

การศึกษาสมบัติของไฮโดรเจลผสมระหว่าง
พอลิ-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตและสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก

STUDY ON PROPERTIES OF HYBRID HYDROGELS BETWEEN
POLY(2-HYDROXYETHYL METHACRYLATE) AND MUCILAGE OF
Ocimum canum Sims.

กมลริดา แซ่อ้อย
KUNTIDA SAE-UI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสมบัติของไฮโดรเจลผสมระหว่าง
พอลิ-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตและสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก

STUDY ON PROPERTIES OF HYBRID HYDROGELS BETWEEN
POLY(2-HYDROXYETHYL METHACRYLATE) AND MUCILAGE OF
Ocimum canum Sims.

กุลธิดา แซ่อู๋

KUNTIDA SAE-UI

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 74545
วัน,เดือน,ปี..... - 3 ต.ค. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

**STUDY ON PROPERTIES OF HYBRID HYDROGELS BETWEEN
POLY(2-HYDROXYETHYL METHACRYLATE) AND MUCILAGE OF**

Ocimum canum Sims.

KUNTIDA SAE-UI

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมบัติของไฮโดรเจลผสมระหว่างพอลิ-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตและสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก
นักศึกษา	นางสาวกุลธิดา แซ่อู่
รหัสประจำตัว	48067908
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมผงสารเมือกแห้งจากเมล็ดแมงลักและเตรียมไฮโดรเจลจาก Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ผสมกับสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก เนื่องจากสารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีสมบัติการดูดซับน้ำได้ดี จึงเหมาะที่จะนำมาพัฒนาและเตรียมเป็นไฮโดรเจล โดยศึกษาปริมาณของสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ปริมาณสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) ปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ผลของอุณหภูมิในขณะที่ทำการผสมที่มีต่อพฤติกรรมการพองตัวและสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจล

ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของปฏิกิริยาไม่มีผลต่อการเกิดพันธะเชื่อมโยงในสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก แต่มีผลกระทบต่อการศึกษา Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) โดยที่อุณหภูมิสูงเกิดพอลิเมอร์ได้มากเมื่อสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยามีน้อย ผลจากการตรวจวิเคราะห์ด้วย FTIR, TGA, SEM พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ผลการทดลองแสดงว่า สารเมือกจากเมล็ดแมงลักสามารถนำมาทำเป็นฟิล์มไฮโดรเจลที่มีความสามารถดูดซับน้ำได้ โดยใช้สารเชื่อมโยง N,N'-Methylenebisacrylamide แต่สมบัติเชิงกลไม่ดี การใช้ 2-Hydroxyethyl methacrylate จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลให้มีความทนต่อแรงดึงและยืดได้ แต่ทำให้สมบัติการดูดซับน้ำของฟิล์มสารเมือกจากเมล็ดแมงลักลดลง ฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ลดสารเชื่อมโยงลง ให้สมบัติคล้ายขาง คือออกแรงดึงน้อย ยืดได้มาก ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาลง ให้สมบัติแข็งแรงแต่ยังยืดได้ดี นอกจากนี้ฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักกับสารเชื่อมโยงให้สมบัติแข็งแรง

Thesis Title	Study on Properties of Hybrid Hydrogels between Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) and Mucilage of <i>Ocimum canum Sims</i> .
Student	Miss. Kuntida Sae-Ui
Student ID	48067908
Degree	Master of Science
Program	Polymer Technology
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Malinee Chaisupakitsin

ABSTRACT

This research focus on the preparation of dried mucilage from *Ocimum canum Sims* and preparation of hydrogels from the mixture of Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) and mucilage of *Ocimum canum Sims*. Due to the mucilage of *Ocimum canum Sims* has a good swelling behavior so it is suitable for development and preparation of hydrogels. This research focuses on the amount of mucilage of *Ocimum canum Sims*, crosslinking agent, initiator and reaction temperature which affected on swelling and mechanical behavior of hydrogels.

The experimental results showed that reaction of temperature has no effect on the crosslinking reaction of mucilage gel but revealed the impact on polymerization of 2-Hydroxyethyl methacrylate. At high temperature, polymerization preferred to take place when the amount of initiator and crosslinking agent decreased. The results from FTIR, TGA, and SEM analysis indicated that there were no different results due to temperature of the reaction. The experimental results suggested that water absorption of film hydrogels could be prepared from mucilage gel by using N,N'-Methylenebisacrylamide as a crosslinking agent but it indicated low mechanical property. Adding 2-Hydroxyethyl methacrylate into mucilage gel would improved mechanical properties of hydrogels film especially tensile strength and elongation at break but decreased the water absorption of hydrogels film. Hydrogels film from mixture of 3 % mucilage gel and 2-Hydroxyethyl methacrylate revealed elastic property, low tensile strength but high elongation, when reduced the amount of crosslinking agent. On the other side, hydrogels film was hard but it was better elongation when reduced the amount of initiator. Moreover, hydrogels film of 3 % mucilage gel with crosslinking agent was prepared for rigid and brittle property.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารกร รศ.ดร. สมศักดิ์ วรรณมงคลชัย และ ดร.ปรารธนา คิ้วสุวรรณ และคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณสุพจน์ ศิวาคม คุณรจนา จำกัด และ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ ที่คอยอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประคิษฐ์ และ คุณสุุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ ที่คอยอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณกัญญา มงคลโกชน์ และ คุณสุภัทร บานเย็น เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง TGA และ FTIR

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ชาย พี่สาว และเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นๆที่ช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำมิได้กล่าวถึงอีกมากมาย ทางผู้เขียนขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

กุลธิดา แซ่อู่ย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ไฮโดรเจล.....	3
2.2 แมงลัก.....	9
2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	10
2.2.2 สารประกอบทางเคมี.....	11
2.2.3 สรรพคุณทางยา.....	11
2.2.4 สารเมือก.....	12
2.3 แป้ง.....	13
2.3.1 โครงสร้างของแป้ง.....	13
2.3.2 สมบัติของแป้ง.....	14
2.4 2-Hydroxyethylmethacrylate.....	15
2.4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมี.....	15
2.4.2 อันตรกิริยาระหว่างไฮโดรเจลและแมงลัก.....	16
2.4.3 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา.....	16
2.4.4 การเกิดอวกาศกักเก็บและการระเบิด.....	16
2.4.5 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง.....	16
2.4.6 การกำจัดกรณีรั่วไหล.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.7 Poly (2-hydroxyethyl) methacrylate.....	17
2.5 ตัวริเริ่มปฏิกิริยา.....	17
2.5.1 Sodium Metabisulphite.....	19
2.5.2 Ammonium Persulphate.....	20
2.5.3 N,N'-Methylenebisacrylamide.....	21
2.6 พอลิเมอร์ผสม.....	22
2.6.1 กลไกในการเกิดปฏิกิริยาในการผสม.....	24
2.6.2 ความสามารถในการละลายเข้ากันได้และความสามารถ ในการผสมเข้ากันได้.....	25
2.6.3 เคมีของพอลิเมอร์ผสม.....	25
2.6.4 สมบัติโดยทั่วไป.....	27
2.7 กระบวนการหล่อขึ้นรูป.....	31
2.7.1 การหล่อพอลิเอสเทอร์.....	32
2.7.2 แม่พิมพ์ของการหล่อพอลิเอสเทอร์.....	32
2.8 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน.....	36
3.1 วัสดุและสารที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	37
3.3.1 เตรียมผงสารเมือกแห้งจากเม็ดแมงลัก.....	37
3.3.2 เตรียม Poly(2-hydroxyethyl methacrylate).....	39
3.3.3 เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลัก กับไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต.....	40
3.3.4 การเตรียมฟิล์มจากสารเมือกเมล็ดแมงลัก.....	41
3.3.5 การเตรียมสารเมือกจากเม็ดแมงลักผสมพอลิเมอร์.....	42
3.4 การทดสอบสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจล.....	45
3.4.1 การตรวจหาหมู่ฟังก์ชัน.....	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 การทดสอบเชิงกล.....	45
3.4.3 การทดสอบอัตราการดูดซับน้ำ.....	46
3.4.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	47
3.4.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา.....	47
3.5 สรุปแผนผังการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล.....	48
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	49
4.1 ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	50
4.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วย FTIR.....	50
4.1.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจล.....	57
4.1.3 ผลทดสอบการดูดซับน้ำ.....	61
4.1.4 เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจล.....	63
4.1.5 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและหาค่าประกอบด้วยเครื่อง TGA.....	64
4.1.6 สมบัติทางสัณฐานวิทยา.....	76
4.2 ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	81
4.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วย FTIR.....	82
4.2.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจล.....	89
4.2.3 ผลทดสอบการดูดซับน้ำ.....	91
4.2.4 เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจล.....	93
4.2.5 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและหาค่าประกอบด้วยเครื่อง TGA.....	94
4.2.6 สมบัติทางสัณฐานวิทยา.....	105
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	110
เอกสารอ้างอิง.....	114
ภาคผนวก.....	117
ภาคผนวก ก.....	118
ภาคผนวก ข.....	126

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก.....	136
ภาคผนวก ง.....	138
ภาคผนวก จ.....	143
ภาคผนวก ฉ.....	144
ประวัติผู้เขียน.....	145

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างไฮโดรเจลที่ใช้ในทางการแพทย์.....	7
2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสารเมือกแมงลัก.....	12
3.1 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ที่ไม่มีมอนอเมอร์.....	41
3.2 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์กับสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก.....	42
3.3 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์กับสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ที่มีการลดปริมาณสารเชื่อมโยง.....	43
3.4 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์กับสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ที่มีการลดปริมาณตัวริเริ่ม.....	44
4.1 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	65
4.2 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	94
5.1 แสดงสมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจลที่สกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C และ 28-30 °C.....	111
ฉ.1 แสดงค่าความหนืดของสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่สภาวะต่างๆ.....	144
ฉ.2 แสดงค่าความหนืดของฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่สภาวะต่างๆ.....	144

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างของไฮโดรเจล.....	3
2.2 แสดงการบวมน้ำของ Physical Hydrogel.....	4
2.3 แสดงโครงสร้างและการบวมตัวของไฮโดรเจล.....	4
2.4 แสดงลักษณะของน้ำที่อยู่ในไฮโดรเจล.....	5
2.5 แสดงไฮโดรเจลขณะแห้งและไฮโดรเจลที่เกิดการพองตัวในน้ำ.....	6
2.6 แสดงรูพรุนที่เกิดขึ้นของไฮโดรเจลด้วย SEM.....	6
2.7 แสดงโครงสร้างของ dextran.....	9
2.8 แสดงการเกิด dextran hydrogel.....	9
2.9 แสดงต้นแมงลัก.....	9
2.10 แสดงโครงสร้างของกรดกลูโรนิก.....	10
2.11 แสดงโครงสร้างของกรดแมนนูโรนิก.....	11
2.12 แสดงโครงสร้างของอัลฟา-อะไมเลส.....	13
2.13 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพคติน.....	14
2.14 แสดงโครงสร้างของ 2-Hydroxyethyl methacrylate.....	15
2.15 แสดงการสังเคราะห์ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate).....	17
2.16 แสดงโครงสร้างของ Sodium Metabisulphite.....	19
2.17 แสดงโครงสร้างของ Ammonium Persulphate.....	20
2.18 แสดงโครงสร้างของ N,N'-Methylenebisacrylamide.....	21
2.19 แสดงการเกิดการริเริ่มแบบรีดอกซ์.....	22
2.20 แสดงการผสมเข้ากันได้แบบกึ่งหนึ่ง.....	28
2.21 ความไม่สามารถผสมเข้ากันได้.....	29
2.22 ระบบร่วมผสม.....	30
3.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมผงสารเมือกแห้งจากเมล็ดแมงลัก.....	37
3.2 แสดงเมล็ดแมงลัก.....	38
3.3 แสดงสารเมือกแห้งจากเมล็ดแมงลักที่เตรียมได้.....	38
3.4 แสดงขั้นตอนการเตรียม Poly(2-hydroxyethyl methacrylate).....	39
3.5 แสดงแผนผังขั้นตอนการทดลอง.....	40
3.6 แสดงการปั่นกวนขณะเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล.....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 แสดงขนาดชิ้นงานที่ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกล.....	45
3.8 แสดงการสกัดฟิล์มไฮโดรเจลด้วยเมทานอล.....	46
3.9 แสดงการระเหยเมทานอลที่ได้จากการสกัดฟิล์มไฮโดรเจล.....	47
3.10 แสดงสรุปแผนผังการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล.....	48
4.1 แสดง IR spectrum ของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก.....	50
4.2 แสดง IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	50
4.3 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	52
4.4 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	53
4.5 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	54
4.6 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	55
4.7 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C.....	57
4.8 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C.....	57
4.9 แสดงภาพจำลองปฏิกิริยาการเกิดพันธะเชื่อมโยงของฟิล์มไฮโดรเจล สารเมือกจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์.....	58
4.10 แสดงภาพจำลองการเกิดฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate).....	59
4.11 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมงของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัด ด้วยน้ำและเมทานอลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	61
4.12 กราฟเปรียบเทียบ % ค่าสัดส่วนเจล ของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ และเมทานอล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C.....	63
4.13 แสดงสมบัติทางความร้อนของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจล สารเมือกจากเม็ดแมงลักก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	67
4.15 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	70
4.16 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อม โยงก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	72
4.17 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	74
4.18 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐานที่ไม่มีมีนอนเมอร์ (B) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	76
4.19 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (F) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	77
4.20 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ที่ลดปริมาณสารเชื่อม โยง (K) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	78
4.21 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา (P) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	79
4.22 แสดง IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อม โยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	82
4.23 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมีนอนเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	84

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	85
4.25 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	86
4.26 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	87
4.27 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	89
4.28 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	89
4.29 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมงของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ และเมทานอลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	91
4.30 กราฟเปรียบเทียบ % ค่าสัดส่วนเจล ของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ และเมทานอล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	93
4.31 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจล สารเมือกจากเม็ดแมงลักก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	96
4.32 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	99
4.33 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อม โยงก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	101
4.34 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	103
4.35 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐานที่ไม่มีมอนอเมอร์ (B) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	105

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (F) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	106
4.37 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง (K) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	107
4.38 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา (P) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	108
ข.1 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล.....	126
ข.2 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล.....	127
ข.3 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล.....	128
ข.4 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล.....	129
ข.5 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล.....	130
ข.6 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล.....	131
ข.7 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล.....	132
ข.8 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล.....	133
ข.9 แสดง IR spectrum ของ N,N'-Methylenebisacrylamide (BIS).....	134
ข.10 แสดง IR spectrum ของ Sodium Metabisulphite (SMB).....	134
ข.11 แสดง IR spectrum ของ Ammonium Persulfate (APS).....	135

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.1 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C.....	136
ค.2 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C.....	136
ค.3 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C.....	137
ค.4 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C.....	137
ง.1 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจล สารเมือกจากเมล็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	138
ง.2 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม สูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	139
ง.3 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อม โยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	139
ง.4 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	140
ง.5 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจล สารเมือกจากเมล็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	140
ง.6 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม สูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	141
ง.7 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อม โยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	141
ง.8 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	142
จ.1 แสดงสมบัติทางความร้อนของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อม โยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C.....	143
จ.2 แสดงสมบัติทางความร้อนของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อม โยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C.....	143

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไฮโดรเจล คือ พอลิเมอร์ที่ดูดซับน้ำซึ่งมีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติหรือ โครงสร้างร่างแหซึ่งแบ่งออกเป็น

- Physical hydrogel คือ ไฮโดรเจลที่มีโครงสร้างเป็น โครงร่างตาข่าย 3 มิติ ซึ่งแต่ละสายโซ่มีการเชื่อมโยงกันด้วยพันธะไฮโดรเจลอ่อนๆหรือแรงทางไฟฟ้าสถิตย์
- Chemical hydrogel คือ ไฮโดรเจลที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ซึ่งแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกันด้วยพันธะโควาเลนต์ที่มีความแข็งแรง

จัดว่าเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญและได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีสมบัติการดูดซับน้ำได้ถึง 90% หรือมากกว่านี้ และสามารถดูดซับไอออนได้ โดยสมบัติเชิงกลและรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งสมบัติดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับอวัยวะบางอย่างในร่างกายคน เช่น กล้ามเนื้อ เอ็น ลำไส้เล็ก นอกจากนี้ไฮโดรเจลยังเข้าได้ดีกับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง เนื้อเยื่อ จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ทำคอนแทกเลนส์ วัสดุตกแต่งบาดแผลจากไฟไหม้ (burn wound dressing) ตลอดจนใช้เคลือบวัสดุที่ต้องนำมาใช้สัมผัสกับร่างกาย เช่น ใช้เคลือบอวัยวะเทียมที่ใช้ในร่างกาย แผ่นระบายความร้อน เป็นต้น การศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับวัสดุไฮโดรเจล เพื่อให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางไม่เพียงแต่เป็นวัสดุที่ใช้ในการดูดซับน้ำเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ การเกษตรซึ่งจะช่วยปรับปรุงสภาพดินที่แห้งแล้งให้ชุ่มชื้นขึ้นได้ ทั้งยังย่อยสลายทางชีวภาพได้ในดินไม่มีของเสียเกิดขึ้น ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อลดปัญหาล้างแฉะดิน ตลอดจนด้านอุตสาหกรรม จึงสามารถนำไฮโดรเจลมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย

ในงานวิจัยนี้ได้นำผงที่ได้จากสารเมือกเม็ดแมงลักมาเป็นองค์ประกอบใน Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) เนื่องจากสารเมือกเม็ดแมงลักมีสมบัติการดูดซับน้ำได้คือสามารถพองตัวได้ 45 เท่า หาได้ง่าย มีราคาถูก จึงเหมาะที่จะนำมาปรับปรุงเป็นไฮโดรเจลเพื่อเพิ่มมูลค่าของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก แต่เนื่องจากฟิล์มของสารเมือกจากเม็ดแมงลักดังกล่าว เมื่อคูดน้ำแล้วจะละลายน้ำเร็วเกินไป จึงลองนำมาปรับปรุงด้วยมอนอเมอร์ 2-hydroxyethyl methacrylate เพื่อให้ได้ฟิล์มไฮโดรเจลแข็งแรงพอที่จะนำไปใช้งาน ทั้งในด้านการเกษตร ทางทางการแพทย์และอื่นๆ ช่วยลดต้นทุนการผลิตและมีโอกาสแข่งขันกับพอลิเมอร์สังเคราะห์จากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งครอบครองตลาดอยู่ในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการเตรียมผงสารเมือกแห้งจากเม็ดแมงลัก
2. เพื่อศึกษาการผลิตฟิล์มไฮโดรเจลจากผงสารเมือกแห้ง ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีโดยผสมกับมอนอเมอร์ 2-Hydroxyethyl methacrylate
3. เพื่อศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยง และตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่มีต่อสมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผลิตได้
4. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิขณะผสมที่มีต่อสมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจลทุกสภาวะ
5. เพื่อศึกษาอิทธิพลของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มีต่อการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล
6. เพื่อศึกษาบทบาทของ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่มีต่อฟิล์มผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

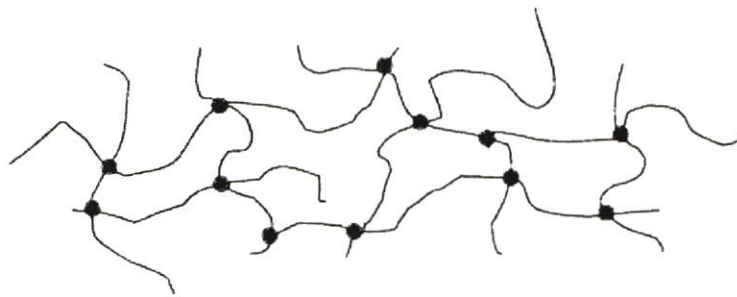
1. เตรียมผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก
2. ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เตรียมในสภาวะต่างๆ
3. ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่เตรียมในสภาวะต่างๆ
4. ศึกษาผลของปริมาณผงสารเมือกจากเม็ดแมงลักเมื่อผสมกับ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิขณะผสมที่อุณหภูมิ 50-60 °C กับที่อุณหภูมิ 28-30°C
5. ศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยา ที่มีต่อสมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก และฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฮโดรเจล (Hydrogel) [1], [2]

ไฮโดรเจลเป็นพอลิเมอร์โครงสร้างร่างแหที่ละลายน้ำได้ บางครั้งเรียกว่า colloidal gel ซึ่งน้ำสามารถแพร่กระจายได้ในระดับปานกลาง ไฮโดรเจลเป็น superabsorbent ได้จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์คือ สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่า 99%



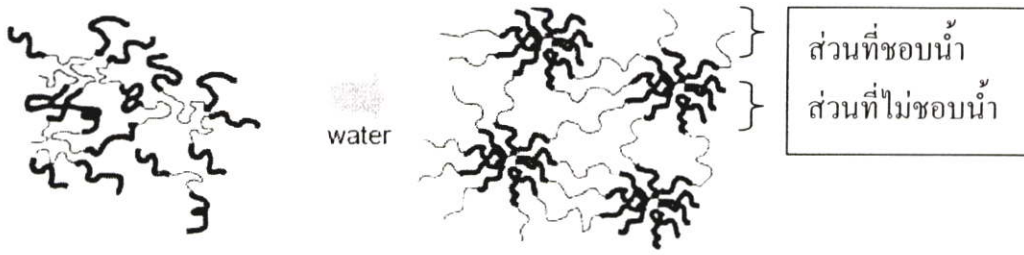
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของไฮโดรเจล [2]

การนำไปใช้งาน

- ใช้เป็นผ้าอ้อมเด็กที่ใช้แล้วทิ้งซึ่งจะดูดซับปัสสาวะหรือฝอานามัย
- คอนแทคเลนส์ (ซิลิโคน ไฮโดรเจล, พอลิอะคริลาไมด์)
- เสริมหน้าอก
- ใช้โรยในดินให้ความชุ่มชื้นกับดินที่แห้งแล้ง
- ผ้าปิดแผล
- บรรจุยาที่ต้องการให้ปลดปล่อยตามระยะเวลา

ตัวอย่างพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ใช้ทำไฮโดรเจล ได้แก่ polyvinyl alcohol, sodium polyacrylate, acrylate polymers และ copolymers ที่มีหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) มากๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น

- Physical hydrogel คือ ไฮโดรเจลที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างคาง่าย 3 มิติ ซึ่งแต่ละสายโซ่มีการเชื่อมโยงกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอ่อนๆหรือแรงทางไฟฟ้าสถิต

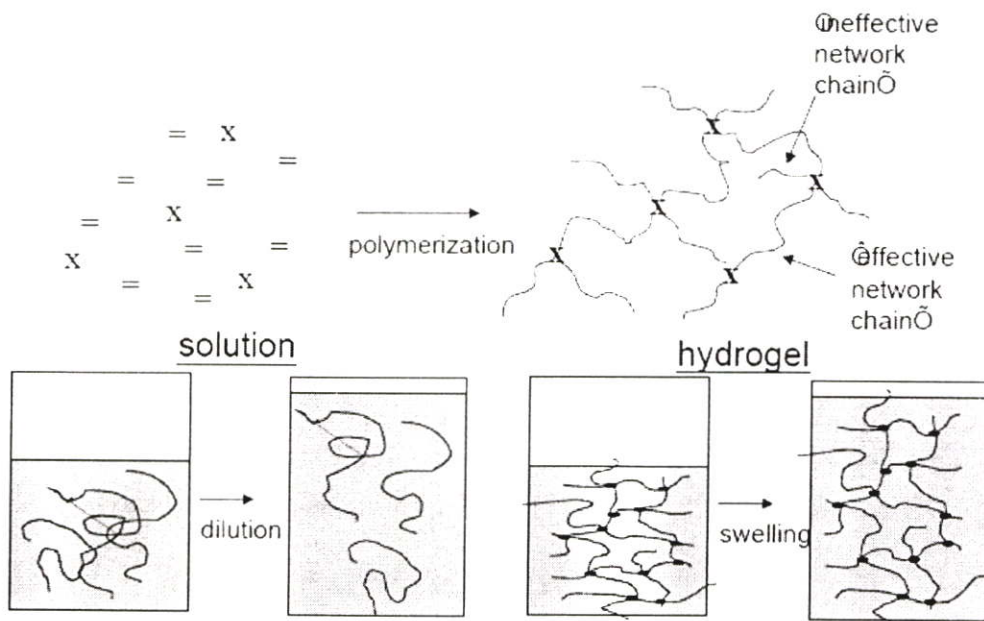


รูปที่ 2.2 แสดงการบวมตัวของ Physical Hydrogel [2]

ส่วนที่ชอบน้ำ เช่น Poly(ethylene glycol) (PEG)

ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ เช่น Poly(propylene oxide) (PPO), Poly(butylene oxide) (PBO)

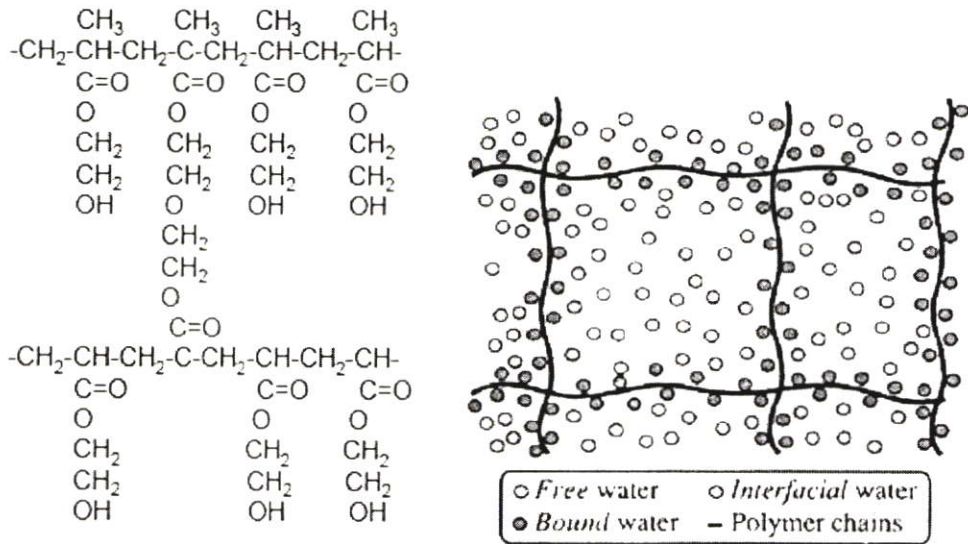
- Chemical hydrogel คือ ไฮโดรเจลที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ซึ่งแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกันด้วยพันธะโควาเลนต์ที่มีความแข็งแรง



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างและการบวมตัวของไฮโดรเจล [2]

โครงร่างตาข่าย 3 มิติ เกิดจากการเกี่ยวพันกันของมอนอเมอร์ในสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำและมีพันธะเชื่อมโยงอยู่ด้วย ตัวอย่างสารก่อพันธะเชื่อมโยงเช่น bisacrylamide โครงร่างตาข่าย 3 มิติส่วนที่ชอบน้ำของไวน์มอนอเมอร์ เช่น hydroxyethyl methacrylate, poly(ethylene glycol) methacrylate, acrylic acid, acrylamide, N-isopropylacrylamide รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างและการบวมตัวของไฮโดรเจล โดยที่ X คือสารก่อพันธะเชื่อมโยง และ = คือมอนอเมอร์เกิดพอลิเมอร์ได้เป็นไฮโดรเจล ในงานวิจัยนี้ใช้ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ซึ่งเป็นหนึ่งในไฮโดรเจลที่ใช้ในทางการแพทย์คือใช้ทำคอนแทคเลนส์

PEGDMA-co-PHEMA

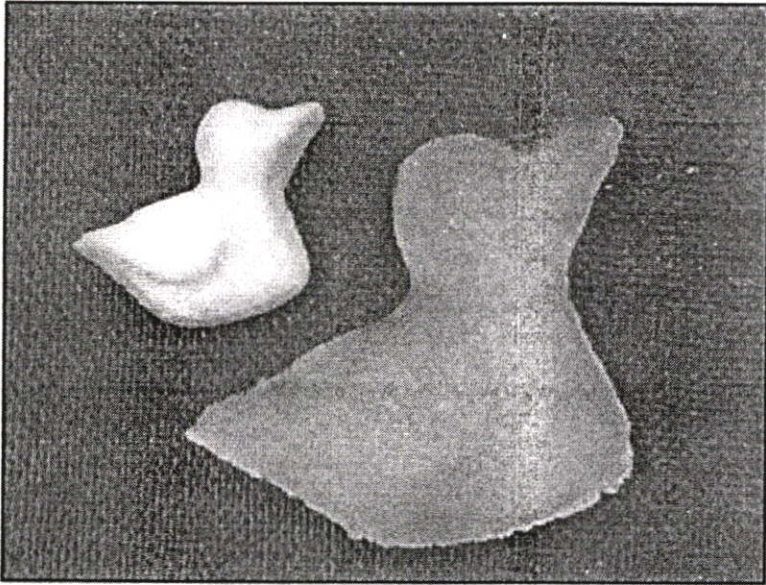


รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของน้ำที่อยู่ในไฮโดรเจล [2]

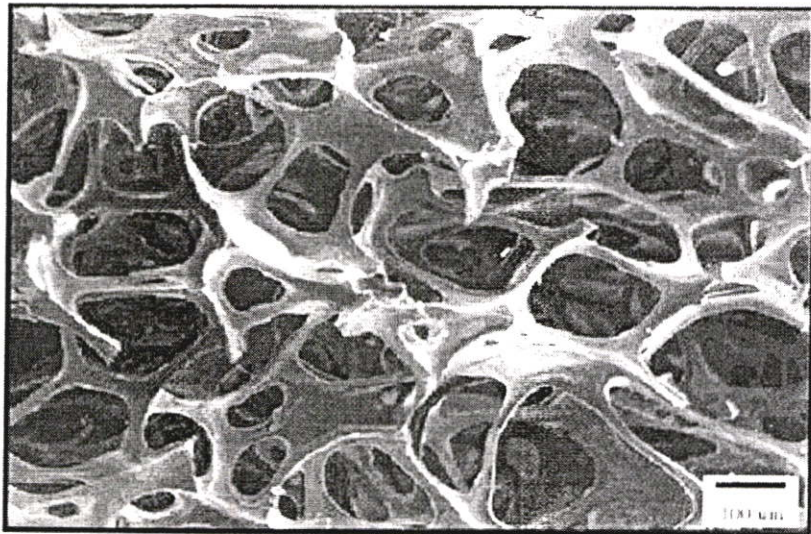
เมื่อไฮโดรเจลเกิดการบวมตัวในน้ำจะมีลักษณะของน้ำที่อยู่ในไฮโดรเจล 3 แบบคือ

1. Free water คือน้ำที่อยู่บริเวณผิวนอกของไฮโดรเจล
2. Interfacial water คือน้ำที่แทรกอยู่ในโมเลกุลของไฮโดรเจล
3. Bound water คือน้ำที่ติดคู่กับไฮโดรเจลด้วยพันธะไฮโดรเจน

ใน chemical hydrogel เป็นพอลิเมอร์ดูดซับน้ำซึ่งมีพันธะโคเวเลนต์เป็นพันธะเชื่อมโยงในโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ไฮโดรเจลเป็นโมเลกุลที่ไม่จำกัดเรื่องขนาด ดังนั้น ไฮโดรเจลบางครั้งจึงเรียก Supermacromolecules คุณสมบัติของไฮโดรเจลคือสามารถคงรูปทรงได้หลังจากเกิดการพองตัวแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.5 แสดงไฮโดรเจลที่แห้งและไฮโดรเจลที่เกิดการพองตัวแล้วคือ รูปทรงยังเหมือนเดิมแต่ขนาดใหญ่ขึ้น รูปที่ 2.6 แสดงรูพรุนที่เกิดขึ้นของไฮโดรเจลด้วย SEM (Scanning electron microscopy) ไฮโดรเจลที่มีอัตราการดูดซับน้ำช้าๆ นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการปลดปล่อยยา ในขณะที่งานหลายๆประเภทต้องการไฮโดรเจลที่มีการดูดซับน้ำที่เร็ว การดูดซับน้ำที่เร็วต้องทำให้อนุภาคของไฮโดรเจลมีขนาดเล็กและเกิดการกระจายตัวที่ดีของอนุภาคไฮโดรเจลในระดับไมโครทำให้การดูดซับน้ำเร็วในระดับนาที่



รูปที่ 2.5 แสดงไฮโดรเจลขณะแห้ง (ซ้าย) และไฮโดรเจลที่เกิดการพองตัวในน้ำ (ขวา) [1]



รูปที่ 2.6 แสดงรูพรุนที่เกิดขึ้นของไฮโดรเจลด้วย SEM [1]

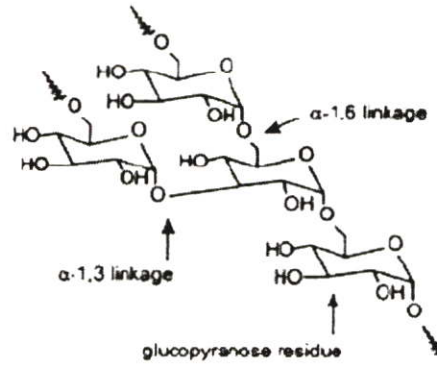
ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างไฮโดรเจลที่ใช้ในทางการแพทย์ [2]

Hydrogel polymer	Medical application
Poly(vinyl alcohol) (PVA) Polyacrylamide (PAAm) Poly(N-vinyl pyrrolidone) (PNVP) Poly(hydroxyethyl methacrylate) (PHEMA) Poly(ethylene oxide) (PEO) Poly(ethylene glycol) (PEG) Poly(ethylene glycol) monomethyl ether (PEGME) Cellulose	Blood-Compatible Hydrogel
Poly(hydroxyethyl methacrylate) (PHEMA) copolymerized with: NVP Methacrylic acid (MAA) Butyl methacrylate (BMA) Methyl methacrylate (MMA) 3-methyl-2-hydroxypropylmethacrylate (MHPM)	Contact Lenses
PHEMA/Poly(ethylene terephthalate) (PTFE) Cellulose acetate PVA and cellulose acetate PNVP, PHEMA, cellulose acetate PVA and PHEMA Terpolymers of HEMA, MMA and NVP PHEMA, P(HEMA-co-MMA) PVA P(HEMA-b-siloxane) PVA, poly(acrylic acid) (PAA), poly(glyceryl methacrylate)	Artificial Tendons Other Medical Application Artificial kidney Membranes for plasmapheresis Artificial liver Artificial skin Mammoplasty Maxillofacial reconstruction Vocal cord reconstruction Sexual organ reconstruction Ophthalmic applications

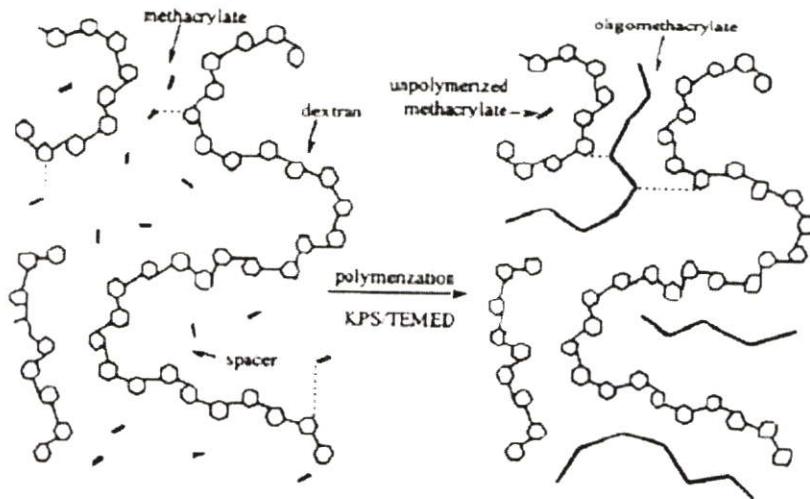
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

Hydrogel polymer	Medical application
PVA, HEMA, MMA	Articular Cartilage
Poly(glycolic acid) (PGA), Poly(lactic acid) (PLA), PLA-PGA, PLA-PEG, Chitosan, Dextran, Dextran-PEG, polycyanoacrylates, fumaric acid-PEG, sebacic acid 1,3-bis(p-carboxyphenoxy) propane (P(CPP-SA))	Controlled Drug Delivery Biodegradable hydrogels
PHEMA, PVA, PNVP, poly(ethylene-co-vinyl acetate) (PEVAc)	Non- Biodegradable hydrogels Neutral
Poly(acrylamide) (PAAm), Poly(acrylic acid) (PAA), PMAA, poly(diethylaminoethyl methacrylate) (PDEAEMA), poly(dimethylaminoethyl methacrylate) (PDMAEMA),	pH-sensitive
Poly(methacrylic acid-grafted-polyethylene glycol) (P(MAA-g-EG)), Poly(acrylic acid-grafted-polyethylene glycol) (P(PAA-g-EG))	Complexing hydrogels
Poly(N-isopropyl acrylamide) (PNIPAAm)	Temperature-sensitive
PNIPAAm/PAA, PNIPAAm/PMAA	pH/ Temperature –sensitive

ตัวอย่างกลไกการเกิดปฏิกิริยาของ Biodegradable Hydrogels ก็คือ dextran hydrogels dextran จะเกิดปฏิกิริยากับ methacrylate หลังจากนั้นจะเกิดพันธะเชื่อมโยงกันที่ vinyl monomer ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของ dextran [2]



รูปที่ 2.8 แสดงการเกิด dextran hydrogel [2]

2.2 แมงลัก [3]



รูปที่ 2.9 แสดงต้นแมงลัก [3]

ชื่อสมุนไพร :	แมงลัก
ชื่อวิทยาศาสตร์ :	<i>Ocimum canum Sims.</i>
ชื่อพ้อง :	<i>O. americanum Linn.</i>
ชื่ออังกฤษ :	Hoary Basil
ชื่อวงศ์ :	LABIATAE
ชื่อท้องถิ่น :	ม้งลัก (ภาคกลาง) ก้อมก้อขาว (ภาคเหนือ)

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

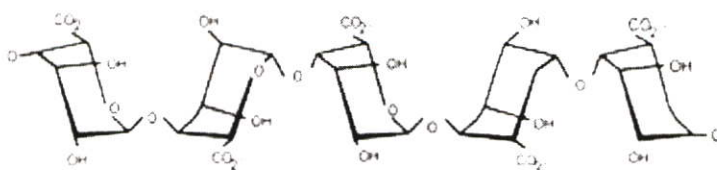
แมงลักเป็นพืชเขตร้อน ในบ้านเรามักปลูกไว้เป็นผักสวนครัว และอาหารหวานได้หลายชนิด แมงลักเป็นพืชล้มลุกลำต้นขนาดเล็กทรงพุ่มคล้ายกระเพรา และโหระพา ต้นสูงประมาณ 65 ซม. ทุกส่วนของลำต้นมีกลิ่นหอม ใบมีขนอ่อนเป็นใบเดี่ยว รูปรี กว้าง 1-2.5 ซม. ยาว 2-5 ซม. ปลายและโคนแหลม มีกลิ่นหอม ขอบใบเรียบหรือหยักมนๆ ใบประดับจะคงอยู่เมื่อเป็นผล ผลเป็นผลชนิดแห้ง รูปรี ขนาดเล็ก ดอกออกเป็นช่อที่ปลายกิ่งหรือที่ยอดกลีบดอกสีขาว ดอกติดรอบก้านช่อเป็นชั้นๆ ชั้นละ 2 ช่อย่อย ช่อย่อยละ 3 ดอก กลีบดอกร่วงง่าย แต่กลีบเลี้ยงจะอยู่คงทน เมล็ดกลมยาวสีดำ มีเมือกห่อหุ้มเมื่อโคนน้ำจะพองตัว

ต้นแมงลักให้น้ำมันระเหยได้ใช้แต่งกลิ่นสบู่ และเครื่องสำอาง กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยนี้แตกต่างกันไปตามท้องถิ่นที่ปลูก น้ำมันแมงลักที่ซื้อขายกันในท้องตลาดมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน ชนิดที่หนึ่ง ประกอบด้วย methyl cinnamate เป็นสารหลัก ชนิดที่ 2 ประกอบด้วย d-camphor เป็นสารหลัก ชนิดที่ 3 ประกอบด้วย polyuronide พบในธรรมชาติในรูปของเกลือ อาจเป็นเกลือ Ca K Mg ของ polyuronide ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลและกรด uronic acid เชื่อมต่อกันด้วย glycoside linkage และเป็น branched chain ส่วนของน้ำตาลอาจจะเป็น pentose uronic acid ที่พบบ่อยคือ glucuronic acid และ galacturonic acid

Polyuronide [4] คือ กรด alginic เกิดจากการเรียงตัวของกรด hexuronic สองตัวคือ

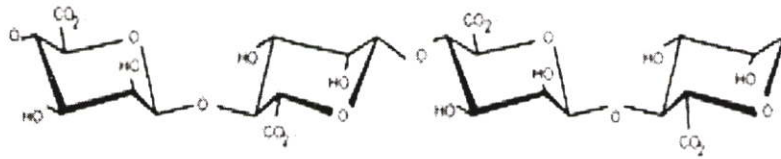
- (beta) - D - mannuronic acid unit และ
- (alpha) - L - guluronic acid

Guluronic acid block



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของกรดคูลูโรนิก [4]

Mannuronic acid block



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของกรดแมนนูโรนิก [4]

2.2.2 สารประกอบทางเคมี

เม็ดแมงลักประกอบด้วยสารคาร์โบไฮเดรตหลายชนิดซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่ และสารประกอบอื่น ๆ เช่น Camphene , mucilage , myrcene oil, D-Glucose เป็นต้น เปลือกผลแมงลักมีสารเมือก (mucilage) ซึ่งพองตัวในน้ำได้ , ใบมีน้ำมันหอมระเหย ประเภทการบูร, เบอร์นีอัล, ซีนิออล และยูจีนอล cirsilineol, cirsimaritin, isothymusin, isothymonin, apigenin, rosmarinic acid, eugenol , น้ำมันไ้มระเหย , น้ำมันหอมระเหย

2.2.3 สรรพคุณทางยา [3]

เม็ดแมงลักหรือที่หลายๆ คนเรียกในวัยเด็กว่าไขกบนั้น ถือได้ว่าเป็นสมุนไพรไทยชนิดหนึ่งที่มีคุณประโยชน์มากมาย ยิ่งเวลาที่เม็ดแมงลักพองตัวเต็มที่ที่สามารถนำมาใช้ทานก่อนอาหารเพื่อช่วยลดน้ำหนักได้ โดยบริเวณเปลือกนอกของผลจะมีสารเป็นสารเมือกใสๆ ซึ่งสามารถพองตัวได้ 45 เท่า และได้มีการวิจัยพบว่าเม็ดแมงลักมีสรรพคุณเป็นยาระบาย อีกทั้งเมือกยังสามารถช่วยหล่อลื่นให้อุจจาระอ่อนตัว สามารถขับถ่ายได้สะดวกยิ่งขึ้น แถมยังช่วยเพิ่มกากอาหารด้วย ฉะนั้นหากผู้ใดที่คิดจะลดน้ำหนัก เพียงแค่นำเม็ดแมงลักมาแช่น้ำแล้วกินก่อนกินอาหารเพื่อให้อิ่มเร็วขึ้น ก็น่าจะเป็นทางเลือกของการลดน้ำหนักที่น่าสนใจ แต่ทั้งนี้ต้องแน่ใจว่าได้แช่เม็ดแมงลักให้พองเต็มที่แล้ว มิเช่นนั้นเวลาทานเข้าไปเม็ดแมงลักจะไปคุดน้ำในกระเพาะ ทำให้จับตัวเป็นก้อนแข็งและอุดตันลำไส้ จากยาระบายก็จะกลายเป็นท้องผูกได้

ส่วนที่ใช้เป็นยา คือ เม็ดแมงลักแก่ โดยข้อมูลทางวิทยาศาสตร์พบว่า เม็ดแมงลักประกอบด้วยสารคาร์โบไฮเดรตหลายชนิด ซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่ และสารประกอบอื่น ๆ เช่น Camphene, ucillage, myrcene oil, D-Glucose เป็นต้น เมื่อท่านจะลองใช้เม็ดแมงลัก สามารถเตรียมได้ โดยใช้เม็ดแมงลัก 1-2 ซ้อนชา แช่น้ำ 1 แก้วใหญ่ ทิ้งไว้จนกว่าจะพองเต็มที่ ถ้าใช้เป็นยาระบายให้ทานก่อนนอน ถ้าเป็นยาลดความอ้วนให้ทานก่อนอาหาร หรือทดแทนอาหารเป็นบางมื้อเพราะอาจเป็นโรคขาดสารอาหารได้

ทั้งนี้ แก้วกึ่งเสียด ขับลมในลำไส้ แก้กลมดานซาง แก้มิษดานซาง ขับลม แก้อืดเฟ้อในเด็ก ขับเหงื่อ แก้อิรักษาโรคทางเดินอาหาร แก้วปวดฟัน แก้วลมป่วง

ใบ แก้วโรคลำไส้พิการ ขับลมในลำไส้ แก้พิษตานซาง แก้วหัวดี หลอดลมอักเสบ รักษาโรค
ผิวหนัง แก้อาเจียน ขับลม ขับเหงื่อ รักษาเกลืออนันันม

เมล็ด เป็นยาระบาย รักษาบิด ขับปัสสาวะ

นอกจากนี้ เมล็ดยังใช้ผสมกับสมุนไพรอื่นๆรักษาโรคดังต่อไปนี้

ราก รักษาอาการ ไอแห้ง รักษาอาการพิษสำแดง

ทั้งต้น รักษาโรคริดสีดวง ตานขโมย แก้อั้วท้องอืด ผอมแห้ง แก้อาเจียน

ใบ แก้อั้วระษัย แก้อั้วลมระษัยเหล็ก แก้อั้วลมระษัยดาน ขับน้ำนม แก้ไขลิ้นหด

เมล็ด บีบน้ำมันผสมขมิ้นชัน แก้อั้วลม ขับเหงื่อ แก้อั้วโรครทางเดินอาหาร เป็นยาระบายอ่อนๆ

2.2.4 สารเมือก (Mucilage) [3]

การแยกสารเมือก (Mucilage) ออกจากเมล็ด ใช้กรรมวิธีแบบง่ายๆ โดยขั้นตอนได้กล่าวในส่วนการทดลอง สารเมือกที่ได้มีลักษณะเหนียวข้น คล้ายวุ้น สีขาวขุ่น มีการไหลที่ไม่ดีนัก มีความหนืดมากแม้จะมีความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยก็ตาม เมื่อนำเมือกมาทำให้แห้งจะเกาะเป็นแผ่นบางๆสีขาวคล้ำ เมื่อถูกน้ำจะพองตัวอีกทันที มีสถานะเป็นกลาง

ส่วนประกอบทางเคมีสารเมือกเป็นพอลิยูโรไนด์ (Polyuronide) พบในธรรมชาติในรูปของเกลือ อาจจะเป็น เกลือของแคลเซียม โปแตสเซียมหรือแมกนีเซียมซึ่งประกอบด้วยน้ำตาล และ Uronic acid เชื่อมต่อกันด้วย Glycoside linkage และเป็นลักษณะโซ่กิ่ง ส่วนน้ำตาล อาจเป็นเพนโตสหรือเฮกโซส อาจมีทั้งเฮกโซสและเพนโตสอยู่ด้วยกัน Uronic acid ที่พบมากคือ Glucuronic acid และ Galacturonic acid และมีองค์ประกอบทางเคมีของสารเมือกเมล็ดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสารเมือกเมล็ด [5]

Chemical composition	Content(%wet basis)
Moisture	10.48
Protein	0.81
Fat	1.73
Ash	4.43
Crude fiber	17.35
Carbohydrate	65.20

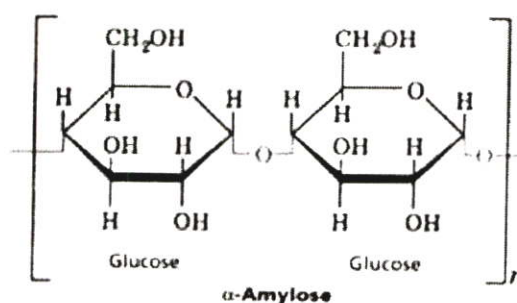
2.3 แป้ง [6]

แป้งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่เกิดจากกลูโคสจำนวนหลายพัน โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันมีโครงสร้างเป็นทั้งแบบสายยาวและกิ่งก้านสาขา แป้งมีมากในพืชประเภทเมล็ดและหัว ข้าวโพดมีแป้ง 50% ข้าวเจ้ามีแป้ง 75% และมันฝรั่งมีแป้ง 20% ฯลฯ เมื่อแป้งถูกความร้อนจะกลายเป็นเดกซ์ทริน ซึ่งเป็นสารที่มีรสหวานเล็กน้อยและมีสมบัติเหนียวแบบกาว

2.3.1 โครงสร้างของแป้ง

แป้ง(Starch) เป็นพอลิแซคคาไรด์(Polysaccharide) ที่สำคัญที่สุดในธรรมชาติ เกิดจากโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) หลาย ๆ หน่วย มาต่อกัน สูตรทั่วไปคือ $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ โดยปกติแป้งจะมีอยู่ในเมล็ด, ราก และลำต้นของพืช ลักษณะของแป้งจะเป็นเม็ดเล็ก มีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช แป้งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

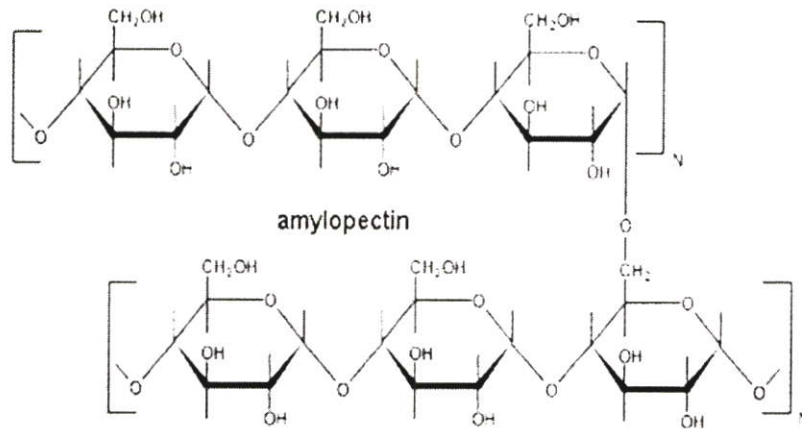
1. อัลฟา-อะไมเลส(Alpha-Amylose) ประกอบไปด้วยหน่วยของกลูโคส D(+) ประมาณ 500-2,000 มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ Alpha,1-4 glycosidic linkage น้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไปตั้งแต่ 2,000-500,000 โดยทั่วไปอะไมเลสจะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นไมเซลล์ และเมื่อรวมกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน มีอยู่ประมาณ 20-25% ของแป้งทั้งหมด



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของอัลฟา-อะไมเลส [6]

2. อะไมโลเพคติน (Amylopectin) เป็นแป้งที่มีโครงสร้างแตกแขนง โดยแต่ละแขนงจะประกอบไปด้วยหน่วยกลูโคสประมาณ 12 หน่วย แกนของอะไมโลเพคตินจะยึดกันด้วยพันธะ Alpha, 1-4 - glycosidic linkage แต่ละจุดที่มีการแตกแขนงจะยึด

กันด้วยพันธะ Alpha, 1-6 glycosidic linkage น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย $\geq 1,000,000$ เมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีม่วงแดง มีอยู่ประมาณ 75-80% ของแป้งทั้งหมด



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพคติน [6]

2.3.2 สมบัติของแป้ง

โดยปกติเมื่อแป้งผสมอยู่ในน้ำแป้งจะแตกตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ แต่จะไม่ละลายน้ำเนื่องจากอนุภาคของแป้งจะมีขนาดใหญ่เกินที่จะละลายน้ำได้แป้งจะมีความหนาแน่นค่อนข้างสูงประมาณ 1.45-1.64 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) ดังนั้นแป้งจึงพร้อมที่จะตกตะกอนหลังจากแขวนลอยอยู่แต่เมื่ออุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงขึ้นประมาณ 60-70°C (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) น้ำจะเข้าไปใน amorphous region และพลังงานความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจน ใน crystalline region ทำให้สามารถเข้าไปในเม็ดแป้งมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดบวมอย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นจะลดลงความหนืดจะสูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นผิวของเม็ดแป้งจะเปิดมากขึ้น จนเม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ทำให้อะไมโลส ออกจากเม็ดแป้งเกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดเจล (Gelatinization)

2.4 มอนอเมอร์ 2-Hydroxyethylmethacrylate (HEMA) [7]

ในงานวิจัยนี้ใช้มอนอเมอร์ 2-Hydroxyethyl methacrylate เป็นมอนอเมอร์ปรับปรุงสมบัติของแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก

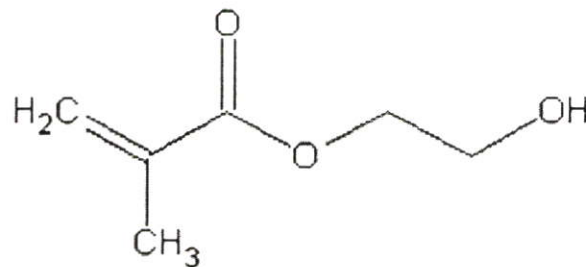
ชื่อเคมี IUPAC : 2-Methyl-2 propenoic acid 2-hydroxyethyl ester

ชื่อเคมีทั่วไป : 2-Hydroxyethyl methacrylate

ชื่อพ้อง : Glycol Methacrylate; Beta-Hydroxyethyl Methacrylate; Mhoromer; Heme-a; 2-Propenoic acid, 2-methyl-, 2-hydroxyethyl ester; GMA; Ethylene glycol methacrylate; Bisomer Hema

สูตรโมเลกุล : $C_6H_{10}O_3$

สูตรโครงสร้าง :



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของ 2-Hydroxyethyl methacrylate [7]

2.4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ :	ของเหลว
สี :	ใสไม่มีสี
กลิ่น :	คล้ายผลไม้
น้ำหนักโมเลกุล :	130.14
จุดเดือด :	205-208 °C
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง :	-12 °C
ความถ่วงจำเพาะ :	1.0340
ความหนืด :	9 mPa.sec
ความดันไอ :	0.5 mmHg
ความสามารถในการละลายน้ำที่(g/100ml) :	ละลายได้ที่ 20 °C
ความเป็นกรด-เบส(pH) :	4 ที่ 20 °C
ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่นๆ :	สารนี้ไวต่อแสง ความชื้น ความร้อน
แฟกเตอร์แปลงหน่วย	1 ppm = 5.32 mg/m ³ หรือ 1 mg/m ³ = 0.187 ppm ที่ 25 °C

2.4.2 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางผิวหนัง :	การสัมผัสผิวหนัง จะทำให้เกิดการระคายเคือง เกิดภูมิแพ้
สัมผัสสูดดม :	การสัมผัสสูดดม จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา
การก่อมะเร็ง :	สารนี้ไม่ได้อยู่ในรายชื่อของสารก่อมะเร็งของ ACGIH IARC NIOSHNTTP หรือ OSHA
ความผิดปกติอื่นๆ :	สารนี้ทำลายตับ ไต ระบบประสาทส่วนกลาง

2.4.3 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

ความคงตัวทางเคมี :	สารนี้มีความเสถียรภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ
สารที่เข้ากันไม่ได้ :	เอมีน สารประกอบกรดเปอร์ออกไซด์ กรด เบส ความร้อน
สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง :	สารที่เข้ากันไม่ได้ สารออกซิไดซ์รุนแรง
สารที่ทำให้เสถียร :	ไฮโดรควิน โนโนโมโนริลอีเทอร์ (4-เมรอกวีฟีนอล)

2.4.4 การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

มีจุดวาบไฟที่ประมาณ 101 °C และมีจุดลุกติดไฟได้เองที่ประมาณ 214 °C สารดับเพลิงในกรณีเกิดเพลิงไหม้ให้ใช้ น้ำ ผงเคมีแห้ง โฟมเคมี หรือโฟมด้านทาน แอลกอฮอล์ กรณีเกิดเพลิงไหม้ให้สวมใส่อุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว (SCBA) ที่ผ่านการรับรองจาก MSHA/NIOSH และชุดป้องกันสารเคมีชนิดปิดคลุมเต็มตัว ในระหว่างการเกิดเพลิงไหม้จะทำให้เกิดก๊าซระคายเคืองและก๊าซจากการสลายตัวเนื่องจากความร้อน หรือการเผาไหม้

2.4.5 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง (Storage and Handling)

เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิดเมื่อไม่ได้ใช้งาน เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง หรือในระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C ให้ล้างทำความสะอาดร่างกาย ให้ทั่วถึงภายหลังทำการเคลื่อนย้าย ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนสารนี้ออกและซักทำความสะอาดก่อนนำมาใช้อีกครั้ง หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับตา ผิวหนัง หรือเสื้อผ้า หลีกเลี่ยงการกิน หรือการกลืนเข้าไปและการหายใจเข้าไป

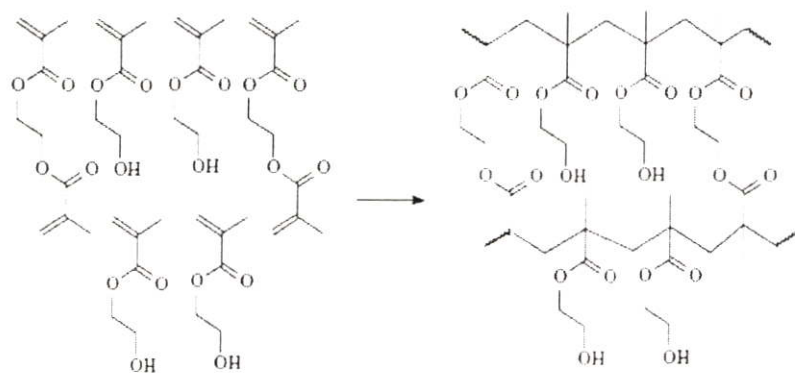
2.4.6 การกำจัดกรณีรั่วไหล (Leak and Spill)

วิธีการปฏิบัติในกรณีเกิดการหกรั่วไหล ให้หยุดการรั่วไหล ถ้าสามารถทำได้โดยปราศจากความเสียหายอันตราย ดูดซับสารที่หกรั่วไหลด้วยวัสดุเฉื่อย เช่น ทรายแห้ง หรือดิน แล้วเก็บใส่ในภาชนะสำหรับบรรจุกากของเสียจากเคมี วิธีการปฏิบัติในกรณีเกิดการหกรั่วไหล ให้สวมใส่

อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสม สิ่งทำความสะอาดส่วนที่หกรั่วไหลทันที ให้ดูข้อควรระวังใน ส่วนของอุปกรณ์ป้องกันอันตราย

2.4.7 Poly (2-hydroxyethyl) methacrylate [8]

Poly (2-hydroxyethyl) methacrylate เป็น Hydrosoluble monomer ที่สามารถเกิดพอลิเมอร์ได้ที่อุณหภูมิต่ำ (-20°C ถึง 10°C) สามารถเตรียมเป็นไฮโดรเจลได้หลากหลายและยังเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายในทางการแพทย์ซึ่งเป็น Biomaterial หมู่ Hydroxyethyl ที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ทำให้มีความเป็น Hydrophilicity สูง เป็น Biocompatibility ที่ดี การสังเคราะห์ไฮโดรเจล Poly (2-hydroxyethyl) methacrylate จากมอนอเมอร์ โดยเกิดโคพอลิเมอร์ไรเซชันของมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำและโคพอลิเมอร์ที่มีหลายหมู่ฟังก์ชันโดยมีสารก่อพันธะเชื่อมโยงทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย 3 มิติที่ชอบน้ำ โดยทั่วไปแล้วจะใช้มอนอเมอร์ที่ชอบน้ำ เช่น methacrylates และ methacrylamides ยกตัวอย่างเช่น โคพอลิเมอร์ของ 2-hydroxyethylmethacrylate (HEMA) และ ethyleneglycol bismethacrylate (EGDMA) ซึ่งใช้ทำคอนแทกเลนส์และทำ drug delivery โคพอลิเมอร์ของ acrylamide และ methylenebisacrylamide ที่เกิดพันธะเชื่อมโยงใช้เตรียมเป็นเจลสำหรับ electrophoresis พอลิเมอร์ไรเซชันของ vinyl monomer จะใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (peroxides, azo-compounds) ซึ่งอนุมูลอิสระจะเกิดโดยการให้ความร้อนใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ (ตัวอย่าง ammoniumpersulfate + N,N'-tetramethyl ethylenediamine, TEMED) หรือใช้ Photoinitiator ดังรูปที่ 2.15



Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

รูปที่ 2.15 แสดงการสังเคราะห์ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) [8]

2.5 ตัวริเริ่มปฏิกิริยา [9]

ในงานวิจัยนี้ใช้การริเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชันเป็นจำนวนมากใช้อนุมูลอิสระที่สามารถริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ วิธีที่ใช้กันมากและใช้กันมาช้านาน

ได้แก่ น้ำยาเฟนต์ัน (Fenton's reagent) ซึ่งประกอบด้วยไอร์ออน(II) ไอออนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารทั้งสองทำปฏิกิริยากันเกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซี ดังนี้



ไอร์ออน(II) ไอออนสามารถรีดิวซ์ออร์แกนิกเปอร์ออกไซด์อื่นๆ ได้ด้วย



หรือ



หรือ



นอกจากออร์แกนิกเปอร์ออกไซด์แล้ว เปอร์ซัลเฟตไอออนก็สามารถรีดิวซ์ด้วยไอออน Fe^{2+} , $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ได้ดังนี้



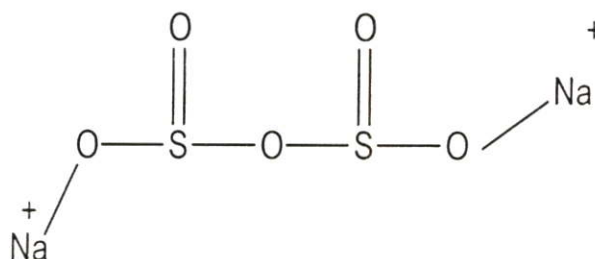
ตัวรีดิวซ์บางตัวเช่น HSO_3^- , SO_3^{2-} และ $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ก็สามารถทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น Cu^{2+} , Fe^{3+} , ClO_3^- และ H_2O_2 ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ การริเริ่มแบบรีดอกซ์มีข้อดีหรือข้อได้เปรียบอยู่สองประการ คือ

1. ปฏิกิริยาทั่วไปสามารถเกิดได้ดีและเร็วพอสมควรที่อุณหภูมิในช่วงของอุณหภูมิห้อง (0-50 °C) จึงใช้ประโยชน์ได้ดีในกรณีที่ต้องการให้ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิต่ำ
2. ตัวถูกรีดิวซ์อาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ จึงเป็นการสะดวกต่อการเลือกใช้ตัวทำละลาย เช่นถ้าต้องการให้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดในตัวกลางที่เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ ก็เลือกใช้ตัวถูกรีดิวซ์ที่เป็นสารอินทรีย์ ตรงกันข้ามถ้าต้องการให้เกิดในตัวกลางที่เป็นน้ำก็เลือกใช้ตัวถูกรีดิวซ์ที่เป็นสารอนินทรีย์ พอลิเมอไรเซชันที่เกิดในตัวกลางที่เป็นน้ำมีข้อได้เปรียบอยู่อย่างหนึ่งคือ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย เพราะน้ำเป็นตัวกระจายความร้อนได้ดีมาก

ในการทดลองนี้ใช้ Sodium Metabisulphite (SMB) เป็นตัวรีดิวซ์, Ammonium Persulphate (APS) เป็นตัวออกซิไดซ์ ซึ่งทั้งสองตัวเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาและ N,N'-Methylenebisacrylamide (BIS) เป็นสารเชื่อมโยง สมบัติของสารเหล่านี้แสดงดังต่อไปนี้

2.5.1 Sodium Metabisulphite (SMB) [10]

ชื่อทางการค้า :	Sodium Metabisulphite
ชื่ออื่นๆ :	Sodium Pyrosulphite, Disodium Pyrosulfite, SMBS, Pyrosulfurous acid disodium salt
มวลโมเลกุล :	190.10
สูตรโมเลกุล :	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
สูตรโครงสร้าง :	



รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของ Sodium Metabisulphite [10]

2.5.1.1 สมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

ลักษณะ :	ผลึกสีขาวหรือเป็นผง มีกลิ่นของซัลเฟอร์
จุดหลอมเหลว :	150°C
ความถ่วงจำเพาะ (20°C) :	1.40
ความหนาแน่น :	1000 - 2000 kg/m^3
การละลายในน้ำ :	650g/L
pH :	3.5-5.0
ความสามารถในการละลาย :	ละลายในน้ำและกลีเซอรอล ละลายได้ในแอสทอน เล็กน้อย

2.5.1.2 ความเสถียรภาพ (Stability)

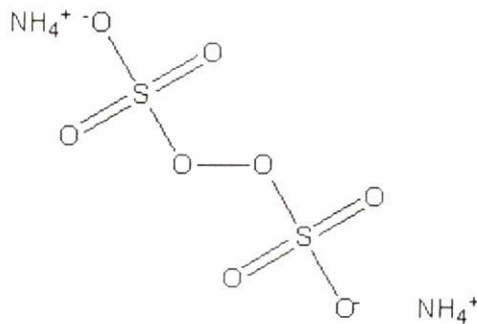
มีความเสถียร ไม่เข้ากับ oxidizing agent ที่แรงและกรดแก่

2.5.1.3 ความเป็นพิษ (Toxicology)

ทำให้เกิดการระคายเคืองและเป็นอันตรายหากกลืนกินเข้าไป และอาจทำให้เกิดโรคมะเร็งได้

2.5.2 Ammonium Persulphate (APS) [10]

ชื่ออื่น :	Ammonium peoxidesulphate, Peroxidisulfuric acid diammonium salt
มวลโมเลกุล :	228.19
สูตรโมเลกุล :	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$
สูตรโครงสร้าง :	



รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของ Ammonium Persulphate [10]

2.5.2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

ลักษณะ :	ไม่มีสีเป็นผลึกสีขาว
กลิ่น :	ไม่มีกลิ่น
ค่า pH (20°C) :	3.2
จุดหลอมเหลว :	120°C (สลายตัว)
ความถ่วงจำเพาะ :	1.98
ความสามารถในการละลายน้ำ (20°C) :	582 g/l
อุณหภูมิสลายตัว :	> 120°C

2.5.2.2 ความเสถียรภาพ (Stability)

มีความเสถียร อาจเกิดการลุกไหม้กับวัสดุที่ติดไฟได้ ไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกับเบส, วัสดุติดไฟ, H_2O_2 , สารประกอบเปอร์ออกไซด์, สารประกอบซิลเวอร์, ซิงค์ และอาจจะสลายตัวได้ถ้าอยู่ในน้ำหรือในอากาศที่ชื้น

2.5.2.3 ความเป็นพิษ (Toxicology)

อันตรายถ้ากลืนกินเข้าไป เป็นอันตรายอย่างมากกับผนังเขื้อน อาจเป็นสาเหตุของโรคผิวหนังอักเสบ ตาอักเสบหรือระคายเคืองทางเดินหายใจ และอาจทำให้เกิดโรคมุมิแพ้ได้ เนื่องจากการสูดดมหรือสัมผัสผิวหนัง

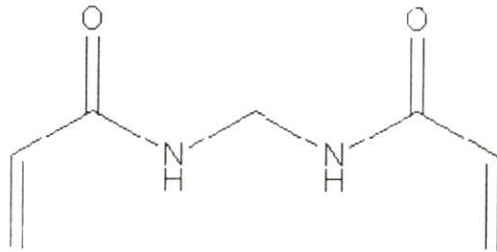
2.5.3 N,N'-Methylenebisacrylamide (BIS) [10]

N,N'-Methylenebisacrylamide นิยมใช้เป็นสารเชื่อมโยงในโพรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในทางการแพทย์เนื่องจากไม่เป็นพิษ [19]

สูตรโมเลกุล : $C_7H_{10}N_2O_2$

มวลโมเลกุล : 154.17

สูตรโครงสร้าง :



รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของ N,N'-Methylenebisacrylamide [10]

2.5.3.1 สมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

ลักษณะ : ผลึกสีขาว

จุดหลอมเหลว : $> 300^{\circ}C$

ความหนาแน่น : 5.31

ความถ่วงจำเพาะ : 1.24

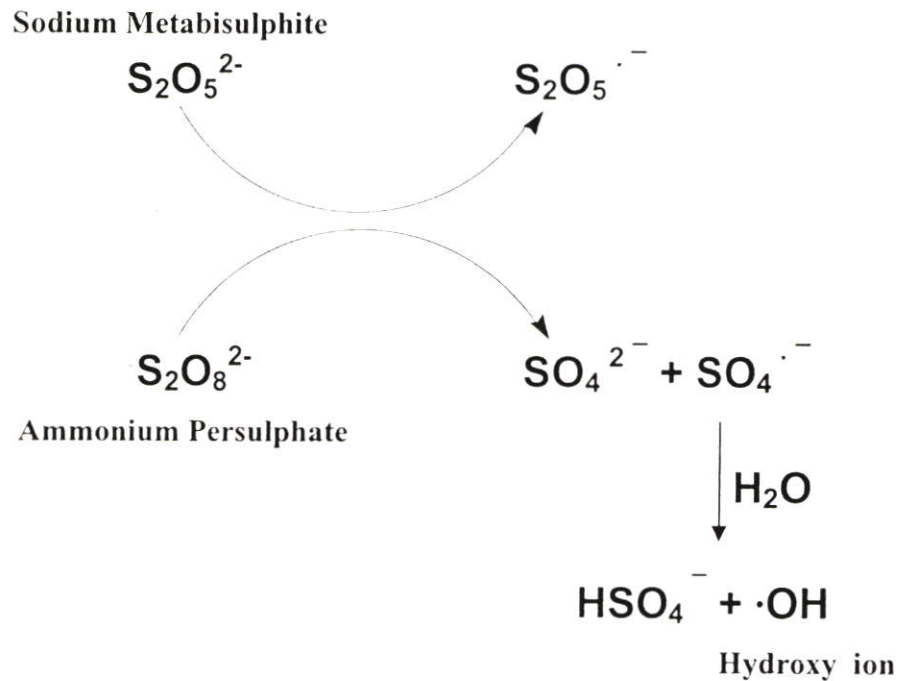
2.5.3.2 ความเสถียรภาพ (Stability)

มีความเสถียรภายใต้สภาวะปกติ เมื่อสลายตัวเกิดก๊าซอันตรายคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ในระหว่างพอลิเมอไรส์ไม่เกิดสารที่เป็นอันตราย ไม่เข้ากันกับเบสแก่ กรดแก่ และ oxidizing agent

2.5.3.3 ความเป็นพิษ (Toxicology)

อันตรายถ้ากลืนกินเข้าไป

2.5.3.4 การเกิดการริเริ่มแบบรีดอกซ์ [11]



รูปที่ 2.19 แสดงการเกิดการริเริ่มแบบรีดอกซ์ [11]

จากรูปที่ 2.19 Sodium Metabisulphite เป็นตัว reducing agent เกิดปฏิกิริยา Oxidation ให้ อิเล็กตรอนแก่ Ammonium Persulphate ซึ่งเป็นตัว oxidizing agent เกิดปฏิกิริยา Reduction เกิด Sulphate radical เมื่ออยู่ในน้ำได้เป็น Hydroxy ion ซึ่งเป็น initiator เกิดพอลิเมอร์ต่อไป

2.6 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) [12]

การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมาก โดยการนำ พอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (solution) หรือสาร หลอมเหลว (molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม (polymer blend) ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน แต่การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิ เมอร์ต่างชนิดกันนั้น โดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้น พอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็น สารละลายของแข็งที่แท้จริง และพบว่าเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะ กระจายอยู่ในเนื้อหรือเมตริกซ์ที่ต่อเนื่อง (continuous matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การ กระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้น จะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (defects) ของ ผลิตภัณฑ์ และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึง ต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ (compatibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถ

เข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่ต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยทางพลังงาน (energy factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้ากันไม่ได้ นั่นคือ พลังงานที่ใช้ในการผสมผสาน โมเลกุลหรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดต่างกัน

1. กลไกสภาพเข้ากันได้ (Compatibility Mechanism)

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จะให้สมบัติที่ค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะสมบัติเชิงกล ทั้งนี้เนื่องจากแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสที่ต่ำและความเค้นสะสม (stress concentration) จากคิสเพอร์สในเมตริกซ์ ดังนั้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในการผสม จึงนิยมใช้สารช่วยผสมหรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม (in-situ chemical reaction) เพื่อปรับปรุงแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้โครงสร้างสันฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม

2. วิธีการผสมเพื่อความเข้ากันได้ (Method of Compatibilization)

เทคนิคที่ใช้ในการผสมเพื่อความสามารถในการเข้ากันได้ และทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติที่มีสมบัติตามต้องการนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาจมีความเกี่ยวข้องกัน ดังนั้น การเลือกใช้ขึ้นกับผู้ผลิตเป็นหลัก โดยจะพิจารณาจากต้นทุนเป็นสำคัญ เทคนิคเหล่านี้คือ

2.1 การพิจารณาสภาพผสมเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic Miscibility)

ความสามารถในการเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ เป็นหลักการที่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตทางการค้า โดยหลักการดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างเอนทัลปีและเอนโทรปีของการผสมที่มีต่อพลังงานเสรีของการผสม (free energy of mixing) การเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรีของการผสมสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

โดยที่

$$\Delta G = \text{การเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรีของการผสม}$$

$$\Delta H = \text{การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของการผสม}$$

$$\Delta S = \text{การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการผสม}$$

$$T = \text{อุณหภูมิ (K)}$$

2.2 การเติมแบบบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Addition of Block or Graft Copolymer)

การเติมแบบบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์จะได้รับความนิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกของพอลิเมอร์ที่เหมือนกันกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน โดยโคพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีโครงสร้างทางเคมีและน้ำหนัก โมเลกุลที่เหมาะสมที่จะไปอยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิด

โครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์จะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสม จากการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารช่วยผสม โดยการทดสอบสมบัติความทนแรงดึงสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. บล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์
2. ไคบล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่าไคบล็อกโคพอลิเมอร์
3. ไคบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวลดหลั่นลงมามีประสิทธิภาพสูงกว่าไคบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวเท่ากัน

2.3 การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Addition of Functional/Reactive Polymer)

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม บ่อยครั้งเป็นการนำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปรให้มีหมู่ฟังก์ชัน หรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวต้องสามารถเกิดปฏิกิริยา หรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไฮโดรเจน กับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้ กระบวนการดัดแปรพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันสามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์หรือโดยผ่านกระบวนการอัดรีด ตัวอย่างเช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิโอฟีนส์ โดยหมู่คาร์บอกซิลิกของมาเลอิกแอนไฮไดรด์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่เอมีโนของพอลิเอไมด์ได้ ทั้งนี้พอลิโอฟีนส์กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์จัดเป็นสารช่วยผสม ที่ได้รับความนิยมในทางการค้าและมีราคาไม่แพงนัก

2.4 การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม (In-situ Grafting Polymerization)

การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสมหรือ reactive blending เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้ โดยต่างจากวิธีอื่นๆคือ องค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาดัดแปรเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม ตัวอย่างเช่น การผสมระหว่างพอลิคาร์บอนเนตกับพอลิเอสเทอร์ แม้ว่าในบางครั้งการผสมแบบไม่ต่อเนื่องสามารถนำมาใช้กับการผสมแบบ reactive blending ได้ แต่การใช้กระบวนการแบบต่อเนื่อง เช่น การอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (single-screw extruder) และการอัดรีดแบบสกรูคู่ (twin-screw extruder) ก็ได้รับความนิยมเช่นกัน เพราะกระบวนการดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิ และสิ่งที่ไม่ต้องการจากดำเนินไปของปฏิกิริยาได้ดีกว่า

2.6.1 กลไกในการเกิดปฏิกิริยาในการผสม อาจมีได้ดังนี้

1. เกิดกราฟต์หรือบล็อกโคพอลิเมอร์ จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีในพอลิเมอร์ ซึ่งอาจกระตุ้นได้โดยการเติมตัวริเริ่ม (initiator) ในระหว่างการผสม

2. เกิดบล็อกโคพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยน (interchange reaction) ที่สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดกับพอลิเมอร์ชนิดควบแน่น
3. เกิดการขาดและรวมกันใหม่ของแต่ละโมเลกุล เพื่อสร้างบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดภายใต้ภาวะที่แรงเฉือนสูง
4. ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาโดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

2.6.2 ความสามารถในการละลายเข้ากันได้และความสามารถในการผสมเข้ากันได้ (Miscibility and Compatibility) [13]

ความสามารถในการละลายเข้ากันได้ (Miscibility) ในระดับโมเลกุลจัดเป็นมโนทัศน์ทางทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกสักกล่าวคือเมื่อเกิดขึ้นจะทำให้เกิดระบบวัฏภาคเดี่ยวเนื้อเดียว (Homogeneous single-phase system) มีสมบัติอยู่ระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิด และโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ พอลิเมอร์ผสมจัดเป็นสิ่งที่มิใช่ประโยชน์ในทางการค้า โดยเฉพาะเมื่อองค์ประกอบมีส่วนเกี่ยวข้องกับความสามารถในการละลายเข้ากันได้ของโมเลกุล (molecular miscibility) ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความเป็นผลึกมีค่าเท่ากับศูนย์ ความมีขั้วคล้ายกัน พันธะไฮโดรเจนร่วมกัน

ความสามารถในการผสมเข้ากันได้ (Compatibility) จัดเป็นสมบัติในทางปฏิบัติของพอลิเมอร์ผสมบางชนิดซึ่งละลายได้ในระดับโมเลกุลและมีประโยชน์ในทางการค้า อย่างไรก็ตามระบบพอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่ในทางการค้าเป็นระบบที่ไม่ละลาย (immiscible) ในระดับโมเลกุล และแยกออกเป็นระบบหลายวัฏภาค (multi-phase system) ในขณะที่ระบบหลายวัฏภาคนี้นานขึ้นจะมีแรงยึดเกาะระหว่างผิวมากขึ้น (strong interfacial adhesion) ทำให้สามารถรวมสมบัติที่ดีที่สุดของแต่ละวัฏภาคและเกิดเป็นความสมดุลของสมบัติทั้งหมดที่ไม่สามารถได้จากสมบัติของพอลิเมอร์บริสุทธิ์โดยลำพัง ยิ่งไปกว่านั้นระบบชั้นนำหลายๆระบบมีการปรับปรุงระบบผสมร่วมที่สำคัญ (major synergistic improvement) มากกว่า 1 สมบัติ

2.6.3 เคมีของพอลิเมอร์ผสม [13]

ระบบพอลิเมอร์แบบหลายวัฏภาคอาจเกิดขึ้นได้หลายวิธีดังนี้

พอลิเมอร์ผลึก (Crystalline Polymer) ในทางปฏิบัติไม่มีผลึก 100 เปอร์เซ็นต์ แต่จะเป็นระบบ 2 วัฏภาคคือผลึก (crystalline) และอสัณฐาน (amorphous) โดยในแต่ละวัฏภาคมีส่วนทำให้เกิดการกระจายตัวของสมบัติทั้งหมด ในบางวิธีสมบัติที่ได้เหมาะกับมโนทัศน์ทั่วไปของระบบพอลิเมอร์แบบหลายวัฏภาคแต่อย่างที่ไม่มีความรู้พื้นฐานเพียงพอที่จะรวมเข้าในหัวข้อปัจจุบันได้

พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) เกิดจากการผสมพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ในขณะที่ระบบบางชนิดอาจเหมาะกับความต้องการทางเทอร์โมไดนามิกส์เพื่อให้เกิดความสามารถในการละลายเข้ากันได้ของโมเลกุลที่สมบูรณ์ แต่โดยส่วนมากจัดเป็นการละลายได้บางส่วนหรือไม่ละลายเลย และแยกวัฏภาคออกเป็น 2 หรือมากกว่า 2 วัฏภาค ด้วยเหตุนี้คำว่าพอลิเมอร์ผสมและระบบหลายวัฏภาคจึงนิยมใช้แทนระบบนี้

พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกและต่อกิ่ง (Block and Graft Copolymer) ประกอบด้วยโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ไม่เหมือนกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งไม่สามารถละลายเข้ากันได้ ถ้าพอลิเมอร์ถูกทำให้แยกออกจากกันหรือแม้แต่การเกิดพันธะโคเวเลนต์เป็นโมเลกุลเดี่ยวก็ตามจะมีแนวโน้มแยกออกจากกันเป็นแต่ละวัฏภาค (individual phases) ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นแบบหลายวัฏภาคได้ ยิ่งไปกว่านั้นเทคนิคส่วนมากที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกและต่อกิ่งรวมทั้งพอลิเมอร์เดี่ยวแต่ละตัวไม่ประสบความสำเร็จ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดพอลิเมอร์ผสมแบบหลายวัฏภาค ในตอนเริ่มต้น นักเคมีพอลิเมอร์คิดว่าสิ่งนี้ไม่เป็นที่ต้องการจึงพยายามทำให้เกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกหรือต่อกิ่ง 100 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาจึงทราบว่าพัฒนาทางการค้าที่จะสำเร็จได้ดีที่สุดคือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการผสมระหว่างพอลิเมอร์เดี่ยว 2 ชนิด ให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกหรือต่อกิ่งที่มีแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงระหว่างวัฏภาคที่แยกออกจากกัน

ไอโอโนเมอร์ (Ionomer) โดยทั่วไปจะประกอบด้วยสัดส่วนของกลุ่มไอออนิกที่มีประจุ (charged ionic groups) อยู่เล็กน้อยในพอลิเมอร์อินทรีย์ที่มีสัดส่วนอยู่มาก โดยมีพันธะเป็นแบบโคเวเลนต์และมีความเป็นขั้วต่ำมาก ในที่นี้ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 โครงสร้างที่ไม่เหมือนกันและพยายามแยกออกเป็นแต่ละวัฏภาคอย่างดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มไอออนิกมีอยู่น้อย โดยทั่วไปจะเกิดเป็นวัฏภาคเล็กๆ ที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete microphases) ในขณะที่พอลิเมอร์โคเวเลนต์ (covalent polymer) ที่มีอยู่มากเกิดเป็นวัฏภาคเมตริกซ์ต่อเนื่อง (continuous matrix phase) ระบบนี้จึงจัดเป็นระบบหลายวัฏภาค (multiphase system) เช่นกัน ไอโอโนเมอร์นี้มีความคล้ายคลึงกันกับชนิดอื่นๆ แต่ยังคงอยู่ในระหว่างการศึกษารายละเอียดเพื่อจัดรวมเข้ากับทฤษฎีที่มีอยู่

โครงร่างแหพอลิเมอร์แบบสามมิติ (Interpenetrating Polymer Network, (IPN)) เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมโดย

1. เริ่มจากการพอลิเมอไรซ์มอนอเมอร์ A ไปเป็นพอลิเมอร์ A
2. จากนั้นทำให้เกิดการเชื่อมโยง (crosslinking) เล็กน้อย
3. ทำให้บวม (swelling) ด้วยของเหลวมอนอเมอร์ B หรือโอลิโกเมอร์ B
4. พอลิเมอไรซ์มอนอเมอร์ B ไปเป็นพอลิเมอร์ B
5. สุกท้ายเชื่อมโยงพอลิเมอร์ B

การทำเช่นนี้ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ถักกันอยู่อย่างหนาแน่น (tightly interwoven) บนโครงสร้างที่มีขนาดเล็กมาก และทำให้เกิดโครงสร้างที่มีเสถียรภาพอย่างถาวร ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดวิธีการที่ซับซ้อนในการควบคุมการผลิตโครงสร้างแบบหลายวัฏภาค

2.6.4 สมบัติโดยทั่วไป [13]

สมบัติกับอัตราส่วนระหว่าง A และ B เมื่อพอลิเมอร์ A และ B นำมาผสมกันในอัตราส่วนจาก 100/0 ถึง 0/100 และเขียนกราฟระหว่างสมบัติกับอัตราส่วน A/B อาจสังเกตพฤติกรรมได้เป็นลักษณะใดลักษณะหนึ่งใน 4 แบบต่อไปนี้

แบบที่ 1 ละลายเข้ากันได้ (Miscible)

ถ้าพอลิเมอร์ละลายซึ่งกันและกันได้อย่างสมบูรณ์ในระดับโมเลกุล และเกิดเป็นวัฏภาคเนื้อเดียว โดยทั่วไปสมบัติที่ได้จะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสองในพอลิเมอร์ผสม ทำให้ได้กราฟเป็นเส้นตรงหรืออย่างน้อยที่สุดเป็นเส้นโค้งที่สม่ำเสมอ (simple monotonic curve) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหน่วยที่ใช้ในการวัดหรือการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ เส้นโค้งแบบนี้อาจใช้ได้ ในทางทฤษฎีเพื่อให้คำจำกัดความเป็นระบบเนื้อเดียว (homogeneous system) หรืออย่างน้อยเพื่อจำกัดพฤติกรรมแบบเนื้อเดียว (homogeneous behavior) ในทางปฏิบัติมีประโยชน์สำหรับนักผลิตสารประกอบที่ต้องการผลิตสเปกตรัมสมดุลของสมบัติที่ได้ (spectrum of balance of properties) อย่างง่ายจากพอลิเมอร์ธรรมดาสองชนิด พบว่าระบบพอลิเมอร์ผสมในทางการค้าที่สำคัญหลายชนิดแสดงพฤติกรรมเช่นนี้

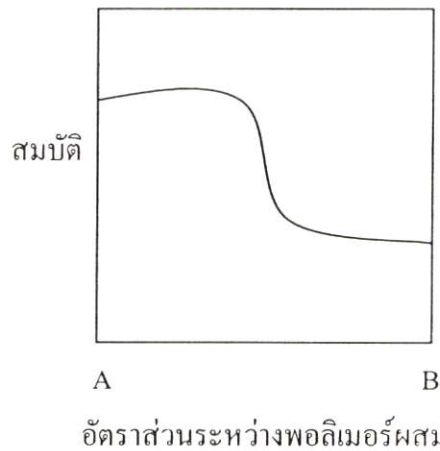
พฤติกรรมแบบเนื้อเดี่ยวนี้อาจจะสังเกตได้แม้ว่าพอลิเมอร์ทั้งสองไม่ละลายซึ่งกันและกันในระดับโมเลกุลโดยสามารถอธิบายด้วยเหตุผล 2 ประการ

1) สมบัติต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างที่สำคัญ และไม่ไวต่อโครงสร้างในระดับไมโคร (fine-detail microstructure) ดังนั้นการทดสอบอย่างง่าย เพื่อที่จะเห็นการแยกของวัฏภาคเล็กๆ จึงทำไม่ได้ผล โดยทั่วไปการทดสอบในอัตราที่ต่ำ (conventional low-rate tests) เช่น มอดูลัส และการทดสอบการเบี่ยงเบนทางความร้อน (HDT) เป็นวิธีที่ใช้กันสำหรับพฤติกรรมแบบนี้ ในขณะที่อาจทำให้การวิเคราะห์ในทางทฤษฎีเกิดความผิดพลาดแต่ก็เป็นที่ยอมรับกันสำหรับนักผลิตสารประกอบ และการประยุกต์ใช้ทางพอลิเมอร์ผสม

2) การไหลของหลอมเหลวที่อัตราความเฉือนสูงจะเป็นแบบทิศทางเดียว โดยเฉพาะในการอัดรีด (extrusion) จะทำให้เกิดโครงสร้างแบบลามลลา ซึ่งพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายสองชนิดเกิดเป็นอนุกรมสลับกัน อยู่ในโครงสร้างของวัฏภาคต่อเนื่อง จากนั้นเป็นการทดสอบตามแนวแกน (axial tests) เช่น สมบัติแรงดึง ที่ใช้วัดสมบัติเฉลี่ยที่คำนวณจากพื้นที่ภาคตัดขวางสัมพัทธ์ของวัฏภาคทั้งสองในส่วนผสมซึ่งจุดนี้เป็นส่วนที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในทางทฤษฎีได้ แต่สมบัติที่ได้จะมีประโยชน์ในทางปฏิบัติสำหรับผลิตภัณฑ์เฉพาะงาน

แบบที่ 2 การผสมเข้ากันได้แบบกึ่งหนึ่ง (Semi-Compatible)

เมื่อพอลิเมอร์สองชนิดผสมกันแล้วไม่ละลายเข้ากันและแยกออกเป็นวัฏภาคเมตริกซ์แบบต่อเนื่อง และควบคุมสมบัติทั้งหมดไว้ในขณะที่พอลิเมอร์รองจะเกิดเป็นโดเมนกระจายตัว (dispersed domain) และกระทำหน้าที่เหมือนเป็นสารเติมซึ่งมีผลเพียงส่วนน้อยต่อสมบัติที่ได้ ด้วยเหตุนี้อัตราส่วนระหว่าง A และ B ที่สูงจะมีสมบัติคล้ายกับพอลิเมอร์ A และอัตราส่วนระหว่าง B และ A ที่สูงจะมีสมบัติคล้ายกับพอลิเมอร์ B และแน่นอนเมื่ออัตราส่วนระหว่าง A และ B เท่ากันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนกลับของวัฏภาค (phase inversion) ด้วยการเปลี่ยนแปลงสมบัติอย่างรวดเร็วจากวัฏภาค (two-phase system) ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงการผสมเข้ากันได้แบบกึ่งหนึ่ง [13]

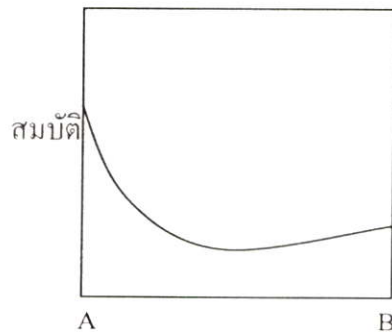
ความสำคัญของระบบนี้คือการสังเกตเห็นวัฏภาครอง (minor phase) ของโดเมนกระจายตัว โดยใช้ผลของส่วนผสมหลักร่วม (major synergistic effects) ที่มีสมบัติเฉพาะและไม่เกิดอย่างรุนแรงไปจากสมบัติที่ใช้ของวัฏภาคเมตริกซ์ชนิดต่อเนื่องหลักมากนัก ด้วยเหตุนี้การกระจายตัวของโดเมนขนาดเล็กมากๆ ในเมตริกซ์พลาสติกชนิดแข็งจึงสามารถทำให้เกิดส่วนผสมเพิ่มขึ้นอย่างมากทางด้านความทนทานต่อแรงกระแทก โดยไม่มีผลมากนักจากความแข็งแรง ความแข็ง อุณหภูมิการเปียงเบนทางความร้อน และความต้านทานต่อสารเคมีของวัฏภาคเมตริกซ์ชนิดต่อเนื่อง สิ่งนี้จัดเป็นพื้นฐานพลาสติกชนิดแข็งและทนทานต่อแรงกระแทกสูง ซึ่งจัดสัดส่วนที่สำคัญของพอลิเมอร์ผสมในทางการค้า ในทางตรงกันข้ามการกระจายตัวของโดเมนเทอร์โมพลาสติกชนิดแข็งและมีขนาดเล็กมาก ในวัฏภาคเมตริกซ์ชนิดต่อเนื่องประเภทยางเทอร์โมพลาสติกจะสามารถเชื่อมพันธะของโมเลกุลเข้าด้วยกันโดยการเชื่อมโยงทางกายภาพทำให้เกิดความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่ดี โดยไม่มีการเสียสมบัติของความสามารถทางกระบวนการเทอร์โมพลาสติก และด้วยเหตุนี้จึงเกิดสาขาทางด้านอิลาสโตเมอร์เทอร์โมพลาสติก

ตามทฤษฎีแบบทั่วไปพอลิเมอร์หลักเกิดเป็นวัฏภาคเมตริกซ์แบบต่อเนื่องและเกิดเป็นช่วงของสมบัติ (property plateau) ส่วนโดเมนชนิดกระจายตัวจะช่วยปรับปรุงช่วงของสมบัติให้เป็นสัดส่วนกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยทำหน้าที่เหมือนเป็นอนุภาคของสารเติมแบบไม่ต่อเนื่องที่แน่นอนในช่วงของสมบัติที่ไม่ได้มีลักษณะแบนราบทั้งหมด

ในทางทฤษฎีอาจมีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากกฎของวัฏภาคจะกล่าวถึงการละลายของพอลิเมอร์ลงในวัฏภาคเมตริกซ์แบบต่อเนื่องของพอลิเมอร์หลัก สิ่งนี้ทำให้เกิดการปรับปรุงสมบัติให้แข็งแรงมากขึ้นเหมือนพฤติกรรมแบบที่ 1 ด้วยเหตุนี้ความเด่นชัดระหว่างแบบที่ 1 และแบบที่ 2 จึงไม่มีความแตกต่างทางคุณภาพอย่างแน่นอนเพียงแต่อยู่ในระดับหนึ่งเท่านั้น จากการศึกษาอนุกรมของพอลิเมอร์ A และ B ด้วยสเปกตรัมของการละลายได้บางส่วน ในบางครั้งระบุให้เห็นว่าสเปกตรัมของเส้นโค้งสอดคล้องกันระหว่างพฤติกรรมแบบที่ 1 และแบบที่ 2

แบบที่ 3 ไม่สามารถผสมเข้ากัน (Incompatible)

เมื่อพอลิเมอร์สองชนิดไม่ละลายซึ่งกันและกันอย่างสมบูรณ์ และแยกออกเป็นวัฏภาคโดยอาจมีการดึงดูระหว่างกันเล็กน้อย โดยระหว่างผิว (interface) ของวัฏภาคทั้งสองอ่อนแอมาก ด้วยเหตุนี้จึงอาจเกิดความล้มเหลวได้แม้ที่ความเค้นต่ำมากๆ ทั้งทางกล ทางความร้อนหรือทางเคมี จากนั้นสมบัติของผสมอาจลดลงต่ำกว่าพอลิเมอร์แต่ละตัวที่มีอยู่ในของผสม สมบัติที่ว่องไวในเรื่องนี้คือความแข็งแรงดึงสุดท้ายและการดึงยืด ณ จุดขาดซึ่งบ่งบอกให้ทราบถึงความไม่สามารถละลายเข้ากันได้เลย และโดยทั่วไปเป็นคำจำกัดความที่สำคัญของความไม่สามารถเข้ากันได้ (incompatibility) ในทางปฏิบัติสภาวะที่คล้ายกันจะมีผลต่อความว่องไวของสารเคมี เช่น การแตกหักเนื่องจากความเค้นทางสิ่งแวดล้อมอาจจะมีผลเนื่องจากการที่ระหว่างผิวอ่อนแอ ดังแสดงในรูปที่ 2.21



อัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ผสม

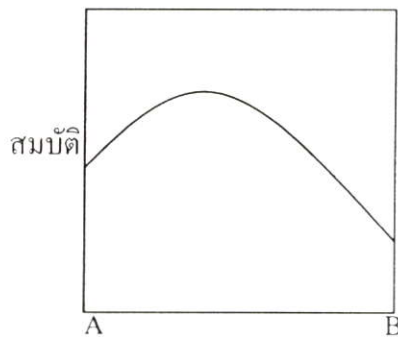
รูปที่ 2.21 ความไม่สามารถผสมเข้ากันได้ [13]

ในทางปฏิบัติวิธีพิสูจน์ประโยชน์ที่ได้คือความสามารถในการหลอมเหลวในบางระบบที่ไม่สามารถละลายเข้ากันมากๆทำให้ขาดการดึงดูระหว่างผิวเกิดการไหลของหลอมเหลวได้ง่ายมากและอาจใช้ปรับความสามารถในการหลอมเหลว ในทางปฏิบัติโน้ตสั้นนี้จัดว่าค่อนข้างใหม่และไม่ได้มีการศึกษากัน โดยตลอดเพื่อบ่งบอกถึงประโยชน์สุดท้าย

แบบที่ 4 ร่วมผสม (Synergistic)

พอลิเมอร์ผสมอาจแสดงสมบัติที่ดีกว่าพอลิเมอร์แต่ละตัวที่นำมาผสม เนื่องจากมีการปรับปรุงส่วนผสมที่สำคัญในทางปฏิบัติ ตัวอย่างหนึ่งของปรากฏการณ์นี้คือการใช้โดเมนยางชนิดกระจายตัวเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกของเมตริกซ์ที่มีลักษณะคล้ายแก้วและเปราะ ตัวอย่างที่นำมาใช้กัน ได้แก่ พอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกสูง พอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดแข็ง และพอลิพรอพิลีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกสูง นอกจากนี้ยังมีพลาสติกในทางวิศวกรรม ได้แก่ เรซินเอพอกซีและไนลอน เป็นต้น ในระบบทั้งหมดพอลิเมอร์ประเภทยางเป็นพวกที่ไม่ละลายเข้ากันทำให้เกิดเป็นโดเมนยางที่ไม่ต่อเนื่องและไม่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนอย่างรุนแรงในทางด้านความแข็งแรง ความแข็ง การเบี่ยงเบนทางความร้อนและความต้านทานต่อสารเคมีของเมตริกซ์ต่อเนื่อง แต่พันธะระหว่างผิว (interfacial bonding) แข็งแรงพอที่จะส่งผ่านความเค้นระหว่างวัสดุทั้งสองและด้วยเหตุนี้จึงเกิดการรวมสมบัติที่ดีที่สุดไว้ในแต่ละวัสดุภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.22

ความสำคัญของระบบร่วมผสมในทางปฏิบัติเห็นได้อย่างเด่นชัด การอธิบายในทางทฤษฎีมีปัญหาเป็นอย่างมากและมีทฤษฎีมากมายที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์นี้ จึงเป็นงานที่สำคัญงานหนึ่งของการวิจัยในปัจจุบันได้แก่เรื่องกลศาสตร์ของการแตกหัก (fracture mechanics) เมื่อเกิดความเข้าใจในทฤษฎีมากขึ้นจึงหวังว่าจะสามารถนำการร่วมผสมมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้นด้วย



รูปที่ 2.22 ระบบร่วมผสม [13]

สมบัติแต่ละชนิด เมื่อได้มีการศึกษาถึงสมบัติที่แตกต่างกันของระบบพอลิเมอร์ผสมหนึ่ง นักวิจัยพบว่าสมบัติที่ได้อาจมีการกระทำตามแบบที่ 1 แบบที่ 2 แบบที่ 3 หรือแบบที่ 4 ก็ได้ ถ้าใช้การจำแนกลักษณะนี้เพื่อวิเคราะห์การละลายและการแยกวัสดุภาคตามทฤษฎีลักษณะปรากฏที่ได้

อาจก่อให้เกิดความวุ่นวาย โดยทั่วไปสมบัติบางประการเกิดจากกลไกสุทธิ (gross mechanisms) โดยแบบที่ 1 ไม่ว่องไวต่อการแยกวัฏภาคขนาดเล็กในระดับที่ละเอียด ในขณะที่สมบัติอื่นว่องไวต่อการแยกวัฏภาคขนาดเล็กที่ละเอียด (fine-scale microphase separation) และอาจแสดงพฤติกรรมเป็นแบบ 2 หรือแบบที่ 3 ก็ได้ ความสามารถเข้ากันได้ในทางปฏิบัติ (practical compatibility) เช่น ความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันทำให้วิศวกรเลือกและใช้คุณสมบัติที่มีประโยชน์มากขึ้น โดยไม่สามารถทำนายได้จากการละลายทางเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamic miscibility) ธรรมดาทั่วไป

2.7 กระบวนการหล่อขึ้นรูป (casting) [14]

การหล่อ (casting) จัดเป็นกระบวนการขึ้นรูปชนิดหนึ่งโดยการนำของไหลหรือสารละลายที่เป็นมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์เทลงในแม่พิมพ์เปิด (open mold) ซึ่งเป็นที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันหรือการบ่ม (curing) การหล่ออาจจะทำให้อยู่ในรูปของแผ่นฟิล์ม หรือแผ่นซีท์ก็ได้โดยการเทเรซินที่เป็นของเหลวให้ไหลผ่านสายพานหรือทำให้เกิดการตกตะกอนในภาชนะที่มีสารเคมีอยู่ (chemical bath) เป็นต้น

การหล่อแตกต่างจากเทคนิคอื่นๆดังนี้คือ

1. โดยทั่วไปไม่ต้องอาศัยความดัน แต่ถ้าขึ้นงานซับซ้อนและมีเป็นจำนวนมากก็จำเป็นต้องอาศัยความดัน และเรียกวิธีการนั้นว่า การหล่อแบบใช้ความดัน (pressure casting)

2. วัสดุตั้งต้นจะใช้เป็นของเหลวมากกว่าจะใช้เป็นเม็ดหรือผงเหมือนที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ในการอัดแบบขึ้นรูปอื่นๆ

3. โดยทั่วไปนิยมใช้มอนอเมอร์มากกว่าพอลิเมอร์

มีการหล่อหลายแบบที่ไม่จัดอยู่ตามข้อจำกัดข้างต้น แต่มีชื่อเรียกเป็นการหล่อเหมือนกัน เช่น การหล่อแบบชนิดอัดขึ้นรูป (extrusion casting) วิธีการนี้เป็นการอัดรีดเรซินไปบนผิวของลูกกลิ้งขัดมันที่มีน้ำหล่อเย็นเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ การหล่อแบบหมุนเหวี่ยง (centrifugal casting) นิยมใช้กับพลาสติกเสริมแรง (reinforced plastics) วิธีนี้ทำได้โดยนำเรซินและเส้นใยไฟเบอร์กลาสชนิดตัด (chopped fibrous glass) มาวางลงในแผ่นเหล็กหมุนกลวง (hollow mandrel) ซึ่งวางอยู่ตรงกลางเพื่อยึดตัวงาน แผ่นเหล็กหมุนนี้จะหมุนเข้าไปในเตาอบ ทำให้เรซินกระจายอย่างสม่ำเสมอเข้าไปยังพื้นผิวด้านในของส่วนที่กลวงโดยอาศัยแรงที่เกิดขึ้นเกิดการบ่มตัวได้ผลิตภัณฑ์กลวงสำเร็จเป็นชิ้นงานต่อไป

การหล่อยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ เนื่องจากราคาของแม่พิมพ์ค่อนข้างถูก ใช้เวลาในการทำน้อย และอุปกรณ์ช่วยมีราคาไม่แพง เช่น ใช้เตาอบช่วยบ่มได้ทั้งชิ้นงานขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ ได้ความหนาตามต้องการ อีกทั้งการผ่านเครื่องจักร และการตกแต่งชิ้นงานก็มีน้อย นอกจากนี้ยังทำได้เร็วโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์พิเศษซึ่งมีราคาแพงมาช่วย การหล่อพลาสติกขึ้นรูปอยู่กับชนิดของ

พลาสติกและวัสดุประสงค์ของการใช้งาน มีชื่อเรียกกระบวนการผลิตแตกต่างกันออกไป ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างพลาสติกบางชนิดที่นิยมใช้วิธีนี้ได้แก่ อะคริลิก ฟีนอลิก เอฟอกซี พอลิเอสเตอร์ พอลิยูรีเทน และไนลอน เป็นต้น

2.7.1 การหล่อพอลิเอสเทอร์

พอลิเอสเทอร์นิยมนำมาใช้ในกระบวนการหล่อ เนื่องจากราคาถูก ใช้ได้ง่ายและหาได้โดยทั่วไป เทของเหลวพอลิเอสเทอร์ที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยาลงในแม่พิมพ์จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและได้รูปทรงตามต้องการ พอลิเอสเทอร์นำมาหล่อได้ดีเมื่อเวลาและอุณหภูมิเปลี่ยนไปทำให้เกิดความแข็งหลายระดับเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้คือ การเทด้วยมือ (hand pouring techniques) ซึ่งมีวิธีการ 3 ขั้นตอน ดังนี้คือ

1. เตรียมเรซินผสมที่ต้องการรวมทั้งเติมสารเติมแต่ง เม็ดสี และอื่นๆลงในสูตรผสมที่ต้องการ
2. เติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงในสูตรผสม แล้วเทลงในแม่พิมพ์
3. เมื่อได้เวลาของการบ่ม แยกชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ในการหล่อพอลิเอสเทอร์อาจใช้ในการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงและแบบหมุนเป็นวง (centrifugal and rotation casting) มาใช้กับชิ้นงานชนิดคลวงได้อีกด้วย การหล่อแบบหมุนเหวี่ยงจะทำให้เกิดการหล่อของวัตถุคลวง โดยอาศัยการหมุนแม่พิมพ์ตามแนวแกนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ในขณะที่การหล่อแบบหมุนสองแกนทำให้เกิดการหมุนในสองแกนด้วยความเร็วในการหมุนน้อยกว่า 10 รอบต่อนาที หลักการนี้คล้ายกับการอัดแบบชนิดเท (slushing)

2.7.2 แม่พิมพ์ของการหล่อพอลิเอสเทอร์

แม่พิมพ์ของการหล่อประเภทนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ แม่พิมพ์แบบแข็ง (rigid molds) กับแม่พิมพ์แบบยืดหยุ่น (flexible mold)

2.7.2.1 แม่พิมพ์แบบแข็ง นิยมใช้เมื่อมีการดึงโครงร่าง (draft) ที่เพียงพอและไม่มีอันเดอร์คัทมาขัดขวางขณะเอาแม่พิมพ์ออก ประโยชน์ของแม่พิมพ์แบบนี้คือ ค่าใช้จ่ายในการทำเครื่องมือต่ำและอายุการใช้งานนาน โครงสร้างทำจากวัสดุต่างๆกันดังนี้คือ ไฟเบอร์กลาส เอฟอกซีหล่อ (cast epoxy) โลหะหล่อ (cast metal) ยูรีเทนหล่อ (cast urethane) และแผ่นซีทเทอร์โมพลาสติกที่เกิดจากระบบสูญญากาศ

2.7.2.2 แม่พิมพ์แบบยืดหยุ่น เหมาะกับชิ้นงานที่มีอันเดอร์คัท หรือมีการดึงโครงร่างไม่เพียงพอทำให้ใช้แม่พิมพ์แบบแข็งไม่ได้ แม่พิมพ์แบบยืดหยุ่นที่นิยมใช้กันมากได้แก่ ยางซิลิโคน (silicone rubber) เนื่องจากมีความเหนียวสูง และทนทานต่อสารเคมีอีกทั้งมีการคายความร้อนที่ดี นอกจากนี้ยังมีสมบัติการปลดปล่อยตัวเองได้ (self-releasing properties) ซึ่งทำให้ไม่ต้องอาศัยสารช่วยในการปลดปล่อย (release agents) อีลาสโตเมอร์ยูรีเทน (urethane elastomers) เป็นที่นิยมนำมา

ทำแม่พิมพ์แบบยืดหยุ่น เนื่องจากมีสมบัติคล้ายคลึงกับยางใน คือมีความยืดหยุ่นและความเหนียวแต่ไม่มีสมบัติการปลดปล่อย ไวนิลพลาสติกโซล (vinyl plastisol) ใช้ทำแม่พิมพ์ชนิดนี้ได้เช่นกัน ไวนิลไม่เกิดเป็นเจลหรือบวมตัวเหมือนกับตัวอื่นแต่มีความยืดหยุ่นสูงมาก โดยปกติจะอยู่ในรูปของของเหลว ถ้านำมาใช้ต้องทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิประมาณ 77°C จากนั้นจึงเทลงในแบบที่มีการให้ความร้อนไว้ก่อน (preheating) แม่พิมพ์ชนิดนี้เหมาะกับอันเดอร์คัทแบบร่องลึก (deep undercut) แต่เนื่องจากมีความต้านทานต่อสารเคมีต่ำจึงทำให้ไม่มีความเสถียรในเรื่องของขนาด

2.8 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

✓ A. Pourjavadi, A.M. Harzandi และ H. Hosseinzadeh, (2004) [15] การตัดแปรสำหรับ carrageenan เพื่อสังเคราะห์เป็น superabsorbent hydrogel โดยการกราฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน acrylic acid บน kappa-carrageenan ในอากาศ โดยการใช้สารเชื่อมโยงและอนุมูลอิสระเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา การเกิดพอลิเมอร์เซชันของ Polyacrylic acid กราฟต์บน kappa-carrageenan ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเชื่อมโยง ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และอุณหภูมิขณะผสม จากการทดลองพบว่า ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุดได้ 789 g/g เมื่อเทียบกับน้ำหนักก่อนแช่น้ำ ศึกษาการบวมตัวในสารละลายเกลือชนิดต่างๆ พบว่าต้องเตรียมที่สภาวะเป็นกลางใช้ persulfate เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา และใช้สารเชื่อมโยงที่มีหมู่ชอบน้ำสองหมู่

A. Pourjavadi, M. Kurdtabar, Gholam R. Mahdavinia, และ H. Hosseinzadeh, (2006) [16] ในงานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ protein-based superabsorbent hydrogel และศึกษาพฤติกรรมการบวมตัว โดยเตรียม acrylic acid กราฟต์บนคอลลาเจนซึ่งเป็นโปรตีนได้จากไขกระดูกใช้ potassium persulfate (KPS) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาและใช้ N,N'-methylene bisacrylamide (MBA) เป็นสารเชื่อมโยง นำไปพิสูจน์ลักษณะโครงสร้างด้วย FTIR ในการเตรียมไฮโดรเจลขึ้นอยู่กับปัจจัยคือความเข้มข้นของสารเชื่อมโยง ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และอุณหภูมิขณะผสม จึงจะได้ไฮโดรเจลที่มีความสามารถในการบวมตัวในน้ำถึง 920 g/g เมื่อเทียบกับน้ำหนักของไฮโดรเจลก่อนแช่น้ำ ศึกษาการบวมตัวในสารละลายเกลือชนิดต่างๆ และการบวมตัวในสารละลายที่ pH 1-13 ซึ่งพฤติกรรมการบวมตัวและไม่บวมตัวของไฮโดรเจลในสารละลายที่เป็นกรดและเบสทำให้ไฮโดรเจลเหมาะที่จะนำไปทำเป็น drug delivery systems เนื่องจากโปรตีนที่ใช้เป็นโปรตีนจากกระดูก จึงคาดว่าน่าจะเข้ากับร่างกายของมนุษย์ได้

A. Pourjavadi, R. Mahdavinia, และ H. Hosseinzadeh, (2005) [17] ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุง carrageenan สังเคราะห์ superabsorbent hydrogel 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS) กราฟต์บน kappa-carrageenan ใช้ ammonium persulfate (APS) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา และใช้ N,N,N',N'-tetramethyl ethylenediamine (TMEDA) เป็นตัวเร่ง ใช้ N,N'-methylene bisacrylamide (MBA) เป็นสารเชื่อมโยง นำไปพิสูจน์ลักษณะโครงสร้างด้วย FTIR สมบัติการดูด

ชั้นน้ำของไฮโดรเจลขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของสารเชื่อมโยง ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และอุณหภูมิขณะผสม ศึกษาการบวมตัวในสารละลายเกลือชนิดต่างๆ LiCl, NaCl, KCl, MgCl₂, CaCl₂, SrCl₂, BaCl₂, และ AlCl₃ และการบวมตัวในสารละลายที่ pH 1-13

R.M.D. Soares, A.M.F. Lima, R.V.B. Oliveira, A.T.N. Pires, และ V. Soldi (2005) [18] ศึกษาการเตรียมฟิล์มจากแป้งข้าวโอ๊ตและแป้งข้าวโพดผสมกับ Xanthan ที่อัตราส่วน Xanthan/แป้งที่แตกต่างกัน นำมาวิเคราะห์ Thermogravimetric analysis และ FTIR จากการศึกษาพบว่า การเติมแป้งไปผสมกับ Xanthan ทำให้ความเสถียรทางความร้อนของฟิล์มเพิ่มขึ้น

M. Schou, A. Longares, C. Montesinos-Herrero, F.J. Monahan, D. O’Riordan, และ M. O’Sullivan (2005) [19] ศึกษาสมบัติของฟิล์ม sodium caseinate โดยเตรียมจาก Glycerol กับ Protein ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ศึกษาการนำไปประยุกต์ใช้ห่ออาหารโดยนำฟิล์มไปห่อขนมปังที่ระยะเวลาต่างๆ จากการศึกษาพบว่าปริมาณ Glycerol เพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นก็เพิ่มขึ้นด้วย ค่า Tensile strength , Elastic modulus ลดลง หลังจากนำฟิล์มมาห่อขนมปัง 6 ชั่วโมงพบว่าฟิล์มมีความแข็งแรงลดลง

S.K.Bajpai (1999) [20] ศึกษา Hydrogels โดยการนำ casein มา crosslink กับ polyacrylamide และศึกษาพฤติกรรม การบวมตัวและการปลดปล่อยยา จากการศึกษาพบว่าใช้ casein มาละลายใน NaOH เติม monomer Acrylamide, N,N’-Methylenebisacrylamide(crosslink), Sodium Metabisulphite(initiator), Potassium Persulphate(initiator) และน้ำ ได้ casein crosslink กับ polyacrylamide และพบว่า Hydrogels บวมตัวได้มากที่สุดที่สภาวะเป็นกลาง

✓ ณรงค์ ชุกันทรพรพงษ์และคณะ (1981) [21] ศึกษาการแยกสารที่มีสมบัติในการพองตัวจากเม็ดแมงลักเพื่อใช้ในการเกษตรอุตสาหกรรมและเภสัชกรรม สารเมือก (mucilage) ซึ่งได้การพองตัวในน้ำของเม็ดแมงลัก มีสมบัติน่าสนใจ การแยกสารเมือกออกจากเม็ด และทำให้อยู่ในรูปของผงแห้ง ใช้กรรมวิธีแบบง่ายๆ และผงเมือกแห้งที่ได้นี้ ได้นำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพในแนวทางที่จะนำเอาไปใช้ประโยชน์ อาทิเช่น ศึกษาสมบัติการไหล, ความหนืด, การพองตัวในน้ำที่มี pH ต่างๆ และความคงตัวของสารเมือกอันเป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการนำเอาสารเมือกไปใช้เป็นสารช่วยให้เกิดการแขวนลอย (suspending agent) ศึกษาปริมาณความชื้นที่มีในผงแห้งและความสามารถในการดูดความชื้น เพื่อเป็นข้อมูลในการนำเอาผงเมือกแห้ง ไปดัดแปลงเป็นเม็ดหรือแคปซูล หรือในการเก็บรักษาผงเมือกแห้ง นอกจากนี้ได้ทดลองเตรียมขี้ผึ้งแขวนตะกอน โดยใช้สารเมือกจากเม็ดแมงลักนี้เป็นสารช่วยให้เกิดการแขวนลอย

S. Mathew, M. Brahmakumar, และ T. Abraham (2006) [22] ศึกษา microstructural สมบัติเชิงกล สมบัติทางเคมี สมบัติทางความร้อนและสมบัติการพองตัวของฟิล์มที่ทำมาจากแป้งมันฝรั่งผสมกับไคโตซานขึ้นรูปฟิล์ม โดยการหล่อแล้วนำไปประเหยตัวทำละลายออกไป จากการศึกษาทดลองพบว่าเมื่อปริมาณแป้งมากขึ้นทำให้สมบัติการพองตัวดีขึ้น แป้งกับไคโตซานมีแรงกระทำ

ระหว่างกันจากหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งกับหมู่อะมิโนของไคโตซาน การทนต่อความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น พิล์มไคโตซานจะเรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่ฟิล์มแป้งมีเม็ดทรงกลมเล็กๆ พิล์มแป้งกับไคโตซานเข้ากันได้ค่อนข้างดี พิล์มที่ได้มีความ flexible สูงขึ้นและมี %elongation ดีขึ้นด้วย

L. Wen-Fu, และ C. Chin-Fu (1998) [23] ศึกษาการสังเคราะห์และพฤติกรรมของการพองตัวของไฮโดรเจลจาก 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) โภพอลิเมอร์กับ N,N'-dimethyl(acrylamido propyl) ammonium propane sulfonate (DMAAPS) โดยใช้ Ammonium persulfate (APS) และ N,N,N',N',tetramethyl-ethylenediamine (TEMED) เป็น redox initiator จากการทดลองพบว่าพฤติกรรมของการพองตัวขึ้นอยู่กับ ธรรมชาติของไฮโดรเจลคือ จำนวนประจุ และสถานะแวดล้อมคือ ค่า pH และอุณหภูมิ เมื่อปริมาณ DMAAPS เพิ่มขึ้นพฤติกรรมของการพองตัวก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเวลาที่ใช้ในการพองตัวก็จะลดลง และมีลักษณะโปร่งแสง

ธีระพล มณีวรรณท์กุล, สุวิทย์ เอื้อโสภณ, อรกมล ทองใบ, (2544) [24] ศึกษาการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล (Hydrogel) ผสมระหว่างสารเมือก (Mucilage) ที่ได้จากการพองตัวของเมล็ดแมงลัก (*Ocimum canum sims.*) กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA 3%w/w) ศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาในการปรับสภาพทางความร้อนที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ทำการเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำ (Water Uptake) และสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ได้จาก PVA อย่างเดียวที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 0, 2.5, 5 และ 10 นาที ตามลำดับ กับฟิล์มผสมระหว่างสารเมือกและ PVA ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร และในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร โดยผ่านการปรับสภาพเช่นเดียวกับฟิล์มที่ได้จาก PVA อย่างเดียว ศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มทั้ง 3 สูตร โดยใช้เทคนิค TGA และ DSC ในการตรวจสอบ จากการทดลองพบว่า สมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสมจะแปรผันตามกับปริมาณของสารเมือกที่ใช้และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพทางความร้อน และฟิล์มผสมในอัตราส่วน 2:1 ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนเป็นเวลา 2.5 นาทีให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด โดยจะให้ค่าการดูดซับน้ำ 605.34 % ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) 584 MPa และค่าความสามารถในการยืด (% Elongation at break) 16%

B. Ramarai, และ R. Radhakrishnan (1994) [25] งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ไฮโดรเจลที่มีโครงสร้างร่างแหแบบสอดประสาน (Interpenetrating Hydrogel Network) จากเจลาตินและพอลิอะคริลาไมด์โดยใช้สารเชื่อมโยง ศึกษาพฤติกรรมของการบวมตัวของไฮโดรเจลในน้ำและในสารละลายกรดซัลฟิวริกฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ pH ต่างๆ วิเคราะห์ผลของอุณหภูมิที่มีต่อพฤติกรรมของการบวมตัวจาก 25-60 °C เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์เป็น drug release

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและสารที่ใช้ในการทดลอง

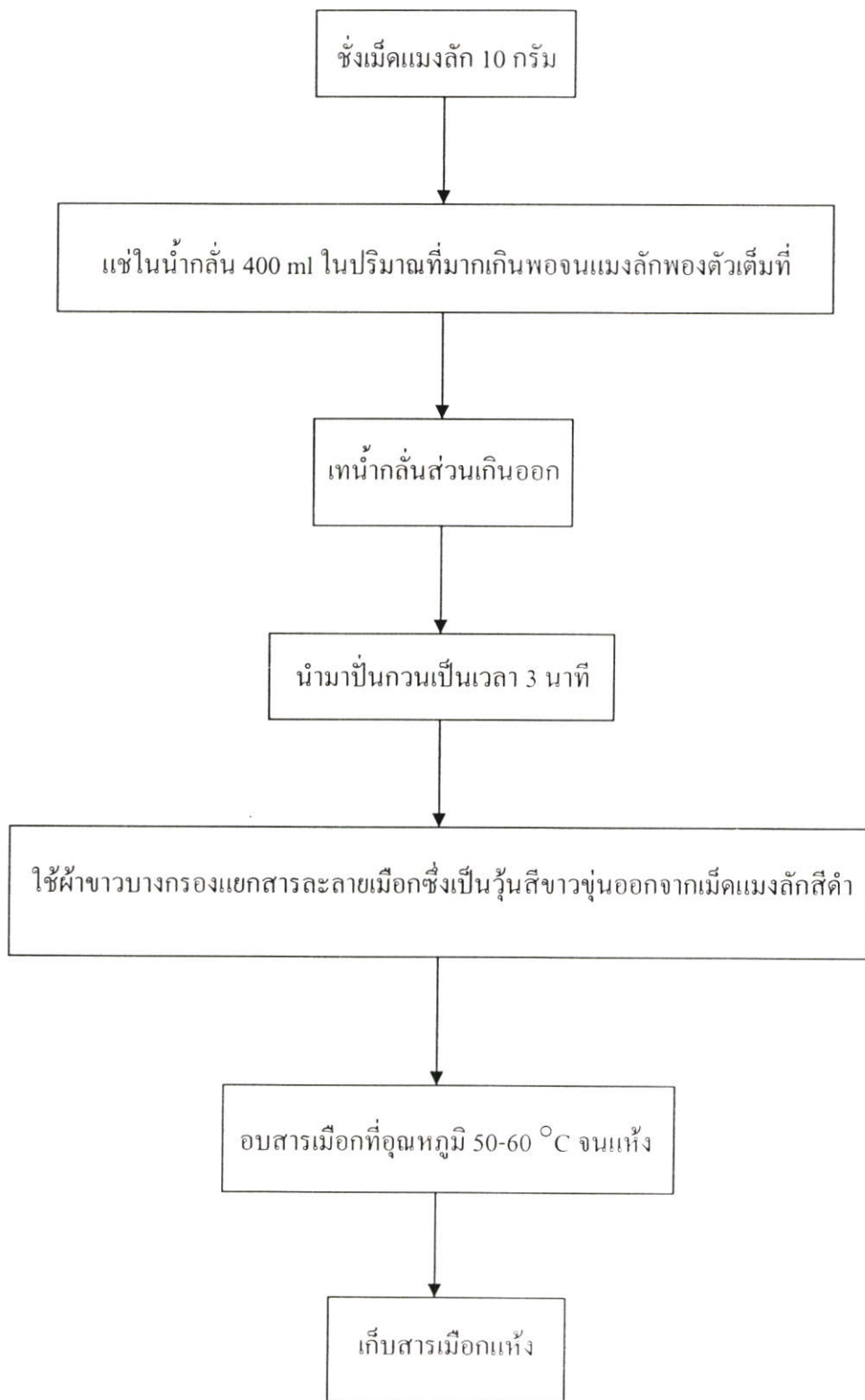
1. เมล็ดแมงลัก : ตราไรท์พี
2. 2-Hydroxyethyl methacrylate : บริษัท ALDRICH $H_2C=C(CH_3)CO_2CH_2CH_2OH$
MW 130
3. Sodium hydroxide : บริษัท CARLO ERBA NaOH MW 39.997
4. N,N'-Methylenebisacrylamide : บริษัท Sigma-Aldrich Chemie GmbH $C_7H_{10}N_2O_2$ MW
154.17
5. Sodium Metabisulphite : บริษัท Ajax Finechem $Na_2S_2O_5$ MW 190.10
6. Ammonium Persulfate : บริษัท Ajax Finechem $(NH_4)_2 S_2O_8$ MW 228.19

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องทดสอบแรงดึงรุ่น LR 5K บริษัท LLOYD Instrument
2. เครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) บริษัท Bruker
3. Thermogravimetric Analysis รุ่น TAC7/DX บริษัท Perin Elmer
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) รุ่น Mx 2500 s บริษัท Camscan Maxim
5. Hot plate รุ่น LabTech บริษัท Daihanlabtech
6. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล รุ่น HR-200 บริษัท Denver Instrument
7. มอเตอร์พร้อมใบพัดปั่นกวน รุ่น Stedfast stirrer Model SL 2400 บริษัท Fisher Scientific
8. Thermometer
9. ชุดทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ
10. ตู้อบ
11. ผ้าขาวบาง
12. เครื่องปั่น National super blender
13. ถาด
14. Viscosity Centipoint รุ่น LV2000 บริษัท CANNON instrument

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

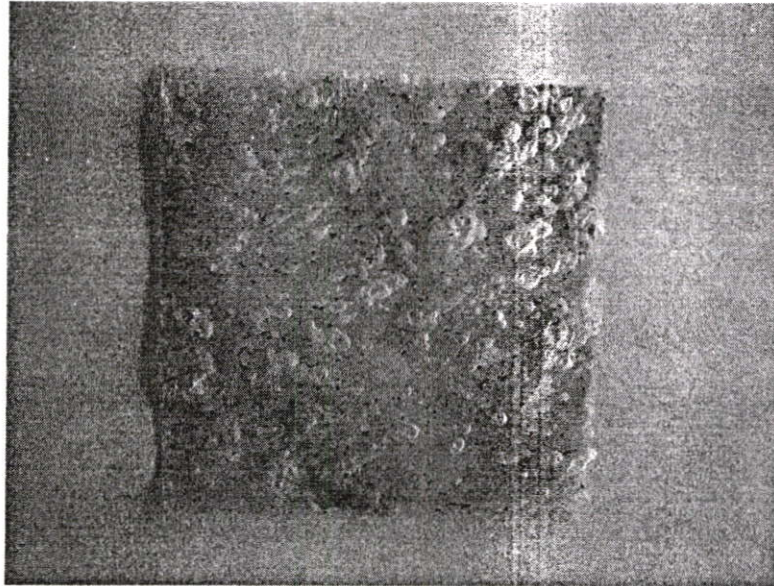
3.3.1 เตรียมผงสารเมือกแห้งจากเม็ดแมงลัก



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมผงสารเมือกแห้งจากเม็ดแมงลัก

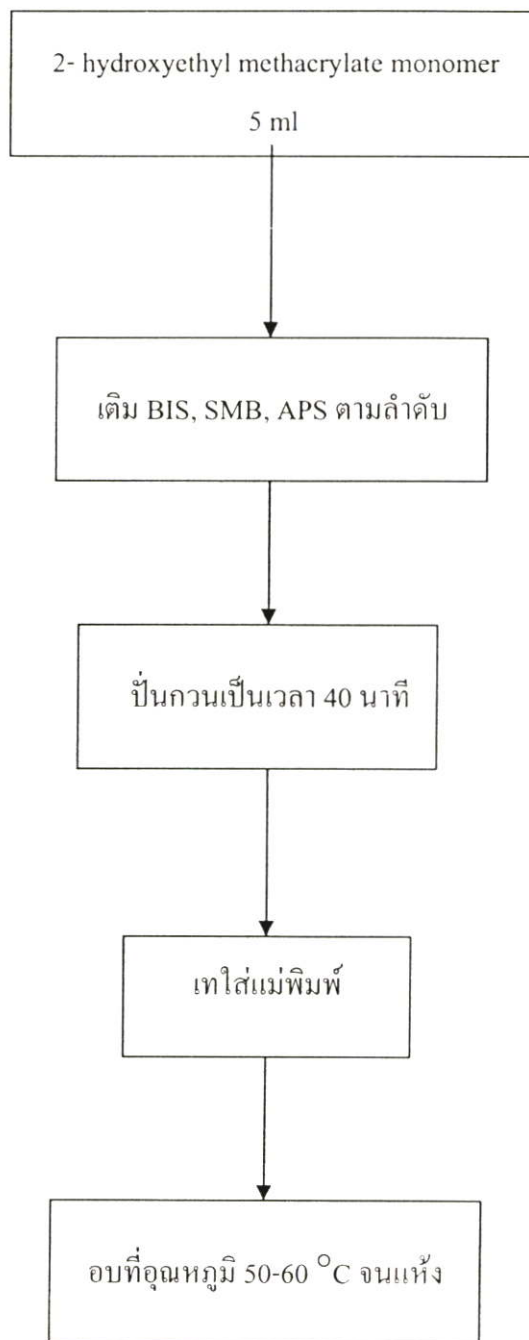


รูปที่ 3.2 แสดงเม็ดแมงลัก [3]



รูปที่ 3.3 แสดงสารเมือกแห้งจากเม็ดแมงลักที่เตรียมได้

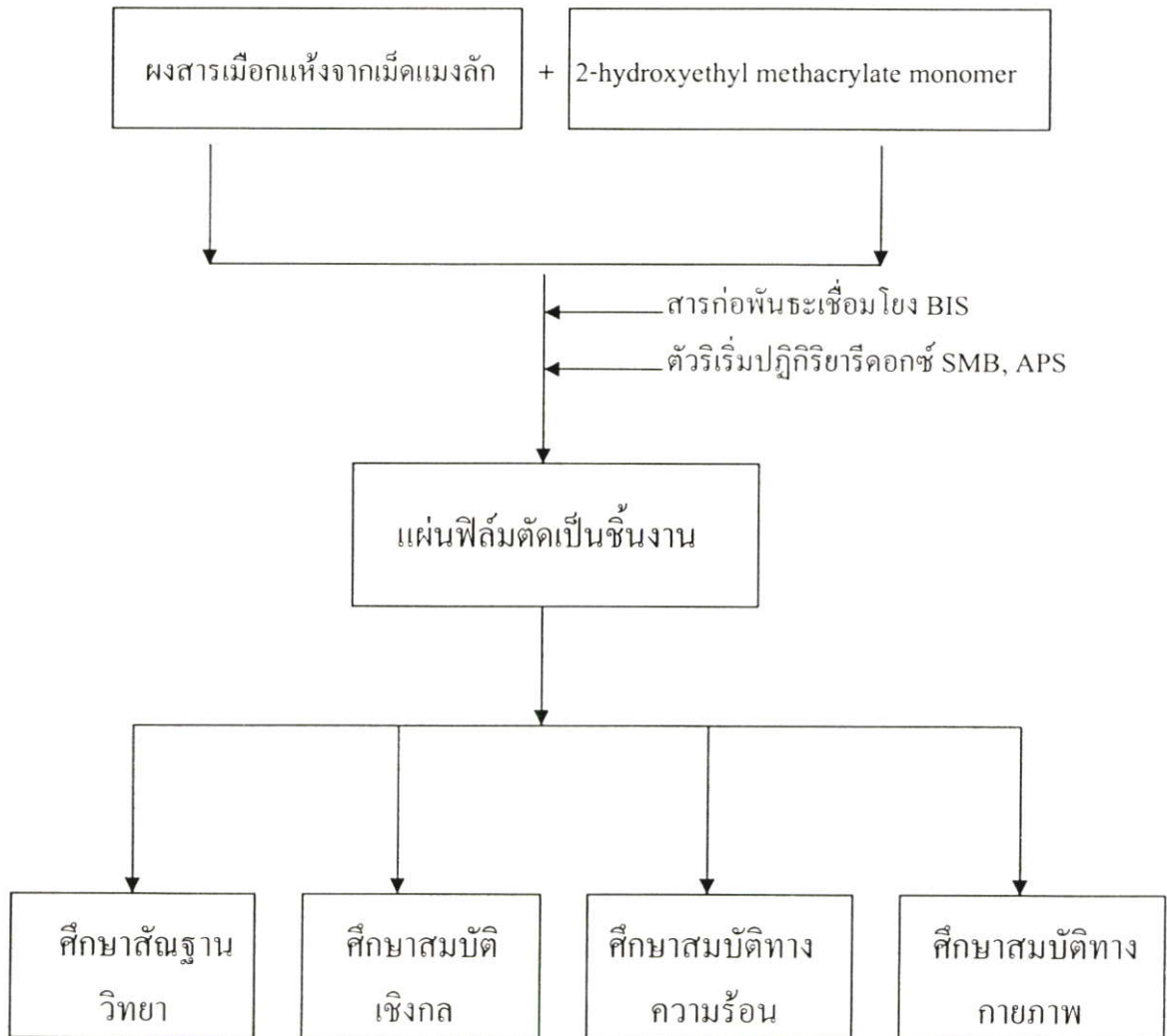
3.3.2 เตรียม Poly(2- hydroxyethyl methacrylate)



หมายเหตุ BIS = N,N'-Methylenebisacrylamide
 SMB = Sodium Metabisulphite
 APS = Ammonium Persulphate

รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการเตรียม Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

3.3.3 เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต



หมายเหตุ BIS = N,N'-Methylenebisacrylamide

SMB = Sodium Metabisulphite

APS = Ammonium Persulphate

รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังขั้นตอนการทดลอง

3.3.4 การเตรียมฟิล์มจากสารเมือกเมล็ดแมงลัก

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของ BIS, SMB และ APS ที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม เมื่อไม่มีมอนอเมอร์

HEMA

1. นำส่วนผสมต่างๆมาผสมกันตามลำดับดังตารางที่ 3.1 และปั่นจนไปด้วย

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ที่ไม่มีมอนอเมอร์

สูตรที่	แป้ง แมงลัก (%w/v)	NaOH 0.1 M (ml)	Monomer (ml)	BIS (g)	SMB (g)	APS (g)	อุณหภูมิ ขณะผสม (°C)
1	0.5	5	0	0.19	0.13	0.13	50-60
2	1	5	0	0.19	0.13	0.13	50-60
3	2	5	0	0.19	0.13	0.13	50-60
4	3	5	0	0.19	0.13	0.13	50-60
5	0.5	5	0	0.19	0.13	0.13	28-30
6	1	5	0	0.19	0.13	0.13	28-30
7	2	5	0	0.19	0.13	0.13	28-30
8	3	5	0	0.19	0.13	0.13	28-30

หมายเหตุ Monomer = 2-Hydroxyethyl methacrylate, BIS = N,N'-Methylenebisacrylamide, SMB = Sodium Metabisulphite, APS = Ammonium Persulphate

2. นำไปขึ้นรูปโดยการหล่อเป็นแผ่นฟิล์ม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50-60 °C

3.3.5 การเตรียมสารเมือกจากเม็ดแมงลักผสมพอลิเมอร์ [19]

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม

1. นำส่วนผสมต่างๆมาผสมกันตามลำดับดังตารางที่ 3.2 และปั่นจนไปด้วย

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์กับสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

สูตรที่	แป้ง แมงลัก (%w/v)	NaOH 0.1 M (ml)	Monomer (ml)	BIS (g)	SMB (g)	APS (g)	อุณหภูมิ ขณะผสม (°C)
9	0	5	5	0.19	0.13	0.13	50-60
10	0.5	5	5	0.19	0.13	0.13	50-60
11	1	5	5	0.19	0.13	0.13	50-60
12	2	5	5	0.19	0.13	0.13	50-60
13	3	5	5	0.19	0.13	0.13	50-60
14	0	5	5	0.19	0.13	0.13	28-30
15	0.5	5	5	0.19	0.13	0.13	28-30
16	1	5	5	0.19	0.13	0.13	28-30
17	2	5	5	0.19	0.13	0.13	28-30
18	3	5	5	0.19	0.13	0.13	28-30

หมายเหตุ Monomer = 2-Hydroxyethyl methacrylate, BIS = N,N'-Methylenebisacrylamide, SMB = Sodium Metabisulphite, APS = Ammonium Persulphate

2. นำไปขึ้นรูปโดยการหล่อเป็นแผ่นฟิล์ม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50-60 °C

ตอนที่ 3 ศึกษาผลของปริมาณ BIS (crosslink) ที่ลดลงครั้งหนึ่ง ที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม

1. นำส่วนผสมต่างๆมาผสมกันตามลำดับดังตารางที่ 3.3 และปั่นจนไปด้วย

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์กับสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่มีการลด

ปริมาณสารเชื่อมโยง

สูตรที่	แป้ง แมงลัก (%w/v)	NaOH 0.1 M (ml)	Monomer (ml)	BIS (g)	SMB (g)	APS (g)	อุณหภูมิ ขณะผสม (°C)
19	0	5	5	0.095	0.13	0.13	50-60
20	0.5	5	5	0.095	0.13	0.13	50-60
21	1	5	5	0.095	0.13	0.13	50-60
22	2	5	5	0.095	0.13	0.13	50-60
23	3	5	5	0.095	0.13	0.13	50-60
24	0	5	5	0.095	0.13	0.13	28-30
25	0.5	5	5	0.095	0.13	0.13	28-30
26	1	5	5	0.095	0.13	0.13	28-30
27	2	5	5	0.095	0.13	0.13	28-30
28	3	5	5	0.095	0.13	0.13	28-30

หมายเหตุ Monomer = 2-Hydroxyethyl methacrylate, BIS = N,N'-Methylenebisacrylamide, SMB

= Sodium Metabisulphite, APS = Ammonium Persulphate

2. นำไปขึ้นรูปโดยการหล่อเป็นแผ่นฟิล์ม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50-60 °C

ตอนที่ 4 ศึกษาผลของปริมาณ SMB และ APS (initiator) ที่ลดลงครึ่งหนึ่ง ที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม

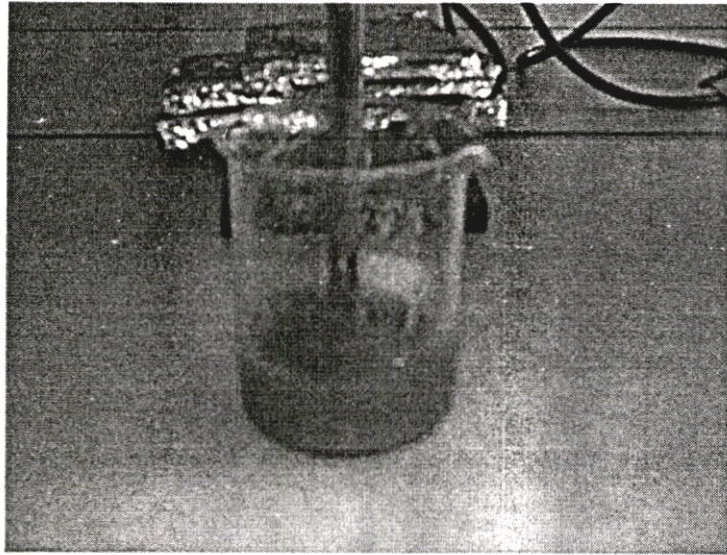
1. นำส่วนผสมต่างๆมาผสมกันตามลำดับดังตารางที่ 3.4 และปั่นจนไปด้วย

ตารางที่ 3.4 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์กับสารเมื่ออกจากเม็ดเมงลักที่มีการลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา

สูตรที่	แป้ง เมงลัก (%w/v)	NaOH 0.1 M (ml)	Monomer (ml)	BIS (g)	SMB (g)	APS (g)	อุณหภูมิ ขณะผสม (°C)
29	0	5	5	0.19	0.065	0.065	50-60
30	0.5	5	5	0.19	0.065	0.065	50-60
31	1	5	5	0.19	0.065	0.065	50-60
32	2	5	5	0.19	0.065	0.065	50-60
33	3	5	5	0.19	0.065	0.065	50-60
34	0	5	5	0.19	0.065	0.065	28-30
35	0.5	5	5	0.19	0.065	0.065	28-30
36	1	5	5	0.19	0.065	0.065	28-30
37	2	5	5	0.19	0.065	0.065	28-30
38	3	5	5	0.19	0.065	0.065	28-30

หมายเหตุ Monomer = 2-Hydroxyethyl methacrylate, BIS = N,N'-Methylenebisacrylamide, SMB = Sodium Metabisulphite, APS = Ammonium Persulphate

2. นำไปขึ้นรูปโดยการหล่อเป็นแผ่นฟิล์ม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50-60 °C



รูปที่ 3.6 แสดงการปั่นกวนขณะเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล

3.4 การทดสอบสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจล

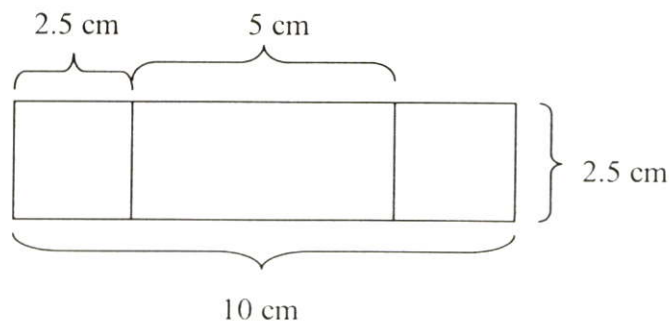
3.4.1. การตรวจหาหมู่ฟังก์ชัน

นำตัวอย่างที่เตรียมได้มาทำการตรวจวิเคราะห์โดยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ในช่วงความยาวคลื่น $400-4000\text{ cm}^{-1}$ ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

3.4.2 การทดสอบเชิงกล [22]

สมบัติทางการดึง (tensile properties) ได้แก่ การทนแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ตัดชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $2.5 \times 10\text{ cm}$ นำชิ้นงานมาแช่น้ำก่อน 10 นาที เนื่องจากการใช้งานต้องนำไปแช่น้ำหรือยาก่อน ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงใช้ชิ้นงานทดสอบตัวอย่างละ 8 ชิ้น (ASTM D882) สภาวะการทดสอบเป็นดังนี้

Load cell 100 N Test speed 5 mm/min Gauge length 5 cm



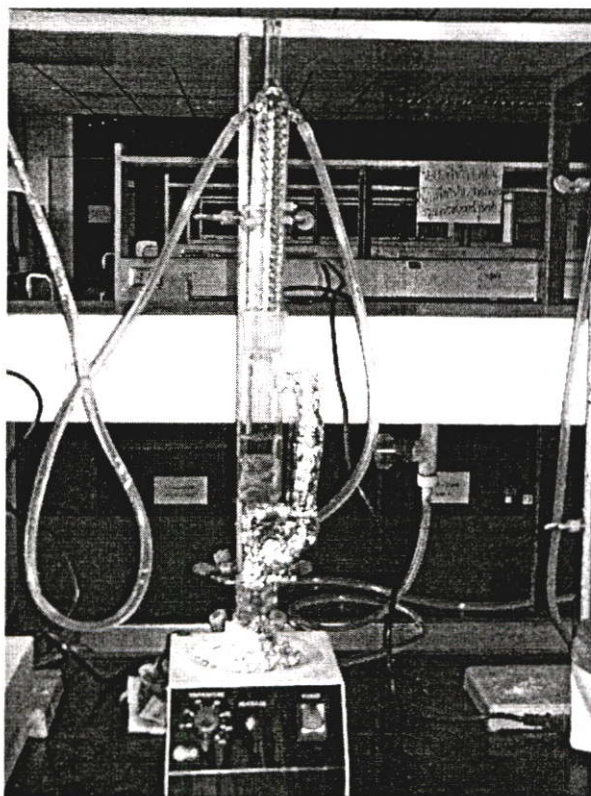
รูปที่ 3.7 แสดงขนาดชิ้นงานที่ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกล

3.4.3 การทดสอบอัตราการดูดซับน้ำ [25]

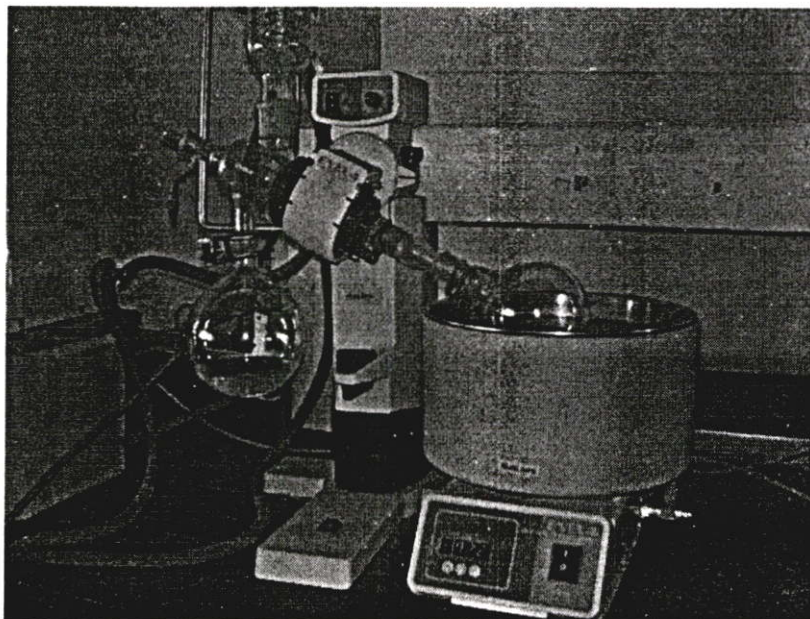
นำชิ้นงานมาตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม 2×4 cm ให้ขนาดเท่ากัน นำไปซังเพื่อให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปใส่ของตาข่ายโลหะที่น้ำสามารถผ่านเข้าออกได้ นำไปแช่น้ำ โดยชิ้นงานต้องจมน้ำ นำขึ้นมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 10 นาที เพื่อดูอัตราการดูดซับน้ำจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำของเดิมไปต้มในน้ำร้อน 3 ชั่วโมง นำไปอบจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วชั่งหาส่วนไม่ละลาย นำไปต้มในน้ำร้อนอีกครั้ง แล้วนำมาอบจนได้น้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำชิ้นงานมาสกัดด้วยเมทานอลต่อเป็นเวลา 5 ชั่วโมงโดยใช้ soxhlet ดังรูปที่ 3.7 นำมาอบให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนัก (เนื่องจากมีการใช้ค่าจำกัดความที่ที่หลากหลาย เช่น % Swelling index, % Swelling capacity, % Swelling ratio, % Water uptake และ % Swelling ในการทดลองนี้จึงขอใช้คำว่า % Swelling และนำไปคำนวณจากสูตร)

$$\% \text{ Swelling} = \frac{\text{น้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักฟิล์มแห้งก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักฟิล์มแห้งก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

$$\% \text{ Gel fraction} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งคงเหลือหลังสกัดด้วยน้ำและเมทานอล}}{\text{น้ำหนักฟิล์มแห้งก่อนสกัด}} \times 100$$



รูปที่ 3.8 แสดงการสกัดฟิล์มไฮโดรเจลด้วยเมทานอล ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง



รูปที่ 3.9 แสดงการระเหยเมทานอลที่ได้จากการสกัดฟิล์มไฮโดรเจล

3.4.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

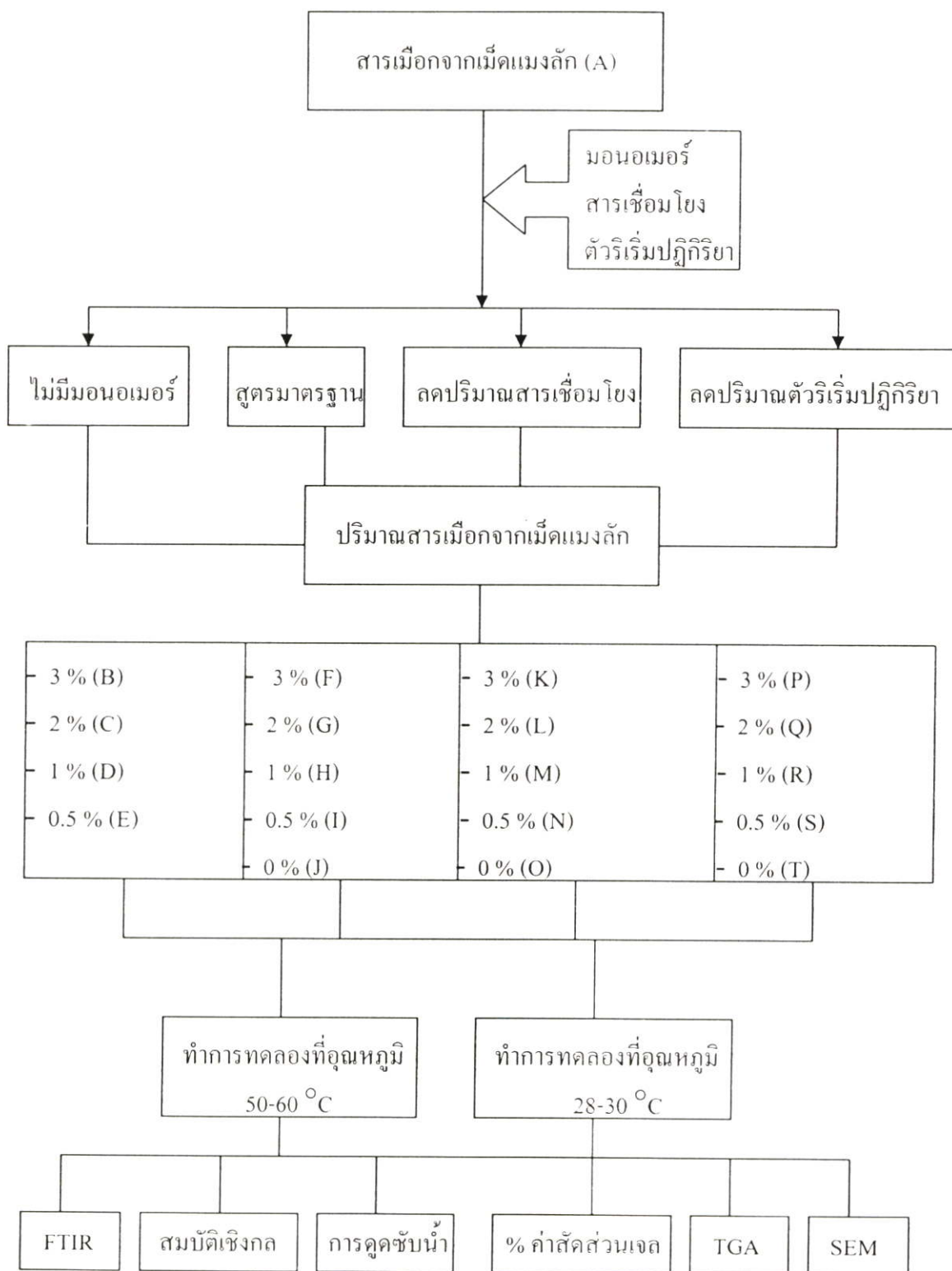
ใช้ TGA วิเคราะห์ความสามารถทนความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผสมสารเมือกจากเม็ดแมงลักและวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสารซึ่งสามารถหาค่าประกอบคร่าวๆได้ โดยนำชิ้นงานมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ สภาวะการทดสอบเป็นดังนี้

Heating rate 20 °C/min ช่วงอุณหภูมิ 50 – 500 °C ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน

3.4.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา

ศึกษาการกระจายตัวของสารเมือกจากเม็ดแมงลักในพอลิเมอร์ ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล โดยนำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลมาตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กแล้วนำไปเคลือบด้วยทองคำ หลังจากนั้นนำไปส่องดูพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) รุ่น Mx 2500 s บริษัท Camscan Maxim

3.5 สรุปแผนผังการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล



รูปที่ 3.10 แสดงสรุปแผนผังการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล

บทที่ 4

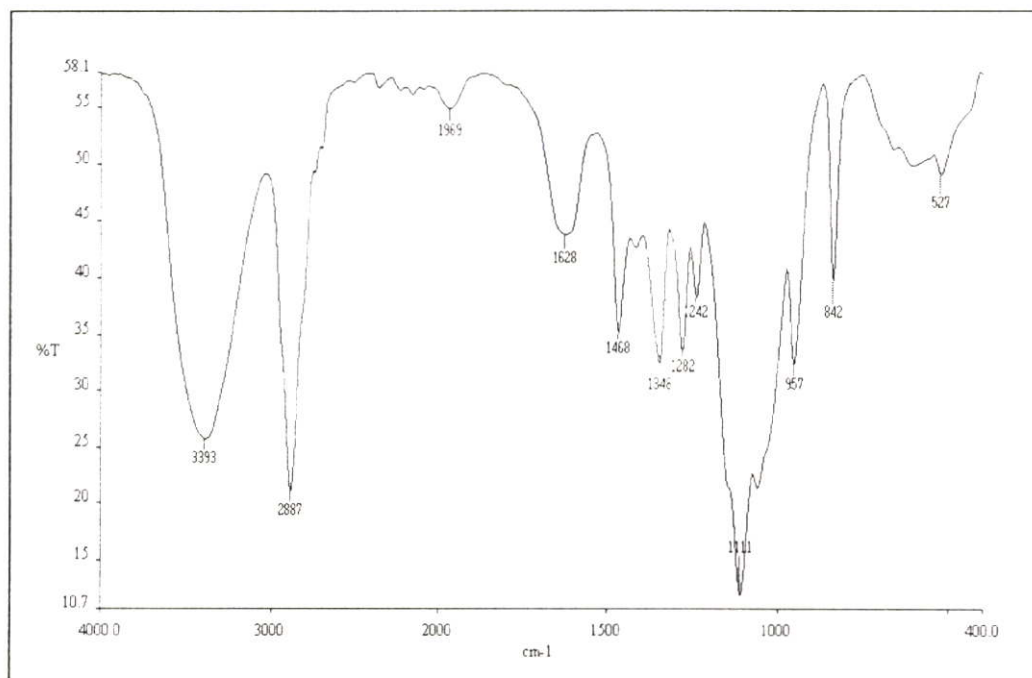
ผลการทดลอง

ทำการทดลองเปรียบเทียบสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้จากสารเมือกจากเมล็ดแมงลักผสมกับ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ซึ่งผลการทดลองแปรผลตามอุณหภูมิขณะผสม โดยสมบัติที่ทดสอบได้แก่ ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล การดูดซับน้ำ เปรอร์เซ็นต์สัดส่วนเจล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางสัณฐานวิทยา และเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ จึงขอนิยามคำว่า สูตรมาตรฐาน คือไฮโดรเจลที่มีการผสมสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก, น้ำ, Sodiumhydroxide, 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA), N,N'-Methylenebisacrylamide (BIS), Sodium Metabisulphite (SMB), Ammonium Persulfate (APS) ตามลำดับ และกำหนดสัญลักษณ์ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ดังนี้

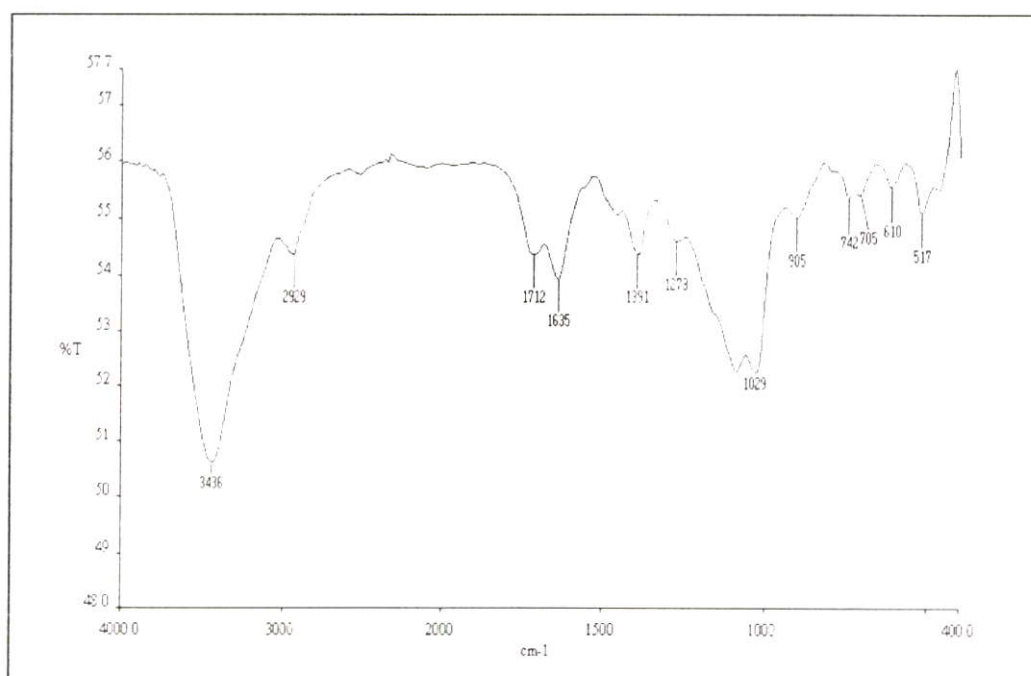
- (A) สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก
- (B) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (C) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (D) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (E) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (F) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (G) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (H) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (I) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (J) 0 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (พอลิเมอร์)
- (K) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (L) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (M) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (N) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (O) 0 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อม โยง (พอลิเมอร์)
- (P) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (Q) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (R) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (S) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (T) 0 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา(พอลิเมอร์)

4.1 ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

4.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของผงสารเมื่อกจากเม็ดแมงลักและ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ด้วย FTIR



รูปที่ 4.1 แสดง IR spectrum ของผงสารเมื่อกจากเม็ดแมงลัก

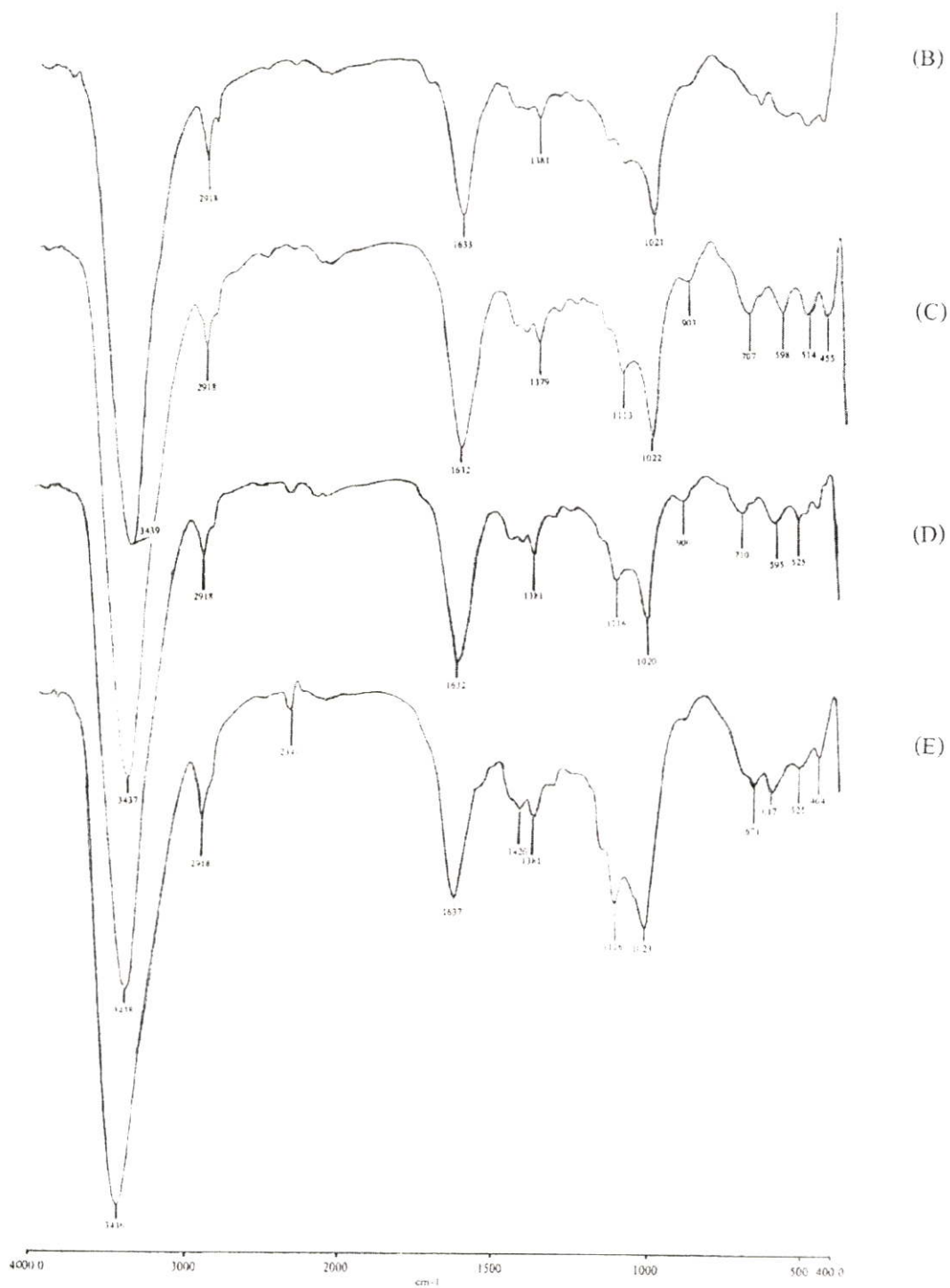


รูปที่ 4.2 แสดง IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

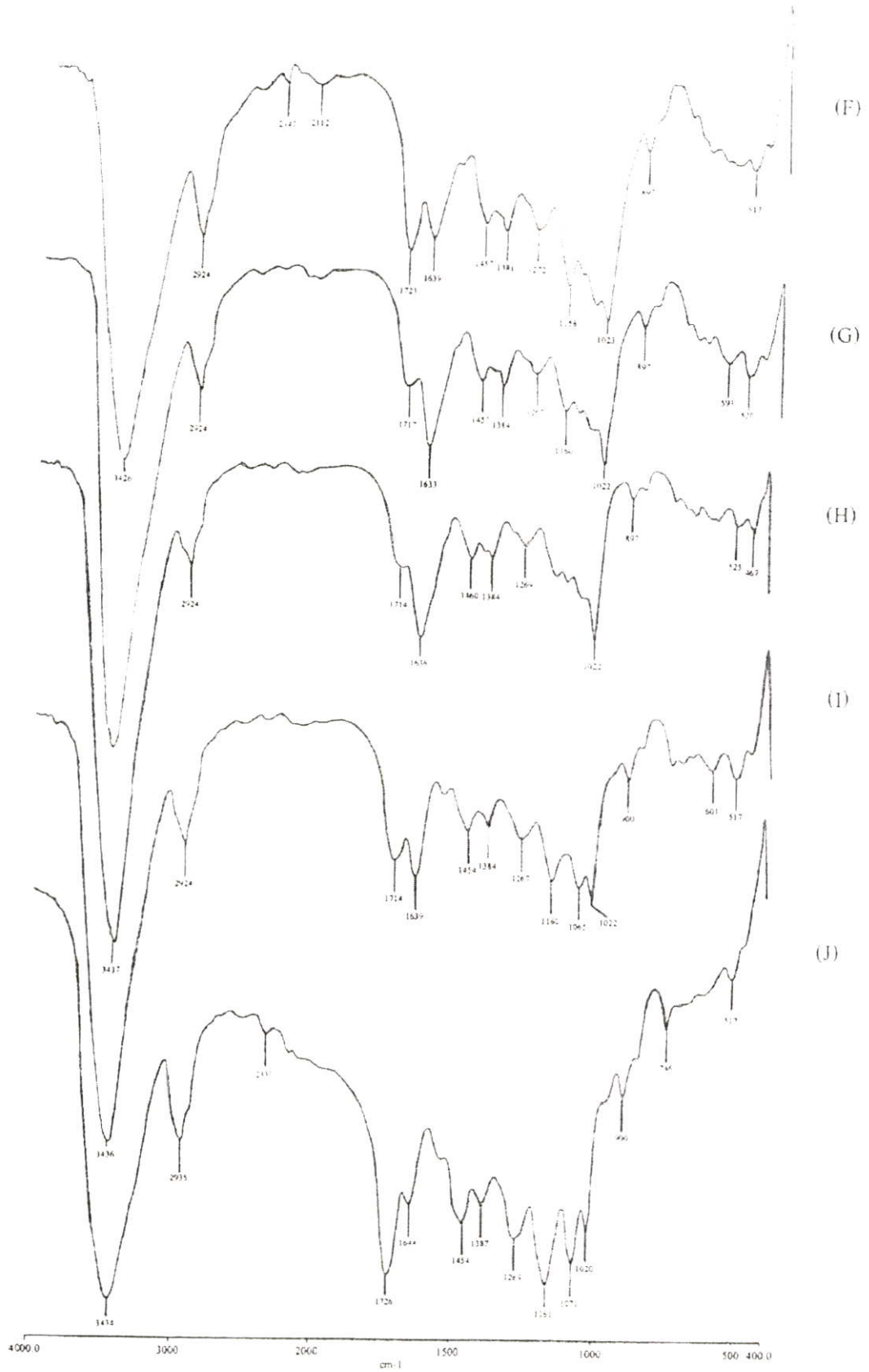
จากรูปที่ 4.1 แสดง IR spectrum ของผงสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก โดยพิจารณาที่เลขคลื่น ในช่วง $400-4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ 3393 cm^{-1} คือ หมู่ไฮดรอกซิล ที่เลขคลื่นประมาณ 2887 cm^{-1} คือหมู่ C-H ของอะลิฟาติก ที่เลขคลื่นประมาณ 1628 cm^{-1} คือหมู่คาร์บอนิล และที่เลขคลื่นประมาณ 842 cm^{-1} คือหมู่ C=CH หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้พบอยู่ในโครงสร้างของพวก Uronide [4] ที่เป็นโครงสร้างของสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก

จากรูปที่ 4.2 แสดง IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม $50-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยพิจารณาที่เลขคลื่นในช่วง $400-4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ 3436 cm^{-1} คือ หมู่ไฮดรอกซิล ที่เลขคลื่นประมาณ 2929 cm^{-1} คือหมู่ C-H ของอะลิฟาติก ที่เลขคลื่นประมาณ 1712 cm^{-1} คือหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ ที่เลขคลื่นประมาณ 1635 cm^{-1} เป็นของ Vinyl methylene ที่เลขคลื่นประมาณ 1029 cm^{-1} คือหมู่ C-O และที่เลขคลื่นประมาณ 905 cm^{-1} คือหมู่ C=CH

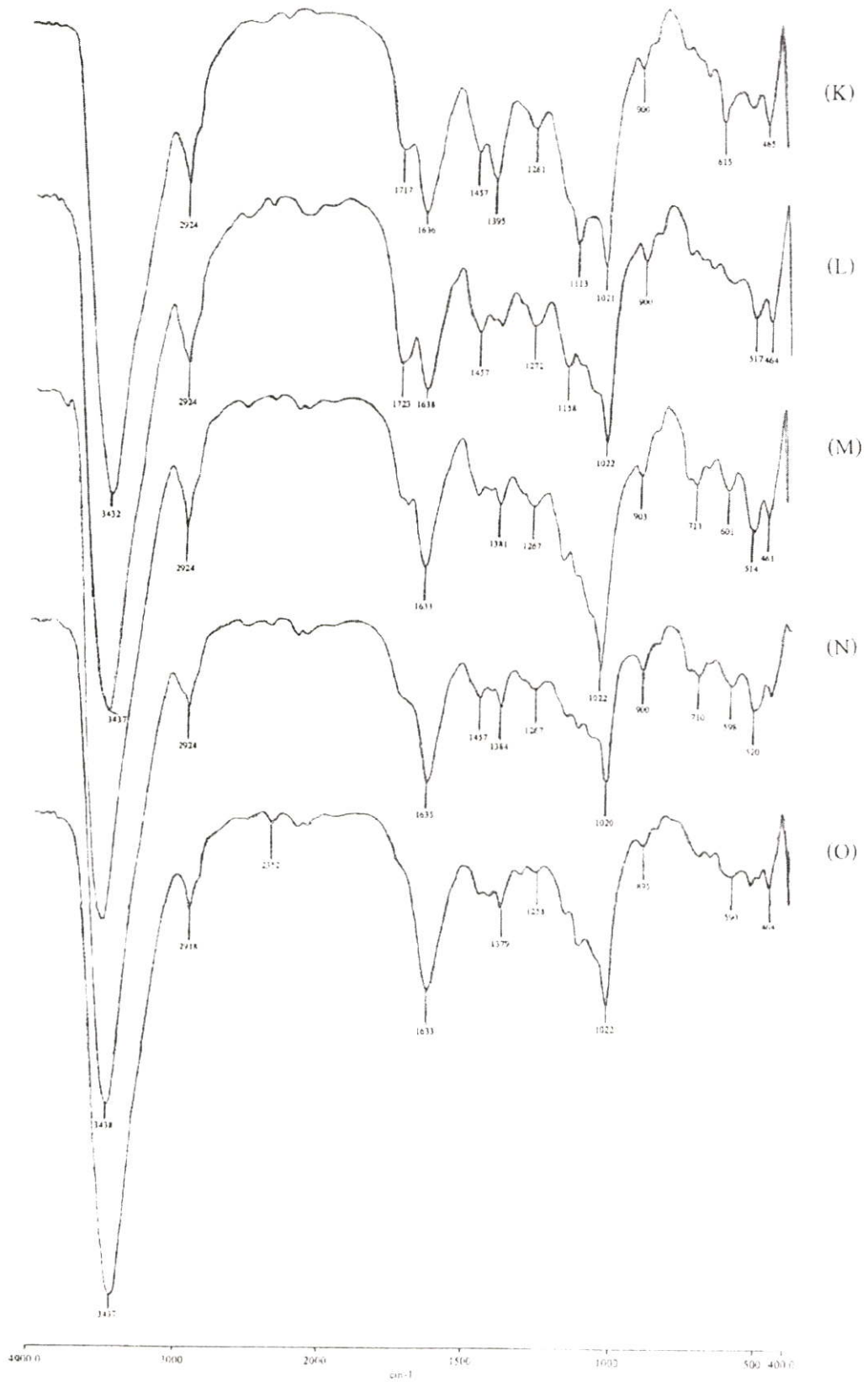
รูปที่ 4.3, รูปที่ 4.4 , รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลของสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่เตรียมในสภาวะมาตรฐาน ฟิล์มผสม 2-Hydroxyethyl methacrylate กับสารเมือกจากเมล็ดแมงลักในสภาวะมาตรฐาน ฟิล์มผสมที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง และฟิล์มผสมที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ตามลำดับ ที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล การใช้ น้ำสกัดฟิล์มเพื่อชะล้างตัวริเริ่มปฏิกิริยาหรือมอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกจากฟิล์ม สำหรับการ สกัดด้วยเมทานอล เพื่อชะล้าง โอลิโมพอลิเมอร์ที่ไม่ได้ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเมล็ดแมงลักออก



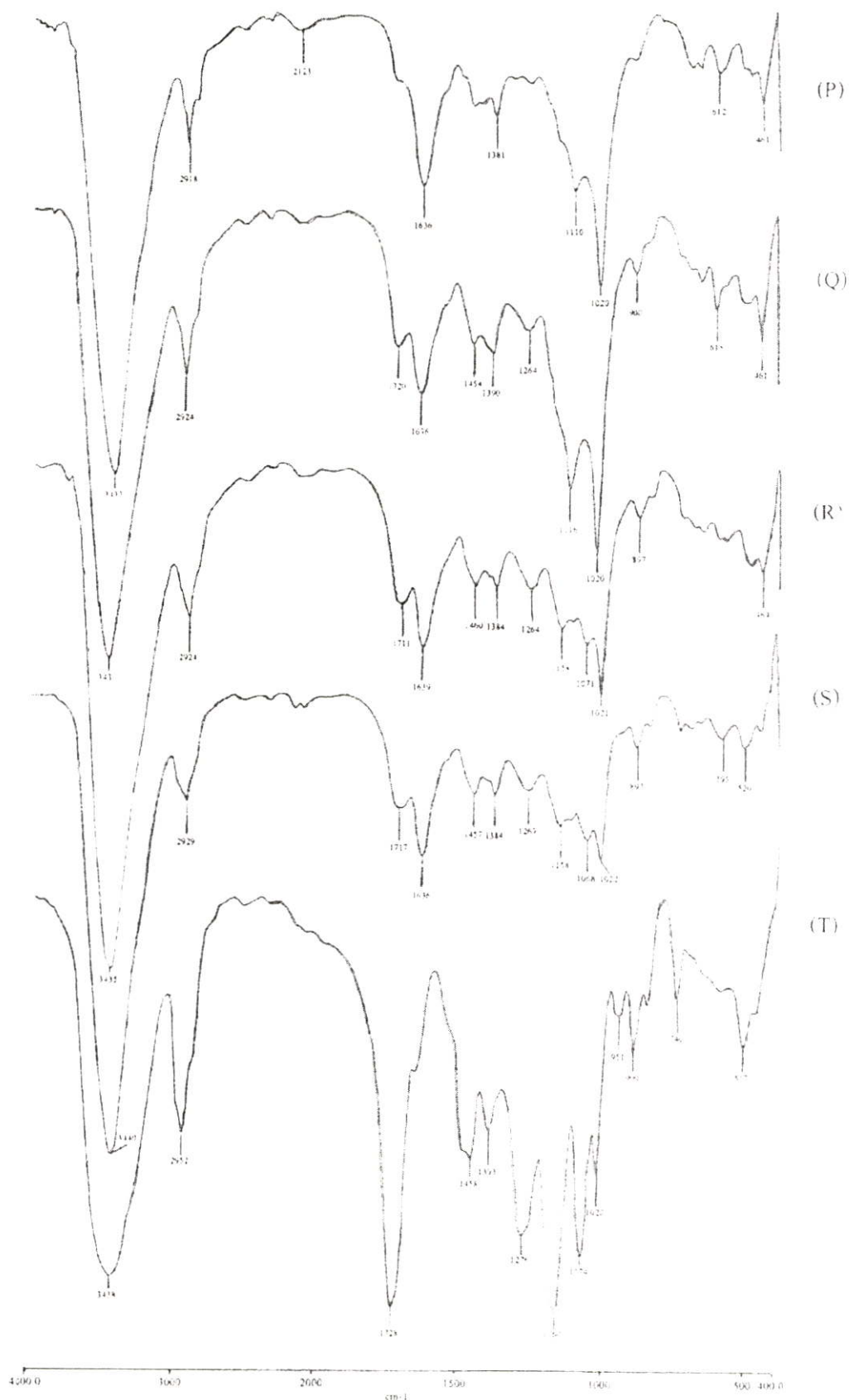
รูปที่ 4.3 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C



รูปที่ 4.4 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C



รูปที่ 4.5 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อม โขง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C



รูปที่ 4.6 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

จากรูปที่ 4.3 เปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ สูตร B-E คือฟิล์มไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 % ของสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ ตามลำดับ พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ $3436-3439\text{ cm}^{-1}$ คือหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ที่เลขคลื่นประมาณ 2918 cm^{-1} คือหมู่ C-H และที่เลขคลื่นประมาณ $1632-1637\text{ cm}^{-1}$ คือหมู่คาร์บอนิลของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก และที่เลขคลื่น 1116 cm^{-1} และ 1023 cm^{-1} คือหมู่ -C-O ของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก นอกจากนี้ยังปรากฏพีกที่ 1426 และ 1381 cm^{-1} ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของสารเชื่อมโยง (รูปที่ ข.9 ในภาคผนวก) แสดงว่าสารเชื่อมโยงทำปฏิกิริยากับสารเมือกจากเม็ดแมงลักจริง

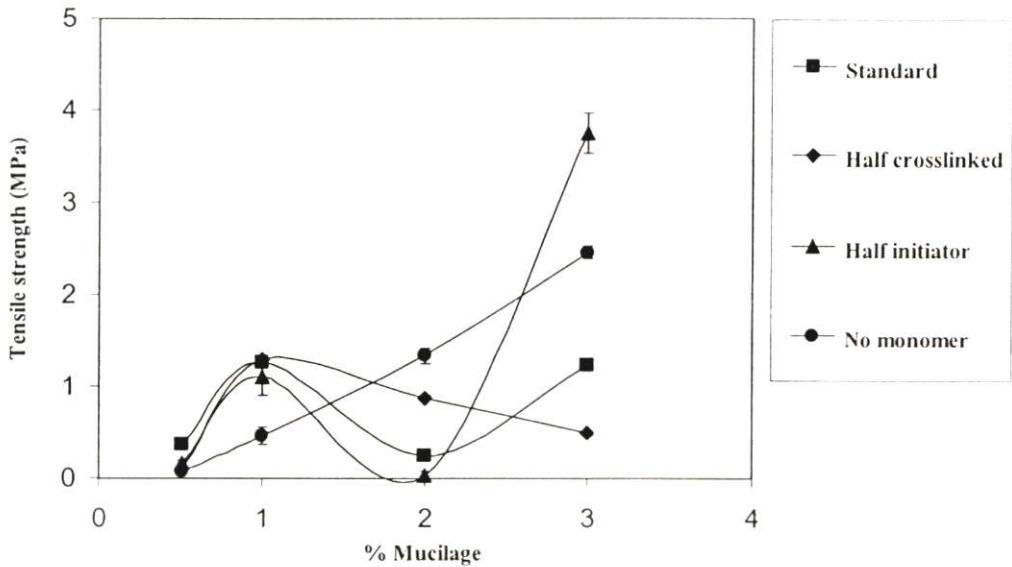
จากรูปที่ 4.4 เปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน สูตร F-J คือฟิล์มไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 %, 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักสูตรมาตรฐานที่มีมอนอเมอร์ผสมอยู่ พบว่า IR spectra มีส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ แต่มีหมู่คาร์บอนิลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ปรากฏที่เลขคลื่นประมาณ $1713-1726\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งซ้อนทับกับตำแหน่งของหมู่คาร์บอนิลในสารเชื่อมโยง นอกจากนี้ยังปรากฏพีกในช่วง 1644 และ 1269 cm^{-1} ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของ 2-Hydroxyethyl methacrylate และเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ปริมาณหมู่คาร์บอนิลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) มีการดูดกลืนชัดเจนขึ้น เนื่องจากการคั่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักมากขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.3 พบว่าไม่มีพีกของ 1644 และ 1269 cm^{-1} แสดงว่าพีกเหล่านี้เป็นของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) จริง

จากรูปที่ 4.5 เปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สูตร K-O คือฟิล์มไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 %, 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มีมอนอเมอร์ พบว่าให้ลักษณะ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมคล้ายกับรูปที่ 4.4 ยกเว้นพอลิเมอร์สูตรลดปริมาณสารเชื่อมโยง (O) กับพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน (J) ซึ่งพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน (J) มีพีกที่ 1726 cm^{-1} เด่นชัดเพราะว่าพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน (J) มีสารเชื่อมโยงมากกว่าพอลิเมอร์สูตรลดปริมาณสารเชื่อมโยง (O) และหมู่คาร์บอนิลของสารเชื่อมโยงอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับของพอลิเมอร์

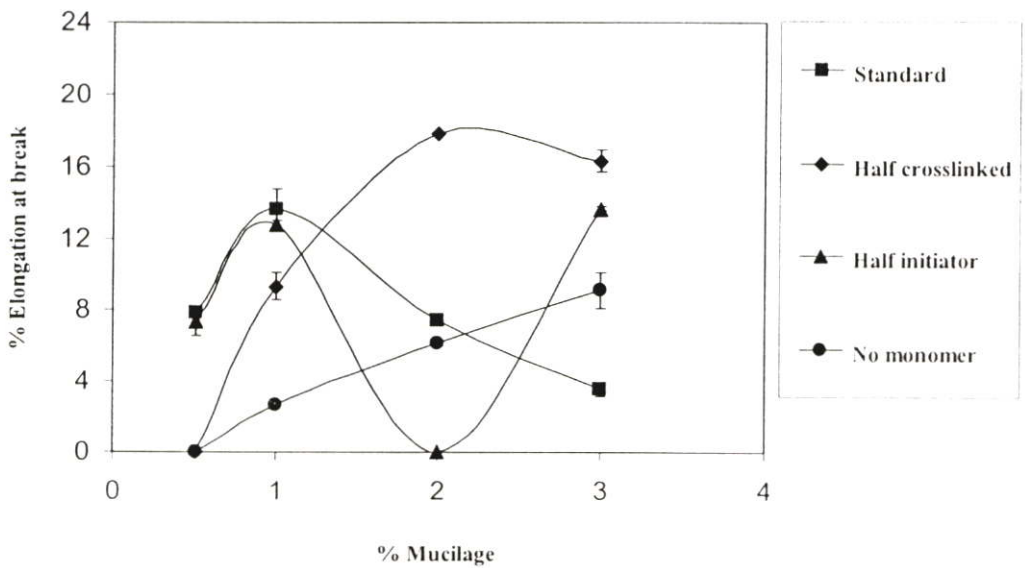
จากรูปที่ 4.6 เปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สูตร P-T คือฟิล์มไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 %, 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มีมอนอเมอร์ เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของพีกที่เลขคลื่นประมาณ $1711-1728\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอนิล โดยพีกลดลงเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าพีกของสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เลขคลื่นประมาณ $1636-1639\text{ cm}^{-1}$ ซ้อนทับบังไว้ ส่วนพีกที่เลขคลื่นอื่นๆ ยังคงเหมือนเดิม เมื่อเปรียบเทียบ IR spectrum ของพอลิเมอร์ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา (T) กับพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน (J) พบว่าให้พีกที่เลขคลื่นต่างๆ เหมือนกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบ IR spectrum ของพอลิเมอร์ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา (T) กับ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

สูตรมาตรฐาน (รูปที่ 4.4) พบว่าถ้า Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) เกิดการเชื่อมโยงพิกที่เลขคลื่น 1728 cm^{-1} จะเด่นชัด (T) แสดงว่าโซ่พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นยาวกว่ากรณีของสูตรมาตรฐานเพราะเห็นพีกคาร์บอนิลชัดเจน

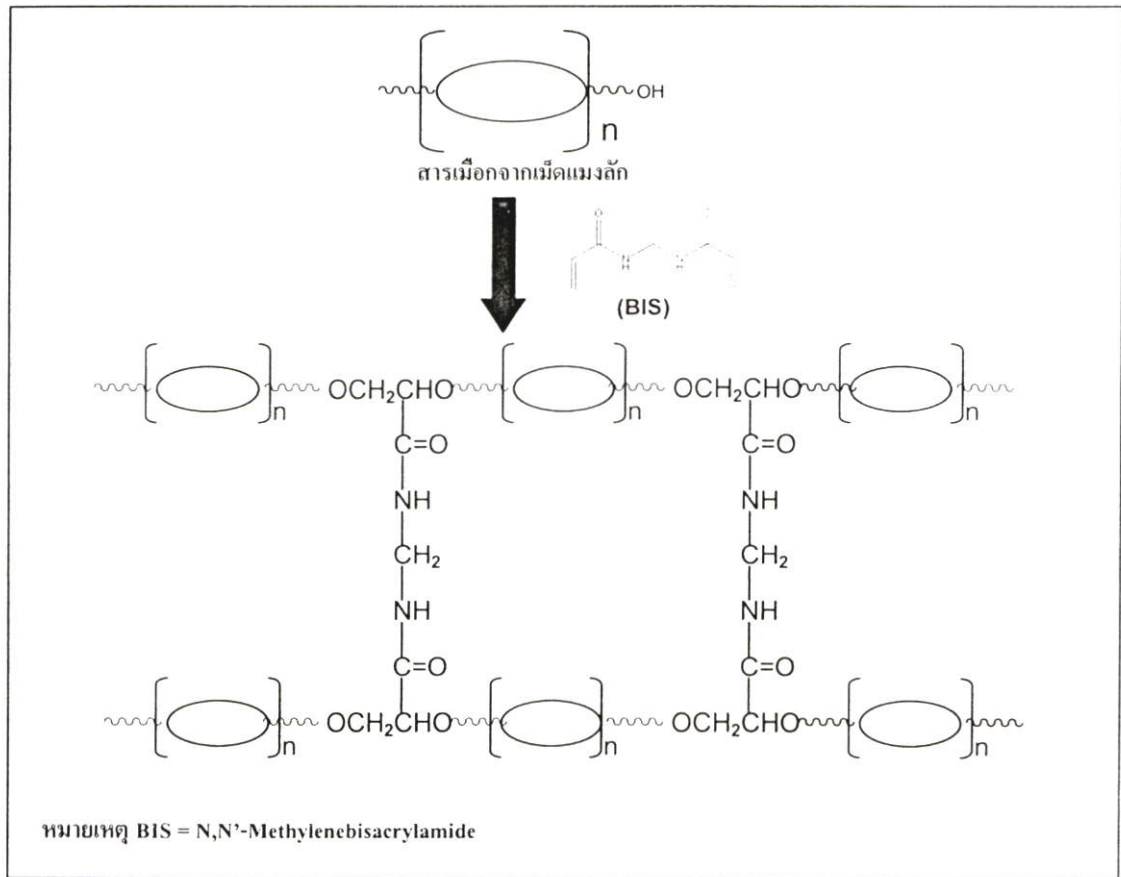
4.1.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลทุกชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม $50-60^{\circ}\text{C}$



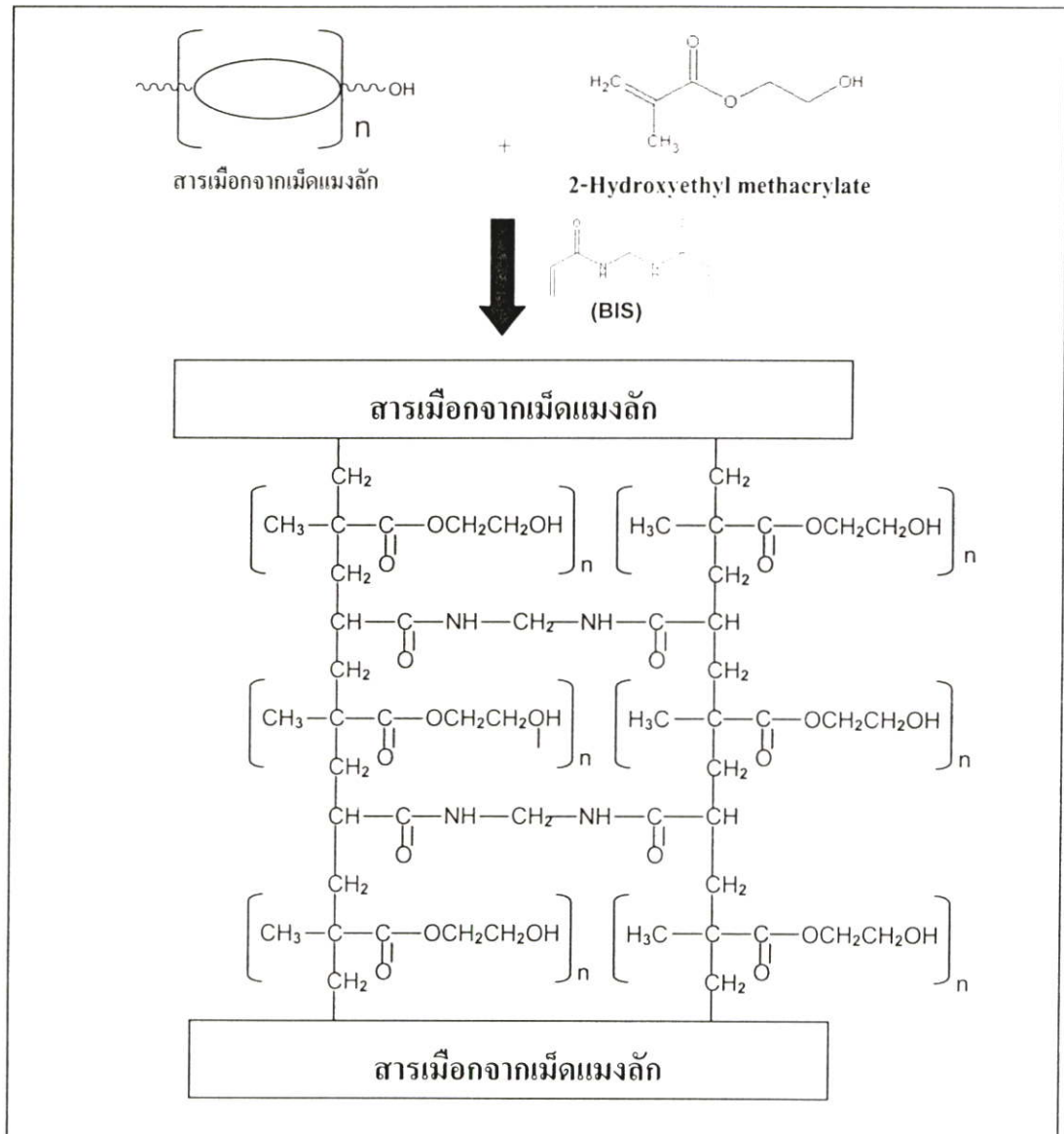
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม $50-60^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.9 แสดงภาพจำลองปฏิกิริยาการเกิดพันธะเชื่อมโยงของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ [16]

นำฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้ ณ สถานะต่างๆที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลมาวิเคราะห์สมบัติเชิงกลโดยนำมาแช่น้ำก่อน 10 นาที เนื่องจากการนำไปใช้งานของฟิล์มไฮโดรเจลต้องแช่น้ำหรือยาก่อน ผลการทดลองของฟิล์มไฮโดรเจล พบว่า จากรูปที่ 4.7 ฟิล์มไฮโดรเจลที่ทำจากสารเมือกจากเม็ดแมงลัก มีความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) สูงขึ้นเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น แสดงว่า สารเชื่อมโยงมีโอกาสทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงมากขึ้น สำหรับค่าความทนต่อแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ในสูตรต่าง ๆ นั้นเปลี่ยนแปลงขึ้นกับ ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ใช้ และปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ เมื่อพิจารณาฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก พบว่าสูตรที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาให้ความทนต่อแรงดึงสูงสุด นั่นคืออนุโมลอิสระที่เกิดขึ้นมีน้อย ตำแหน่งที่มอนอเมอร์ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักน้อย ระบบมีความเหนียวมาก การแพร่ของมอนอเมอร์และสารเชื่อมโยงไม่ดี พอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักน่าจะมีสายโซ่ยาวและอยู่ห่างกันเกิดปริมาตรอิสระมาก ช่วยในการรับแรงดึงและแรงยึด นอกจากนี้คาดว่าจำนวนพันธะเชื่อมโยงจะน้อยกว่าในสูตรมาตรฐาน ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 %

สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงมีค่าความทนแรงดึงต่ำ คาดว่าพันธะเชื่อมโยงจะเกิดในสารเมือกจากเม็ดแมงลักเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 4.10 แสดงภาพจำลองการเกิดฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ

Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) [16]

จากรูปที่ 4.8 สำหรับค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดนั้น (% Elongation at break) ฟิล์มไฮโดรเจลที่ทำจากสารเมือกจากเม็ดแมงลักมีแนวโน้มการดึงยืด ณ จุดขาดสูงขึ้น เมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น คล้ายกับค่าความทนต่อแรงดึง ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate กรณีลดปริมาณสารเชื่อมโยงและลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาลง การดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจลผสมมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณสาร

เมื่อจากเม็ดเมงลักที่เพิ่มขึ้น แต่กรณีฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน พบว่าการดึงยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารเมื่อจากเม็ดเมงลักที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าสารเชื่อมโยงสามารถทำปฏิกิริยาได้ทั้งในสารเมื่อจากเม็ดเมงลักและพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดลักษณะโครงร่างแหแบบสอดประสาน (Interpenetrating network) ซึ่งปริมาณพันธะที่ยึดโครงร่างแหจะส่งผลต่อการดึงยืดของฟิล์มไฮโดรเจล ส่วนตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ลดลงจะไปลดตำแหน่งที่ทำให้เกิดการยึดโยงของโครงร่างแห ส่งผลให้การดึงยืดของฟิล์มไฮโดรเจลสูงขึ้น

ผลจากสมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรต่างๆ กล่าวได้ว่า ฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3% สารเมื่อจากเม็ดเมงลักผสมกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่งให้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีสมบัตินุ่มคล้ายยางคือ ออกแรงดึงต่ำแต่ยืดได้มากกว่าขนาด ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยาครึ่งหนึ่งให้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีสมบัติแข็งแรงและยืดได้ดี สำหรับฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐานให้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีสมบัติแข็งแรงแต่ไม่ยืด ฟิล์มพอลิเมอร์อย่างเดียวไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้เพราะเมื่อแช่น้ำฟิล์มจะหดตัวไม่คงรูปร่างเดิมและสารเมื่อจากเม็ดเมงลักอย่างเดียวไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้เช่นกันเพราะละลายน้ำอย่างรวดเร็ว

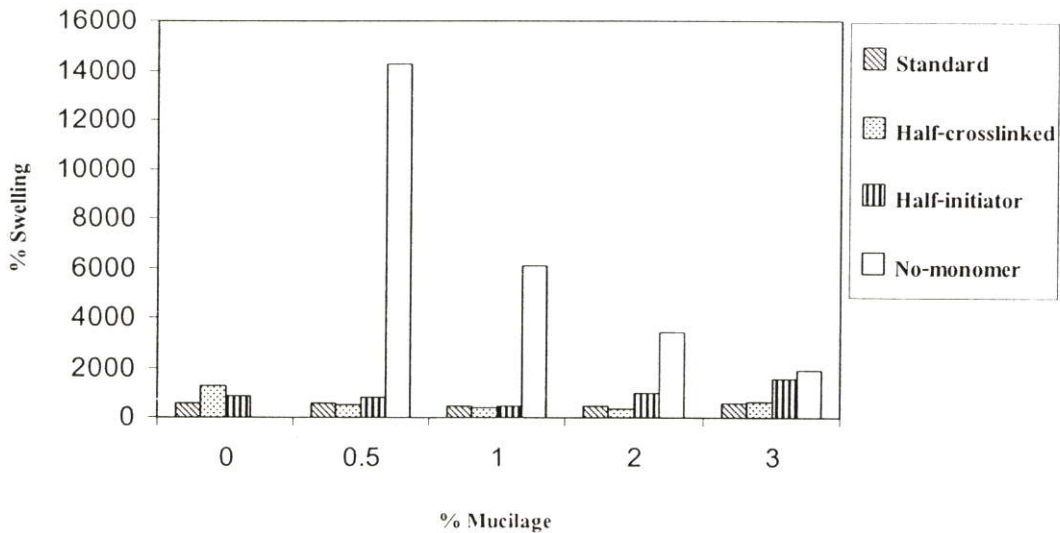
ในกรณีของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาครึ่งหนึ่ง เมื่อมีปริมาณสารเมื่อจากเม็ดเมงลัก 2 % มีค่าความทนต่อแรงดึงและร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดต่ำที่สุด เนื่องมาจากในการทดลองใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 5 มิลลิตรคงที่ แล้วค่อยเพิ่มปริมาณสารเมื่อจากเม็ดเมงลัก 0.5-3 % เมื่อในระบบมีสารเมื่อจากเม็ดเมงลักอยู่เล็กน้อยเช่น 0.5-1 % สารเมื่อจากเม็ดเมงลักจะกระจายตัวแขวนลอยโดยมีพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเป็นวัฏภาคหลัก แต่เมื่อสารเมื่อจากเม็ดเมงลักมี 2 % อนุภาคของสารเมื่อจากเม็ดเมงลักจะมีขนาดใหญ่เกิดเป็นเม็ดสีขาวกระจายอยู่ทั่วไปบนแผ่นฟิล์มไฮโดรเจล ด้วยเหตุนี้จึงไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของโซ่พอลิเมอร์ เมื่อออกแรงดึงค่าความทนต่อแรงดึงและร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดจึงต่ำที่สุด กรณีที่มีสารเมื่อจากเม็ดเมงลัก 3 % สารเมื่อจากเม็ดเมงลักเป็นวัฏภาคหลัก สมบัติเชิงกลจึงเพิ่มขึ้น

ปฏิกิริยาการเกิดฟิล์มไฮโดรเจลสารเมื่อจากเม็ดเมงลักไม่มีมอนอเมอร์ พบว่า สารเมื่อจากเม็ดเมงลักสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ดังรูปที่ 4.9 [16]

จากรูปที่ 4.10 แสดงภาพจำลองการเกิดฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมื่อจากเม็ดเมงลักกับ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) พบว่า Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) จะมีการต่อกิ่งบนสายโซ่ของสารเมื่อจากเม็ดเมงลักและในขณะเดียวกัน Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) เกิดการเชื่อมโยงกัน [16]

4.1.3 ผลทดสอบการดูดซับน้ำภายใน 24 ชั่วโมงของฟิล์มไฮโดรเจลทุกชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล

การนำฟิล์มไฮโดรเจลมาสกัดด้วยน้ำเพื่อกำจัดสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา ตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อมโยงที่เหลือ ส่วนการสกัดด้วยเมทานอลเพื่อกำจัดพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดการเชื่อมโยง



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมงของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

จากรูปที่ 4.11 เมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้ ณ สถานะต่างๆผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว มาทดสอบการดูดซับน้ำในเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ดูดซับน้ำได้สูงที่สุดและเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์จะลดลง เนื่องจากสารเมือกจากเม็ดแมงลักมากทำให้ความหนืดในระบบสูงเกิดพันธะเชื่อมโยงหนาแน่นแต่ไม่กระจาย เมื่อเทียบกับปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักน้อยความหนืดในระบบต่ำเกิดการกระจายของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อมโยง ทำให้พันธะเชื่อมโยงเกิดได้มากเช่นกันแต่ในลักษณะกระจายทั่วทั้งสารเมือกจากเม็ดแมงลัก เมื่อนำมาแช่น้ำ น้ำจึงแพร่เข้าไปได้มาก ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 14255 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 6060 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 3411 % และปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 1909 %

ฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐานที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว นำมาทดสอบการดูดซับน้ำในเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า เมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลใกล้เคียงกัน เนื่องจากมอนอเมอร์ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ต่อกิ่งบนพอลิเมอร์ของสารเมือกจากเม็ดแมงลักเกิดปฏิกิริยากับสารเชื่อมโยงทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ของสารเมือกจากเม็ดแมงลักและระหว่างสายโซ่ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ทำให้ได้ฟิล์มพอลิเมอร์แข็งแรง โมเลกุลของน้ำจึงแพร่เข้าไปได้ยาก [16] ฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ดูดซับน้ำได้ 566 % ฟิล์มไฮโดรเจลผสมสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 566 % ฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 435 % ฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 469 % และฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 602 %

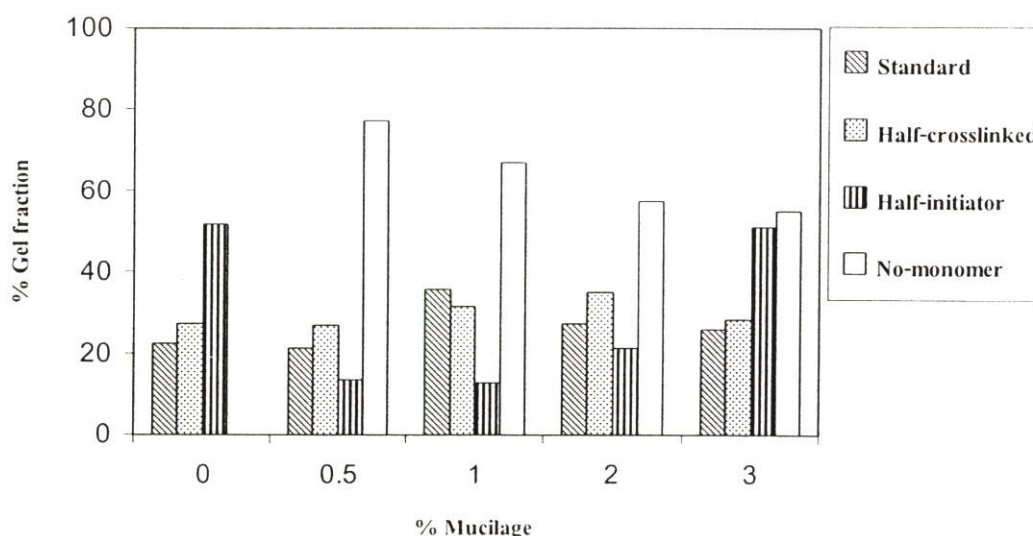
ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่งที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว มาทดสอบการดูดซับน้ำ ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ดูดซับน้ำได้ดีที่สุดคือ 1285 % และเมื่อเติมสารเมือกจากเม็ดแมงลักลงไปทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง เนื่องจากเมื่อเติมสารเมือกจากเม็ดแมงลักลงไป Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) จะเกิดการต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักทำให้หมู่ฟังก์ชันที่สามารถดูดซับน้ำได้เหลือน้อยลงการดูดซับน้ำจึงลดลง คือฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 529 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 398 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 357 % และปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 654 %

ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาลงครึ่งหนึ่งที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้วนำมาทดสอบการดูดซับน้ำ ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ดูดซับน้ำดีกว่าฟิล์มไฮโดรเจลที่ไม่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา นอกจากนี้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ดีที่สุดคือ 1554 % และดีกว่าฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ซึ่งดูดซับน้ำได้เพียง 891 % ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 810 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 489 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 989 %

เมื่อเรียงลำดับความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) และฟิล์มไฮโดรเจลผสม ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ในทุกกรณี พบว่ามีแนวโน้มดังนี้ฟิล์มสารเมือกจากเม็ดแมงลัก > ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา > ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง > ฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน

4.1.4 เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจล

ค่าสัดส่วนเจลแสดงถึงโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำและเมทานอลเพราะเกิดการเชื่อมโยง ค่าสัดส่วนเจลสูงแสดงถึงการเกิดพันธะเชื่อมโยงมาก กราฟรูปที่ 4.10 แสดงผลของค่าสัดส่วนเจลที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ในสภาวะเงื่อนไขการทดลองมาตรฐาน ลดปริมาณสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่ง ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาครึ่งหนึ่งและกรณีที่ไม่มียอนอเมอร์



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบ % ค่าสัดส่วนเจล ของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C

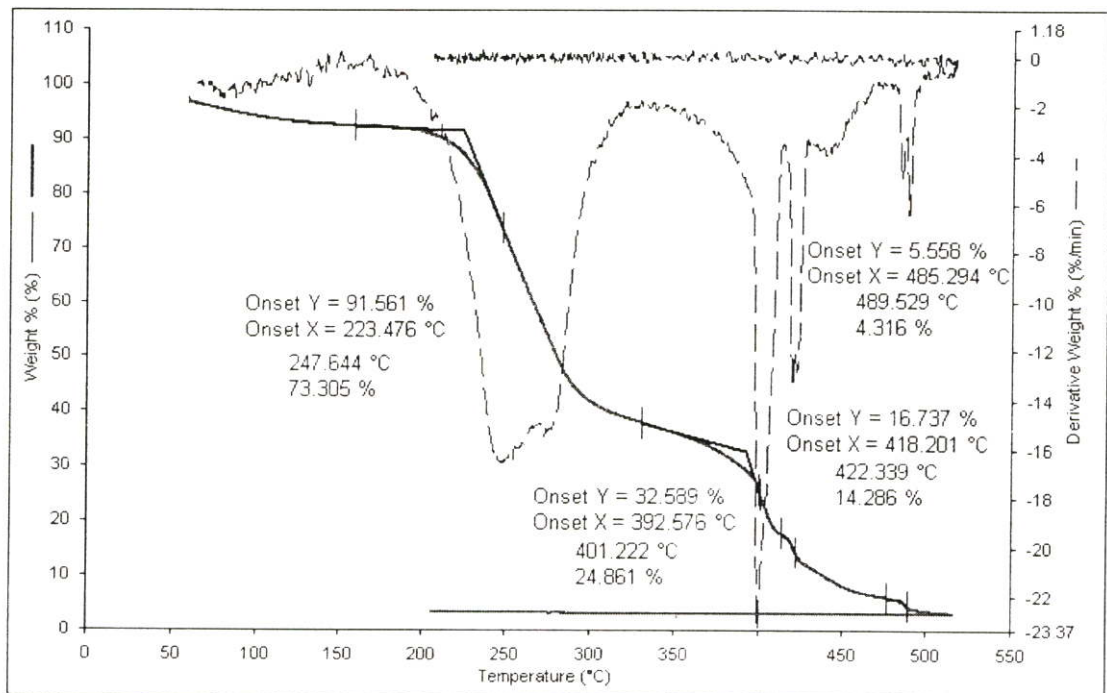
จากรูปที่ 4.12 เมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) และฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่สภาวะต่างๆมาสกัดด้วยน้ำและสกัดด้วยเมทานอล ตามลำดับ พบว่า ในกรณีของฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลเพิ่มขึ้น เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยงและลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา แสดงว่าเกิดพันธะเชื่อมโยงได้มากกว่าไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) สูตรมาตรฐาน โดยเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลเรียงลำดับดังนี้ ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา > ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง > ฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยามีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลมากที่สุด เนื่องจากเกิดพอลิเมอร์สายโซ่ยาวทำให้มีมวลโมเลกุลมาก จึงทำให้มีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลมากขึ้นด้วย สำหรับการลดสารเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์ละลายน้ำมากขึ้นเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลจึงน้อยลง [27]

ในกรณีของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลลดลงเมื่อปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งจะ

ไปขัดขวางการแพร่ของสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยาส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลลดลง [16]

ในกรณีของฟิล์มไฮโดรเจลมาตรฐาน ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงและฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น เนื่องจากทั้งสารเมือกจากเม็ดแมงลักและพอลิเมอร์จะเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลจึงเป็นผลรวมของทั้งสองส่วนเฉพาะที่เกิดพันธะเชื่อมโยง [16]

4.1.5 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและหาค่าประกอบด้วยเครื่อง TGA



รูปที่ 4.13 แสดงสมบัติทางความร้อนของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก (A)

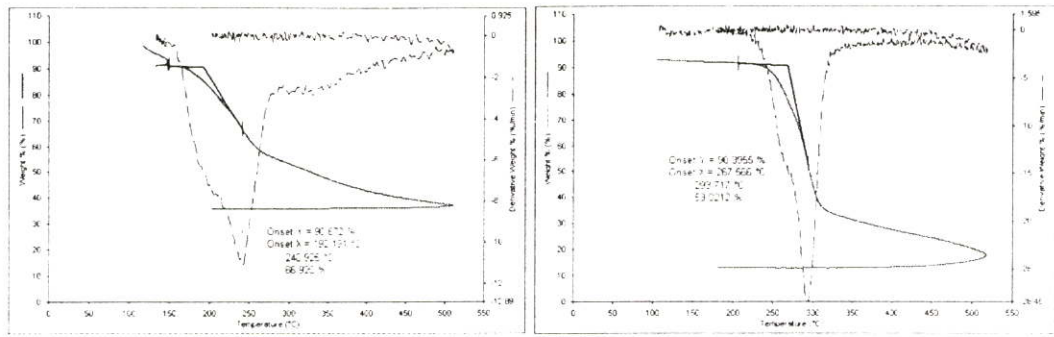
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ

ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

สูตร	เงื่อนไข	T _{d1} (°C)	T _{d2} (°C)	T _{d3} (°C)
สารเมือกจากเม็ดแมงลัก(A)		247	401	489
3%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมือนอเมอร์(B)	ก่อนสกัด	240	-	-
	หลังสกัด	293	-	-
2%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมือนอเมอร์(C)	ก่อนสกัด	182	233	319
	หลังสกัด	300	-	-
1%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมือนอเมอร์(D)	ก่อนสกัด	150	204	340
	หลังสกัด	295	-	-
0.5%สารเมือกจากเม็ด แมงลักไม่มีมือนอเมอร์(E)	ก่อนสกัด	208	326	-
	หลังสกัด	293	417	-
3%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(F)	ก่อนสกัด	301	372	475
	หลังสกัด	327	385	-
2%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(G)	ก่อนสกัด	229	374	-
	หลังสกัด	315	377	465
1%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(H)	ก่อนสกัด	192	371	-
	หลังสกัด	331	372	444
0.5%สารเมือกจากเม็ด แมงลักสูตรมาตรฐาน(I)	ก่อนสกัด	179	370	-
	หลังสกัด	334	375	449
พอลิเมอร์ สูตรมาตรฐาน(J)	ก่อนสกัด	221	355	474
	หลังสกัด	278	375	460
3%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(K)	ก่อนสกัด	233	377	-
	หลังสกัด	323	386	-
2%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(L)	ก่อนสกัด	215	345	381
	หลังสกัด	313	374	457
1%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(M)	ก่อนสกัด	198	341	373
	หลังสกัด	326	373	437

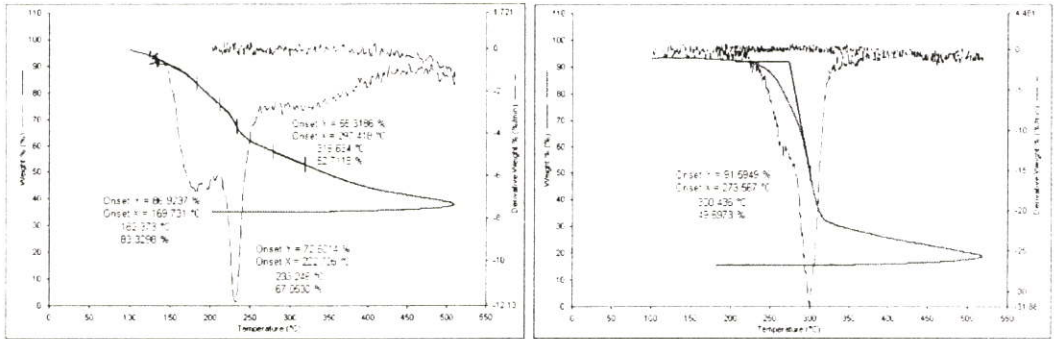
ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

สูตร	เงื่อนไข	T _d 1 (°C)	T _d 2 (°C)	T _d 3 (°C)
0.5%สารเมือกจากเมล็ด แมงลักลดสารเชื่อม โยง(N)	ก่อนสกัด	201	341	377
	หลังสกัด	292	377	452
พอลิเมอร์ลดสารเชื่อม โยง (O)	ก่อนสกัด	-	376	-
	หลังสกัด	262	367	-
3%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(P)	ก่อนสกัด	285	355	-
	หลังสกัด	313	385	-
2%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(Q)	ก่อนสกัด	292	380	-
	หลังสกัด	325	383	-
1%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(R)	ก่อนสกัด	-	384	-
	หลังสกัด	335	390	-
0.5%สารเมือกจากเมล็ด แมงลักลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา (S)	ก่อนสกัด	-	385	-
	หลังสกัด	331	390	-
พอลิเมอร์ลดตัวริเริ่ม ปฏิกิริยา(T)	ก่อนสกัด	-	378	-
	หลังสกัด	306	388	-



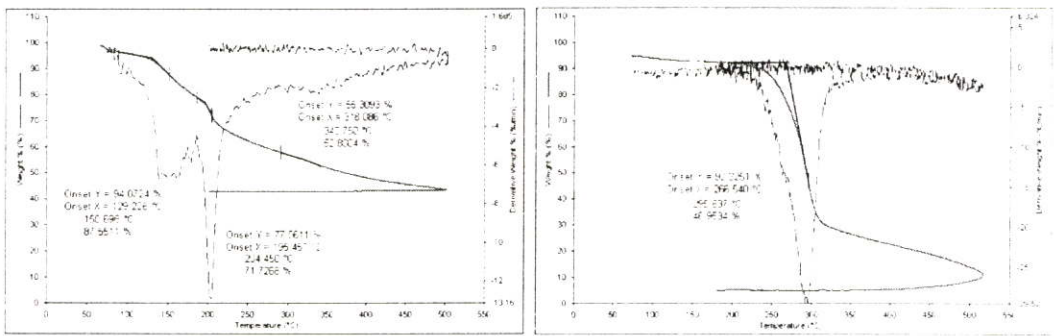
(B)

(b)



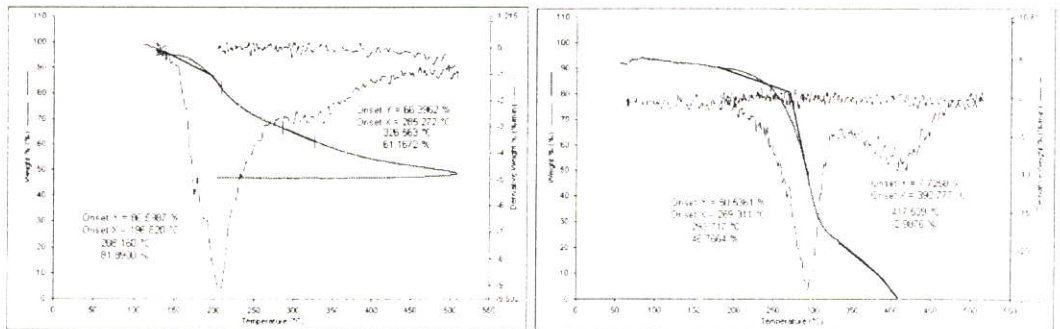
(C)

(c)



(D)

(d)

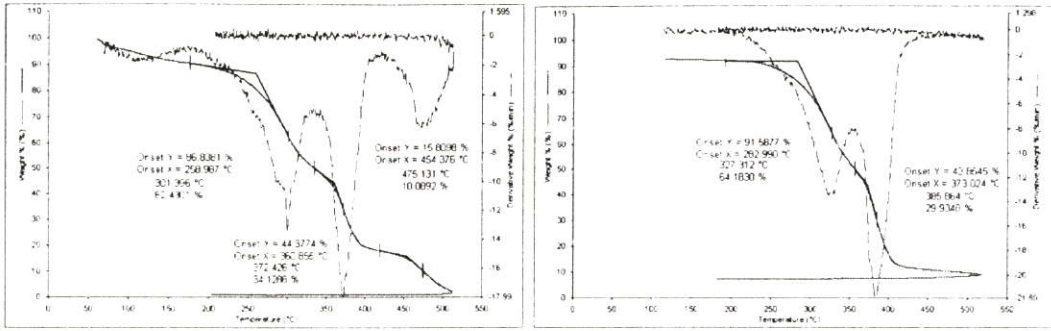


(E)

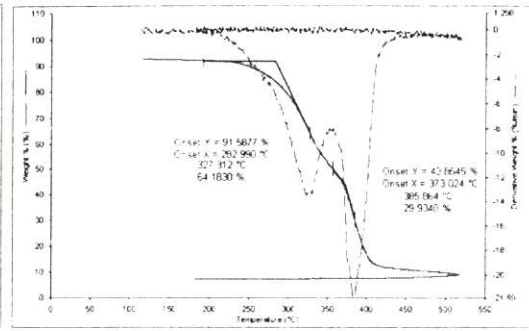
(e)

รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

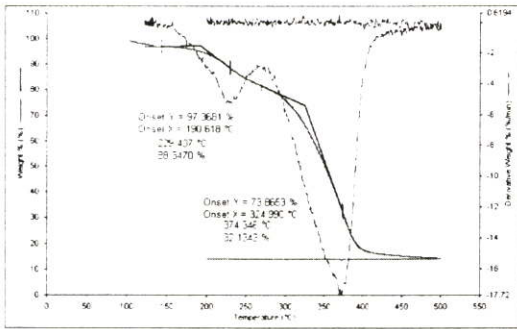
- (B) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอโนเมอร์
- (b) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอโนเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (C) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอโนเมอร์
- (c) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอโนเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (D) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอโนเมอร์
- (d) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอโนเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (E) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอโนเมอร์
- (e) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอโนเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



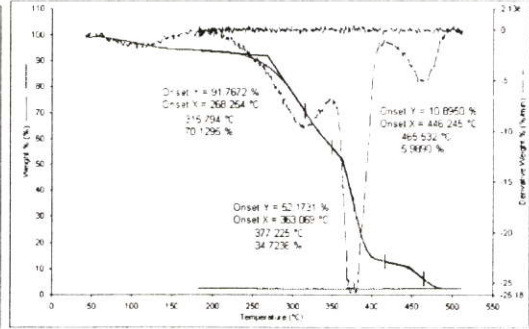
(F)



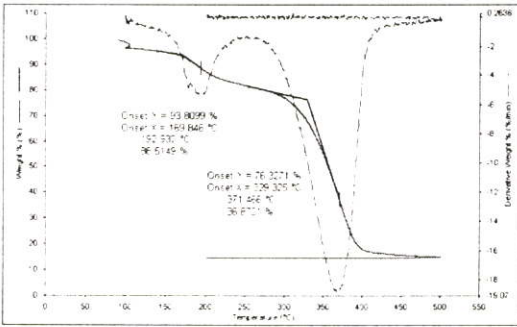
(f)



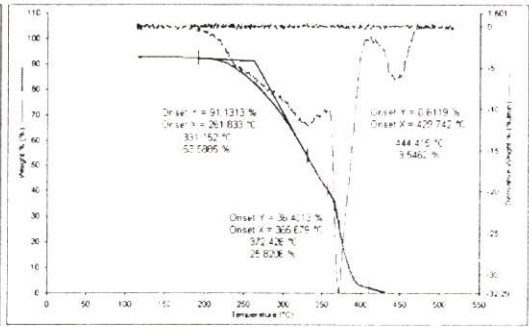
(G)



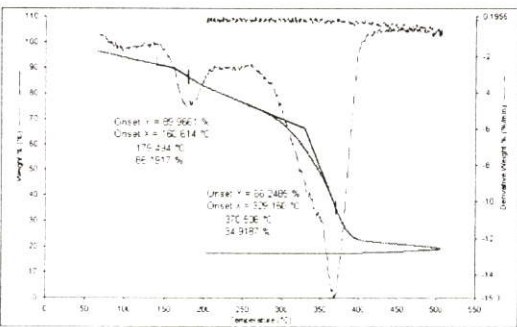
(g)



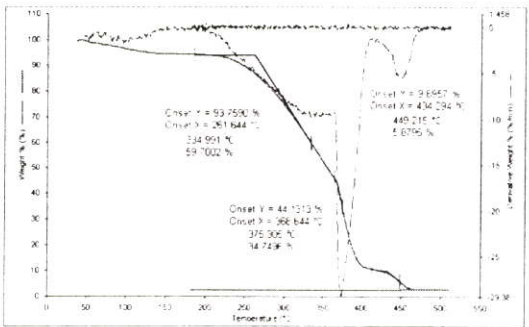
(H)



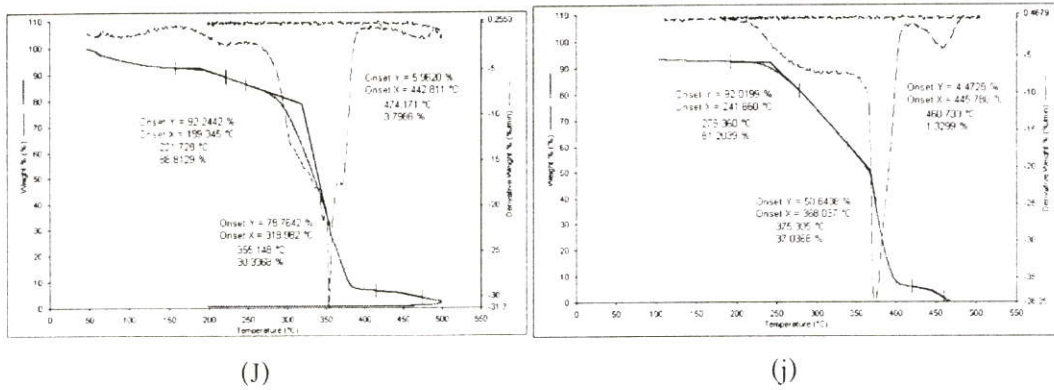
(h)



(I)

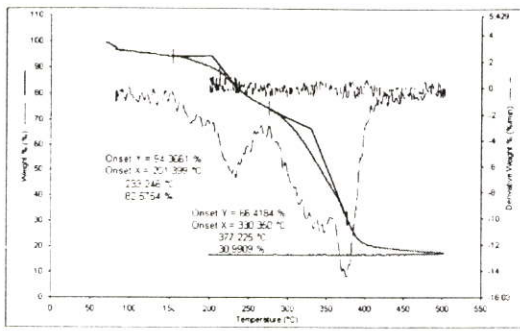


(i)

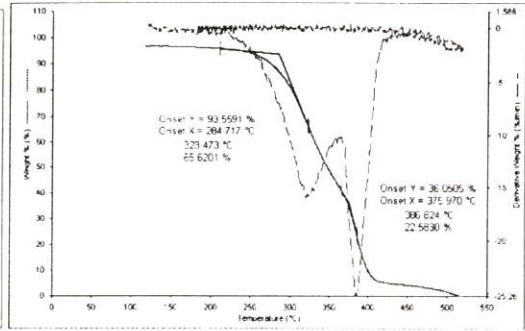


รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐานก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

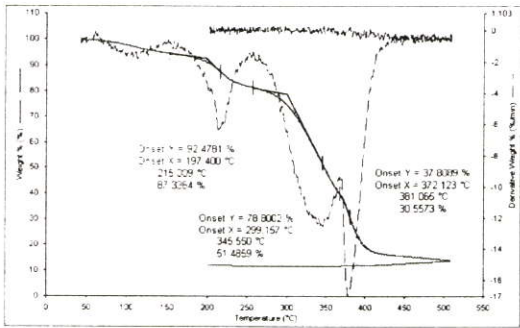
- (F) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (f) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (G) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (g) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (H) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (h) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (I) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (i) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (J) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) สูตรมาตรฐาน
- (j) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



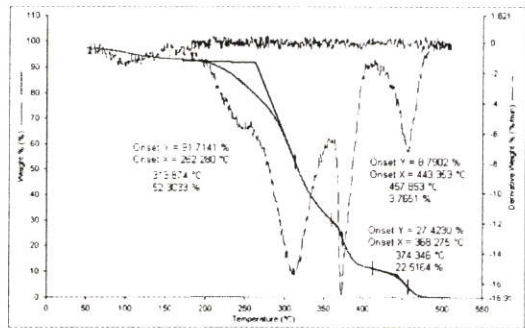
(K)



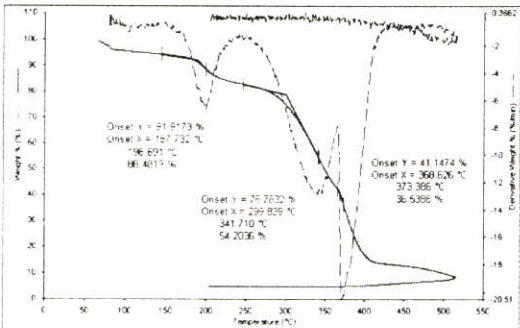
(k)



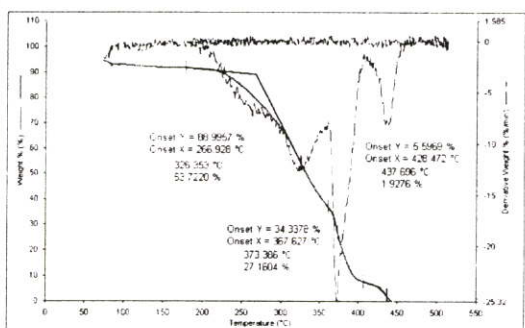
(L)



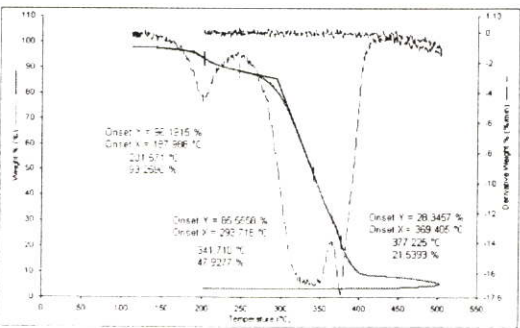
(l)



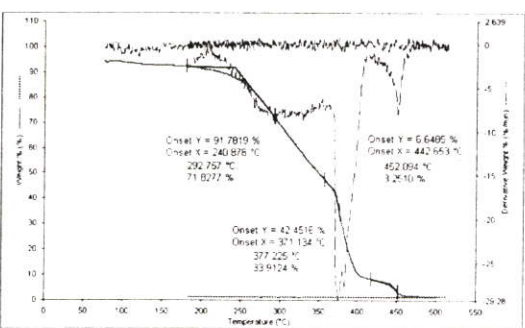
(M)



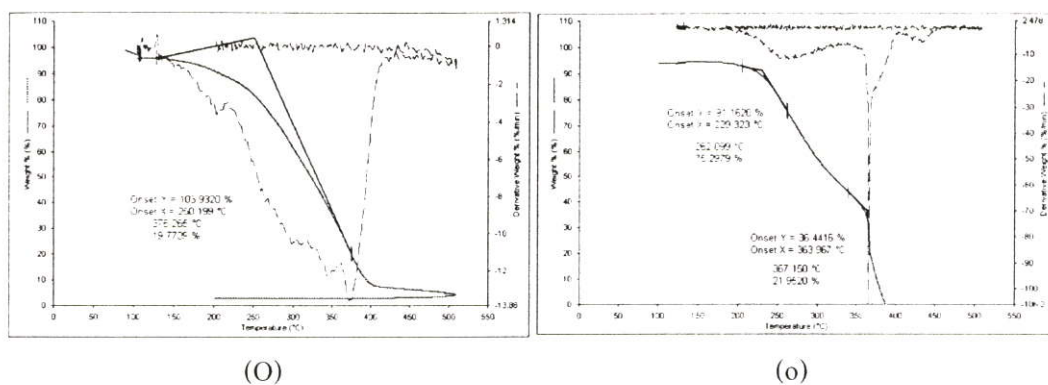
(m)



(N)

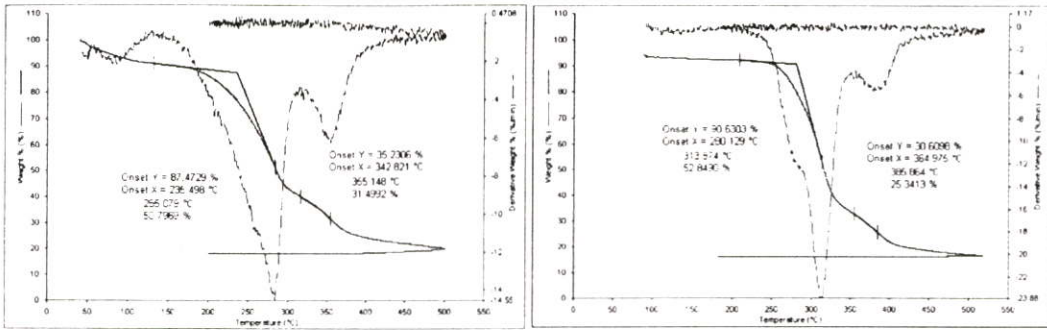


(n)



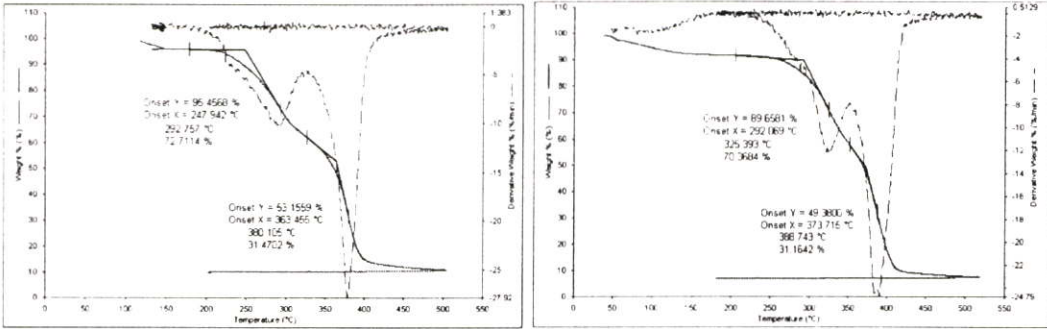
รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยงก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

- (K) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (k) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (L) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (l) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (M) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (m) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (N) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (n) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (O) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (o) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



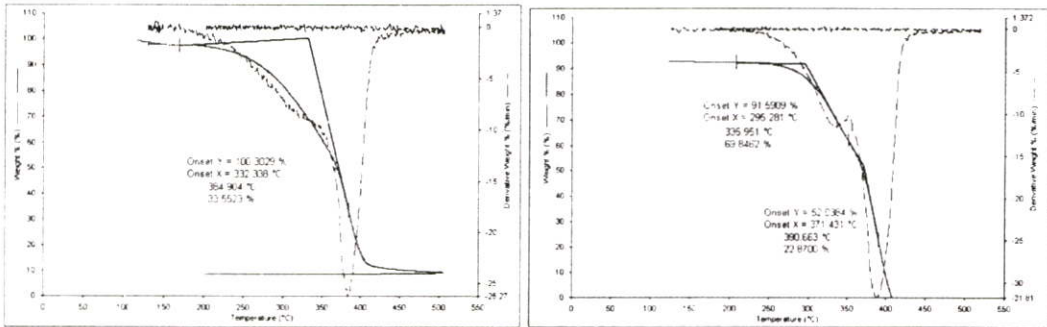
(P)

(p)



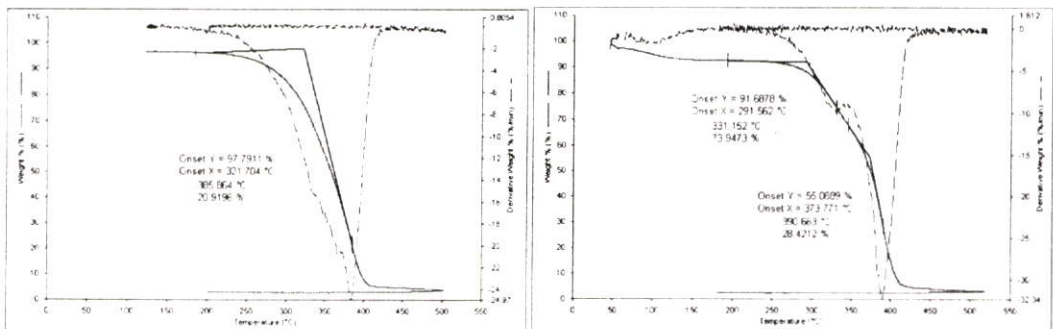
(Q)

(q)



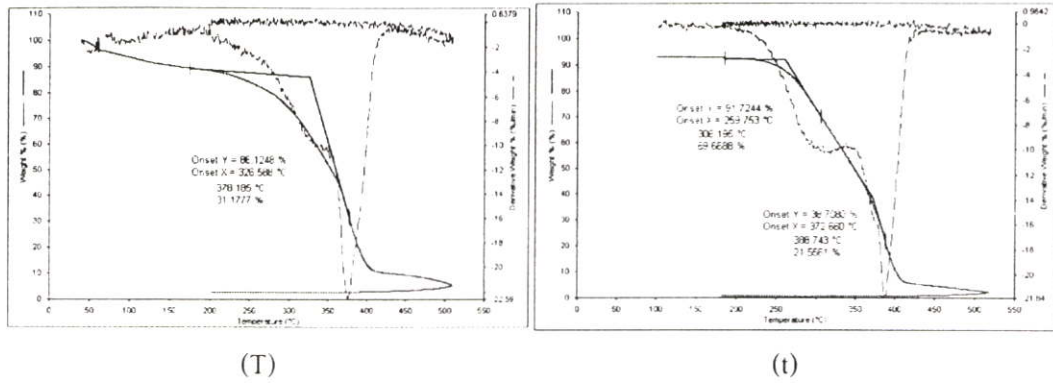
(R)

(r)



(S)

(s)



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

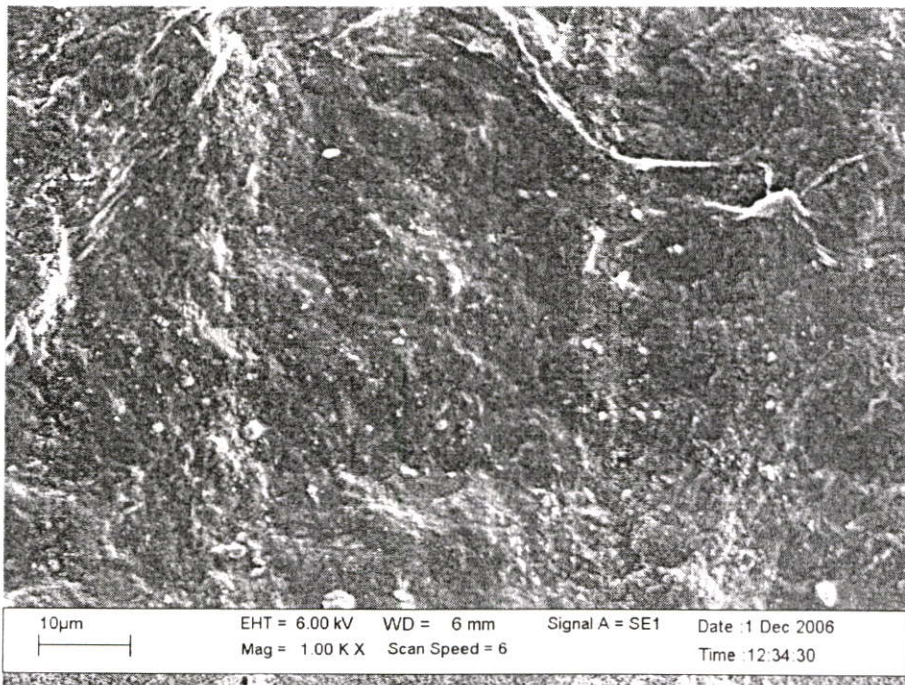
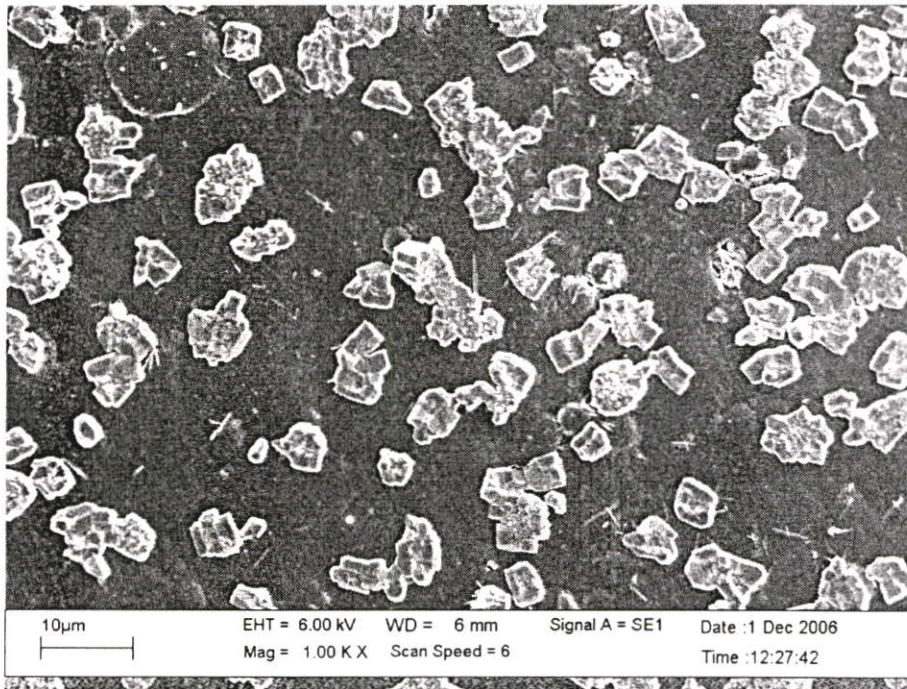
- (P) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (p) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (Q) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (q) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (R) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (r) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (S) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (s) 0.5%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (T) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (t) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล

จากรูปที่ 4.13 นำผงสารเมือกจากเม็ดแมงลักไปวัดอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเครื่อง TGA พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 247 °C, 401 °C และ 489 °C ตามลำดับ และเมื่อนำสารเมือกจากเม็ดแมงลักผสม BIS เป็นสารเชื่อมโยง SMB และ APS เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาโดยไม่เติมมอนอเมอร์มาเตรียมเป็นฟิล์มไฮโดรเจลก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล แล้วนำฟิล์มไฮโดรเจลไปวัดอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเครื่อง TGA พบว่าฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะมีอุณหภูมิการสลายตัวที่เดียวคือ 293 °C ดังรูปที่ 4.14 จึงน่าจะเป็นการสลายตัวของสารเมือกที่เกิดการเชื่อมโยงกัน

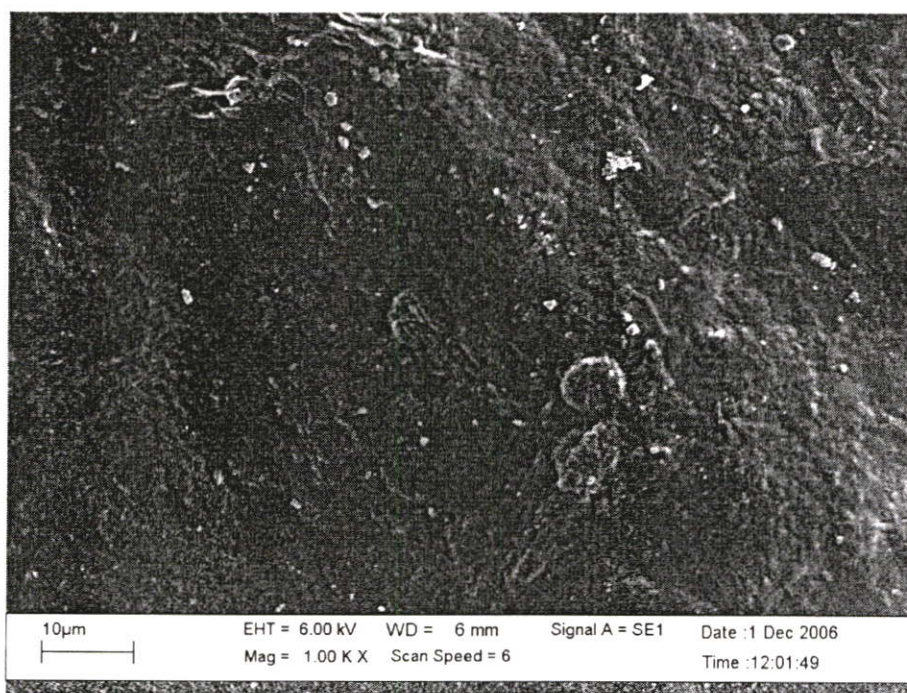
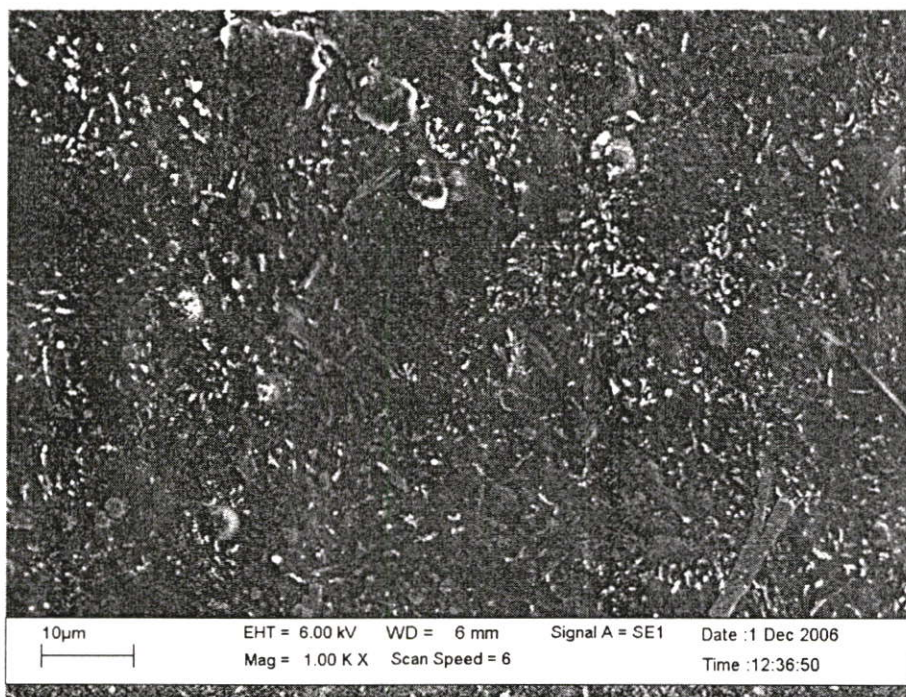
จากรูปที่ 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 และตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จากรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับมอนอเมอร์สูตรมาตรฐานและสูตรที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลให้ผลเหมือนกัน พบว่าฟิล์มไฮโดรเจลมีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ชั้น อุณหภูมิการสลายตัวชั้นแรกที่ประมาณ 327-334 °C น่าจะเป็นสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยงและอุณหภูมิการสลายตัวชั้นที่สองที่ประมาณ 375-386 °C น่าจะเป็นของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักและที่อุณหภูมิการสลายตัวประมาณ 449-465 °C น่าจะเป็นของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักและเกิดการเชื่อมโยง เมื่อสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้นเป็น 3 % การสลายตัวที่อุณหภูมินี้หายไป นั่นคือไม่มีส่วนของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่เกิดการเชื่อมโยง เนื่องจากเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้นเป็น 3 % ทำให้ความหนืดในระบบเพิ่มขึ้นการกระจายตัวของสารเชื่อมโยง ตัวริเริ่มปฏิกิริยาไม่ทั่วถึงจึงเกิดพันธะเชื่อมโยงได้เฉพาะในสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

จากรูปที่ 4.17 ฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น ชั้นแรกที่อุณหภูมิประมาณ 313-331 °C น่าจะเป็นการสลายตัวของสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยงและที่อุณหภูมิประมาณ 386-390 °C น่าจะเป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลัก พบว่า เมื่อสารเมือกจากเม็ดแมงลักมีปริมาณมากขึ้นถึง 3 % การสลายตัวที่ 386-390 °C ลดลงอย่างชัดเจน แสดงว่า ในสภาวะการลดตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะเกิดการต่อกิ่งพอลิเมอร์บนสารเมือกจากเม็ดแมงลักลดลงด้วย เนื่องจากการลดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทำให้ปริมาณอนุมูลอิสระลดลง ตำแหน่งที่ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) จะมาต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักจึงลดลง

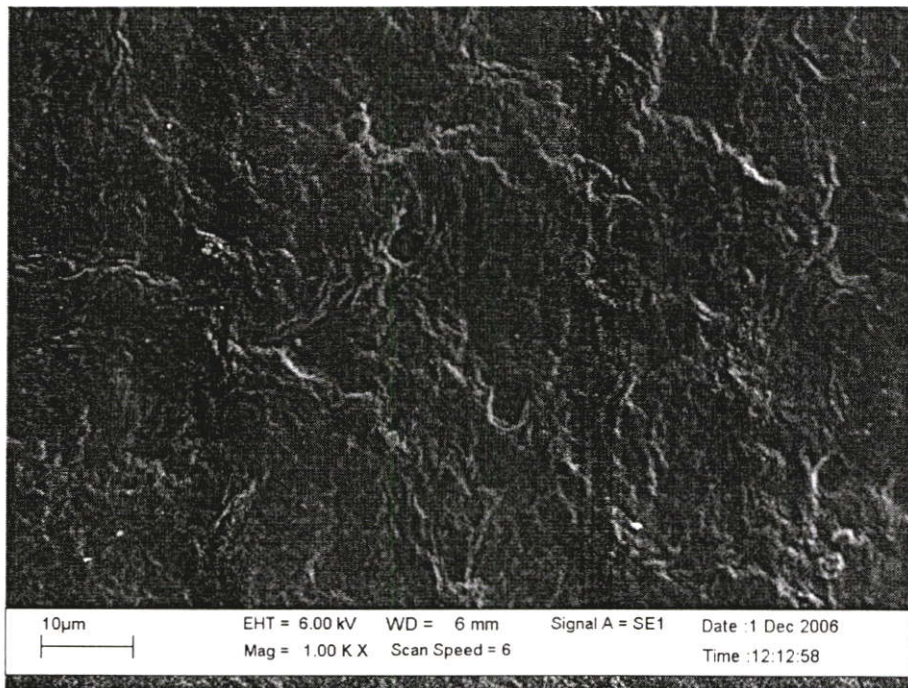
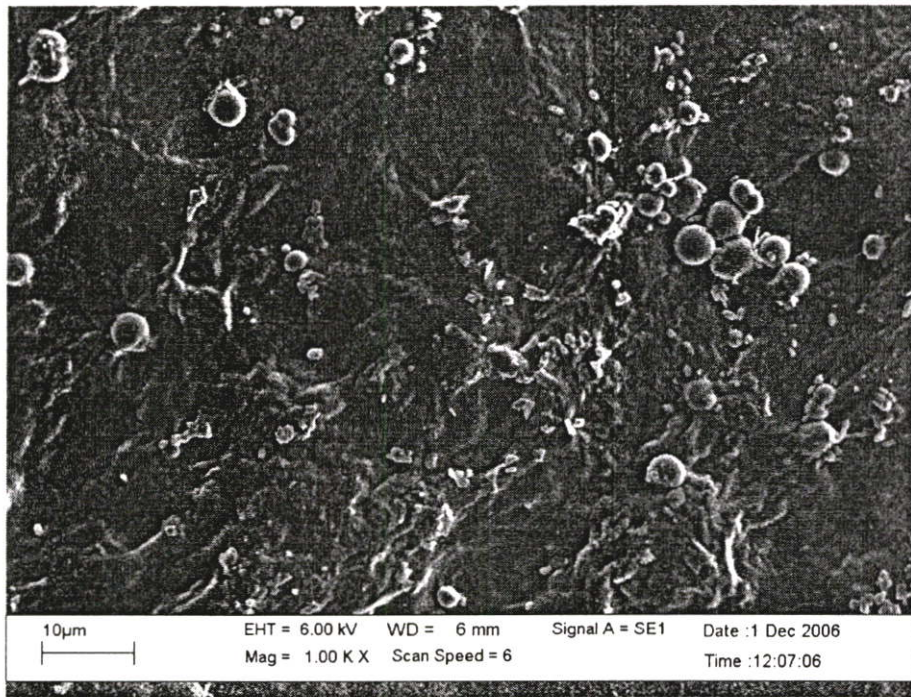
4.1.6 สมบัติทางสัณฐานวิทยา



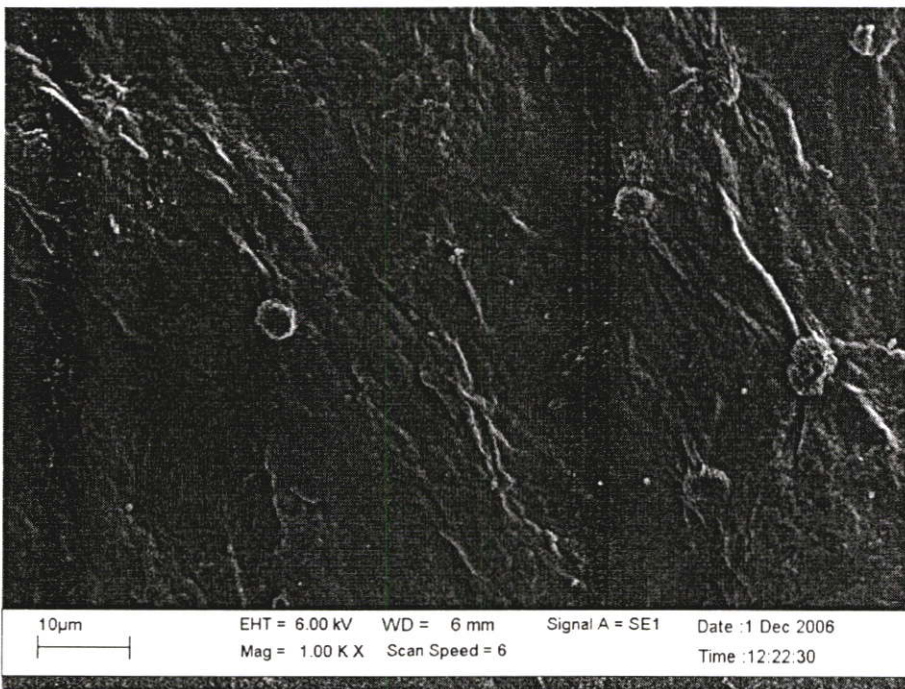
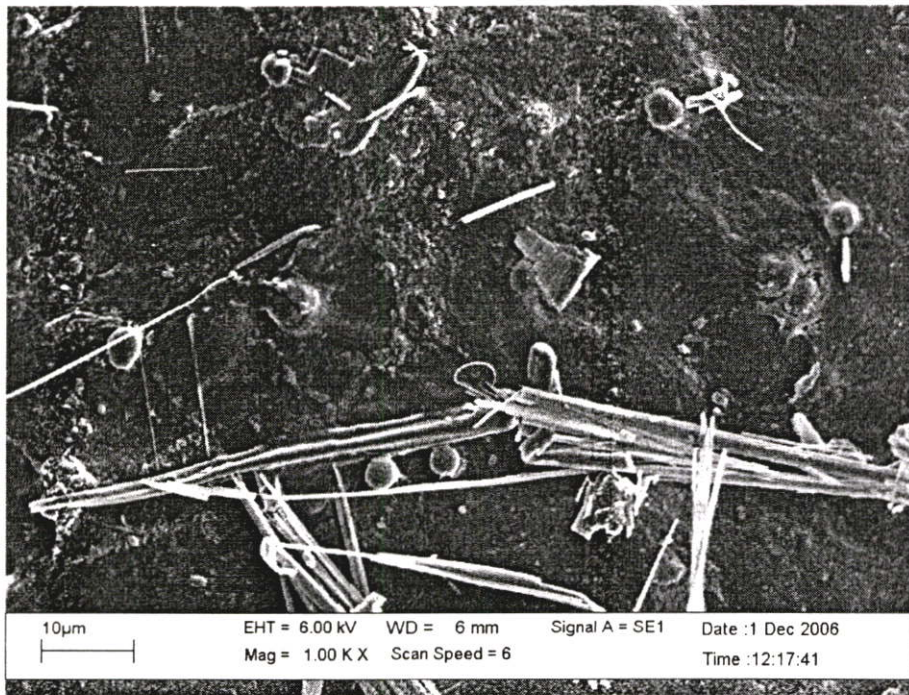
รูปที่ 4.18 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลักสูตรมาตรฐานที่ไม่มีมีอนอเมอร์ (B) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.19 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักสูตรมาตรฐาน (F) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.20 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลักที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง (K) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.21 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์ม ไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจาก เม็ดแมงลักที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา (P) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)

นำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลสูตรต่างๆที่เตรียมได้ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลมาตรวจวิเคราะห์ด้วย SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.18-4.21 ตามลำดับ นำสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยามาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสารเชื่อมโยงมีผลลักษณะรูปร่างคล้ายเข็ม ส่วนตัวริเริ่มปฏิกิริยามีผลลักษณะรูปร่างสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 4.18 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ (B) รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวจะมีผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยารูปร่างสี่เหลี่ยมเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก และเมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะหายไป แสดงว่าสารเมือกจากเม็ดแมงลักใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาในปริมาณน้อยก็สามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้และมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 293°C

จากรูปที่ 4.19 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (F) รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวจะค่อนข้างเรียบมีผลึกของสารเชื่อมโยงเหลืออยู่เล็กน้อย (รูปร่างคล้ายเข็ม) และไม่มีผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และเมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล พื้นผิวเรียบขึ้นเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.18 กับรูปที่ 4.19 พบว่าอนุภาคทรงกลมเกิดเมื่อมีมอนอเมอร์ แสดงว่าอนุภาคทรงกลมน่าจะเป็นพอลิเมอร์ เนื่องจากรูปที่ 4.18 เป็นฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ไม่พบอนุภาคทรงกลมแต่เมื่อเติมมอนอเมอร์ลงไปดังรูปที่ 4.19 พบว่าอนุภาคทรงกลม

จากรูปที่ 4.20 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง (K) รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวจะมีผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและอนุภาคทรงกลมเกาะอยู่ และเมื่อนำไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและอนุภาคทรงกลมหายไป ปรากฏพื้นผิวขรุขระเป็นหลุมลึก แสดงถึงการหลุดออกของอนุภาคทรงกลมและอนุภาคทรงกลมน่าจะเป็นไฮโมพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยงและไม่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักจึงถูกสกัดออกด้วยเมทานอล

จากรูปที่ 4.21 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา (P) รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวจะมีผลึกของสารเชื่อมโยง (รูปร่างคล้ายเข็ม), ผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (รูปร่างสี่เหลี่ยม) และอนุภาคทรงกลมเกาะอยู่ และเมื่อนำไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ผลึกของสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยาหายไป และอนุภาคทรงกลมลดจำนวนลง อนุภาคทรงกลมน่าจะเป็นไฮโมพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยงและไม่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

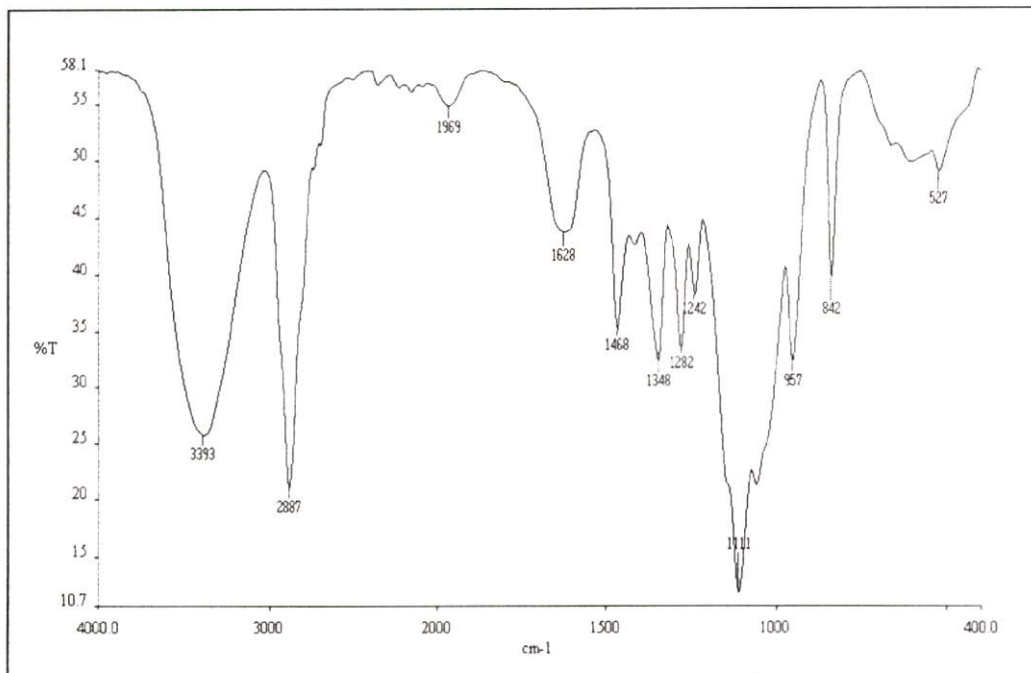
การลดตัวริเริ่มปฏิกิริยาเท่ากับเป็นการลดการใช้สารเชื่อมโยงด้วยจึงเหลือตกค้างอยู่บนฟิล์มไฮโดรเจล

4.2 ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

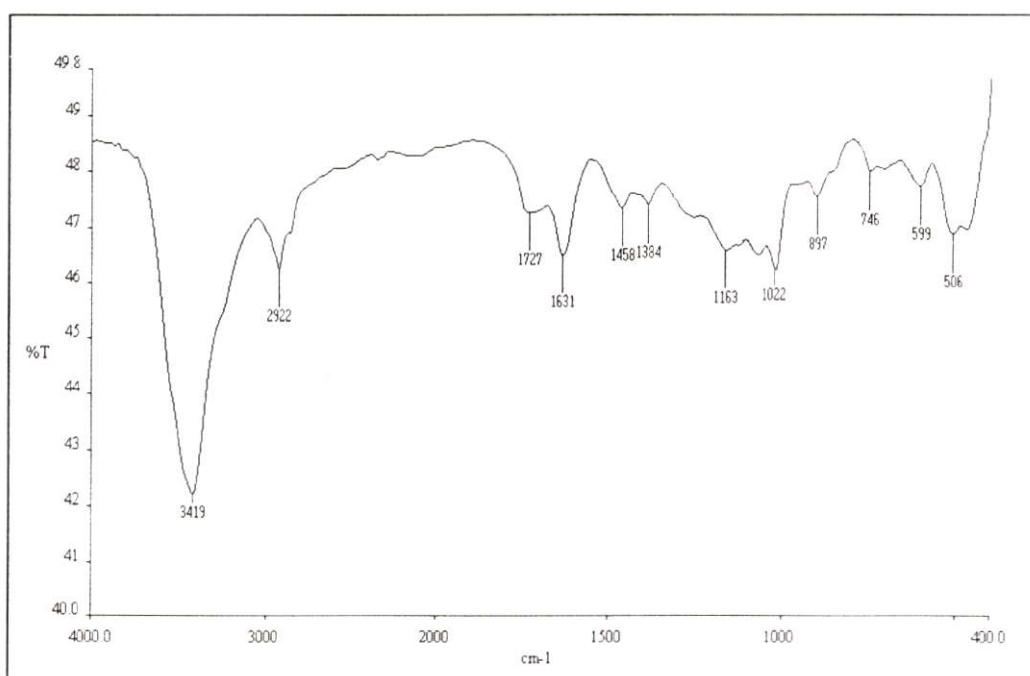
กำหนดสัญลักษณ์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ดังนี้

- (A') สารเมือกจากเม็ดแมงลัก
- (B') 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (C') 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (D') 1 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (E') 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (F') 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (G') 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (H') 1 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (I') 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (J') 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (พอลิเมอร์)
- (K') 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (L') 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (M') 1 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (N') 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (O') 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อม โยง (พอลิเมอร์)
- (P') 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (Q') 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (R') 1 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (S') 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (T') 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา(พอลิเมอร์)

4.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลักและ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ด้วย FTIR



รูปที่ 4.1 แสดง IR spectrum ของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก



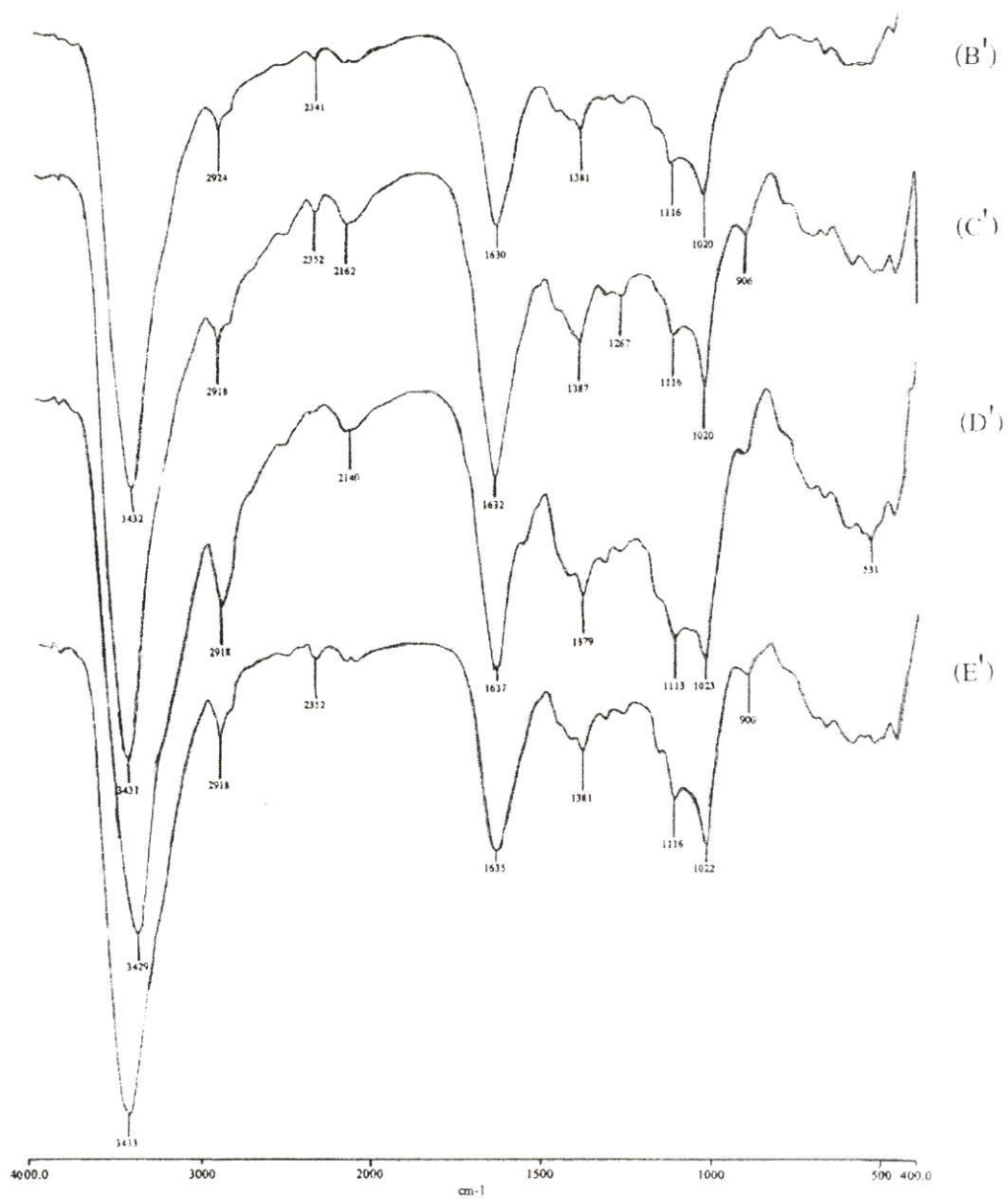
รูปที่ 4.22 แสดง IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

จากรูปที่ 4.1 แสดง IR spectrum ของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก โดยพิจารณาที่เลขคลื่น ในช่วง $400-4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ 3393 cm^{-1} คือ หมู่ไฮดรอกซิล ที่เลขคลื่นประมาณ 2887 cm^{-1} คือหมู่ C-H ของอะลิฟาติก ที่เลขคลื่นประมาณ 1628 cm^{-1} คือหมู่คาร์บอนิล และที่เลขคลื่นประมาณ 842 cm^{-1} คือหมู่ C=CH หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้พบอยู่ในโครงสร้างของพวก Uronide [4]

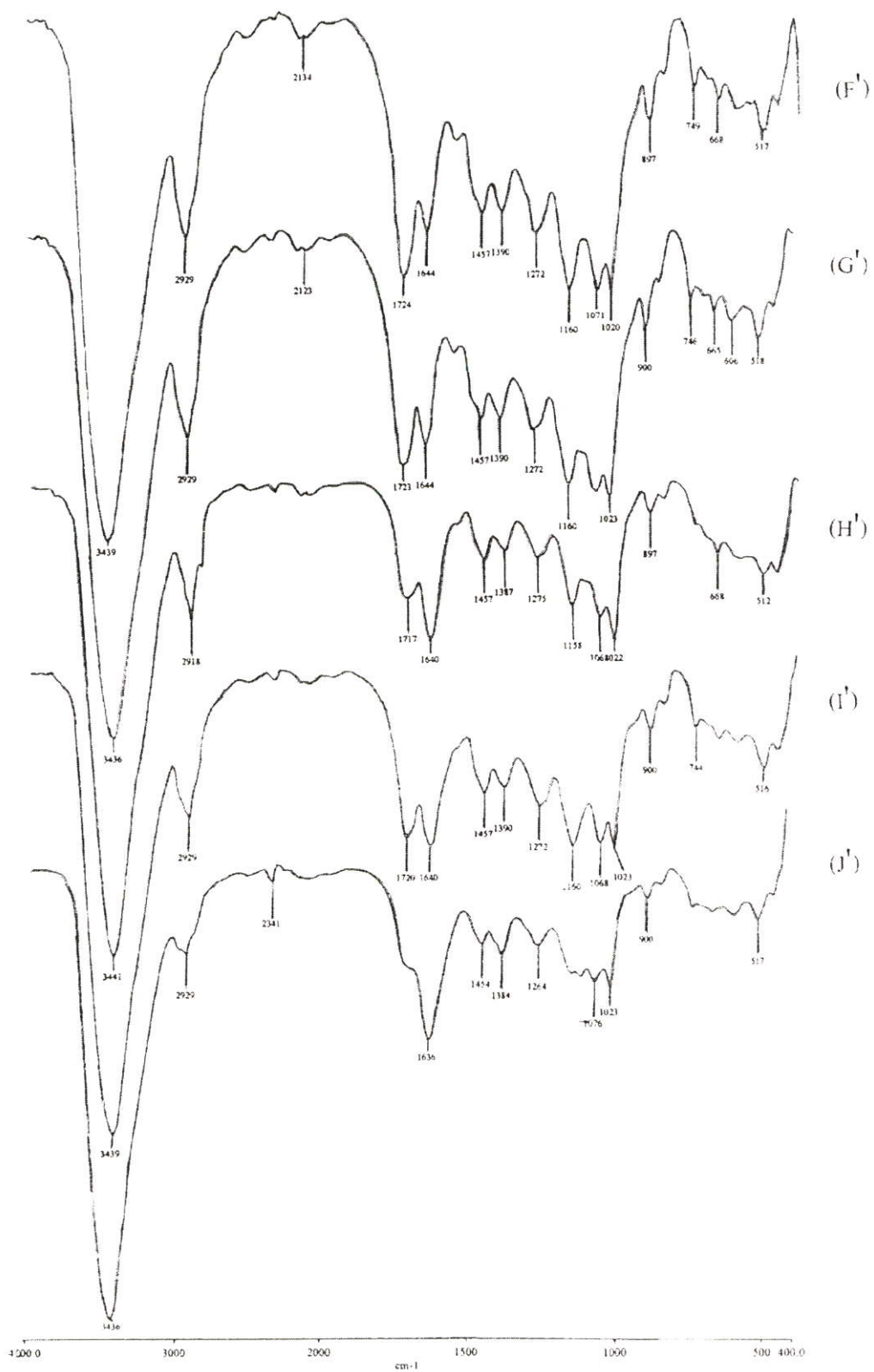
จากรูปที่ 4.22 แสดง IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม $28-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยพิจารณาที่เลขคลื่นในช่วง $400-4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ 3419 cm^{-1} คือ หมู่ไฮดรอกซิล ที่เลขคลื่นประมาณ 2922 cm^{-1} คือหมู่ C-H ที่เลขคลื่นประมาณ 1727 cm^{-1} คือหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ ที่เลขคลื่นประมาณ 1022 cm^{-1} คือหมู่ C-O และที่เลขคลื่นประมาณ 897 cm^{-1} คือหมู่ C=CH

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็น IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม $50-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่าคล้ายกันมาก

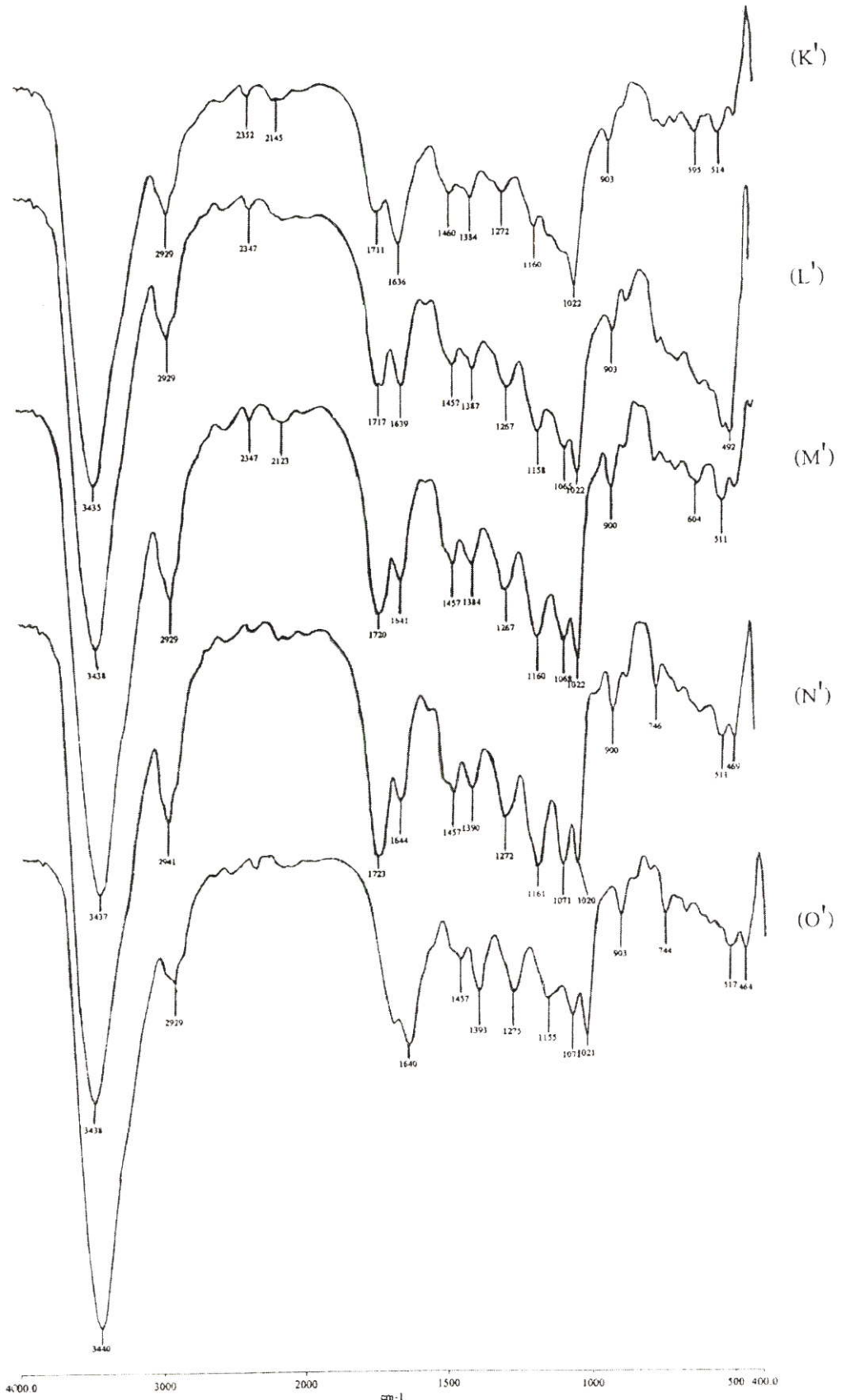
รูปที่ 4.23, รูปที่ 4.24, รูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 เป็นการเปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมในสภาวะมาตรฐาน ไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ไฮโดรเจลผสมลดปริมาณสารเชื่อมโยง และไฮโดรเจลผสมลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ตามลำดับ ที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว



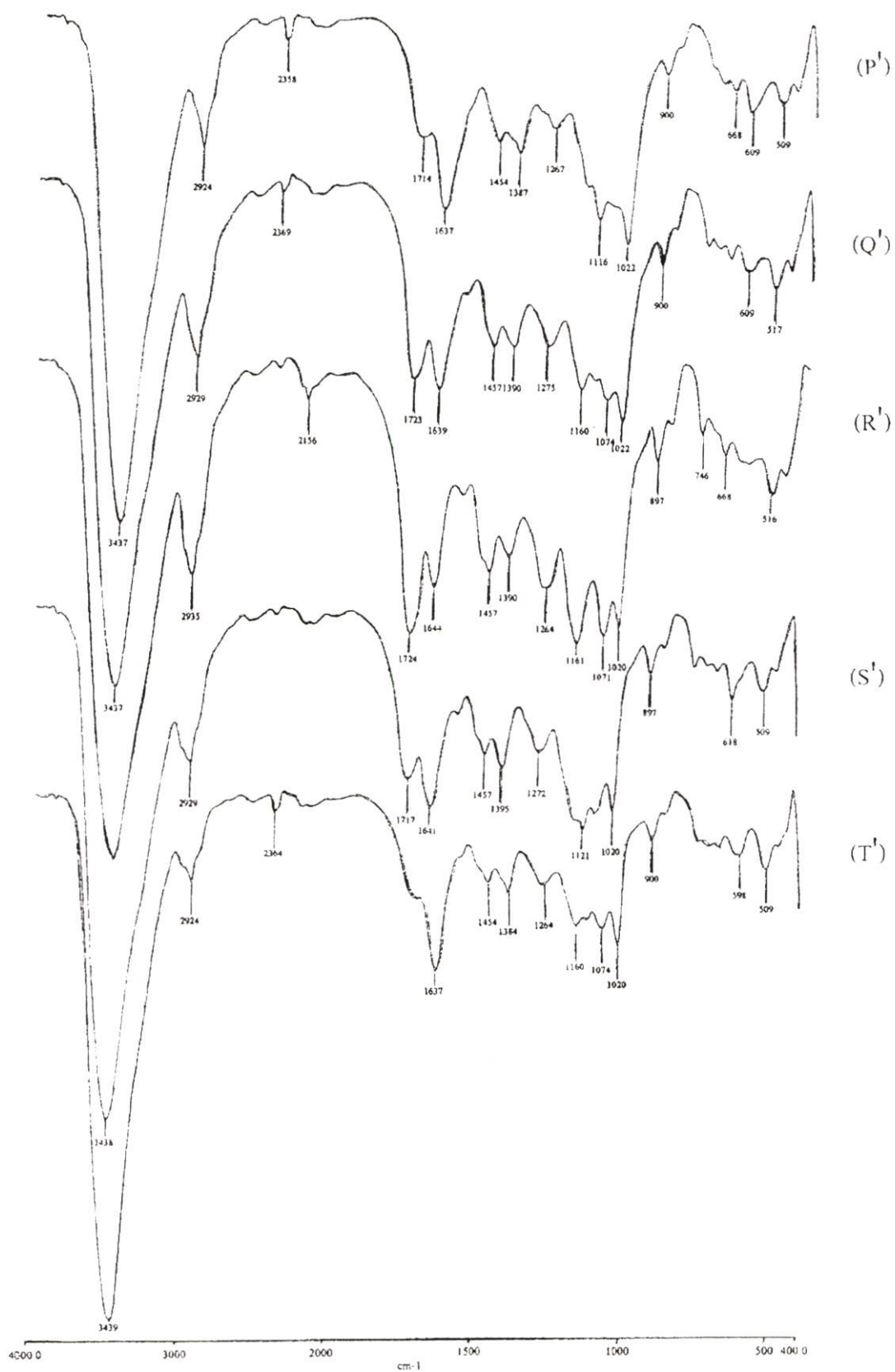
รูปที่ 4.23 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอโนเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C



รูปที่ 4.24 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C



รูปที่ 4.25 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโย
ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C



รูปที่ 4.26 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

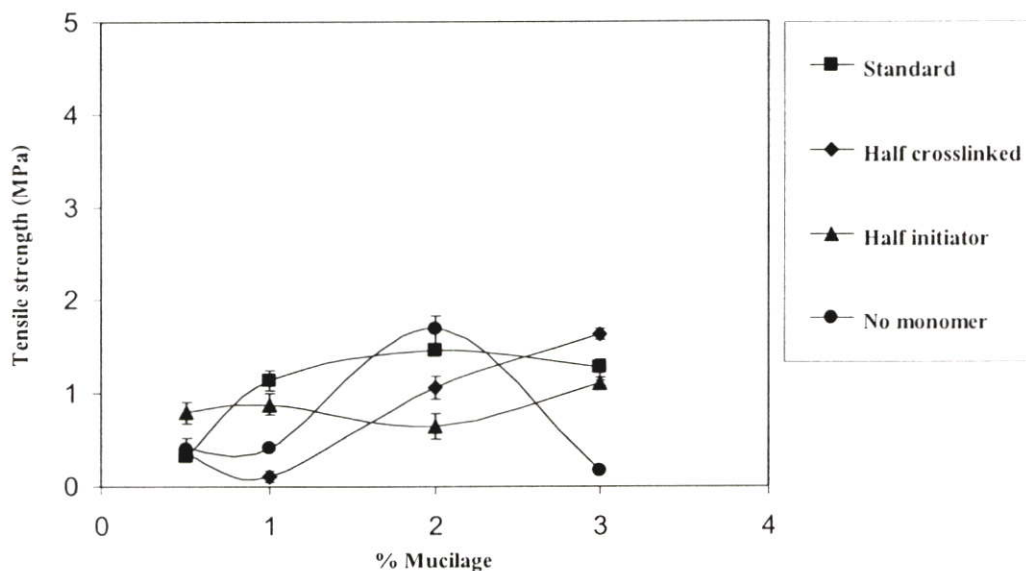
จากรูปที่ 4.23 เปรียบเทียบ IR spectra फिल्मไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ สูตร B'-E' คือ फिल्मไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ ตามลำดับ พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ $3429-3433 \text{ cm}^{-1}$ คือหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ที่เลขคลื่นประมาณ $2918-2924 \text{ cm}^{-1}$ คือหมู่ C-H ที่เลขคลื่นประมาณ 2162 cm^{-1} คือหมู่ N-H ของสารเชื่อมโยง และที่เลขคลื่นประมาณ $1630-1637 \text{ cm}^{-1}$ คือหมู่คาร์บอนิลของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลักษณะ spectra ของ फिल्मไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์มีความคล้ายคลึงกันมาก

จากรูปที่ 4.24 เปรียบเทียบ IR spectra สูตร F'-J' คือ फिल्मไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 % และ 0 % กับมอนอเมอร์ซึ่งเป็นสูตรมาตรฐาน พบว่า IR spectra คล้ายกับ फिल्मไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ แต่มีหมู่คาร์บอนิลของสารเชื่อมโยง N,N'-Methylenebisacrylamide และ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ปรากฏที่เลขคลื่นประมาณ $1717-1724 \text{ cm}^{-1}$ และจะมีการดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะการเพิ่มปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักทำให้สารเชื่อมโยงมีโอกาสเข้าทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบพีคที่ $1264-1275 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดง C-O ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

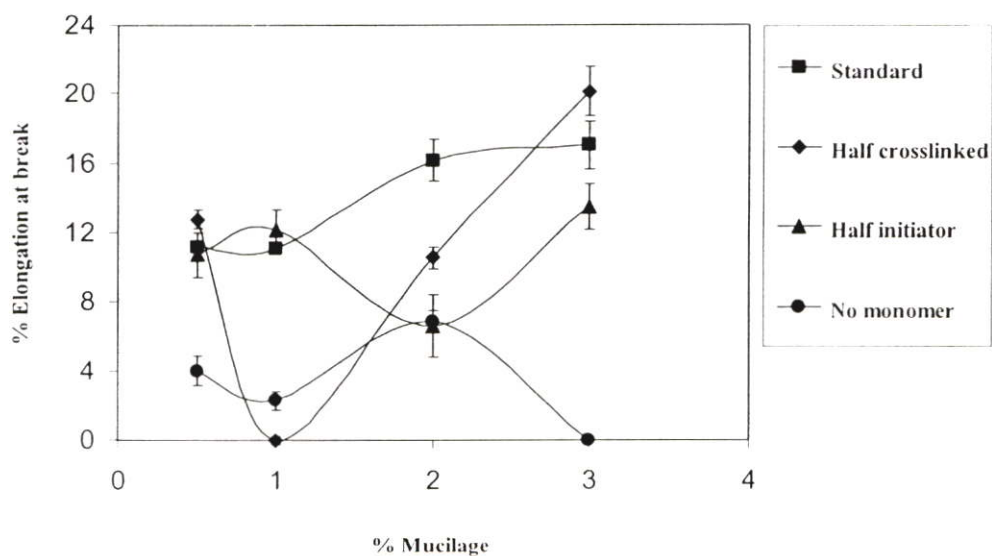
จากรูปที่ 4.25 เปรียบเทียบ IR spectra फिल्मไฮโดรเจลสูตร K'-O' คือ फिल्मไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 %, 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง และรูปที่ 4.26 फिल्मไฮโดรเจลสูตร P'-T' คือ फिल्मไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 %, 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่า IR spectra มีความคล้ายคลึงกันมากคือ ที่เลขคลื่นประมาณ $3435-3440 \text{ cm}^{-1}$ คือหมู่ไฮดรอกซิล ที่เลขคลื่นประมาณ $2929-2941 \text{ cm}^{-1}$ คือหมู่ C-H ที่เลขคลื่นประมาณ $1711-1723 \text{ cm}^{-1}$ คือหมู่คาร์บอนิลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) และของ N,N'-Methylenebisacrylamide และที่เลขคลื่นประมาณ $1636-1644 \text{ cm}^{-1}$ คือหมู่คาร์บอนิลของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

ผลการทดลองจาก IR spectra ของ फिल्मไฮโดรเจลทุกชนิดเตรียมที่อุณหภูมิ $28-30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ให้ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันคล้าย IR spectra ของ फिल्मไฮโดรเจลทุกชนิดที่เตรียมที่อุณหภูมิ $50-60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่ความเข้มของการดูดกลืนต่างกัน

4.2.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลทุกชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจล ในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C

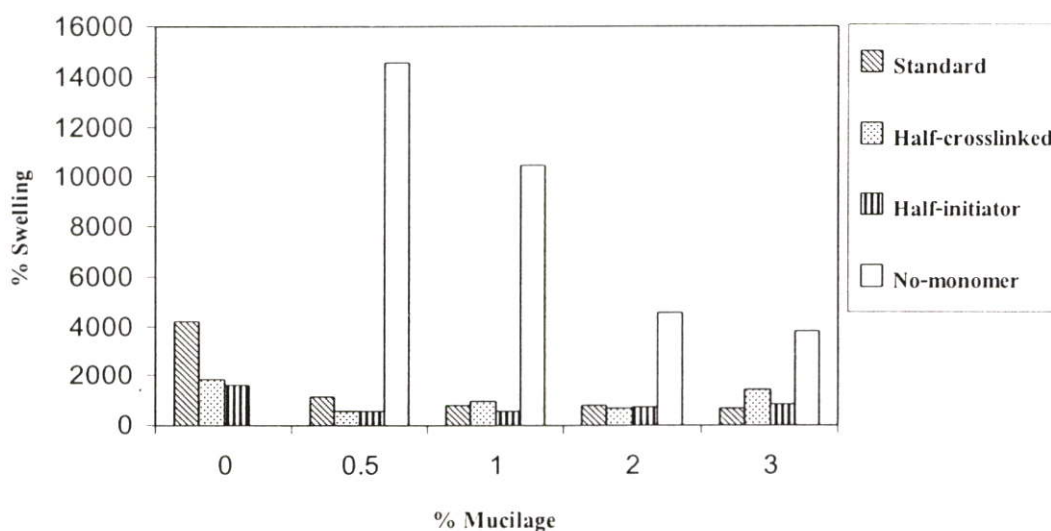


รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจล ในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C

นำฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้ ณ สภาวะต่างๆที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลมาวิเคราะห์สมบัติเชิงกล โดยนำมาแช่น้ำก่อน 10 นาที เนื่องจากในการนำไปใช้งานจริงต้องนำฟิล์มไฮโดรเจลไปแช่น้ำหรือยาก่อน ผลการทดลองของฟิล์มไฮโดรเจล พบว่า 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์มีค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ดีที่สุด และใกล้เคียงกับฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ลดสารเชื่อมโยงลง เมื่อพิจารณาฟิล์มไฮโดรเจลที่ 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักของสูตรต่างๆ ความทนแรงดึงเรียงลำดับดังนี้ สูตรลดปริมาณสารเชื่อมโยง > สูตรมาตรฐาน > สูตรลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา > สูตรสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ส่วนค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของฟิล์มไฮโดรเจลที่ 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักของสูตรต่างๆเรียงลำดับเช่นเดียวกันกับความทนแรงดึง ฟิล์มพอลิเมอร์อย่างเดียวไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้เพราะเมื่อแช่น้ำฟิล์มจะหดตัวไม่คงรูปร่างเดิมและสารเมือกจากเมล็ดแมงลักอย่างเดียวไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้เช่นกันเพราะละลายน้ำอย่างรวดเร็ว สมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรต่างๆ สรุปได้ว่า ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ลดสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่ง ให้สมบัติที่แข็งและยืดได้ดี ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ให้สมบัติที่แข็งและเปราะ การมี 2-Hydroxyethyl methacrylate จะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้ฟิล์มสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ผลการทดลองไปในทำนองเดียวกับที่อุณหภูมิสูง 50-60 °C

4.2.3 ผลทดสอบการดูดซับน้ำภายใน 24 ชั่วโมงของฟิล์มไฮโดรเจลทุกชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล

การนำฟิล์มไฮโดรเจลมาสกัดด้วยน้ำเพื่อกำจัดสารเมือกจากเม็ดเมงลักที่ไม่เกิดพันธะเชื่อม โยง มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา ตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อม โยงที่เหลือ ส่วนการสกัดด้วยเมทานอลเพื่อกำจัดพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดการเชื่อม โยง



รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมงของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

จากรูปที่ 4.29 เมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้ ณ สถานะต่างๆผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว มาทดสอบการดูดซับน้ำในเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดเมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ดูดซับน้ำได้สูงที่สุดและเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดเมงลักเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดเมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์จะลดลง เนื่องจากสารเมือกจากเม็ดเมงลักมากทำให้ความหนืดในระบบสูงเกิดพันธะเชื่อม โยงหนาแน่นแต่ไม่กระจาย เมื่อเทียบกับปริมาณสารเมือกจากเม็ดเมงลักน้อยความหนืดในระบบต่ำเกิดการกระจายของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อม โยง ทำให้พันธะเชื่อม โยงเกิดได้มากเช่นกันแต่ในลักษณะกระจายทั่วทั้งสารเมือกจากเม็ดเมงลัก เมื่อนำมาแช่น้ำ น้ำจึงแพร่เข้าไปได้มาก ฟิล์มที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดเมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 14540 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดเมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 10469 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดเมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 4551 % และปริมาณสารเมือกจากเม็ดเมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 3823 %

สำหรับฟิล์มไฮโดรเจลมาตรฐานที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว นำมาทดสอบการดูดซับน้ำ พบว่า ที่เวลา 24 ชั่วโมง ฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

ดูดซับน้ำดีที่สุดคือ 4216 % และเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลมีแนวโน้มลดลงและใกล้เคียงกันแม้ว่าปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้นมากดังนี้ ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % มีดูดซับน้ำได้ 1122 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 781 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 812 % และปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 694 %

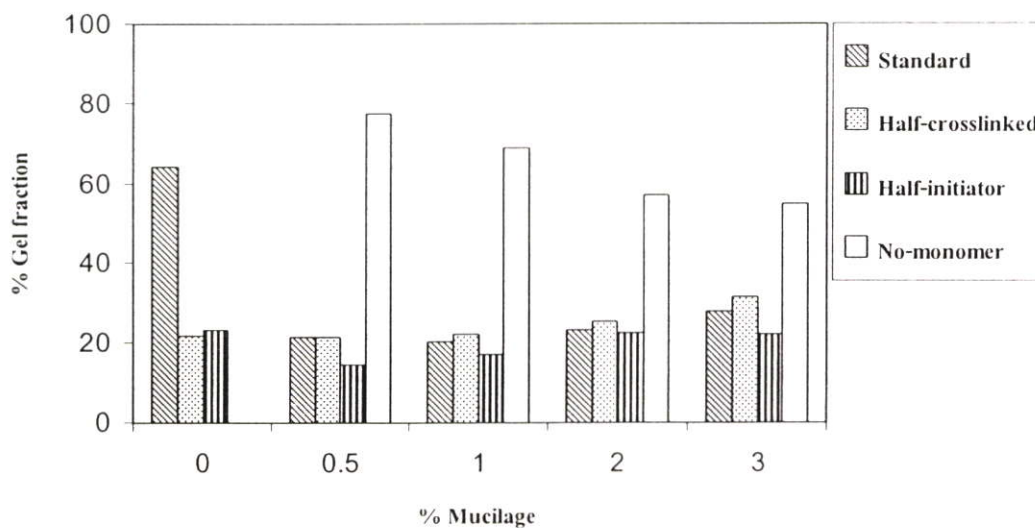
ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่งที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว มาทดสอบการดูดซับน้ำ พบว่า ที่เวลา 24 ชั่วโมง ฟิล์มไฮโดรเจลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ดูดซับน้ำได้ดีที่สุดคือ 1826 % และเมื่อเติมสารเมือกจากเม็ดแมงลักลงไปทำให้การดูดซับน้ำลดลง ดังนี้ ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 529 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 958 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 676 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 1423 %

ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาครึ่งหนึ่งที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว มาทดสอบการดูดซับน้ำ พบว่า ที่เวลา 24 ชั่วโมง ฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ดูดซับน้ำได้ดีที่สุดคือ 1634 % และต่ำกว่าการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่งและเมื่อเติมสารเมือกจากเม็ดแมงลักลงไปทำให้การดูดซับน้ำลดลง ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5-3 % การดูดซับน้ำเรียงดังนี้ ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 560 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 568 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 749 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 858 %

เมื่อเรียงลำดับความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ในทุกกรณี พบว่า ฟิล์มสารเมือกจากเม็ดแมงลัก > ฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน > ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง > ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา

4.2.4 เปอร์เซนต์ค่าสัดส่วนเจล

กราฟรูปที่ 4.30 แสดงผลของค่าสัดส่วนเจลที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ในสภาวะเงื่อนไขการทดลองมาตรฐาน ลดปริมาณสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่ง ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาลงครึ่งหนึ่งและกรณีที่ไม่มีมอนอเมอร์



รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบ % ค่าสัดส่วนเจลของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C

จากรูปที่ 4.30 เมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) และฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่สภาวะต่างๆมาสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ตามลำดับ พบว่า ฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) มีเปอร์เซนต์ค่าสัดส่วนเจลลดลง เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยงและลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา แสดงว่าเกิดพันธะเชื่อมโยงได้น้อยกว่าฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน โดยเปอร์เซนต์ค่าสัดส่วนเจลของฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน > ฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ~ ฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 สภาวะกับรูปที่ 4.12 พบว่า ให้ผลตรงกันข้ามกัน กล่าวคือ ในกรณีสูตรมาตรฐานพอลิเมอร์เกิดพันธะเชื่อมโยงได้ดีที่อุณหภูมิการทดลอง 28-30°C จึงเหลือส่วนที่ไม่ละลายมาก เปอร์เซนต์ค่าสัดส่วนเจลจึงสูง แต่ในกรณีสูตรที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงและลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา พอลิเมอร์เกิดพันธะเชื่อมโยงได้ดีที่อุณหภูมิการทดลอง 50-60 °C เปอร์เซนต์ค่าสัดส่วนเจลจึงสูง

ในกรณีของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก เปอร์เซนต์ค่าสัดส่วนเจลลดลงเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักมากขึ้น ทำให้ความหนืด

เพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปขัดขวางการแพร่กระจายของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อมโยง ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลลดลง แนวโน้มคล้ายกับการทดลองที่อุณหภูมิ 50-60 °C (รูปที่ 4.12)

ในกรณีของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง และฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลรวมของส่วนที่ไม่ละลายจากพอลิเมอร์และสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยง แนวโน้มคล้ายกับการทดลองที่อุณหภูมิ 50-60 °C (รูปที่ 4.12)

4.2.5 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและหาค่าประกอบด้วยเครื่อง TGA

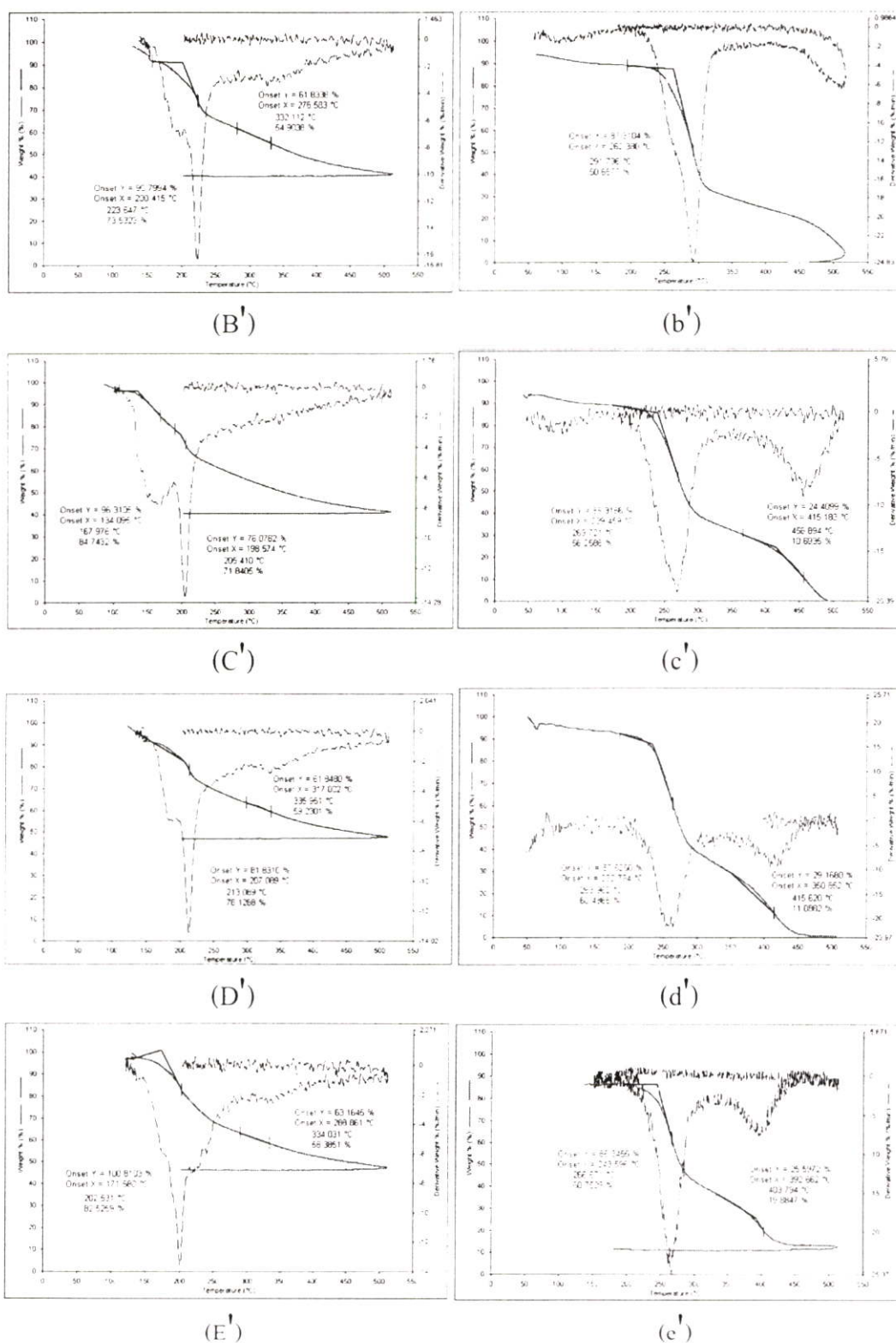
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ

ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

สูตร	เงื่อนไข	T _d 1 (°C)	T _d 2 (°C)	T _d 3 (°C)
สารเมือกจากเม็ดแมงลัก(A)		247	401	489
3%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์(B')	ก่อนสกัด	223	332	-
	หลังสกัด	291	-	-
2%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์(C')	ก่อนสกัด	167	205	-
	หลังสกัด	269	456	-
1%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์(D')	ก่อนสกัด	213	335	-
	หลังสกัด	263	415	-
0.5%สารเมือกจากเม็ด แมงลักไม่มีมอนอเมอร์(E')	ก่อนสกัด	202	334	-
	หลังสกัด	266	403	-
3%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(F')	ก่อนสกัด	224	378	-
	หลังสกัด	-	390	-
2%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(G')	ก่อนสกัด	232	375	-
	หลังสกัด	318	377	-
1%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(H')	ก่อนสกัด	210	378	-
	หลังสกัด	-	383	-
0.5%สารเมือกจากเม็ด แมงลักสูตรมาตรฐาน(I')	ก่อนสกัด	203	374	-
	หลังสกัด	-	389	-

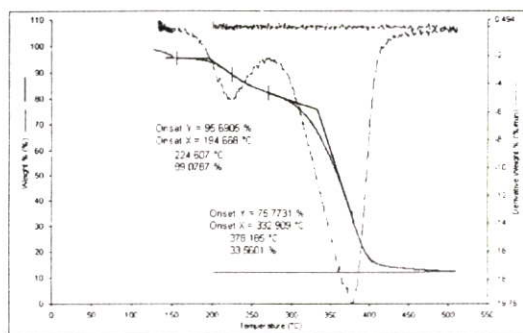
ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

สูตร	เงื่อนไข	T _{d1} (°C)	T _{d2} (°C)	T _{d3} (°C)
พอลิเมอร์ สูตรมาตรฐาน(J')	ก่อนสกัด	230	371	-
	หลังสกัด	-	386	-
3%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(K')	ก่อนสกัด	241	377	-
	หลังสกัด	311	369	465
2%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(L')	ก่อนสกัด	231	367	-
	หลังสกัด	-	380	-
1%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(M')	ก่อนสกัด	203	365	-
	หลังสกัด	-	385	-
0.5%สารเมือกจากเมล็ด แมงลักลดสารเชื่อมโยง(N')	ก่อนสกัด	201	342	380
	หลังสกัด	316	382	-
พอลิเมอร์ลดสารเชื่อมโยง (O')	ก่อนสกัด	228	310	-
	หลังสกัด	-	384	-
3%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(P')	ก่อนสกัด	286	373	-
	หลังสกัด	331	386	-
2%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(Q')	ก่อนสกัด	300	377	481
	หลังสกัด	316	369	468
1%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(R')	ก่อนสกัด	-	384	-
	หลังสกัด	317	371	469
0.5%สารเมือกจากเมล็ด แมงลักลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา (S')	ก่อนสกัด	254	385	-
	หลังสกัด	317	375	474
พอลิเมอร์ลดตัวริเริ่ม ปฏิกิริยา(T')	ก่อนสกัด	235	379	-
	หลังสกัด	299	373	441

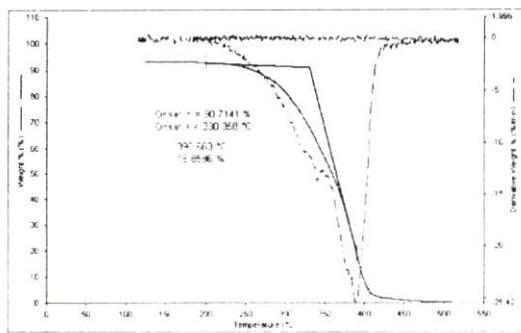


รูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

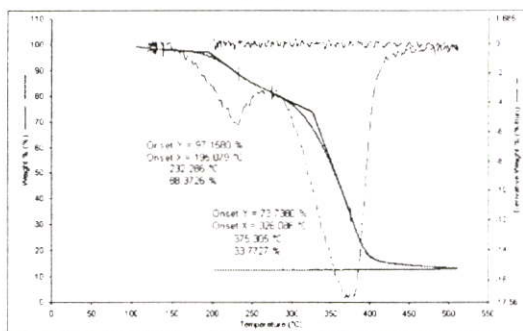
- (B') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (b') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (C') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (c') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (D') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (d') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (E') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (e') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



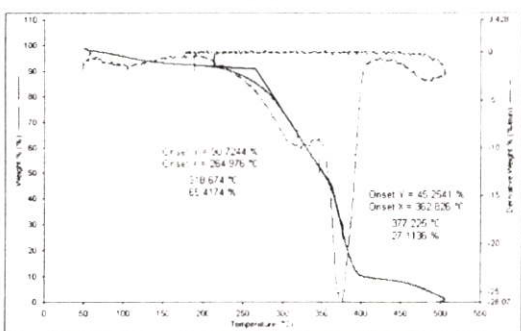
(F)



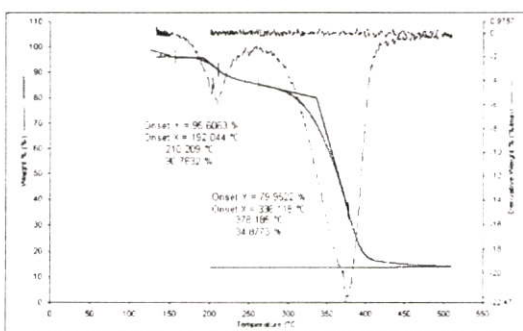
(f)



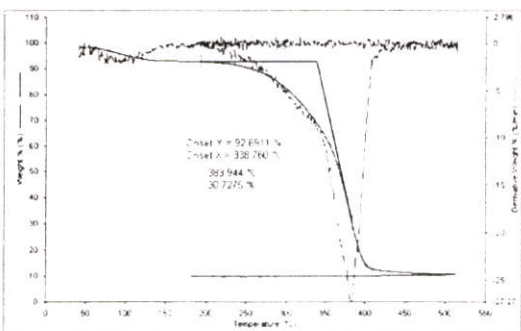
(G)



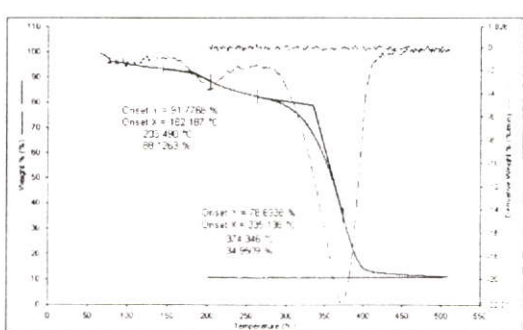
(g)



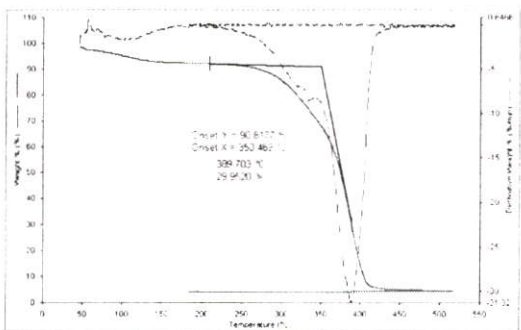
(H)



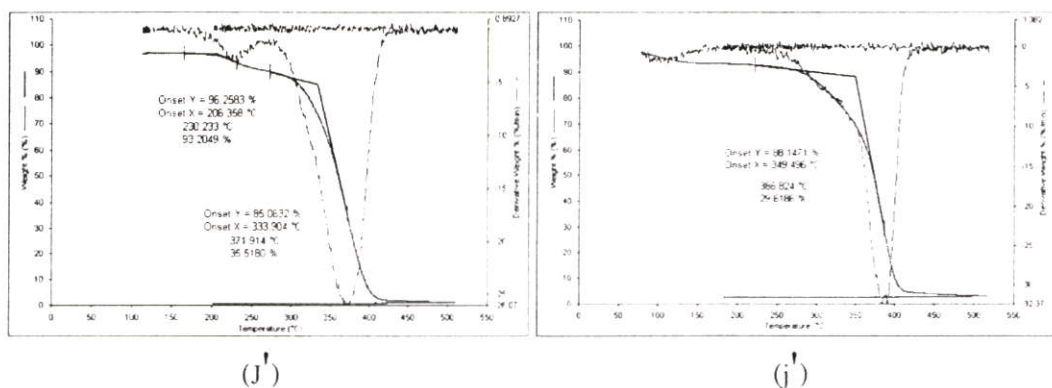
(h)



(I)

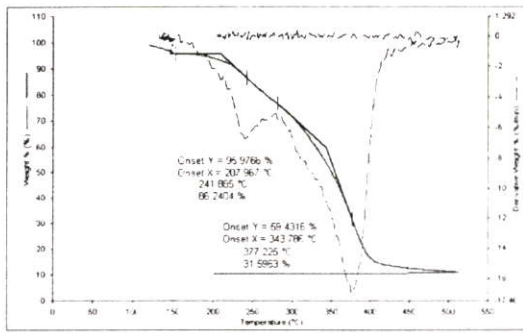


(i)

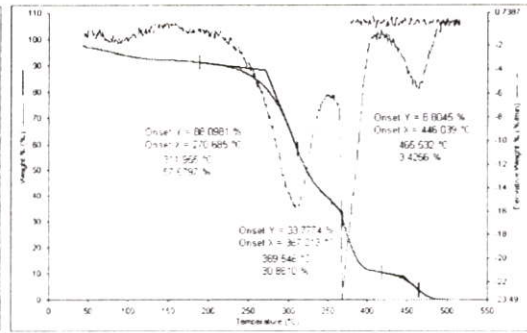


รูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

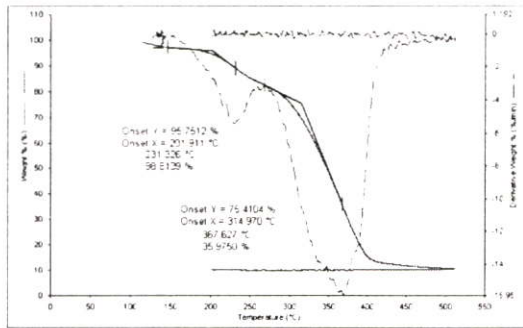
- (F') 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (f') 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (G') 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (g') 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (H') 1 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (h') 1 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (I') 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (i') 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (J') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) สูตรมาตรฐาน
- (j') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



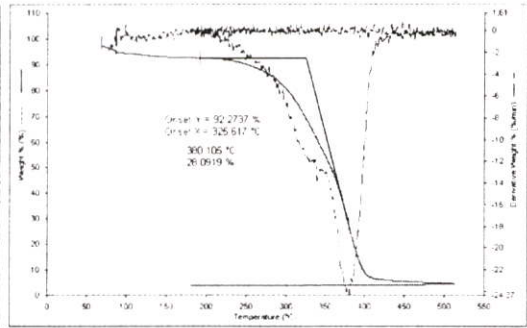
(K')



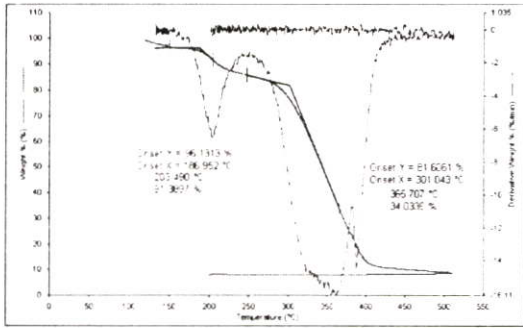
(k')



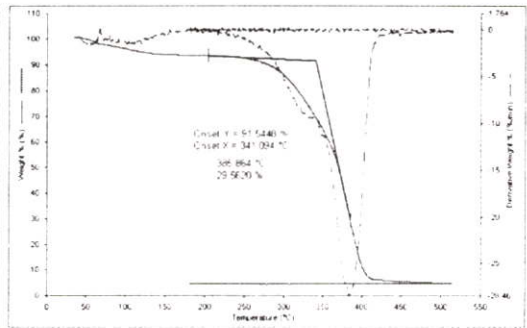
(L')



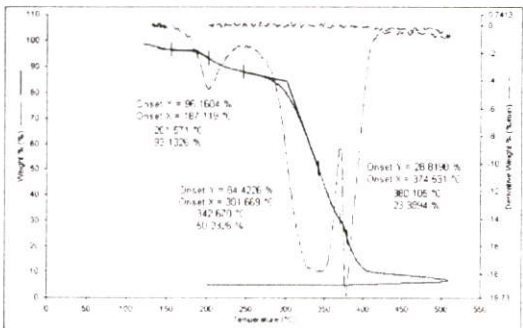
(l')



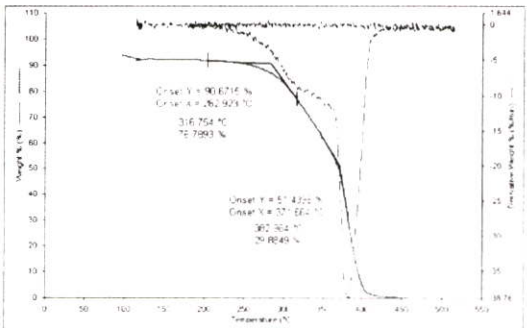
(M')



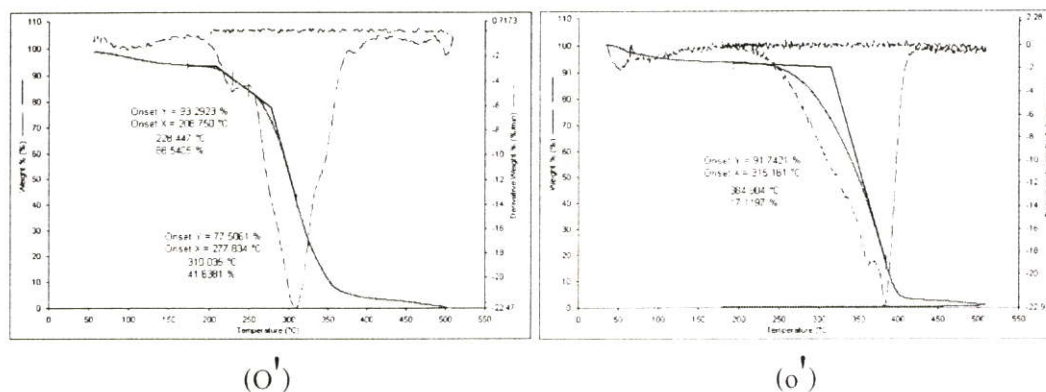
(m')



(N')



(n')



รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยงก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

(K') 3 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง

(k') 3 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล

(L') 2 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง

(l') 2 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล

(M') 1 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง

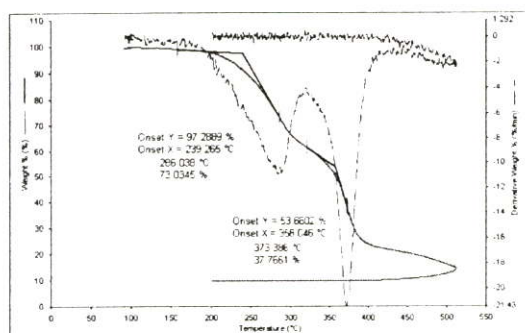
(m') 1 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล

(N') 0.5 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง

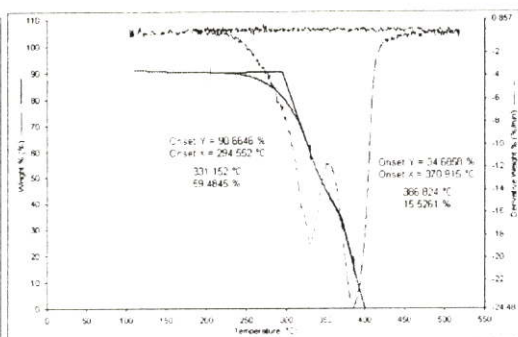
(n') 0.5 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล

(O') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณสารเชื่อมโยง

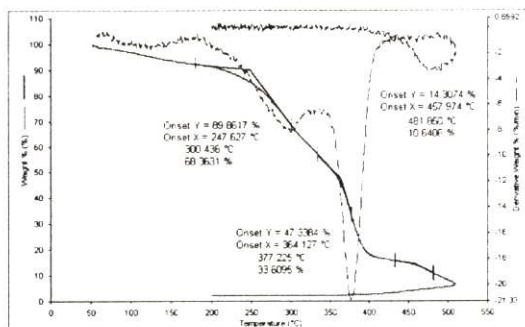
(o') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



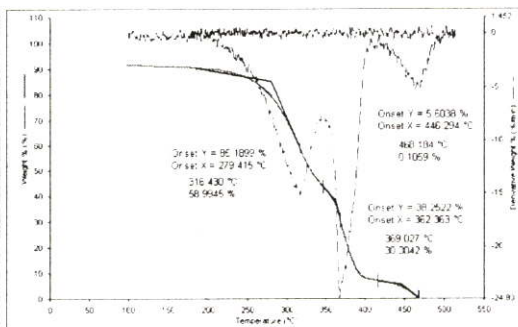
(P')



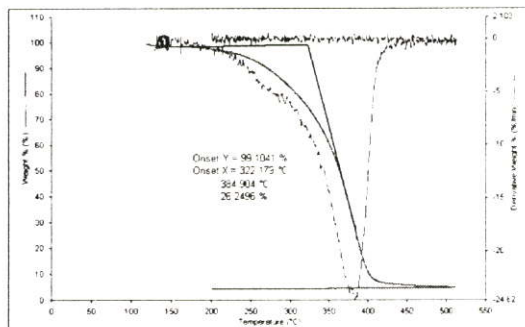
(p')



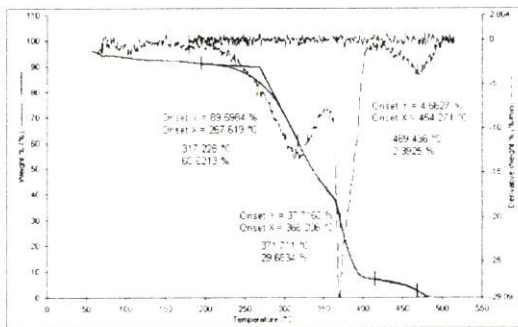
(Q')



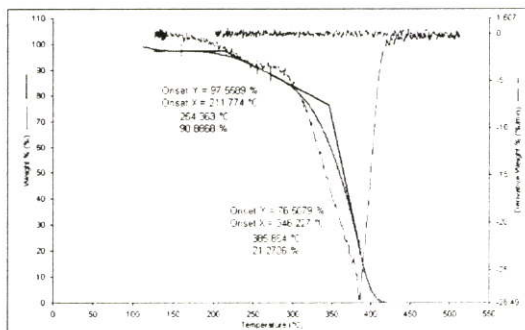
(q')



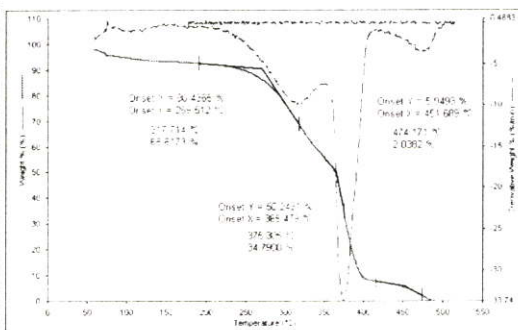
(R')



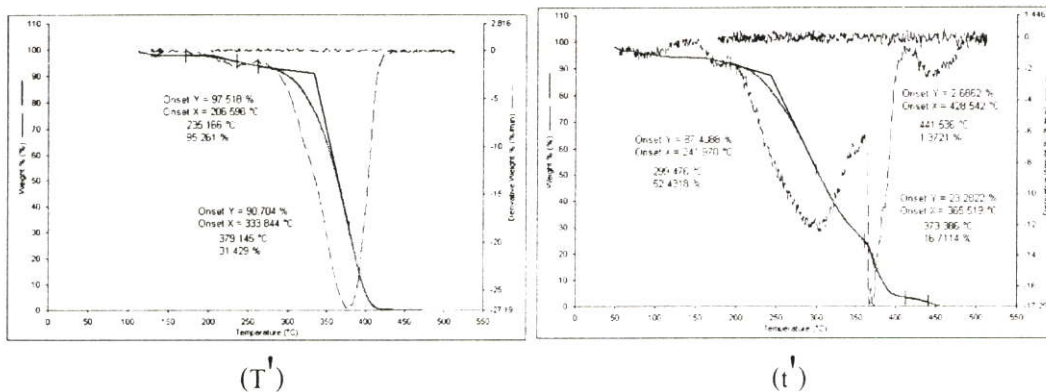
(r')



(S')



(s')



รูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

- (P') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (p') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (Q') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (q') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (R') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (r') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (S') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (s') 0.5% สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (T') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (t') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล

จากรูปที่ 4.31, 4.32, 4.33, 4.34 และตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จากรูปที่ 4.31 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลักหลังสกัดด้วยเมทานอล พบว่า จะมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิประมาณ 266-291 °C และชั้นที่สองที่มีอุณหภูมิประมาณ 392-456 °C แสดงถึงการเกิดพันธะเชื่อมโยงภายในสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ความเข้มข้นต่ำ ทำให้เกิด 2 ภูมิภาค แต่เมื่อความเข้มข้นของสารเมือกจากเมล็ดแมงลักสูงขึ้นเป็น 3 % พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวมีอุณหภูมิเดียว แสดงว่าพันธะเชื่อมโยงเกิดได้ทั่วถึง

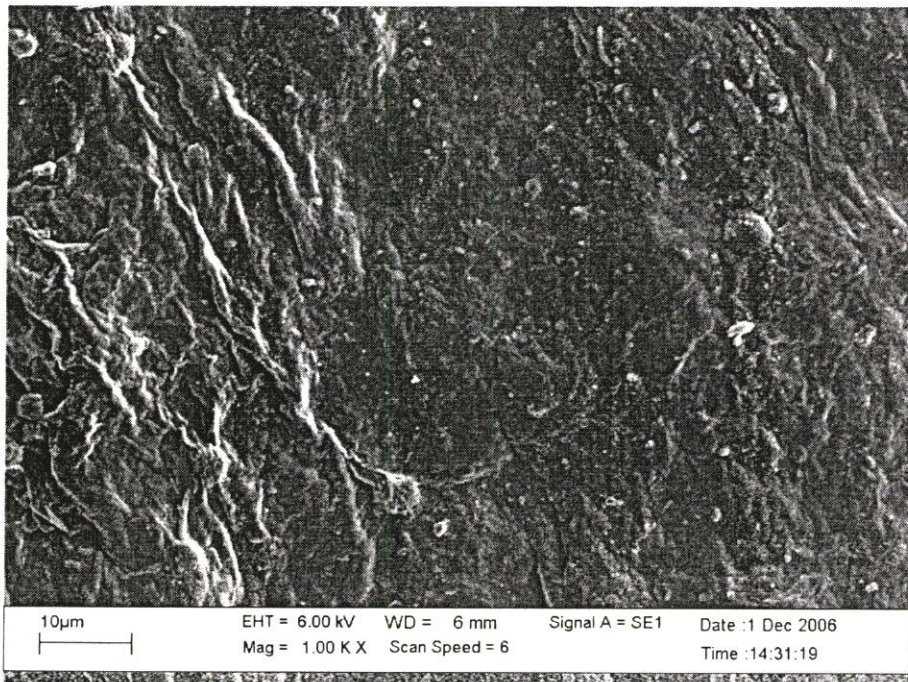
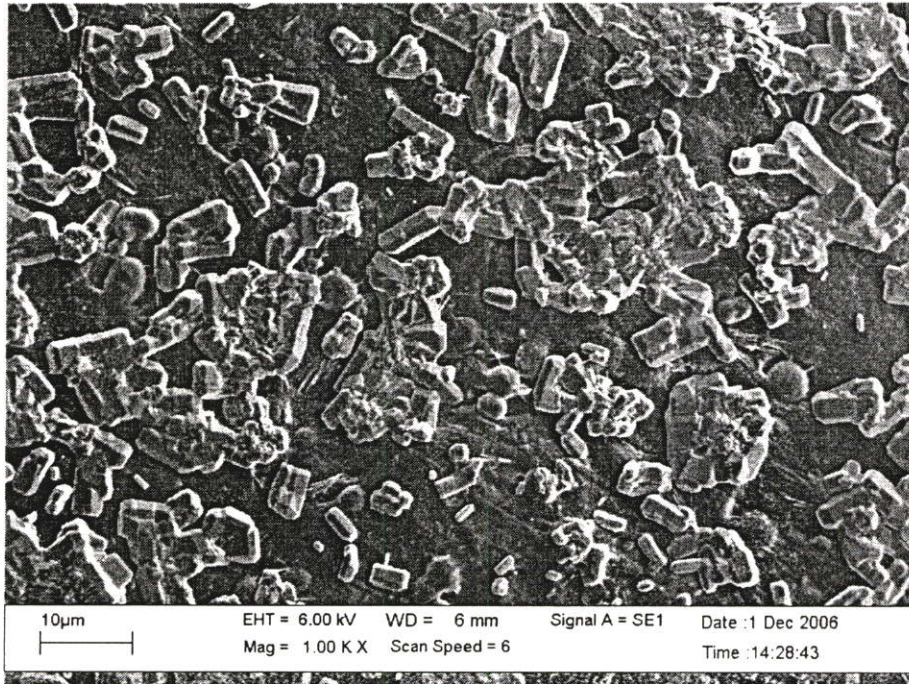
จากรูปที่ 4.32 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์ (j') มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 386 °C ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสาร

เนื่องจากเม็ดเมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate พบว่าทุกความเข้มข้นของสารเมือกจากเม็ดเมงลักมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น หลังสกัดด้วยเมทานอล พบว่า จะมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิประมาณ 330-340 °C น่าจะเป็นสารเมือกจากเม็ดเมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยง และมีพอลิเมอร์ต่อกิ่ง และชั้นที่สองที่มีอุณหภูมิประมาณ 389-390 °C เป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดเมงลัก

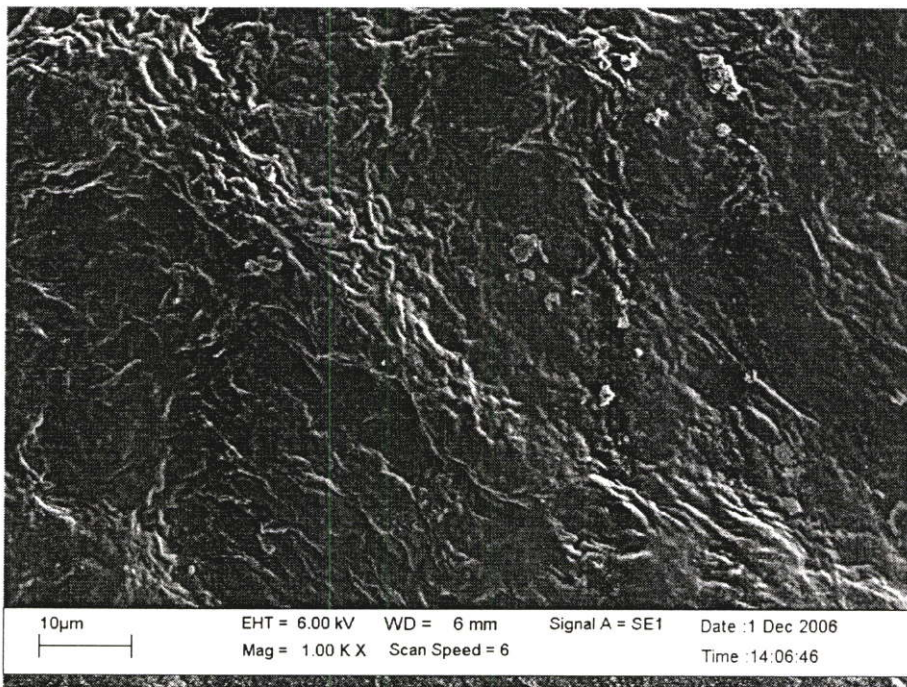
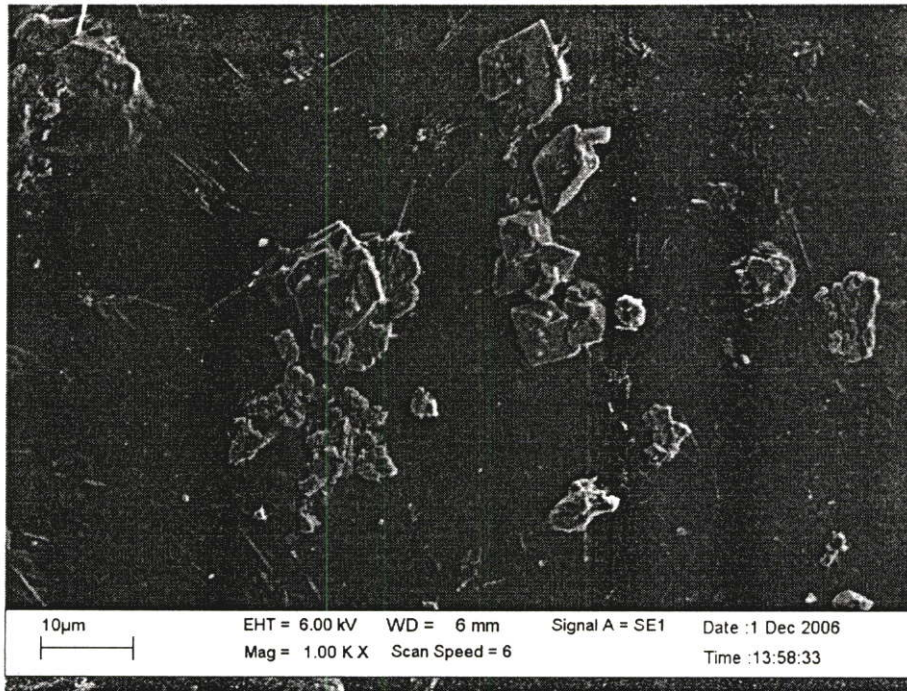
จากรูปที่ 4.33 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรลดปริมาณสารเชื่อมโยง ฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์ (o') มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 384 °C ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดเมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate พบว่าเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดเมงลักเพิ่มขึ้นถึง 2 % อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลมี 2 ชั้น ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิประมาณ 316-330 °C น่าจะเป็นการสลายตัวของสารเมือกจากเม็ดเมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยง และชั้นที่สองที่มีอุณหภูมิประมาณ 380-382 °C เป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดเมงลัก เมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดเมงลักเพิ่มขึ้นเป็น 3 % การสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลมี 3 ชั้น แยกออกจากกันได้ชัดเจน ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิประมาณ 311 °C เป็นการสลายตัวของสารเมือกจากเม็ดเมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยง และชั้นที่สองที่มีอุณหภูมิประมาณ 389 °C เป็นส่วนของพอลิเมอร์ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดเมงลัก ส่วนชั้นที่สามที่มีอุณหภูมิประมาณ 465 °C น่าจะเป็นส่วนของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดเมงลักสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยง

จากรูปที่ 4.34 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์ (t') มีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ชั้นคือที่ 299 °C, 373 °C และ 441 °C แสดงว่า การลดตัวริเริ่มปฏิกิริยาเท่ากับเป็นการลดจำนวนอนุมูลอิสระในระบบลง จำนวนโซ่พอลิเมอร์น้อยแต่สายโซ่ยาว ความหนืดของระบบสูงขึ้น ทำให้สารเชื่อมโยงไม่สามารถกระจายตัวเกิดการเชื่อมโยงไม่ทั่วถึง เกิดการแยกวัฏภาค เมื่อเพิ่มสารเมือกจากเม็ดเมงลัก เข้าไปในระบบจาก 0.5-2 % ยังคงให้ฟิล์มที่มีการสลายตัว 3 ชั้น โดยที่ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิประมาณ 316-317 °C น่าจะเป็นการสลายตัวของสารเมือกจากเม็ดเมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยง ชั้นที่สองที่มีอุณหภูมิประมาณ 369-373 °C น่าจะเป็นส่วนของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดเมงลัก ส่วนชั้นที่สามที่มีอุณหภูมิประมาณ 446 °C น่าจะเป็นส่วนของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดเมงลักสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยง สำหรับฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่มีสารเมือกจากเม็ดเมงลัก 3 % เมื่อลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา สารเชื่อมโยงจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารเมือกจากเม็ดเมงลักได้ดีกว่า จึงมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น เท่านั้น คือที่อุณหภูมิ 331 °C เป็นสารเมือกจากเม็ดเมงลักที่เกิดการเชื่อมโยง ส่วนที่อุณหภูมิ 386 °C เป็นพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดเมงลัก ซึ่งมีจำนวนที่ต่อกิ่งน้อยแต่สายโซ่ยาว

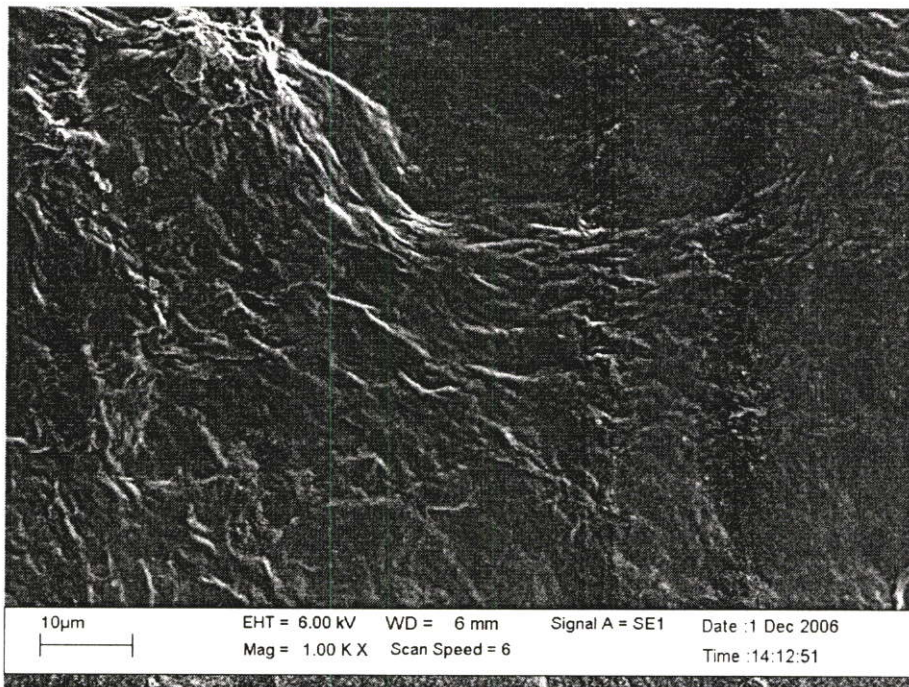
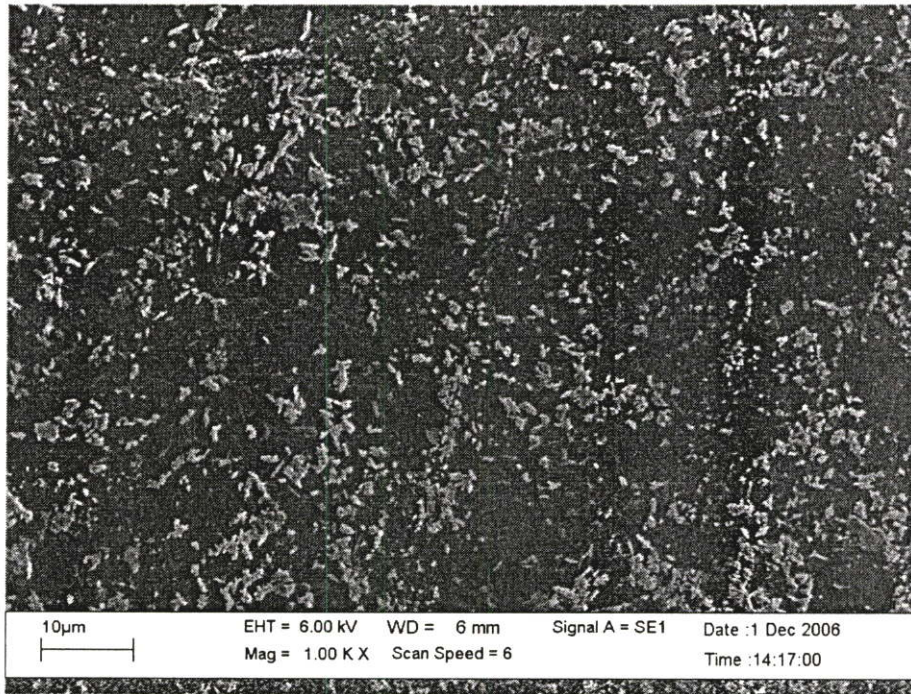
4.2.6 สมบัติทางสัณฐานวิทยา



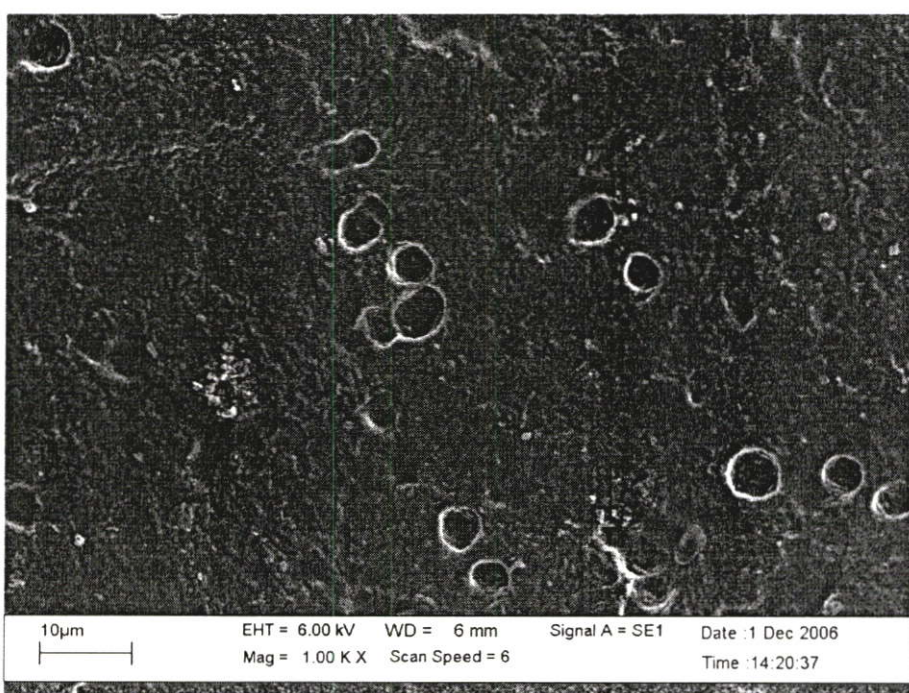
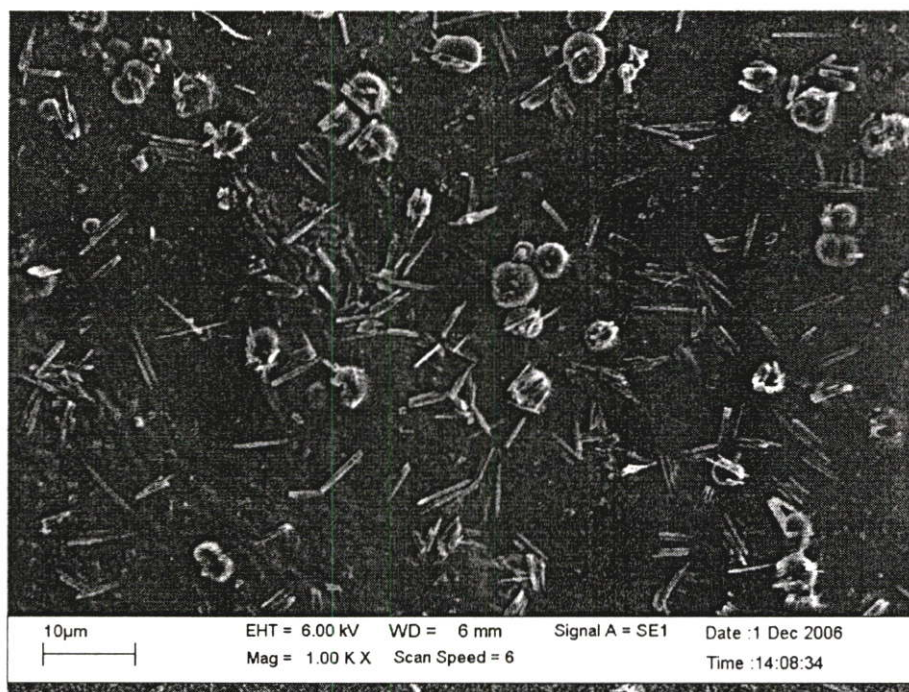
รูปที่ 4.35 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักสูตรมาตรฐานที่ไม่มีมีอนอเมอร์ (B') ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.36 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์ม ไฮโดรเจล 3 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลักสู่มาตรฐาน (F') ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.37 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง (K') ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.38 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลักที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา (P') ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)

นำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลสูตรต่างๆที่เตรียมได้ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล มาตรวจวิเคราะห์ด้วย SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.33-4.36 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.35 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ (B') จากรูปที่ 4.36 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักสูตรมาตรฐาน (F') แสดงลักษณะพื้นผิวคล้ายรูปที่ 4.35 จากรูปที่ 4.37 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง (K') รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวมีผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก และเมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยาหายไป พื้นผิวหลังการสกัดไม่เรียบ

สำหรับรูปที่ 4.38 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา (P') รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวจะมีผลึกของสารเชื่อมโยงและอนุภาคทรงกลมเกาะอยู่ และเมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ผลึกของสารเชื่อมโยงหายไปและอนุภาคทรงกลมลดลง แสดงว่าในสภาวะนี้พันธะเชื่อมโยงเกิดขึ้นน้อย จึงปรากฏผลึกรูปเข็มของสารเชื่อมโยงบนแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลก่อนสกัด สำหรับอนุภาคทรงกลมที่เห็นน่าจะเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นได้ดีภายใต้สภาวะนี้ ซึ่งพอลิเมอร์เหล่านี้จะถูกสกัดออก หากไม่เกิดการตอ้งกับสารเมือกจากเมล็ดแมงลักหรือเกิดการเชื่อมโยง ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยามากเกินไป และอนุภาคทรงกลมอาจจะเป็นสารเมือกจากเมล็ดแมงลักหรือไฮโมพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง การสกัดด้วยน้ำและเมทานอลอาจจะใช้เวลาไม่มากพอ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำสารเมือกจากเม็ดแมงลักซึ่งเป็นพอลิเมอร์ดูดซับน้ำจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์โดยปรับปรุงสมบัติเชิงกลด้วยการนำมาผสมกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate กำหนดอุณหภูมิในการผสมสารเคมีต่างๆ 2 ช่วง ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 50-60 °C และที่อุณหภูมิ 28-30 °C ปัจจัยที่ศึกษาในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ได้แก่ ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ปริมาณสารเชื่อมโยง ปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา เพื่อศึกษาผลของสารเหล่านี้ที่มีต่อฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักและฟิล์มไฮโดรเจลผสม ทำการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR ศึกษาองค์ประกอบและอุณหภูมิการสลายตัวด้วย TGA ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซับน้ำ และศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วย SEM ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงสมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจลที่สกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C และ 28-30 °C

สูตร	% การดูดซับน้ำ		ความทนแรงดึง (MPa)		% การดึงยืด ณ จุดขาด		อุณหภูมิการสลายตัว (°C)	
	50-60 °C	28-30 °C	50-60 °C	28-30 °C	50-60 °C	28-30 °C	50-60 °C	28-30 °C
A	ละลายน้ำ	ละลายน้ำ	ND	ND	ND	ND	238,401,489	238,401,489
B	1909 %	701 %	2.460	0.172	9.113	0	293	291
C	3411 %	960 %	1.342	1.696	6.157	6.894	300	269,456
D	6060 %	1589 %	0.472	0.417	2.761	2.280	295	263,415
E	14255 %	2906 %	0.076	0.403	0	4.012	293,417	266,403
F	602 %	257 %	1.227	1.274	3.611	17.030	327,385	390
G	469 %	347 %	0.248	1.468	7.482	16.170	315,377,465	318,377
H	435 %	373 %	1.261	1.142	13.655	11.120	331,372,444	383
I	566 %	362 %	0.368	0.321	7.900	11.190	334,375,449	389
J	566 %	952 %	ND	ND	ND	ND	278,375,460	386
K	654 %	624 %	0.492	1.634	16.310	20.135	323,386	311,369,465
L	357 %	272 %	0.882	1.061	17.840	10.555	313,374,457	380
M	398 %	436 %	1.298	0.108	9.334	0	326,373,437	385
N	529 %	369 %	0.112	0.342	0	12.780	292,377,452	316,382
O	1285 %	740 %	ND	ND	ND	ND	262,367	384
P	1554 %	465 %	3.753	1.113	13.675	13.485	313,385	331,386
Q	989 %	329 %	0.038	0.646	0	6.627	325,383	316,369,468
R	489 %	356 %	1.107	0.885	12.755	12.190	335,390	317,371,469
S	810 %	523 %	0.167	0.796	7.407	10.732	331,390	317,375,474
T	891 %	624 %	ND	ND	ND	ND	306,388	299,373,441

หมายเหตุ : ND = No data

ผลการวิเคราะห์การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมในสภาวะต่างๆที่อุณหภูมิสูงและต่ำ พบว่า ถ้ามีปริมาณสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยาน้อย ทำให้ฟิล์มไฮโดรเจลมีการดูดซับน้ำมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์ฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมในสภาวะต่างๆที่อุณหภูมิสูงและต่ำด้วยเทคนิค FTIR พบว่ามีแนวโน้มคล้ายกัน โดยแสดงตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันของทั้งสารเมือกจากเม็ดแมงลักและของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลทุกสูตร พบว่า ฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงลง ให้สมบัติคล้ายยาง คือออกแรงดึงน้อยยืดได้มาก ฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา ลง ให้สมบัติแข็งแรงแต่ยังยืดได้ดี และพบว่าฟิล์มสารเมือกจากเม็ดแมงลักให้สมบัติแข็งแรง

ผลการวิเคราะห์ฟิล์มไฮโดรเจลผสมสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เตรียมในสภาวะต่างๆที่อุณหภูมิสูงและต่ำด้วยเทคนิค TGA หลังสกัดด้วยน้ำและเมทานอลพบว่าคล้ายกันคือ มีการสลายตัวหลัก 2 ชั้น โดยชั้นแรกช่วงอุณหภูมิ 315-335 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มีพอลิเมอร์ต่อกิ่ง ชั้นที่สองช่วงอุณหภูมิ 372-390 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ในบางสูตรจะพบการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่เกิดพันธะเชื่อมโยงช่วงอุณหภูมิ 417-465 °C เป็นชั้นที่ 3 ด้วย

ผลการวิเคราะห์ฟิล์มไฮโดรเจลผสมสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เตรียมในสภาวะต่างๆที่อุณหภูมิสูงและต่ำด้วย SEM พบว่า คล้ายกันคือ ฟิล์มสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์จะพบตัวริเริ่มปฏิกิริยาเหลืออยู่ และฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะพบผลึกสารเชื่อมโยงเหลืออยู่ ฟิล์มที่เตรียมที่อุณหภูมิต่ำมีผิวเป็นคลื่นมากกว่าฟิล์มที่เตรียมที่อุณหภูมิสูง

ผลของอุณหภูมิขณะผสม พิจารณา จากค่าสัดส่วนเจลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่อุณหภูมิสูง 50-60 °C ตรงข้ามกับที่อุณหภูมิต่ำ 28-30 °C เช่นสูตรมาตรฐาน ค่าสัดส่วนเจลของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง แสดงว่า ถ้าสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยามากพอ ปฏิกิริยาเกิดได้ดีโดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิ หากใช้อุณหภูมิทำให้เกิดขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยาเร็วเกิดการถ่ายโอนสายโซ่มาก ในขณะที่หากลดปริมาณสารเชื่อมโยง หรือตัวริเริ่มปฏิกิริยา ลง ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีมีค่าสัดส่วนเจลมากเมื่อใช้อุณหภูมิช่วย

สำหรับฟิล์มไฮโดรเจลของสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับสารเชื่อมโยงพบว่า ค่าสัดส่วนเจลไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและสามารถทำปฏิกิริยากับสารเชื่อมโยงได้ดี

ส่วนค่าสัดส่วนเจลของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ของสูตรที่มีสภาวะเดียวกัน พบว่าที่อุณหภูมิสูง 50-60 °C ให้ค่าสัดส่วนเจลใกล้เคียงกับหรือสูงกว่าฟิล์มไฮโดรเจลที่อุณหภูมิต่ำเล็กน้อย

ผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า สารเมือกจากเม็ดแมงลักสามารถนำมาปรับปรุงเป็นฟิล์มไฮโดรเจลที่มีความสามารถดูดซับน้ำได้โดยใช้สารเชื่อมโยง N,N'-Methylenebisacrylamide แต่สมบัติเชิงกลไม่ดี การใช้ 2-Hydroxyethyl methacrylate จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

ไฮโดรเจลให้มีความทนแรงดึงและยืดได้มากขึ้น แต่ทำให้สมบัติการดูดซับน้ำของฟิล์มสารเมือกจากเม็ดแมงลักลดลงทั้งสองอุณหภูมิ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้เวลาในการปั่นกวนเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลมากขึ้นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์
2. ควรใช้เวลาในการสกัดฟิล์มไฮโดรเจลด้วยเมทานอลมากขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่าสารเชื่อมโยง, ตัวริเริ่มปฏิกิริยา, ไฮโมพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยงหลุดออกจากฟิล์มไฮโดรเจลจนหมด
3. ปรับเปลี่ยนส่วนผสมโดยให้ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักคงที่และเปลี่ยนปริมาณ 2-Hydroxyethyl methacrylate

เอกสารอ้างอิง

1. Kinam Park. **“Superporous Hydrogels for Pharmaceutical & Other Applications.”**
[online]. Available :
<http://www.drugdeliverytech.com/cgi-bin/articles.cgi?idArticle=60>. 2006
2. P.J.Flory. **“Hydrogel Biomaterials: Structure and Physical Chemistry.”** [lecture].
England : Cornell University. 2003
3. อโนชา อุทัยพัฒน์. **“สมุนไพรรักษาโรค.”** [Online]. Available :
<http://www.aidsthai.org/module/module20>. 2006
4. Cargill. **“Molecular structure.”** [Online]. Available :
<http://www.texturantsystems.com/texturant/html/e/products/alginate/mole.htm>.
2006
5. กลมทิพย์ สัจจาอนันตกุล, มาลี ชิมศรีสกุล. “ผลการใช้ผงเมือกแมงลักเป็นสารเพิ่มความเหนียวในผลิตภัณฑ์ขนมปัง” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2546
6. โสภิตา บุญอนนททรัพย์. “การสกัดแป้งจากหัวมันสำปะหลัง” สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ. 1999.
7. “เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์” ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ กรมควบคุมมลพิษ. สิงหาคม 2544
8. E H Schacht. “Polymer chemistry and hydrogel systems” **Journal of Physics**. Vol.3.
January 2004. pp. 22-28
9. ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์. **เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน**. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. 2527
10. “Physical & Theoretical Chemistry Lab” Safety Lab. January 2006
11. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์. **เคมีพอลิเมอร์**. 2. กรุงเทพฯ : โครงการตำราสถาบัน. 2546
12. สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา. “พอลิเมอร์ผสม” โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม. พฤษภาคม 2548
13. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. **สารปรับแต่งพอลิเมอร์**. 5. กรุงเทพฯ : บั๊กเน็ค. 2548
14. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. **เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1**. 5. กรุงเทพฯ : บั๊กเน็ค. 2548
15. A. Pourjavadi, A.M. Harzandi, H. Hosseinzadeh. “Modified carrageenan Synthesis of a novel polysaccharide-based superabsorbent hydrogel via graft copolymerization of acrylic acid onto kappa-carrageenan in air” **European Polymer**. vol.40, 2004. Pp. 1363-1370

16. Ali Pourjavadi, Mehran Kurdtabar, Gholam R. Mahdavinia, Hossein Hosseinzadeh.
“Synthesis and super-swelling behavior of a novel protein-based superabsorbent hydrogel” **Polymer Bulletin.** vol.57, 2006. Pp. 813-824
17. Ali Pourjavadi, R. Mahdavinia, Hossein Hosseinzadeh.
“Modified carrageenan. 4. Synthesis and swelling behavior of crosslinked KC-g-AMPS superabsorbent hydrogel with antisalt and pH-responsiveness properties” **Apply Polymer Science.** vol.98, 2005. Pp. 255-263
18. R.M.D. Soares, A.M.F. Lima, R.V.B. Oliveira, A.T.N. Pires, V. Soldi. “Thermal degradation of biodegradable edible films based on xanthan and starches from different sources” **Polymer degradation and stability.** 2005.
19. M. Schou, A. Longares, C. Montesinos-Herrero, F.J. Monahan, D. O’Riordan, M. O’Sullivan. “Properties of edible sodium caseinate films and their application as food wrapping” **LWT.** vol.38, 2005. Pp. 605-610
20. S.K.Bajpai. “Casein Cross-linked Polyacrylamide Hydrogels: Study of Swelling and Drug Release Behaviour” **Iranian Polymer.** vol.8, 1999. Pp. 231-239
21. ณรงค์ ชุกันทรพรพงษ์และคณะ. “การแยกสารที่มีคุณสมบัติในการพองตัวจากเมล็ดแมงลักเพื่อใช้ในการเภสัชอุตสาหกรรมและเภสัชกรรม” โครงการพิเศษ หลักสูตรปริญญาตรี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 1981.
22. Mathew S, Brahmakumar M, Abraham TE. “Microstructural imaging and characterization of the mechanical, chemical, thermal, and swelling properties of starch-chitosan blend films” **Biopolymers.** vol.82, 2006. Pp. 176-187
23. Wen-Fu Lee, Chin-Fu Chen. “Poly(2-hydroxyethyl methacrylate-co-sulfobetaine)s hydrogels:3. Synthesis and swelling behaviors of the [2-hydroxyethyl methacrylate-co-N,N'-dimethyl(acrylamido propyl) ammonium propane sulfonate] hydrogels” **Polymer gels and networks.** vol.6, 1998. Pp. 493-511
24. ชีระพล มณีวรานนท์กุล, สุวิทย์ เอื้อโสภณ, อรกมล ทองใบ. “การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างสารเมือก (Mucilage) จากเมล็ดแมงลัก (*Ocimum canum sims.*) กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.

25. S. Eamchan, N. Molloy and T. Siriwittayakorn. “**Synthesis and properties of some synthetic hydrogels for potential use as temporary skin substitutes in wound dressings**” Biomedical polymer research unit, Department of chemistry, Faculty of science, Chiang mai university. 1997.
26. ณรงค์ ไชยสุด. **วิธีการวิเคราะห์โดยอุปกรณ์**. 8. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2545
27. Sunil A. Agnihotri and Tejraj M. Aminabhavi. “Novel interpenetrating network chitosan-poly(ethylene oxide-g-acrylamide) hydrogel microspheres for the controlled release of capecitabine” **Journal of Pharmaceutics**. vol.324, 2006. Pp.103-115

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก

จากการทดลองเตรียมผงสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก พบว่า เม็ดแมงลัก 100 กรัม ได้ผงสารเมือกจากเมล็ดแมงลักแห้งประมาณ 15-17 %

เมื่อนำสารเมือกจากเมล็ดแมงลักมาทดสอบกับสารละลายไอโอดีน พบว่า สารเมือกจากเมล็ดแมงลักเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่า สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีองค์ประกอบของแป้ง

ฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของแมงลัก [3]

ฤทธิ์ลดการอักเสบ

นำสารสกัดเอทิลอะซิเตท เฮกเซน หรือเมทานอลจากใบ มาทาภายนอก ในขนาด 20 ไมโครกรัม/ตัว ให้กับหนูถีบจักรที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบด้วย tetradecanoyl phorbol acetate พบว่าสารสกัดเหล่านี้มีฤทธิ์ด้านการอักเสบ การใช้ไขมันจากเมล็ดทาภายนอก ขนาด 3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม กับหนูขาวที่โตเต็มที่ พบว่ามีฤทธิ์ นอกจากนี้การทดลองทาน้ำมันจากเมล็ดนี้ ในขนาด 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ให้กับหนูขาวที่โตเต็มที่ และถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบด้วย arachidonic acid พบว่ามีฤทธิ์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ในขนาด 3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม กับหนูขาวที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบด้วย histamine, serotonin, prostaglandin, hyaluronidase หรือ LTB4 methyl ester พบว่าส่วนของพืชดังกล่าวมีฤทธิ์ มีการศึกษาหาสารสำคัญที่มีฤทธิ์ด้านการอักเสบของสารสกัดจากใบสดและลำต้น ซึ่งพบสารสำคัญ 6 ชนิด คือ 1) cirsilinoleol, 2) cirsimaritin, 3) isothymusin, 4) isothymonin, 5) apigenin, 6) rosmarinic acid

นอกจากนี้ยังพบ eugenol ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหย จากการทดสอบฤทธิ์ด้านการอักเสบของสารเหล่านี้ พบว่า eugenol ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ cyclooxygenase-1 (COX-1) ในขณะที่สารสำคัญ 1), 2), 4), 5), 6) ในขนาดเดียวกันนี้ มีฤทธิ์ยับยั้ง COX-1 37, 50, 37, 65, 58% ตามลำดับ และเมื่อทดสอบกับ COX-2 พบว่า eugenol และสารสำคัญ 1), 2), 5) และ 6) ขนาด 1,000 ไมโครโมลาร์ มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์นี้ได้ดี ซึ่งในการทดลองนี้ ทำการทดสอบสารสำคัญทั้ง 6 ชนิด เทียบกับ ibuprofen 10 ไมโครโมลาร์, naproxen 10 ไมโครโมลาร์ และ aspirin 1,000 ไมโครโมลาร์ ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้เป็นที่ยืนยันว่าสารสกัดจากแมงลักมีฤทธิ์ด้านการอักเสบจริง การศึกษาน้ำมันไม่ระเหย (fixed oil) และ linolenic acid ซึ่งมีฤทธิ์ด้านการอักเสบ ในสัตว์ทดลองที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบด้วย carrageenan, PGE2, leukotriene และ arachidonic acid พบว่าน้ำมันไม่ระเหยที่มี linolenic acid เป็นส่วนประกอบสูงสุด

จะให้ผลด้านการอักเสบสูงและกลไกด้านการอักเสบเกิดจากการยับยั้ง COX และ lipooxygenase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสารก่อการอักเสบ โดยเชื่อว่า linolenic acid เป็นสารสำคัญในน้ำมันไม่ระเหยที่มีฤทธิ์ด้านการอักเสบ โดยกลไกดังกล่าว จากการวิเคราะห์น้ำมันแมงลัก โดยวิธี Gas liquid chromatography พบกรดไขมัน 5 ชนิด คือ stearic, palmitic, oleic, linoleic และ linolenic acids และจากการทดสอบฤทธิ์ด้านการอักเสบของหนูขาวและหนูถีบจักรที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบด้วย carrageenan และ acetic acid พบว่า triglyceride ที่แยกออกมา มีฤทธิ์ด้านการอักเสบสูงกว่าน้ำมัน ดังนั้นฤทธิ์ด้านการอักเสบในน้ำมันแมงลัก น่าจะเกิดจาก triglyceride และกรดไขมัน

ฤทธิ์ด้านการเกิดแผล

เมื่อฉีดน้ำสกัดจากส่วนเหนือดินแห้ง ขนาด 4 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารหนูขาว พบว่าสารสกัดดังกล่าวมีฤทธิ์ และสารสกัดนี้จากใบแห้งในขนาดเดิม ยังมีฤทธิ์ด้านการเกิดแผลที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วย aspirin ในหนูขาวอีกด้วย แต่มีฤทธิ์อ่อนต่อแผลที่เกิดจาก acetic acid และเมื่อฉีดน้ำมันหอมระเหยจากส่วนเหนือดินแห้ง ขนาด 4 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารหนูขาว พบว่าส่วนของพืชดังกล่าวมีฤทธิ์ และเมื่อทดลองฉีดส่วนสกัดของน้ำมันจากเมล็ดขนาด 1 มิลลิตร/กิโลกรัม เข้าทางช่องท้องหนูตะเภาที่โตเต็มที่ และถูกเหนี่ยวนำให้เกิดแผลด้วย histamine พบว่าส่วนของพืชดังกล่าวมีฤทธิ์เช่นกัน เมื่อทดลองฉีดน้ำมันจากเมล็ดขนาด 1 มิลลิตร/กิโลกรัม เข้าทางช่องท้องหนูตะเภาที่โตเต็มที่และถูกเหนี่ยวนำให้เกิดแผลด้วย aspirin, indomethacin, HCl/ethanol, serotonin, stress หรือ reserpine พบว่าส่วนของพืชดังกล่าวมีฤทธิ์ด้านการเกิดแผล กลไกการรักษาแผลในกระเพาะอาหารน่าจะเกิดจากการยับยั้งเอนไซม์ lipooxygenase, histamine antagonist และยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร ดังนั้นกระบวนการรักษาแผลในกระเพาะอาหารของน้ำมันจากเมล็ดแมงลัก มีทั้งการด้านการอักเสบและด้านการเกิดแผล เมื่อทดลองฉีดสารสกัดเมทานอลจากส่วนเหนือดินแห้ง ขนาด 4 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารหนูขาว พบว่าสารสกัดดังกล่าวมีฤทธิ์ และเมื่อทดสอบสารสกัดนี้กับหนูขาวที่เกิดแผลด้วย aspirin ก็พบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน และเมื่อเปลี่ยนมาใช้สารสกัดนี้จากใบแห้ง ขนาดเท่าเดิม ก็พบว่าให้ผลเหมือนกัน มีการศึกษาฤทธิ์ด้านการเกิดแผลของแมงลักโดยใช้ส่วนเหนือดินผง น้ำสกัด และสารสกัดเมทานอลของส่วนเหนือดิน ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับ cimetidine ซึ่งเป็นยารักษาโรคกระเพาะ ผลการทดสอบพบว่าส่วนของพืชและสารสกัดจากแมงลักดังกล่าวมีฤทธิ์ด้านการเกิดแผล โดยสารสกัดเมทานอลมีผลลดการหลั่งกรด ดังนั้นกลไกการรักษาแผลของแมงลักน่าจะเกิดจากการลดการหลั่งกรด และ pepsin รวมทั้งเพิ่มความแข็งแรงในชั้น mucosal ในกระเพาะอาหาร

ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย

มีการทดสอบน้ำมันหอมระเหยและสารสกัดจากส่วนต่างๆ ของแมงลักกับ *S. aureus* ในงานเพาะเชื้อหลายการทดลอง สรุปได้ดังนี้ การทดสอบน้ำมันหอมระเหยจากแมงลัก (ไม่เจือจาง) หรือน้ำมันหอมระเหยจากส่วนเหนือดิน พบว่ามีฤทธิ์ แต่ถ้าใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบมาทดสอบกลับไม่มีฤทธิ์ และอีกการทดลองหนึ่งใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบเช่นกัน โดยมีค่า MIC เท่ากับ 1,250 ไมโครกรัม/มิลลิตร พบว่าไม่มีฤทธิ์ ส่วนอีกการทดลองหนึ่งเมื่อทดสอบน้ำมันหอมระเหย (ไม่ระบุส่วนของพืช) กับเชื้อดังกล่าว โดยมีค่า MIC เท่ากับ 10 มิลลิกรัม/มิลลิตร กลับให้ฤทธิ์อ่อนๆ นอกจากนี้มีการทดสอบน้ำมันหอมระเหย (ไม่เจือจาง) กับเชื้อแบคทีเรีย แกรมบวกหลายชนิด พบว่ามีฤทธิ์ การทดสอบสารสกัดคลอโรฟอร์มจากทั้งต้นแมงลักแห้ง โดยมีค่า MIC เท่ากับ 450.4 กรัม/ลิตร พบว่ามีฤทธิ์ และเมื่อทดลองใช้สารสกัดดังกล่าวความเข้มข้น 1 กรัม/มิลลิตร ก็พบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน การทดสอบสารสกัดเมทานอลจากทั้งต้นแห้งความเข้มข้น 1 กรัม/ลิตร หรือ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิตร พบว่าไม่มีฤทธิ์ แต่ถ้าใช้สารสกัดนี้ที่ความเข้มข้น 1 กรัม/มิลลิตร พบว่ามีฤทธิ์ การทดสอบน้ำสกัดจากทั้งต้นสด ความเข้มข้น 0.3 มิลลิตร/หลุม หรือการทดสอบน้ำต้มจากใบแห้ง ความเข้มข้น 62.5 มิลลิกรัม/มิลลิตร พบว่าสารสกัดทั้ง 2 แบบ ไม่มีฤทธิ์ นอกจากนี้มีการทดสอบสารสกัดอะซีโตน เอ-ทานอล (95%) หรือ เฮกเซนจากใบแห้ง ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/แผ่น พบว่าสารสกัดดังกล่าวมีฤทธิ์ต้าน *Streptococcus pyogenes* ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคทางผิวหนัง

หลักฐานความเป็นพิษ และการทดสอบความเป็นพิษ [3]

การทดสอบความเป็นพิษ

เมื่อนิذสารสกัดเมทานอล (80%) จากส่วนเหนือดินสด ขนาด 2 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารของหนูถีบจักร หรือนิذผงจากส่วนเหนือดินแห้ง ขนาด 6 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารหนูขาว พบว่าสารสกัดและส่วนของพืชที่ใช้ทดสอบไม่มีพิษต่อสัตว์ทดลอง มีการศึกษาพิษแบบแบบปล้น (acute toxicity test) ของแมงลักในหนูถีบจักรและหนูขาว โดยป้อนเมล็ดแมงลักขนาด 300, 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ครั้งเดียว ผลปรากฏว่าไม่มีสัตว์ทดลองตายใน 24 ชม. และ 1 สัปดาห์ ส่วนการศึกษาพิษแบบชั่วระยะเวลาหนึ่ง (subchronic toxicity test) และพิษแบบติดต่อกันระยะยาว (chronic toxicity test) ทำการทดสอบโดยให้เมล็ดแมงลักขนาดเท่าเดิม วันละครั้ง นาน 1 ปี พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นกับสัตว์ทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับ Metamucil[®] และกลุ่มควบคุม อีกการทดลองหนึ่งมีการศึกษาความเป็นพิษของเมล็ดแมงลักในสัตว์ทดลอง การศึกษาแบบพิษเฉียบพลัน (acute toxicity test) หาค่า LD50 โดยใช้แมงลักขนาด 0.25, 0.5, 1 และ 2 กรัม/กิโลกรัม ละลายให้ผงตัวในน้ำ ป้อนให้กับหนูขาวทั้ง 2 เพศ กลุ่มละ 6 ตัว พบว่าไม่มีสัตว์ทดลองตายเลยภายใน 24 ชม. และรอจนถึง 7 วัน จึงเพิ่มขนาดเป็น 5 กรัม/

กิโลกรัม ซึ่งถือว่าเป็นขนาดที่สูงสุดในพิภักการทดสอบ ผลปรากฏว่าไม่มีสัตว์ทดลองตายใน 24 ชม. และ 7 วัน การศึกษาแบบติดต่อกันช่วงระยะหนึ่ง (subchronic toxicity test) ใช้แมงลักขนาด 1 กรัม/กิโลกรัม ติดต่อกันเป็นเวลา 10 วัน สัตว์ทดลองที่ใช้ทดสอบทั้งตัวผู้และตัวเมีย ได้แก่ กระจ่าง กลุ่มละ 5 ตัว หนูขาวกลุ่มละ 6 ตัว และเมวกลุ่มละ 3 ตัว สังเกตอาการทั่วไป ปรากฏว่าสัตว์ทดลองทุกตัวอยู่ในสภาพปกติ และแบบติดต่อกันระยะยาว (chronic toxicity test) ใช้แมงลักขนาด 0.25, 0.5, 1 และ 2 กรัม/กิโลกรัม ป้อนแก่หนูขาวตัวผู้และตัวเมียวกลุ่มละ 6 ตัว ป้อนติดต่อกันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ จากการตรวจพยาธิสภาพชิ้นเนื้อเยื่อของตับ ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ ไม่พบความผิดปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อให้สารสกัดด้วยเอทานอลต่อน้ำ (1:1) จากส่วนใบเข้าทางกระเพาะอาหารของหนูถีบจักรพบว่ามิก้า LD50 956.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

พิษต่อเซลล์

เมื่อทดสอบสารสกัดเอทานอล (70%) จากใบแห้ง หรือจากส่วนเหนือดินแห้งกับ cells-MT-4 โดยมีค่า IC50 มากกว่า 1,000 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม พบว่าไม่มีฤทธิ์ การทดสอบสารสกัดเมทานอลจากใบสดกับ Macrophage cell line raw 264.7 โดยใช้สารสกัดความเข้มข้น 200 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม หรือเมื่อใช้สารสกัดนี้ทดสอบกับ cells-Raji โดยใช้สารสกัดความเข้มข้น 20 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม พบว่าสารสกัดดังกล่าวไม่มีผลต่อเซลล์ทั้ง 2 ชนิด ส่วนการทดสอบน้ำสกัดจากใบแห้ง ซึ่งมี IC50 เท่ากับ 125 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม หรือสารสกัดนี้จากส่วนเหนือดินแห้ง ซึ่งมี IC50 กับ cells-MT-4 พบว่าผลการทดสอบไม่แน่นอนทั้ง 2 แบบ นอกจากนี้การใช้สารสกัดเอทิลอะซิเตทจากส่วนเหนือดิน ซึ่งมี IC50 เท่ากับ 100 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม กับ HeLa-S 3 cells ก็ให้ผลการทดสอบไม่แน่นอนเช่นเดียวกัน

ฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์

มีการทดสอบสารสกัดคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (2:1) จากส่วนเหนือดิน โดยใช้ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/จานเพาะเชื้อ กับ Salmonella typhimurium TA98 และ TA100 ในจานเพาะเชื้อ พบว่าสารสกัดนี้ไม่มีฤทธิ์ และเมื่อเปลี่ยนมาใช้สารสกัดเมทานอล (80%) จากส่วนเหนือดินสดกับ S. typhimurium TM677 ในจานเพาะเชื้อ พบว่าไม่มีฤทธิ์เช่นกัน เมื่อทดสอบน้ำสกัดจากส่วนเหนือดิน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/จานเพาะเชื้อ กับ cells-Pig-Kidney-LLC-PK-1 และ cells-trophoblastic-placenta ในจานเพาะเชื้อ พบว่าสารสกัดนี้ไม่มีผลต่อเซลล์ดังกล่าว นอกจากนี้เมื่อใช้น้ำสกัดจากใบสด หรือการใช้น้ำต้มจากใบสด ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/แผ่น ทดสอบกับ Bacillus subtilis (Rec+) และ H-45 (Rec-) พบว่าสารสกัดดังกล่าวไม่มีฤทธิ์ และเมื่อเปลี่ยนมาใช้น้ำคั้นจากใบสด ทดสอบกับเซลล์ดังกล่าวโดยใช้ความเข้มข้นต่างๆกันพบว่าให้ผลการทดสอบเช่นเดิม

พิษต่อการตั้งครรภ์

เมื่อฉีดสารสกัดเอทานอล (100%) จากใบแห้ง ขนาด 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารหนูขาวท้อง พบว่าสารสกัดดังกล่าวไม่มีฤทธิ์ทำให้แท้ง และเมื่อฉีดสารสกัดนี้ในขนาดเท่าเดิม เข้าทางกระเพาะอาหารหนูขาวเพศเมีย พบว่าสารสกัดนี้ไม่มีฤทธิ์ด้านการฝังตัวของตัวอ่อน นอกจากนี้มีการทดลองให้สารสกัดเอทานอล (50%) และสารสกัดปีโตรเลียมอีเทอร์จากใบแห้ง โดยใช้ความเข้มข้น 150 และ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ทางกระเพาะอาหารหนูขาวที่ท้อง พบว่าสารสกัดทั้ง 2 ชนิดไม่มีพิษต่อตัวอ่อน จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าทั้งน้ำมันจากเมล็ดและส่วนที่อยู่เหนือดินของแมงลักมีฤทธิ์ด้านการอักเสบ การเกิดแผล และฆ่าเชื้อ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติม และทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์และทดลองทางคลินิกก่อนส่งเสริมการใช้

การปฐมพยาบาลเมื่อสัมผัสสารเคมี [7]

หายใจเข้าไป : ถ้าหายใจเข้าไปให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกสู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ทันที ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจให้ช่วยผายปอด ถ้าหายใจติดขัดให้ออกซิเจนช่วย นำไปพบแพทย์ทันที

กินหรือกลืนเข้าไป : อย่ากระตุ้นให้เกิดอาการอาเจียน ถ้าผู้ป่วยยังมีสติอยู่ให้บ้วนปากด้วยน้ำ ให้ดื่มน้ำ 2-4 แก้ว นำไปพบแพทย์ทันที

สัมผัสถูกผิวหนัง : ถ้าสัมผัสถูกผิวหนัง ให้ฉีดล้างผิวหนังทันทีด้วยน้ำหรือสบู่ปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที พร้อมกับถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่เปื้อนออก นำไปพบแพทย์

สัมผัสถูกตา : ถ้าสัมผัสถูกตา ให้ฉีดล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที กระพริบตาขึ้นลง นำไปพบแพทย์ทันที

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts)

ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ หากมีการใช้และจัดการกับผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม

TGA [26]

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสารเมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนสูงและเกิดการสลายตัว เครื่อง TGA มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ ระบบเครื่องซึ่งภายในเครื่องมือมีความละเอียดในการวิเคราะห์สูงถึง 0.1 ไมโครกรัม มีความถูกต้องของน้ำมากกว่า 0.1 % ความแม่นยำของอุณหภูมิ ± 5 องศาเซลเซียส แหล่งให้ความร้อนเป็นระบบเตาเผาสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 50-500 องศาเซลเซียส มีอัตราการเพื่อลดอุณหภูมิ 0.1-200 องศาเซลเซียส ต่อนาที มีระบบทำให้เตาเผาเย็นอย่างรวดเร็ว โดยใช้อากาศระบบการทำงานและการประมวลผลถูกควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์เช่น

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เช่น พอลิเมอร์ ยาง และตัวอย่างทางวัสดุศาสตร์ เช่น เซรามิกส์
 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ เช่น การหาปริมาณของตัวทำละลาย ความชื้น สารเติมแต่ง
 คาร์บอนแบล็ก พลาสติกไฮดรอกซี

การศึกษาความเสถียรภาพทางความร้อนของตัวอย่าง เช่น พอลิเมอร์ ยาง ซึ่งวิเคราะห์
 ตัวอย่างได้ ทั้งสถานะของแข็ง ของเหลว ผง แผ่นฟิล์ม และเส้นใย

การประยุกต์อินฟราเรดสเปกโทรเมตรี FTIR [26]

สเปกตรัมช่วงไกลอินฟราเรดใช้วิเคราะห์ตัวอย่างอนินทรีย์ การดูดกลืนรังสีเกิดจากพันธะ
 ระหว่างอะตอมโลหะ (อนินทรีย์) กับลิแกนด์อนินทรีย์ เกิดที่ความถี่ต่ำกว่า 650 ต่อเซนติเมตร เช่น
 โลหะหนักไอโอไดด์ดูดกลืนรังสีช่วงต่ำกว่า 100 ต่อเซนติเมตร โลหะหนักโบรไมด์และคลอไรด์
 ดูดกลืนรังสีช่วงความถี่สูงกว่าโลหะไอโอไดด์ความถี่ดูดกลืนขึ้นกับโลหะและลิแกนด์

สเปกตรัมช่วงไกลอินฟราเรดของตัวอย่างของแข็งอนินทรีย์ให้ข้อมูลเกี่ยวกับพลังงาน
 แลตทิซและพลังงานทรานซิชันของวัสดุกึ่งตัวนำ

โมเลกุลของอะตอมเบามีการสั่นแบบงอดูดกลืนรังสีช่วงไกลอินฟราเรด เช่น อนุพันธ์ของ
 เบนซีนให้พิกการดูดกลืนช่วงไกลอินฟราเรดหลายพิก สเปกตราที่ได้ค่อนข้างจำเพาะ ใช้ชี้ชนิดของ
 สารประกอบ

การดูดกลืนรังสีช่วงไกลอินฟราเรดโดยตัวอย่างของแข็งอนินทรีย์เกิดจากการสั่นแบบยืด
 และงอ ตัวอย่างก๊าซเกิดการหมุน โมเลกุลก๊าซมีค่าโมเมนต์ขั้วคู่ถาวร เช่น น้ำ ไอโซน กรดไฮโดร
 คลอริก การวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความชื้นมักวิเคราะห์ภายใต้ความดันต่ำ เนื่องจากพิกน้ำอาจจะไป
 รบกวนการวิเคราะห์ได้ FTIR นิยมใช้ศึกษาสเปกตรัมช่วงไกลอินฟราเรดเพราะให้สเปกตราที่มี
 สัญญาณต่อการรบกวนสูง เครื่องมือแบบกระจายความยาวคลื่น เช่น เกรตติงสะท้อนแยกความ
 ยาวคลื่นมักมีปัญหาจากรังสีอันดับอื่นรบกวน และสัญญาณต่อการรบกวนมีค่าไม่มาก

อินฟราเรดสเปกโทรเมตรีใช้วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โมเลกุลทุกชนิด
 การประยุกต์อินฟราเรดสเปกโทรเมตรีมีหลายช่วงคือ ช่วงใกล้ กลาง และไกล ช่วงที่นิยมมากที่สุด
 คือช่วงกลางจาก 670-4000 ต่อเซนติเมตร ช่วงนี้ใช้วิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณโดย
 ศึกษาสเปกตรา การดูดกลืน การสะท้อนและการเปล่ง ช่วงไกลอินฟราเรด 4000-14000 ต่อ
 เซนติเมตร ที่ 4000 ต่อเซนติเมตร ใช้วิเคราะห์ปริมาณเช่น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์
 ไฮโดรคาร์บอน โมเลกุลต่ำ เอมีน ไนโตรเจน และสารประกอบที่ไม่ยุ่งยากในตัวอย่างทางการเกษตร
 และอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ตัวอย่างเหล่านี้ใช้หลักการสะท้อนดิฟฟิวส์ในตัวอย่างของแข็งและ
 ของเหลว ส่วนแก๊สใช้หลักการส่งผ่าน ช่วงไกลอินฟราเรดใช้หาโครงสร้างของสารอนินทรีย์และ
 โลหะอินทรีย์โดยหลักการดูดกลืนต่อไปจะกล่าวถึงช่วง

Scanning Electron Microscopy [26]

เทคนิคอิเล็กตรอนไมโครสโคปเชิงแสงใช้ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพที่ผิวของของแข็งในสาขาวิชาเคมี วัสดุศาสตร์ ธรณีวิทยา ชีวะวิทยา การแยกไมโครสโคปเชิงแสงถูกจำกัดจากผลของการเลี้ยวเบนจากอนุภาคที่มีขนาดพอๆกับความยาวคลื่นแสง การใช้เครื่องมือที่มีการแยกดี หาข้อมูลที่มีสามเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) Scanning Tunneling Microscope (STM) และ Atomic Force Microscope (AFM) เทคนิค STM และ AFM อาจจัดเป็นสแกนนิ่งโพรบไมโครสโคป (SPM)

การใช้ลำอิเล็กตรอนที่ถูกโฟกัสให้มีขนาดเล็กหรือใช้โพรบที่เหมาะสมชนผิวตัวอย่างของแข็งแบบ raster การสแกนบริเวณผิวของแข็งคล้ายกับการใช้หลอดรังสีแคโทดหรือหลอดภาพทีวี โดยใช้ลำอิเล็กตรอนทำการ

1. สแกนคร่อมผิวตามแนวแกน X เป็นแบบเส้นตรง
2. สแกนกลับมาที่จุดเริ่มต้น สแกนลงไปตามแนวแกน Y (เพิ่มระยะตามความเหมาะสม)

ดำเนินการตามกระบวนการนี้ซ้ำๆกันจนครบพื้นที่ผิวที่ต้องการสแกน สัญญาณที่ออกจากสารตัวอย่างถูกวัดตามแกน Z เก็บข้อมูลนี้ด้วยเครื่องประมวลผล และส่งผลออกทางจอภาพ

Scanning Electron Microprobe (SEM)

เครื่องอิเล็กตรอนไมโครโพรบแบบสแกนได้ ใช้ลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานที่เหมาะสม สแกนผิวตัวอย่างของแข็งตามแนวเส้นตรง ผิวของตัวอย่างให้สัญญาณหลายแบบอิเล็กตรอนถูกกระเจิงกลับ (electron backscattered) อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ไอ-เจห์อิเล็กตรอน (Auger electron) รังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence) และโฟตอนชนิดอื่นซึ่งมีพลังงานต่างๆ สัญญาณที่นิยมใช้วิเคราะห์มีสองแบบ

1. อิเล็กตรอนกระเจิงกลับและอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของอิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบสแกน
2. การวิเคราะห์ไออิเล็กตรอนไมโครโพรบใช้เทคนิคการแปลงรังสีเอ็กซ์

อิเล็กตรอนออปติก (Electron Optics)

ระบบเลนส์รวมแสงและเลนส์ใกล้วัตถุเป็นแบบแม่เหล็ก ทำหน้าที่ลดขนาดของภาพ (ลำอิเล็กตรอน) ที่ชนผิวตัวอย่างให้เป็นจุด (ขนาด 5-200 นาโนเมตร) ระบบเลนส์ที่ใช้รวมแสงมีหลายอัน เลนส์เหล่านี้ทำหน้าที่ปรับปริมาณลำอิเล็กตรอนก่อนเข้าสู่เลนส์ใกล้วัตถุ เลนส์ใกล้วัตถุทำหน้าที่ปรับขนาดลำอิเล็กตรอนที่ชนผิวตัวอย่าง เลนส์มักทำเป็นรูปทรงกระบอกชนิดสมมาตรสูง 10-15 เซนติเมตร รายละเอียดเลนส์แม่เหล็กจะไม่นำมาอธิบาย

การสแกนด้วย SEM จะมีขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าสองขดลวดอยู่ในเลนส์ตัวถ่วงหนึ่งเบนลำในทิศทาง X คร่อมผิวสารตัวอย่าง อีกขดลวดหนึ่งเบนลำในทิศทาง Y การควบคุมการสแกนทำโดยให้สัญญาณไฟฟ้ากับขดลวดขดลวดหนึ่งทำหน้าที่สแกนเพื่อให้อิเล็กตรอนชนตัวอย่างทางด้านหนึ่งของแกนกลางของระบบเลนส์ การแปรสัญญาณไฟฟ้าที่ใส่ให้ขดลวด X เทียบกับเวลาทำให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตัดผิวสารตัวอย่างและกลับสู่ตำแหน่งเดิม เมื่อทำการสแกนเสร็จ ขดลวด Y ทำหน้าที่เบนลำอิเล็กตรอนเพียงเล็กน้อย จากนั้นใช้ขดลวด X เบนลำอิเล็กตรอนซ้ำ จากการให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ผิวสารตัวอย่างจะถูกอาบด้วยลำอิเล็กตรอน สัญญาณที่ให้กับขดลวดที่ใช้สแกนเป็นได้ทั้งแอนาล็อกและดิจิทัล สัญญาณแบบดิจิทัลดีกว่าเพราะลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่สม่ำเสมอและให้ตำแหน่งถูกต้องสัญญาณที่ได้จากสารตัวอย่างจะถูกเก็บเป็นรหัสและเก็บเป็นแบบดิจิทัลตามตำแหน่งลำอิเล็กตรอนที่ไปตามแกน X และ Y

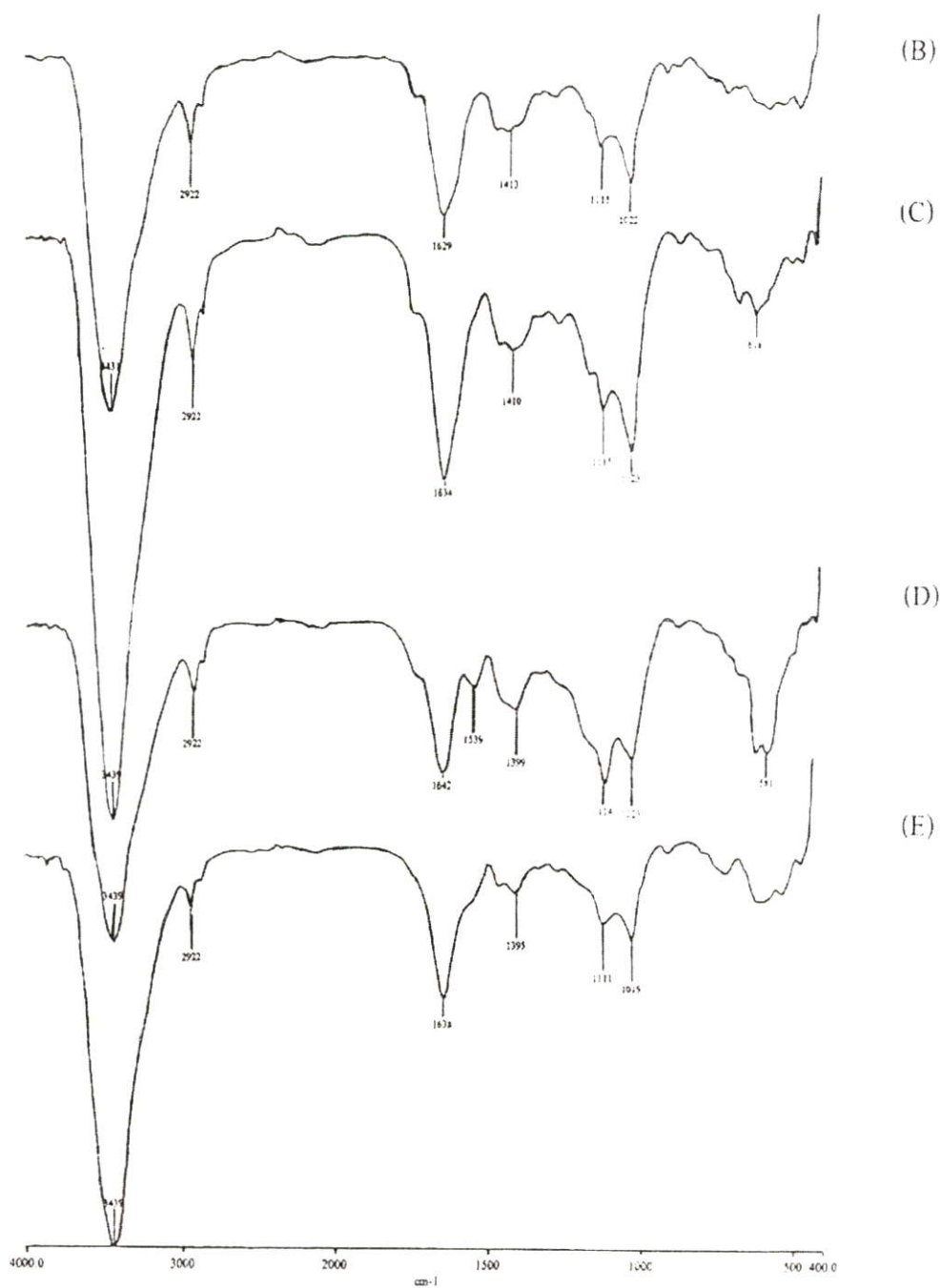
สัญญาณที่ใช้ขับเคลื่อนลำอิเล็กตรอนตามแกน X และ Y ยังใช้ในการสแกนหลอดรังสีแคโทด (cathode ray tube CRT) ตามแนวแกนราบและแกนตั้ง ภาพสารตัวอย่างที่ได้จากกำลังส่งของเครื่องตรวจหาจะคุมความเข้มของจุดบนจอ CRT การสแกนเช่นนี้ได้เป็นโครงร่างของสารตัวอย่าง โดยที่ความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ได้จากผิวสารตัวอย่าง ณ ตำแหน่งหนึ่งจะสัมพันธ์กับจุดบนจอ CRT กำลังขยายภาพ (M) จาก SEM คือ

$$M = W/w$$

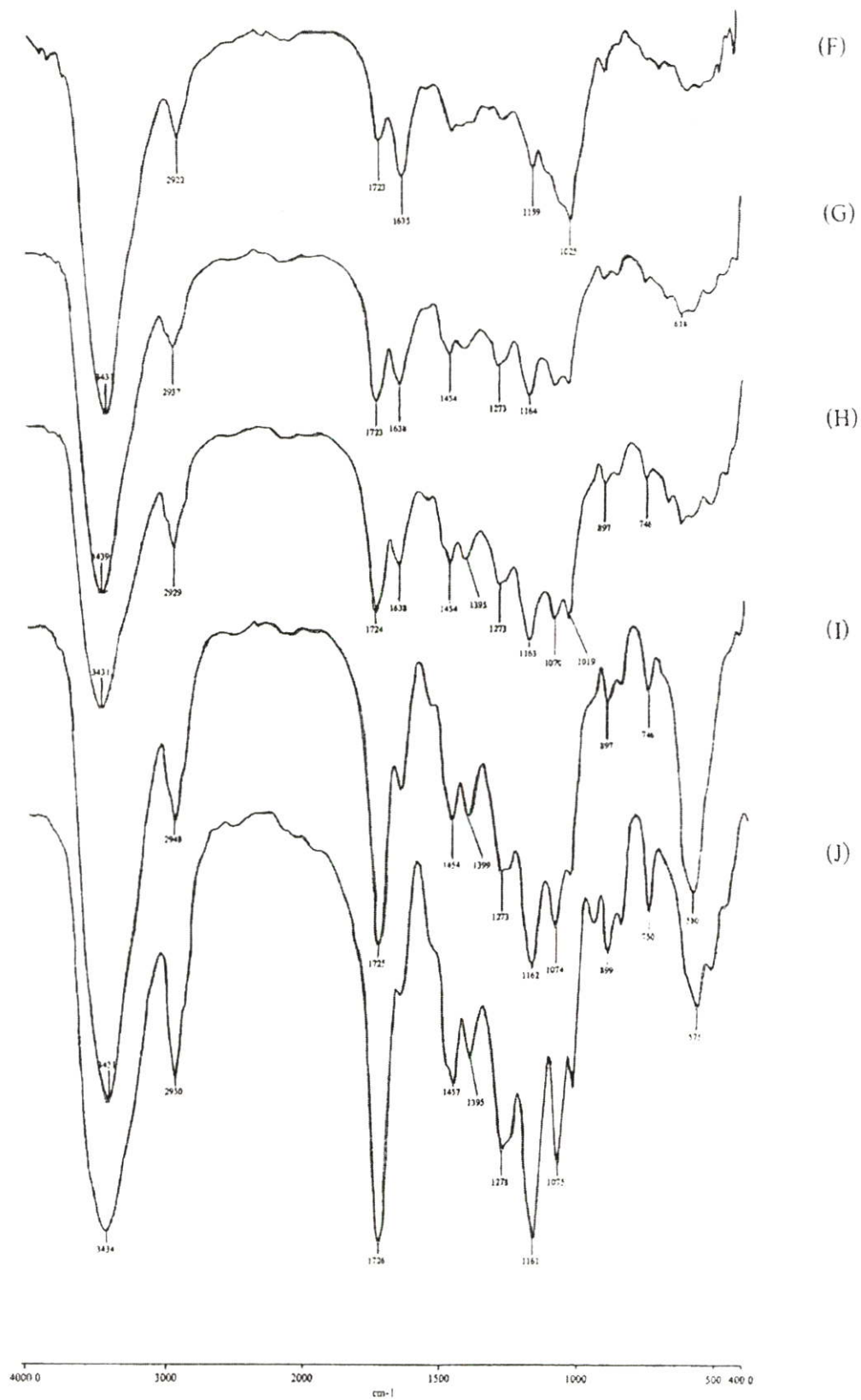
W ความกว้างของจอ CRT w ความกว้างของเส้นเดี่ยวที่สแกนขวางสารตัวอย่าง การเพิ่มกำลังการขยายทำโดยลด w เพราะ W มีค่าคงที่ ความสัมพันธ์ของกำลังขยายแปรผกผันกับความกว้างเส้นที่ใช้สแกน ลำอิเล็กตรอนที่ใช้จึงต้องโฟกัสให้เป็นจุดเล็กๆ ถ้าได้ลำอิเล็กตรอนจุดเล็กมากเท่าไร กำลังขยายจะเพิ่มขึ้น กำลังขยายของ SEM อยู่ในช่วง 10 เท่าถึง 100,000 เท่า

ภาคผนวก ข

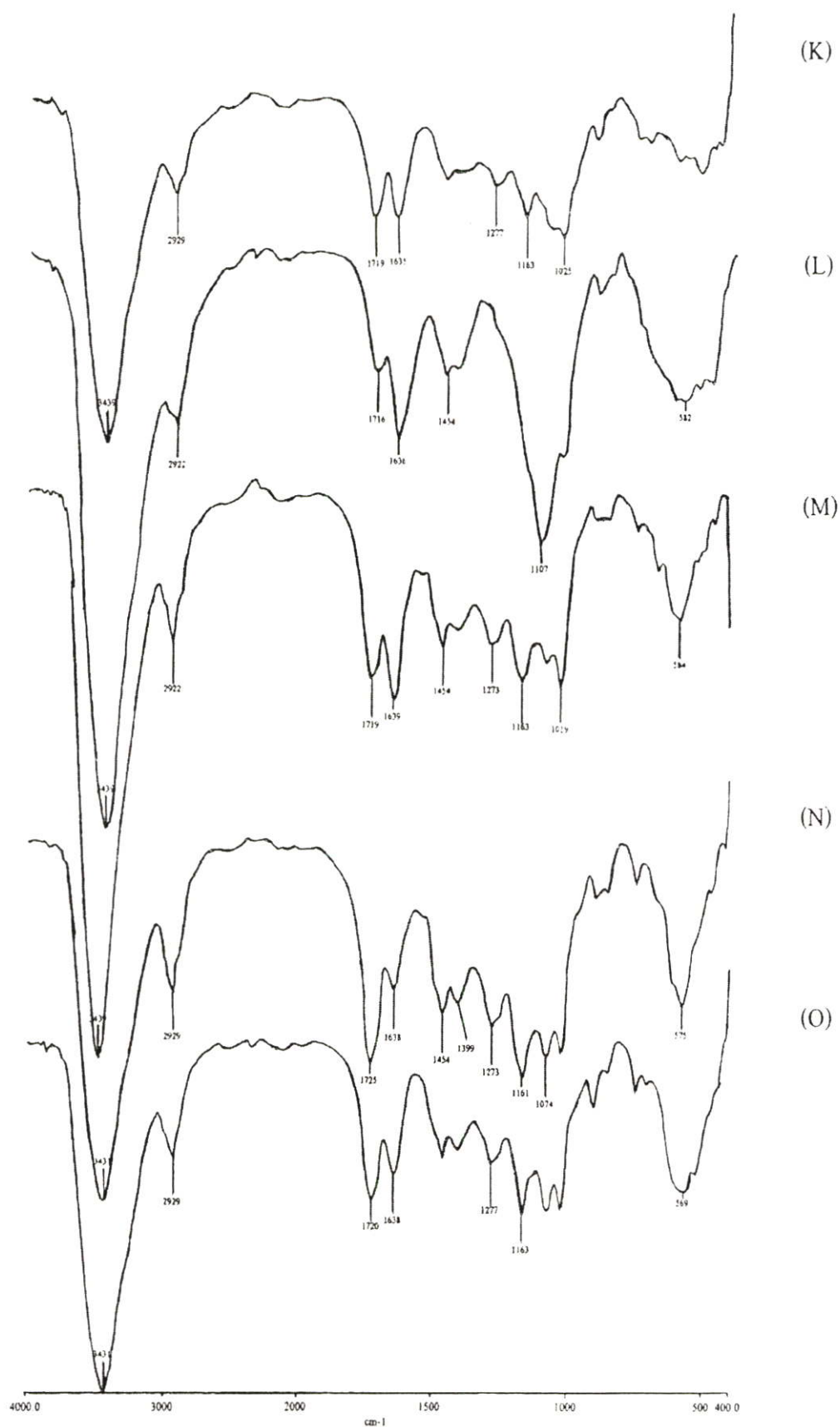
IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลก่อนผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



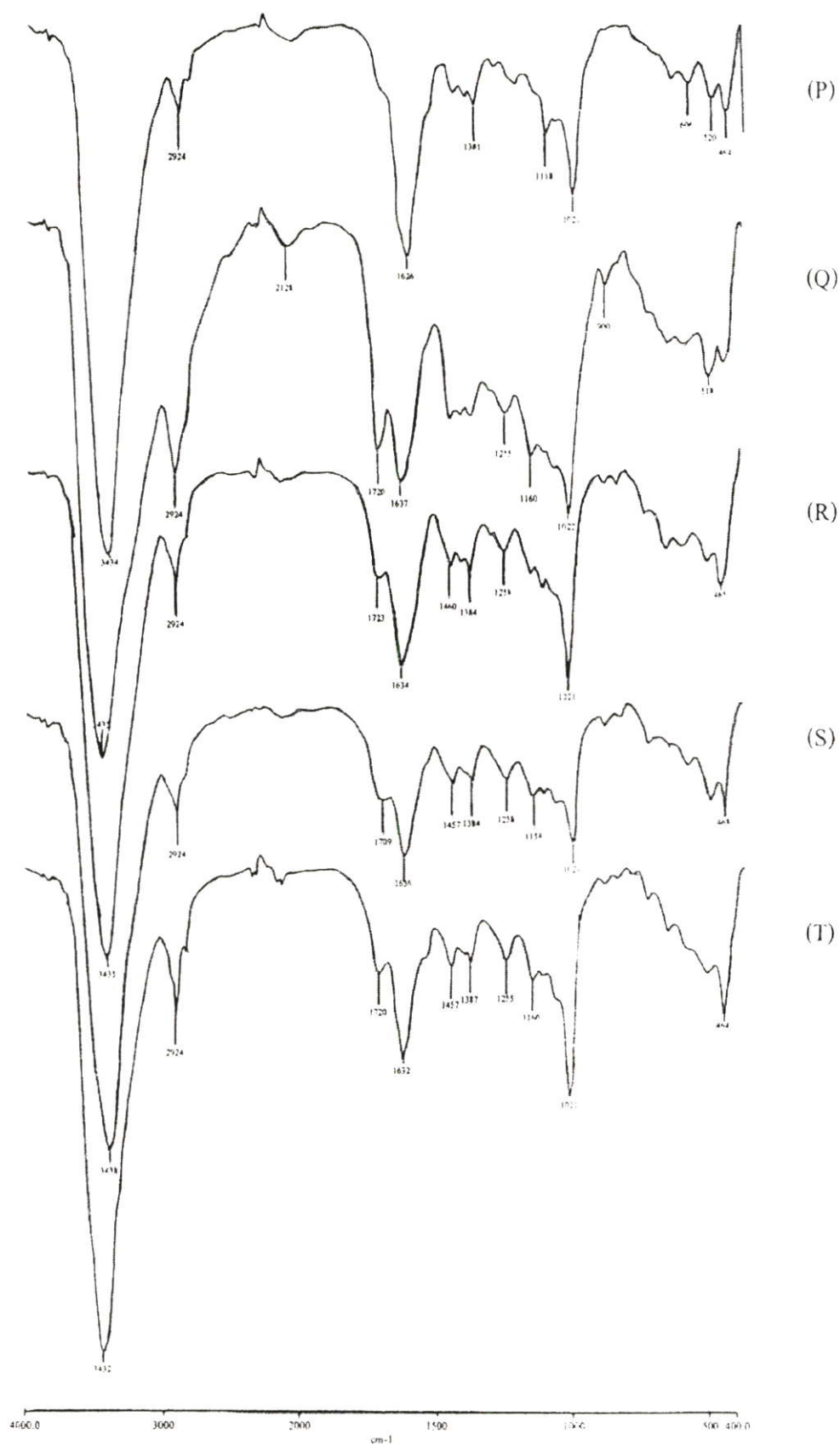
รูปที่ ข.1 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



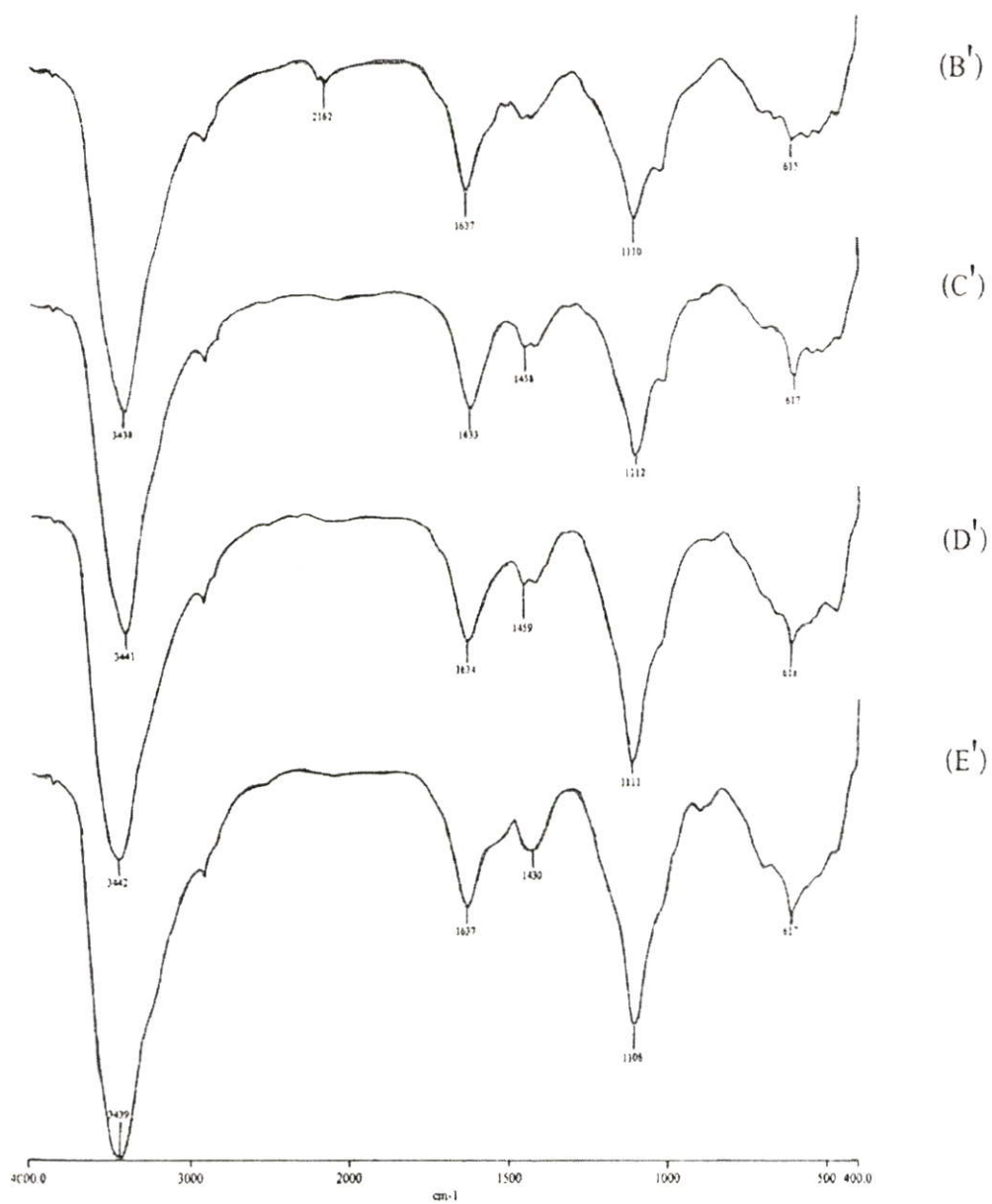
รูปที่ ข.2 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



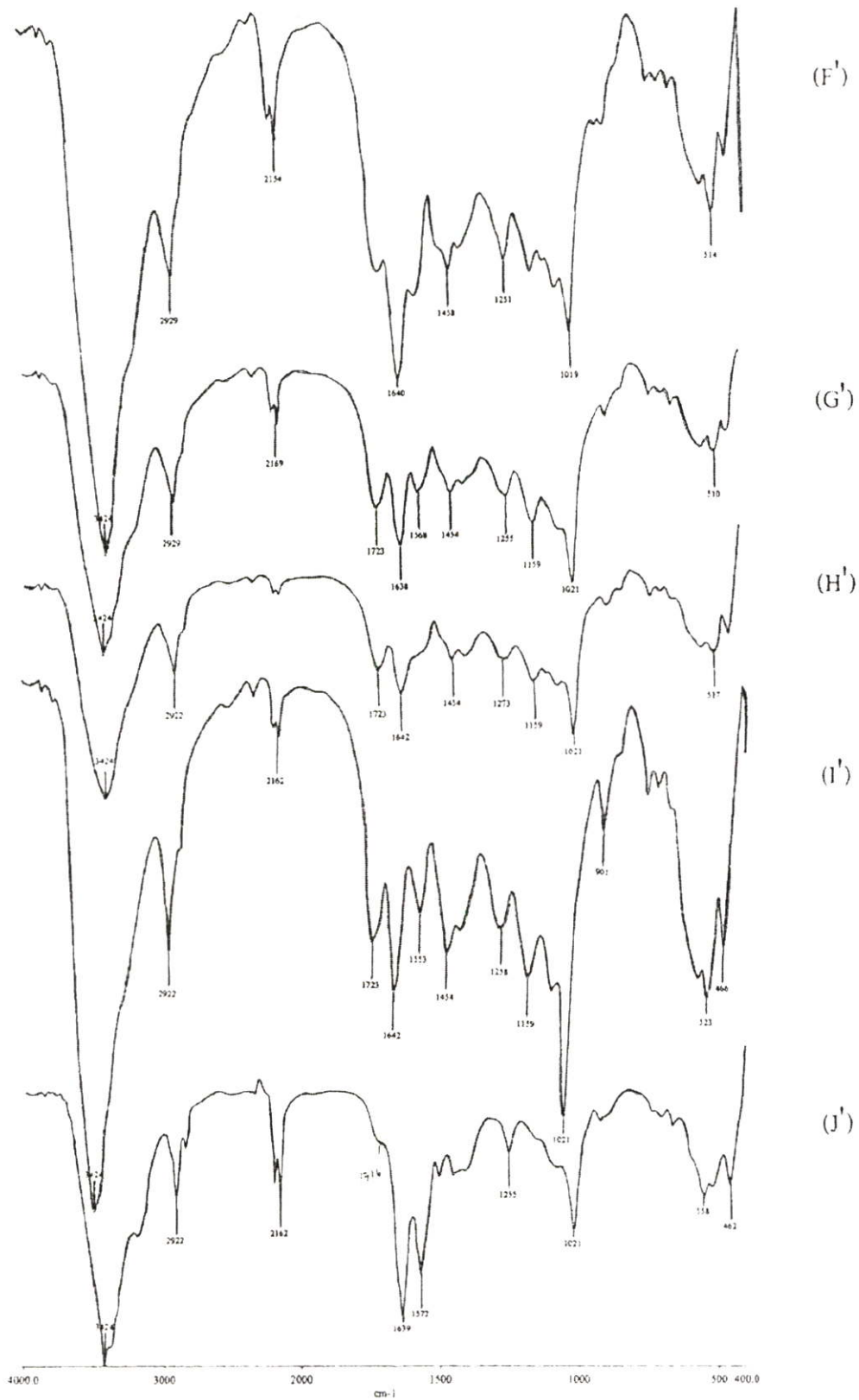
รูปที่ ข.3 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



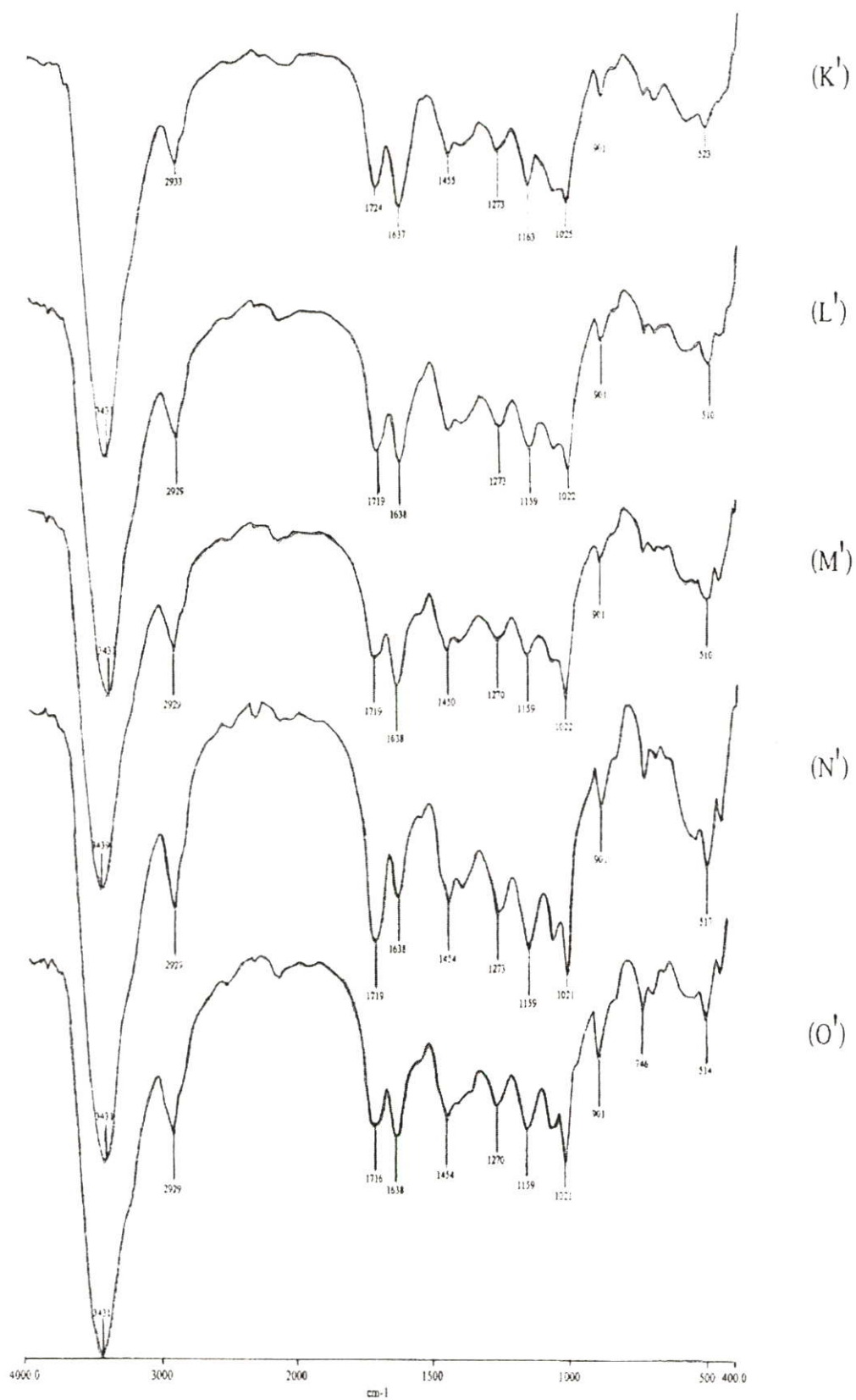
รูปที่ ข.4 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิ
ขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



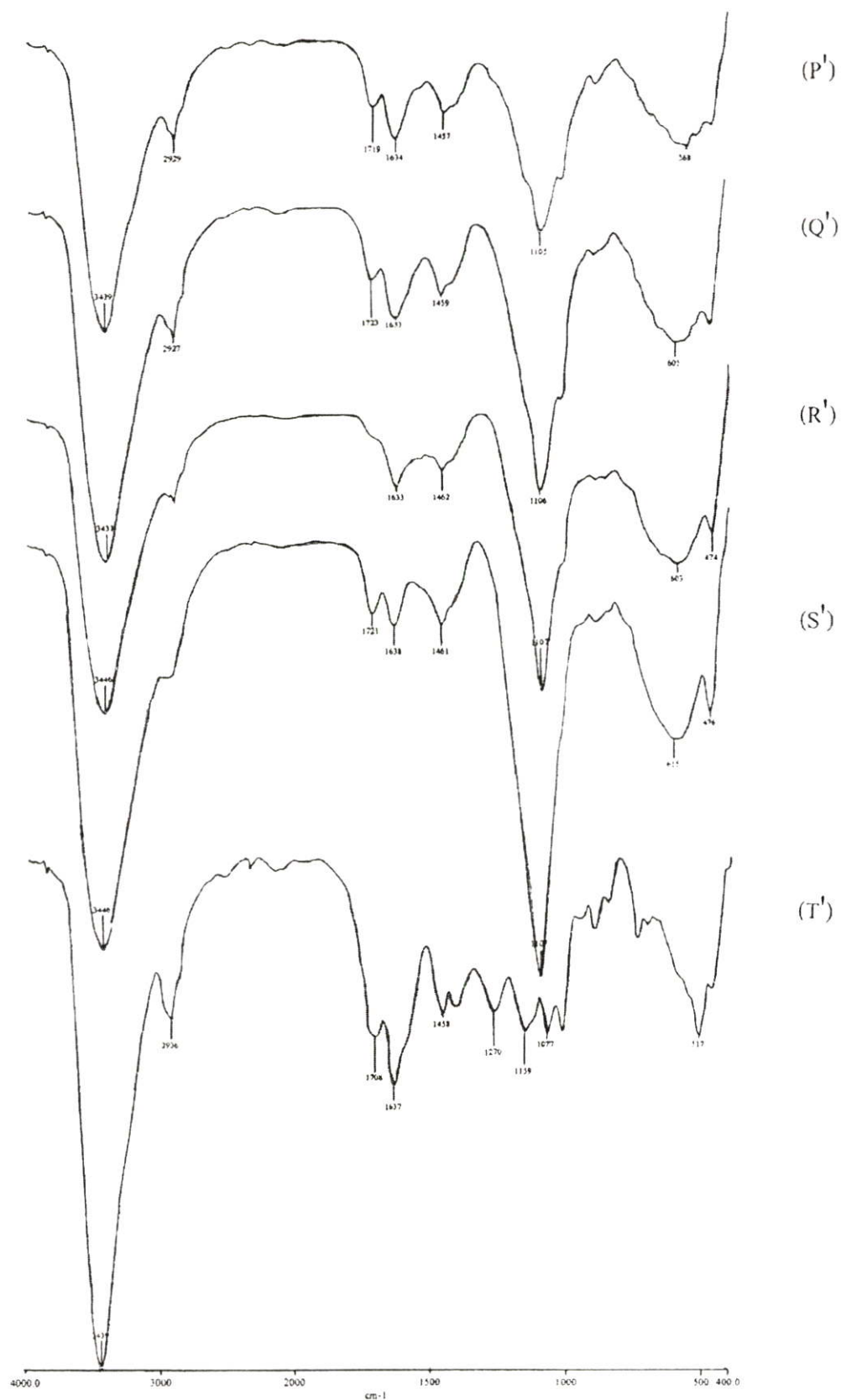
รูปที่ ข.5 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิ
 ขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



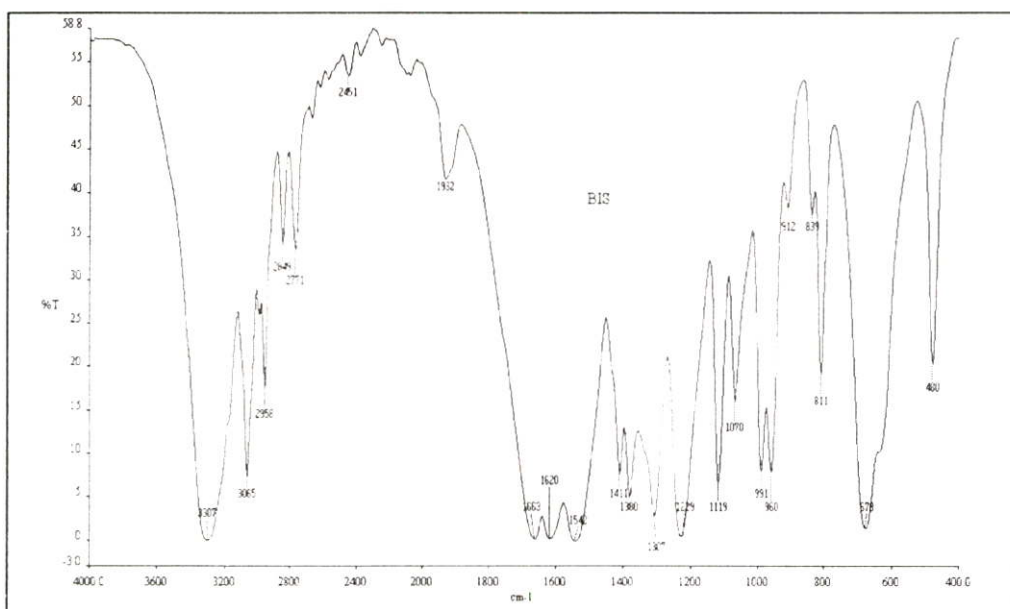
รูปที่ ข.6 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



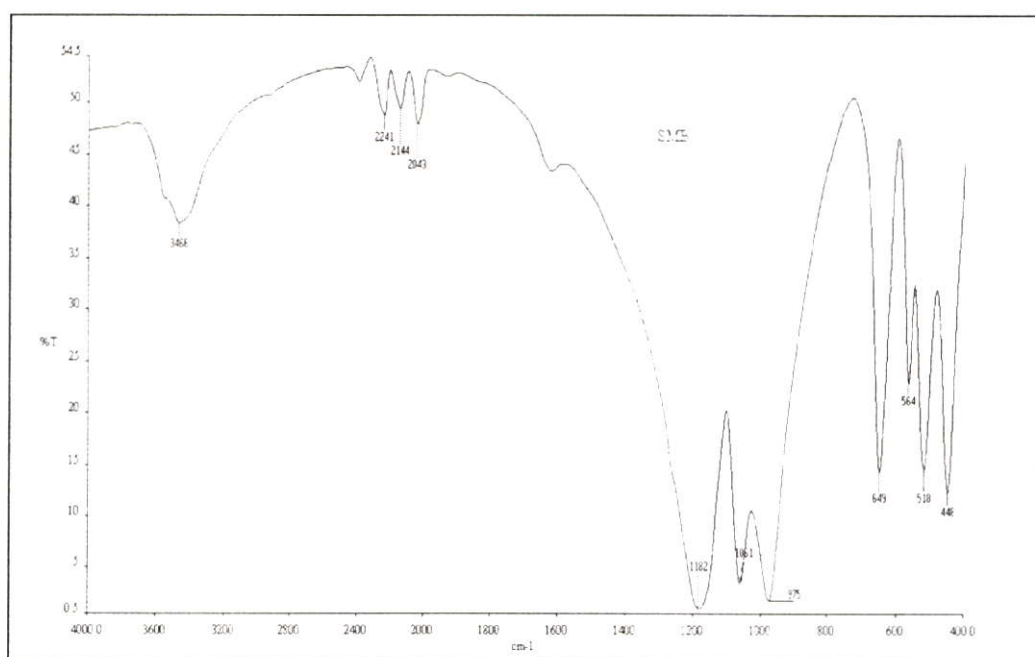
รูปที่ ข.7 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อม โยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



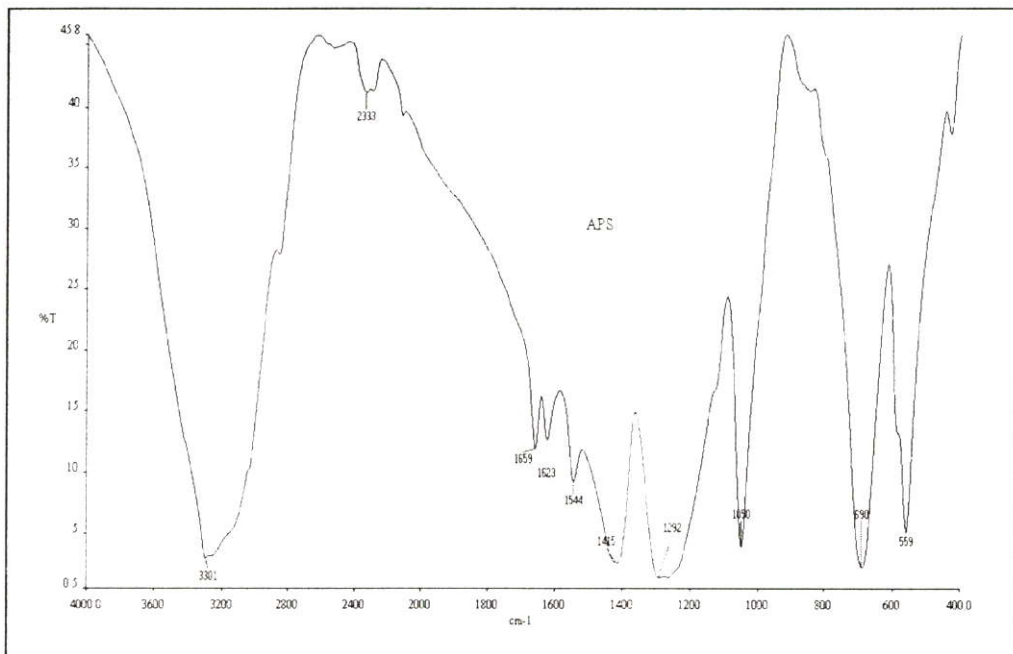
รูปที่ ข.8 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิ
ขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



รูปที่ ข.9 แสดง IR spectrum ของ N,N'-Methylenebisacrylamide (BIS)



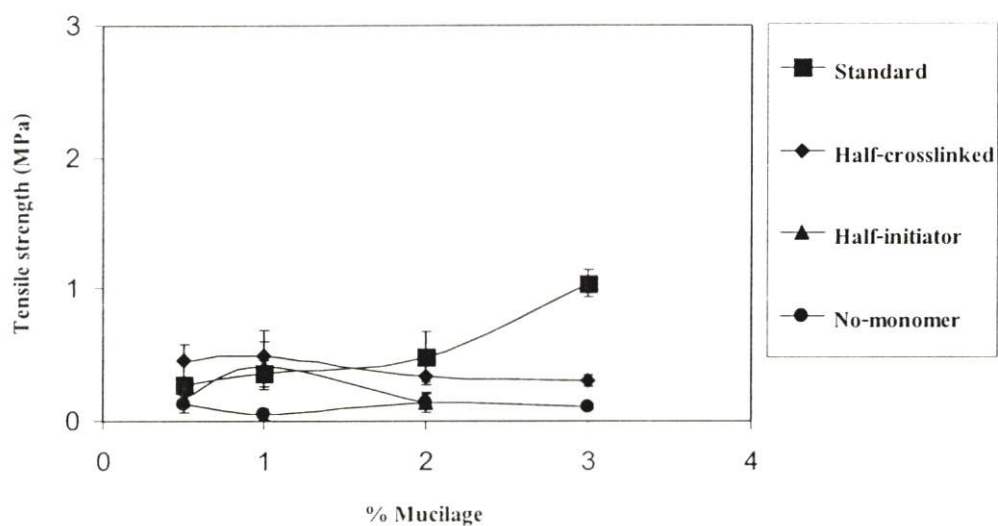
รูปที่ ข.10 แสดง IR spectrum ของ Sodium Metabisulphite (SMB)



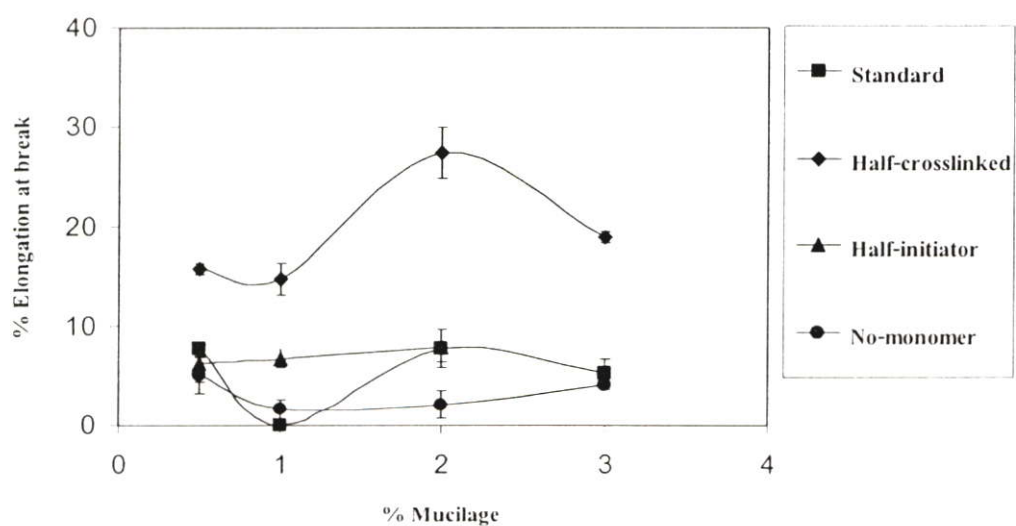
รูปที่ ข.11 แสดง IR spectrum ของ Ammonium Persulfate (APS)

ภาคผนวก ค

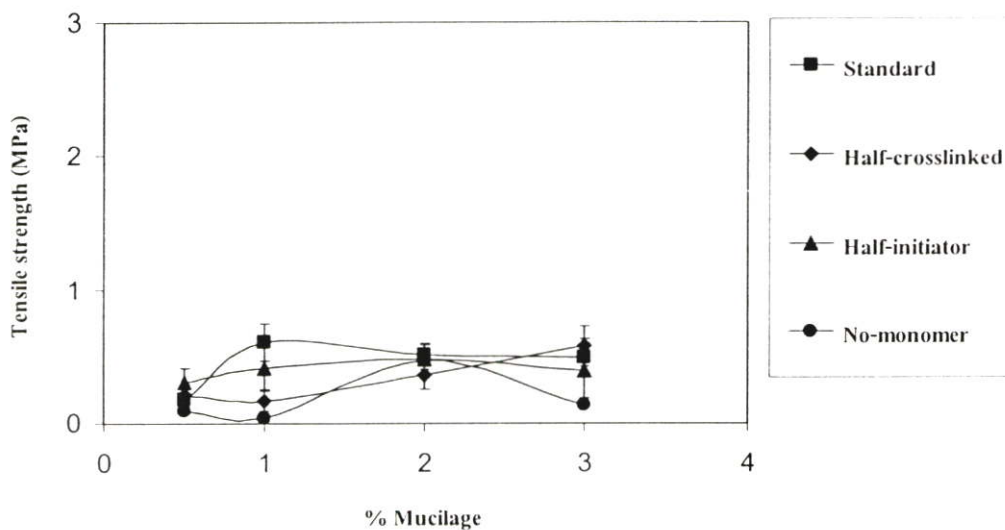
สมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลทุกชนิดก่อนผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



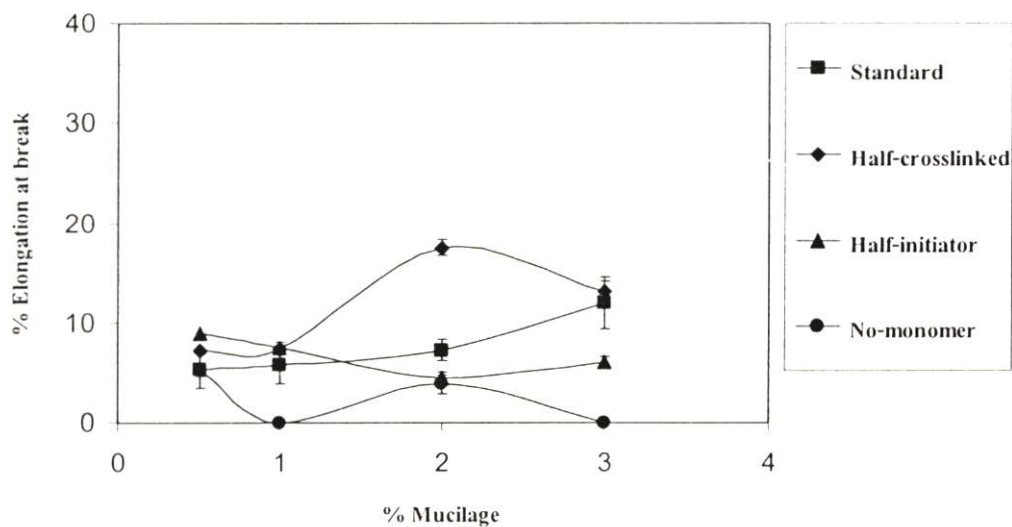
รูปที่ ค.1 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C



รูปที่ ค.2 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C



รูปที่ ๓.3 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C



รูปที่ ๓.4 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C

ภาคผนวก ง

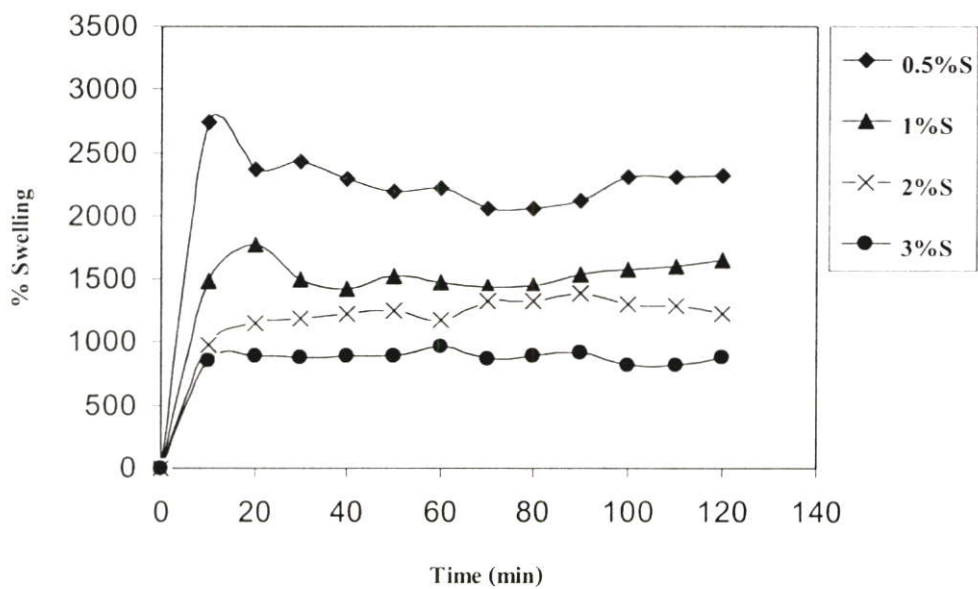
ผลทดสอบการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ ที่ยังไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ และเมทานอล

กำหนดให้ (S) สารเมือกจากเม็ดแมงลัก

(H) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

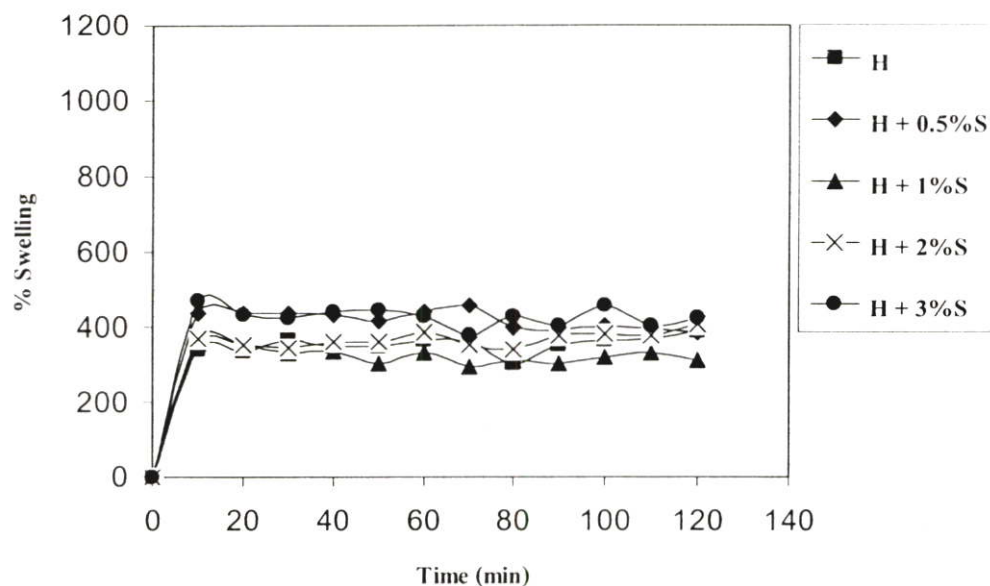
ผลการดูดซับน้ำภายใน 120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ ที่ยังไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล

การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์



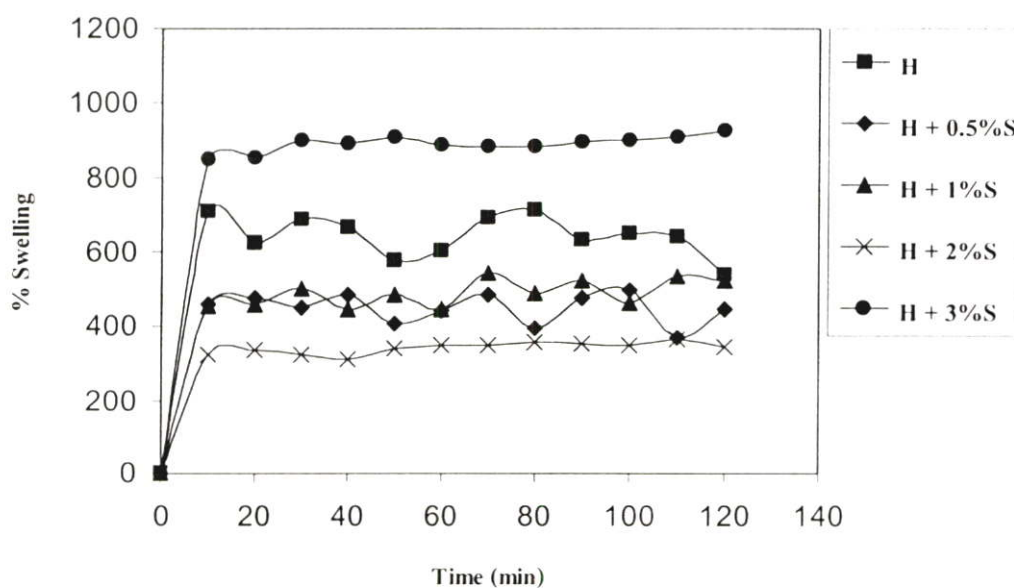
รูปที่ ง.1 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจล สารเมือกจากเม็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

การดูดซึมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน



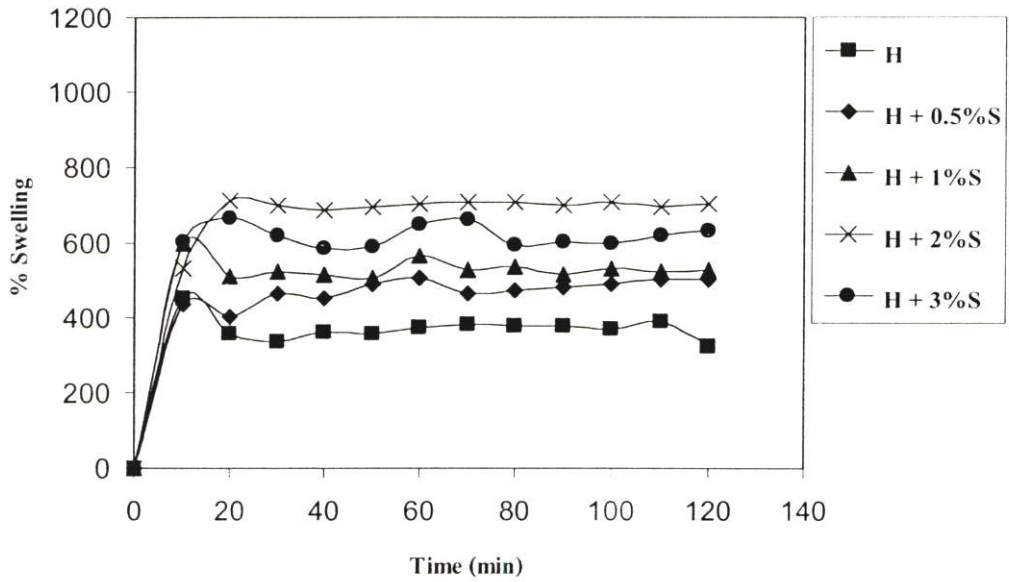
รูปที่ ๓.๒ กราฟแสดงค่า % การดูดซึมน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

การดูดซึมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง



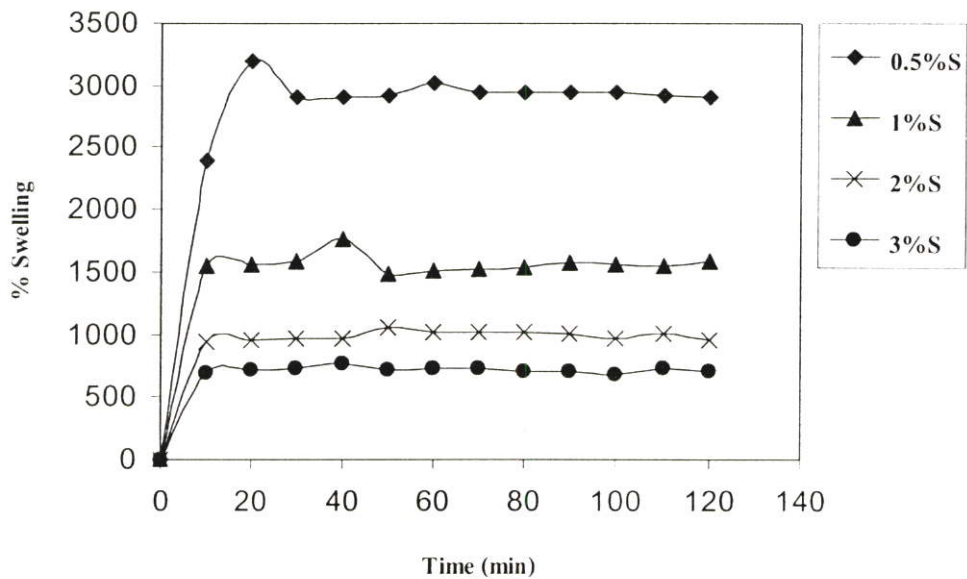
รูปที่ ๓.๓ กราฟแสดงค่า % การดูดซึมน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา



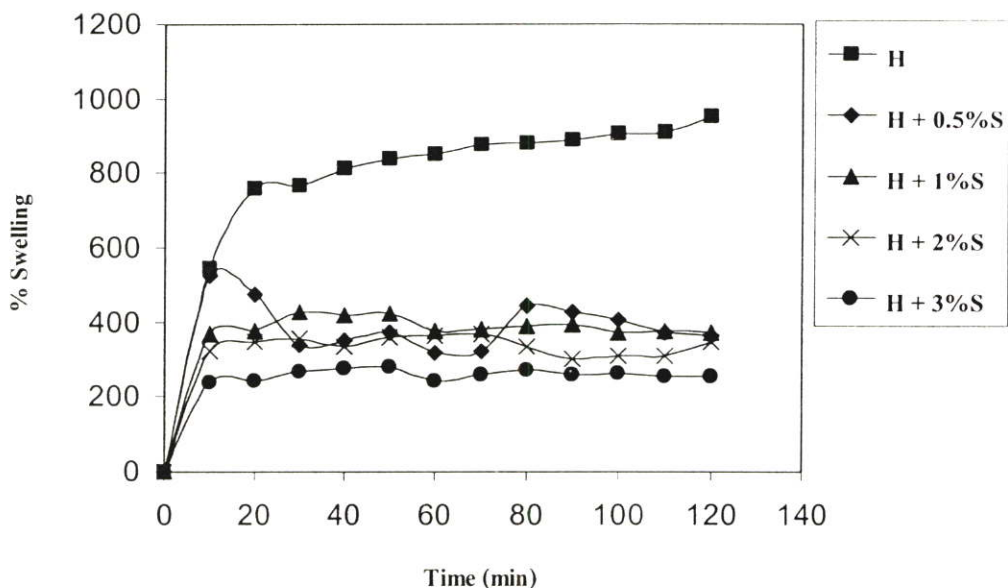
รูปที่ ๔.4 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์



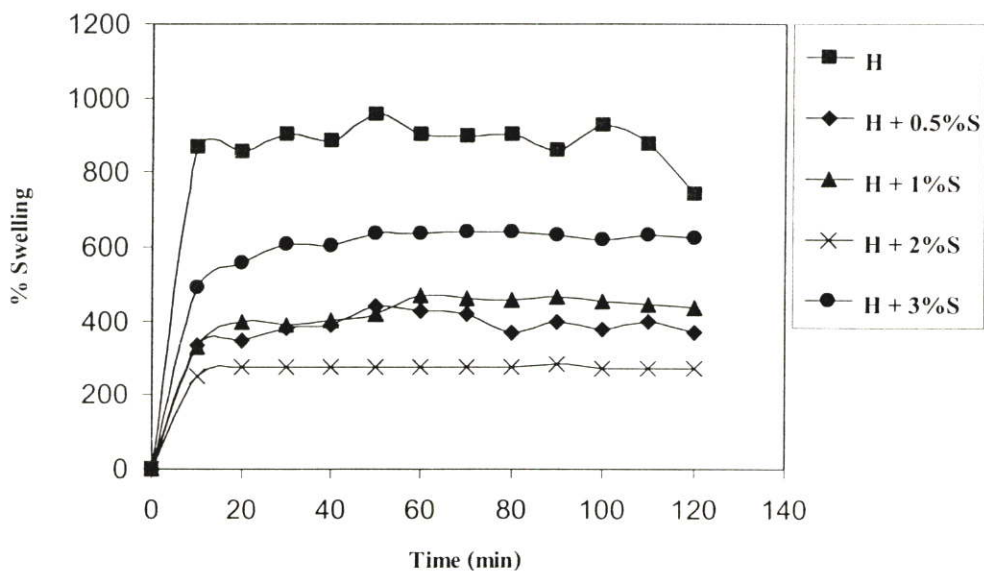
รูปที่ ๕.5 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

การดูดซึมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน



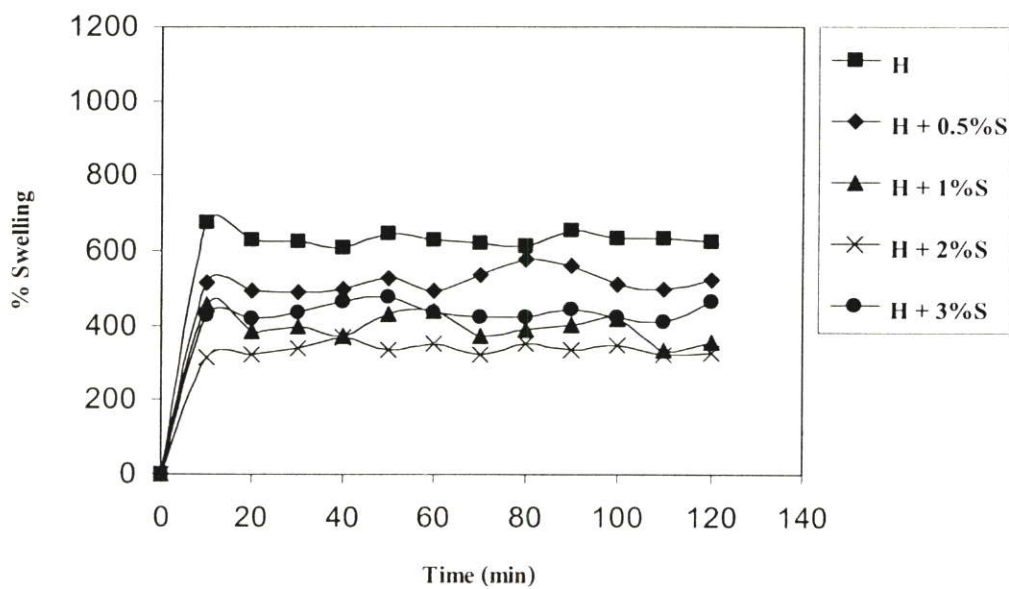
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่า % การดูดซึมน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

การดูดซึมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงค่า % การดูดซึมน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

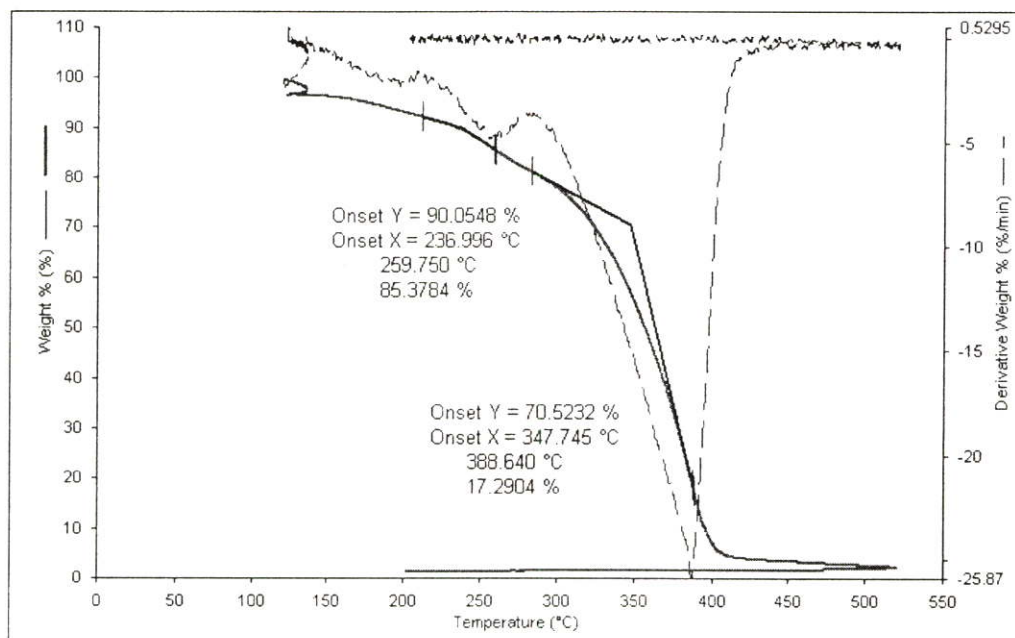
การดูดซึมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา



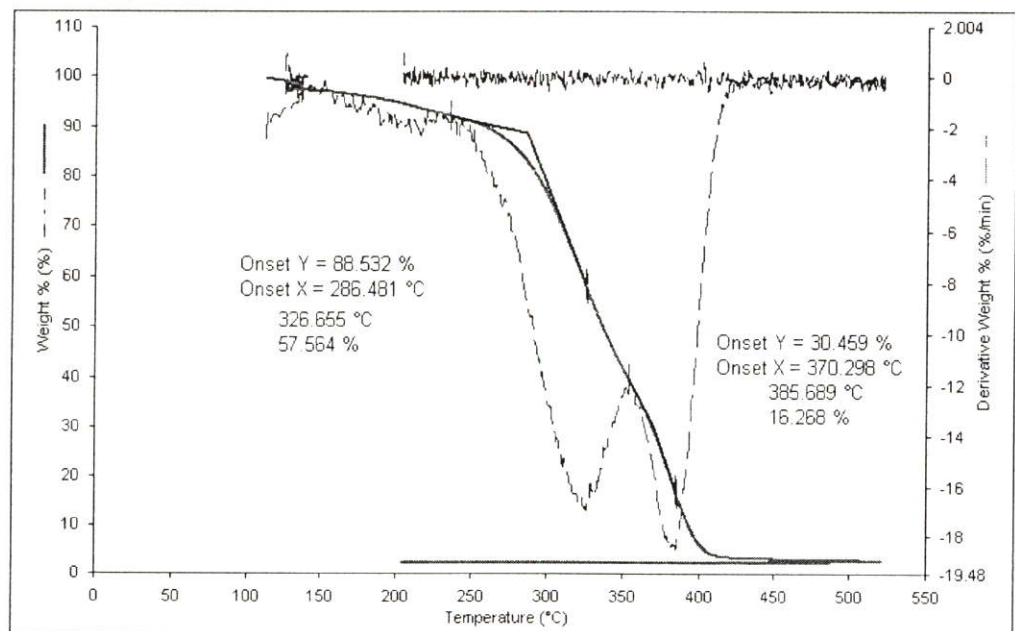
รูปที่ ๖.๘ กราฟแสดงค่า % การดูดซึมน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

ภาคผนวก จ

สมบัติทางความร้อน



รูปที่ จ.1 แสดงสมบัติทางความร้อนของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อม โยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C



รูปที่ จ.2 แสดงสมบัติทางความร้อนของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อม โยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

ภาคผนวก ฉ

ความหนืด (Viscosity)

ตารางที่ ฉ.1 แสดงค่าความหนืดของสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่สภาวะต่างๆ

ปริมาณสารเมือกจากเมล็ด แมงลัก	Viscosity (Centipoise)	
	ละลายน้ำ	เติม NaOH
3 %	4350	4050
2 %	1760	1660
1 %	1240	1150
0.5 %	301	281

ตารางที่ ฉ.2 แสดงค่าความหนืดของฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่สภาวะต่างๆ

สูตร	Viscosity (Centipoise)
3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ (B')	2440
3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักลดสารเชื่อม โยง (K)	2410
2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (G)	1340
2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักลดตัวริเริ่ม ปฏิกิริยา(Q)	1840
0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (I)	58
0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักลดสารเชื่อม โยง (N)	66
0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักลดตัวริเริ่ม ปฏิกิริยา(S)	341

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	กุลธิดา แซ่อู่
วันเกิด	31 มกราคม 2526
สถานที่เกิด	อ. กันตัง จ. ตรัง
การศึกษา	- ระดับมัธยม โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ตรัง พ.ศ. 2538-2544 - ระดับปริญญาตรี(วท.บ.เคมี) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2544-2548 - ระดับปริญญาโท(วท.ม.เทคโนโลยีพอลิเมอร์) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2548-2550