , 2 hrs.	120°C , 4 hrs.
100/0	0.7979	0.4831	0.6938	0.4942
80/20	0.5291	0.6616	0.1600	0.2540
60/40	0.9242	0.6284	0.8591	0.4938
40/60	3.2345	2.8871	2.7462	2.8546
20/80	16.7386	15.9789	12.7528	11.6300
0/100	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000

ประวัติผู้วิจัย

นาย สุกิจ ปัญญาชัยเสนะ เกิดเมื่อวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ.2513 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาพอลิเมอร์และเส้นใย ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2535 ก่อนเข้าศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา เคยทำงานอยู่ที่ บริษัท โปลิเมอร์ มาร์เก็ตติ้ง จำกัด ตำแหน่งพนักงานขาย และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2540 และสำเร็จหลักสูตรในเดือนเมษายน พ.ศ. 2543

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย