

การเตรียมและสมบัติของฟิล์มจากสารเมือกแมงลักผสมพอลิไวนิล
แกลกอลบอลต์มีบอริกเป็นสารเชื่อมโซ่

PREPARATION AND PROPERTIES OF FILM FROM MUCILAGE
GEL OF OCIMUM CANUM SIMS. /POLY(VINYL ALCOHOL) WITH
BORIC ACID AS A CROSSLINKING AGENT

นายปรัชญา

ขุนจิตต์

นางสาวรัตนกมล

ศิริทรัพย์

นางสาวรุ่งทิวา

โกศล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การเตรียมและสมบัติของฟิล์มจากสารเมือกแมงลักผสมพอลิไวนิล
แอลกอฮอล์มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง

PREPARATION AND PROPERTIES OF FILM FROM MUCILAGE
GEL OF *OCIMUM CANUM SIMS.* /POLY(VINYL ALCOHOL) WITH
BORIC ACID AS A CROSSLINKING AGENT

| | |
|----------|------------|
| ปรีชญา | ขุนจิตต์ |
| รัตน์กมล | ศิริทรัพย์ |
| รุ่งทิวา | โกศล |

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

PREPARATION AND PROPERTIES OF FILM FROM MUCILAGE
GEL OF *OCIMUM CANUM SIMS.* /POLY(VINYL ALCOHOL) WITH
BORIC ACID AS A CROSSLINKING AGENT

| | |
|----------|-----------|
| Pratya | Kunjit |
| Ratgamol | Sirisapya |
| Rungtiwa | Kosol |

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

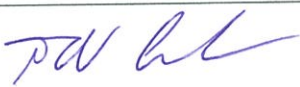


หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมและสมบัติของฟิล์มจากสารเมือกแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง

Preparation and properties of film from mucilage gel of *Ocimum canum Sims.* /Poly(vinyl alcohol) with Boric Acid as a Crosslinking Agent

ชื่อนักศึกษา นายปรัชญา ชุนจิตต์
นางสาวรัตน์กมล ศิริทรัพย์
นางสาวรุ่งทิภา โกศล

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|-------------------------------|---|
| รศ.ดร. สมศักดิ์ วรรณมงคลชัย |  |
| รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ |  |
| รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ |  |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

| | |
|---------------------------|---|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การเตรียมและสมบัติของฟิล์มจากสารเมือกแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง |
| ชื่อนักศึกษา | นาย ปรัชญา ขุนจิตต์ นางสาว รัตน์กมล ศิริทรัพย์ นางสาว รุ่งทิภา โกศล |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต |
| สาขาวิชา | เคมีอุตสาหกรรม |
| ปีการศึกษา | 2556 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์ |

บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาการเตรียมและสมบัติของฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก 2% โดยน้ำหนัก ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2% โดยน้ำหนัก โดยมีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง ที่อัตราส่วนของแมงลักกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็น 1:1, 2:1 และ 1:2 โดยน้ำหนัก ศึกษาปริมาณของกรดบอริกที่เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงและแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 5% โดยมวลต่อปริมาตร ที่มีผลต่อฟิล์ม โดยใช้กรดบอริกที่ปริมาณ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 กรัม แมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกผสมกันให้เป็นของเหลวเหนียวตามสูตรต่างๆ แล้วขึ้นรูปเป็นฟิล์มด้วยกระบวนการหล่อแบบ นำฟิล์มมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ทดสอบความแข็งแรงดึง ทดสอบร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ทดสอบการดูดซับน้ำ เทคนิคการสลายตัวทางความร้อน และเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ที่มีบอริก 0.9 กรัม และมีแคลเซียมไอออนจะมีค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และการดูดซับน้ำสูงที่สุด ส่วนฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ที่มีบอริก 0.9 กรัม และมีแคลเซียมไอออนจะมีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด และคงรูปร่างได้ดีที่สุด

| | | |
|---------------|--|----------------|
| Title | Preparation and properties of film from mucilage gel of <i>Ocimum canum Sims.</i> /Poly(vinyl alcohol) with Boric Acid as a Crosslinking Agent | |
| Student | Mr. Praty Kunjit Ms. Ratgamol Sirisapya Ms. Rungtiwa Kosol | |
| Degree | Bachelor of Science | |
| Major | Industrial Chemistry | |
| Academic Year | 2013 | |
| Advisor | Assoc. Prof. Dr. Malinee | Chaisupakitsin |

Abstract

This project studied on the preparation and properties of film from mucilage gel of *Ocimum canum Sims.* 2% (w/w) and poly(vinyl alcohol) 2% (w/w) with boric acid as a crosslinking agent. Mucilage gel of *Ocimum canum Sims.* /Poly(vinyl alcohol) at the ratio of 1:1, 2:1 and 1:2 (w/w) were studied. The amount of boric acid as a crosslinking agent at 0.3, 0.6, 0.9 and 1.2 g and the effect of calcium chloride 5% (w/v) on the properties of film were investigated. Films were prepared by gelatinization of mucilage gel of *Ocimum canum Sims.* and poly(vinyl alcohol) followed by film casting method. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), tensile strength, % elongation at break, water absorption, thermogravimetric analysis (TGA) and X-ray Diffraction (XRD) were used for characterization. The experimental results showed that C2M1P film with boric acid 0.9 g has the highest % elongation at break and water absorption. C1M2P film with boric acid 0.9 g has the lowest water absorption and the best shape stability.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้ จะสำเร็จลุล่วงมิได้หากขาดความช่วยเหลือ ความร่วมมือตลอดจน คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำ จากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยคุภิกกิจสินธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่คอยให้ คำแนะนำ คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และคำสั่งสอนต่างๆ ในการจัดทำโครงการพิเศษครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วง ไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สมศักดิ์ วรรณมงคลชัย และ รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร ที่กรุณาเป็น กรรมการตรวจสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำ และตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจในการดำเนินงานครั้งนี้

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ เจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการห้องคอมพิวเตอร์และแม่บ้าน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นาย ปรัชญา ชุนจิตต์

นางสาว รัตน์กมล ศิริทรัพย์

นางสาว รุ่งทิวา โกศล

สารบัญ

| | หน้า |
|---|-------------|
| บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV-VII |
| สารบัญตาราง | VIII |
| สารบัญรูปภาพ | IX-XI |
| บทที่ 1 บทนำ | 1-4 |
| 1.1 คำนำ | 1 |
| 1.2 ความเป็นมาของโครงการ | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ | 3 |
| 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย | 3 |
| 1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินการ | 3 |
| 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 5-26 |
| 2.1 ไฮโดรเจล | 5 |
| 2.1.1 สมบัติของไฮโดรเจล | 6 |
| 2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของไฮโดรเจล | 6-7 |
| 2.1.3 กลไกของการเกิดเจล (Gelation) | 7-8 |
| 2.2 แมงลัก | 8 |
| 2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ | 8-9 |
| 2.2.2 องค์ประกอบทางเคมี | 10 |
| 2.2.3 สรรพคุณทางยาของแมงลักที่มีใช้ในประเทศไทย | 10-11 |
| 2.2.4 ข้อควรระวังการใช้แมงลัก | 11 |
| 2.2.5 การศึกษาทางเภสัชวิทยาและการแพทย์ | 11-12 |
| 2.2.6 ส่วนประกอบทางโภชนาการ | 12-13 |
| 2.2.7 สมบัติการพองตัวของเม็ดแมงลัก | 13 |
| 2.2.8 สารเมือก (Mucilage) | 13 |
| 2.2.9 คุณสมบัติของสารเมือกเมล็ดแมงลัก | 14 |
| 2.2.10 ความหนืด ความสามารถในการอุ้มน้ำของสารเมือกแมงลัก | 14 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|--------------|
| 2.2.11 การศึกษาการไหลของสารเมือกเมล็ดแมงลัก | 14-15 |
| 2.2.12 โครงสร้างที่มีส่วนเหมือนโครงสร้างในสารเมือกแมงลัก | 15-16 |
| 2.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) | 16-17 |
| 2.3.1 การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ | 17-18 |
| 2.3.2 การย่อยสลายของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ | 18 |
| 2.3.3 การใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ | 19 |
| 2.4 กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3) | 19 |
| 2.4.1 การเกิดพันธะเชื่อมโยงของกรดบอริก | 19 |
| 2.4.2 การนำกรดบอริกไปใช้ประโยชน์ | 20 |
| 2.5 กลีเซอรอล (glycerol) | 21 |
| 2.5.1 แหล่งที่มาของกลีเซอรอล | 21 |
| 2.5.2 การผลิตกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล | 21-22 |
| 2.5.3 การใช้ประโยชน์จากกลีเซอรอล | 22-23 |
| 2.6 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) | 23 |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 24-26 |
| บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย | 27-32 |
| 3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี | 27 |
| 3.1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ | 27 |
| 3.1.2 สารเคมี | 27 |
| 3.2 วิธีการทดลอง | 28 |
| 3.2.1 การเตรียมสารละลาย | 28 |
| 3.2.2 การเตรียมแผ่นฟิล์ม | 29 |
| 3.2.2.1 ลำดับการเตรียมฟิล์มแมงลักและฟิล์ม PVA ผสม H_3BO_3 | 29 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|--------------|
| 3.2.2.2 ลำดับการเตรียมฟิล์มแมงลัก ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ | 30 |
| 3.2.3 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มแมงลัก | 31 |
| 3.2.4 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มแมงลัก | 31 |
| 3.2.4.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน | 31 |
| 3.2.4.2 สมบัติเชิงกล | 32 |
| 3.2.4.3 สมบัติทางกายภาพ | 32 |
| 3.2.4.4 สมบัติทางความร้อน | 32 |
| 3.2.4.5 ตรวจสอบวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์ม | 32 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 33-72 |
| 4.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนและปริมาณของบอริก | 35 |
| 4.1.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน (Infrared absorption spectroscopy) | 35-40 |
| 4.1.2 ความแข็งแรงดึง | 41-42 |
| 4.1.3 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด | 43-44 |
| 4.1.4 การดูดซับน้ำ | 44 |
| 4.1.4.1 ลักษณะทางกายภาพเมื่อแช่น้ำ | 44-46 |
| 4.1.4.2 ปริมาณน้ำที่ดูดซับ | 46-48 |
| 4.1.5 Thermogravimetric Analysis (TGA) | 49-51 |
| 4.1.6 X-ray Diffraction (XRD) | 51-54 |
| 4.1.7 การย่อยสลาย | 54-55 |
| 4.2 ศึกษาผลของแคลเซียมไอออนที่มีต่อสมบัติฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง | 56 |
| 4.2.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน (Infrared absorption spectroscopy) | 57-58 |
| 4.2.2 ความแข็งแรงดึง | 59-61 |
| 4.2.3 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด | 62-64 |
| 4.2.4 การดูดซับน้ำ | 61 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|---------------|
| 4.1.4.1 ลักษณะทางกายภาพเมื่อแช่ในน้ำ | 65-66 |
| 4.1.4.2 ปริมาณน้ำที่ดูดซับ | 66-67 |
| 4.2.5 Thermogravimetric Analysis (TGA) | 68-72 |
| 4.2.6 X-ray Diffraction (XRD) | 72-74 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 75-76 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 75 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 76 |
| บรรณานุกรม | 77-80 |
| ภาคผนวก | 81-110 |
| ภาคผนวก ก | 82-91 |
| ภาคผนวก ข | 92-96 |
| ภาคผนวก ค | 93-98 |
| ภาคผนวก ง | 99-103 |
| ภาคผนวก จ | 104-110 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|-------|
| ตารางที่ 2.1 แสดงค่า yield, viscosity และ water holding capacity (WHC) ของเมล็ดแมงลัก | 15 |
| ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณ H_3BO_3 ต่อฟิล์มแมงลัก | 29 |
| ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนต่างๆ ของผงแมงลักและ PVA | 30 |
| ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณอัตราส่วนต่างๆ ของฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร | 35 |
| ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มผสมหลังจากนำไปแช่น้ำในเวลาต่างๆ | 45-46 |
| ตารางที่ 4.3 แสดงการย่อยสลายของฟิล์มผสมที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง | 54-55 |
| ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มผสมที่เติมแคลเซียมคลอไรด์หลังจากนำไปแช่น้ำในเวลาต่างๆ | 62 |

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของไฮโดรเจล | 5 |
| รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของ glucuronic acid | 9 |
| รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของ galacturonic acid | 9 |
| รูปที่ 2.4 โครงสร้างแบบต่างๆ ของอัลจินต (Alginate) | 15 |
| รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดเจลของ Calcium alginate (Egg-box model) | 16 |
| รูปที่ 2.6 โครงสร้างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์, โครงสร้างพอลิไวนิลอะซิเตท, โครงสร้างทัวโทเมอร์ริกของไวนิลแอลกอฮอล์ | 17 |
| รูปที่ 2.7 โครงสร้างพอลิเมอร์ร่วมระหว่าง PVA กับ PVAc | 18 |
| รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ PVAc | 18 |
| รูปที่ 2.9 การเชื่อมโยงด้วยกรดบอริก | 19 |
| รูปที่ 2.10 สูตรโครงสร้างของกลีเซอรอล | 21 |
| รูปที่ 2.11 แสดงการรวมตัวของ Ca^{2+} กับ Cl^- เกิดเป็น $CaCl_2$ | 23 |
| รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัม IR ของฟิล์มแมงลัก | 35 |
| รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัม IR ของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ | 36 |
| รูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัม IR ของฟิล์มแมงลัก ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มผสม ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อไม่มีสารเชื่อมโยง | 37 |
| รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัม IR ฟิล์มผสม 1M1P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก ปริมาณ 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัม | 38 |
| รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัม IR ฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก ปริมาณ 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัม | 39 |
| รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัม IR ฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก ปริมาณ 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัม | 40 |
| รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% | 41 |
| รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% | 41 |
| รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความยืด ณ จุดขาดของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% | 43 |
| รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความยืด ณ จุดขาดของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% | 43 |
| รูปที่ 4.11 การดูดซับน้ำของฟิล์มผสม 1M1P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก | 46 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.12 การดูดซับน้ำของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก | 47 |
| รูปที่ 4.13 การดูดซับน้ำของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก | 48 |
| รูปที่ 4.14 แสดงกราฟ TGA และ DTG ของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก 0.9 กรัม | 49 |
| รูปที่ 4.15 แสดงกราฟ TGA และ DTG ของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก 0.9 กรัม | 50 |
| รูปที่ 4.16 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของ แมงลัก, PVA, 1M2P และ 2M1P เมื่อไม่มีสารเชื่อมโยงบอริก | 51 |
| รูปที่ 4.17 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม | 52 |
| รูปที่ 4.18 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม | 53 |
| รูปที่ 4.19 โครงสร้างแบบต่างๆ ของอัลจิเนต (Alginate) ซึ่งคล้ายกับโครงสร้างของแมงลัก | 56 |
| รูปที่ 4.20 กลไกการเกิด Egg-box model | 56 |
| รูปที่ 4.21 แสดงสเปกตรัม IR ฟิล์มผสม C2M1P มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม | 57 |
| รูปที่ 4.22 แสดงสเปกตรัม IR ฟิล์มผสม C1M2P มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม | 58 |
| รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% | 59 |
| รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% | 59 |
| รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสม 2M1P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม ที่มีและไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% | 60 |
| รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสม 1M2P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม ที่มีและไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% | 61 |
| รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าความยืด ณ จุดขาดของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% | 62 |
| รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าความยืด ณ จุดขาดของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% | 62 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดขาดของฟิล์มผสม 2M1P ที่มีบอริก เป็นสารเชื่อมโยง 0.3 และ 0.9 กรัม ที่มีและไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% | 63 |
| รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่าร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดขาดของฟิล์มผสม 1M2P ที่มีบอริก เป็นสารเชื่อมโยง 0.3 และ 0.9 กรัม ที่มีและไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75% | 64 |
| รูปที่ 4.31 การดูดซับน้ำของฟิล์มผสม 2M1P และ C2M1P ที่มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม | 66 |
| รูปที่ 4.32 การดูดซับน้ำของฟิล์มผสม 1M2P และ C1M2P ที่มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม | 67 |
| รูปที่ 4.33 แสดงกราฟ TGA และ DTG ของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยง บอริก 0.9 กรัม และ C2M1P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.9 กรัม | 68 |
| รูปที่ 4.34 แสดงกราฟ TGA (ก) และ DTG (ข) ของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง บอริก และ C2M1P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 กรัม | 69 |
| รูปที่ 4.35 แสดงกราฟ TGA และ DTG ของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยง บอริก 0.9 กรัม และ C1M2P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.9 กรัม | 70 |
| รูปที่ 4.36 แสดงกราฟ TGA (ก) และ DTG (ข) ของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง บอริก และ C1M2P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 กรัม | 71 |
| รูปที่ 4.37 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยง บอริก และ C2M1P ที่มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม | 72 |
| รูปที่ 4.38 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยง บอริก และ C1M2P ที่มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม | 73 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

ปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนาพลาสติกให้สามารถย่อยสลายได้ จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และกระบวนการกำจัด ซึ่งพลาสติกชีวภาพย่อยสลาย (biodegradable plastic) นั้นได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งจากนักวิทยาศาสตร์ตลอดจนนักอุตสาหกรรมชั้นนำทั่วโลก โดยพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้นั้นผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ และสามารถย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติในภายหลังจากการใช้งาน โดยพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้นั้นจะมีคุณสมบัติในการใช้งานได้เทียบเท่ากับพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแบบดั้งเดิม และสามารถทดแทนการใช้งานที่มีอยู่ได้ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติก

พอลิเมอร์ดูดซับน้ำหรือไฮโดรเจลที่มีโครงสร้างเป็นโครงสร้างร่างแหตาข่าย 3 มิติ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีสมบัติในการบวมน้ำและสามารถเก็บกักน้ำไว้ในโครงสร้างได้มากกว่า 20 เท่าของน้ำหนัก ซึ่งประโยชน์ในการนำไปใช้งานในหลายด้าน ทั้งในด้านเกษตรกรรมมีการนำพอลิเมอร์ดูดซับไปใช้ในการทำสวนประดับ ซึ่งจะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำและปล่อยน้ำสู่ดินและรากพืช เป็นการรักษาความสมดุลของความชื้นในดิน และช่วยกักเก็บสารอาหารของพืชที่ละลายในพอลิเมอร์ดูดซับน้ำ นอกจากนี้ยังนำไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรม มีการนำพอลิเมอร์ดูดซับน้ำ มาใช้ทำผลิตภัณฑ์เพื่อสุขอนามัย ผ้าอ้อมเด็ก ผ้าอ้อมผู้สูงอายุ และผ้าอ้อมผู้ป่วย กระดาษชำระ เป็นต้น

การนำเอาพลาสติกมาใช้งานซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมีแบบดั้งเดิม นั้นไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงก่อให้เกิดขยะและปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา จึงได้มีการพัฒนาให้เป็นพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ดูดซับน้ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพอลิเมอร์ผสมสามารถย่อยสลายได้

1.2 ความเป็นมาของโครงการ

ไฮโดรเจลเป็นวัสดุคล้ายของแข็งที่สามารถดูดซับน้ำหรืออุ้มน้ำได้ ด้วยคุณสมบัติสามารถดูดซับน้ำได้ดี โดยไม่เกิดการละลายซึ่งภายในโครงสร้างของไฮโดรเจล จะมีพันธะเชื่อมโยง 3 มิติ โดยทั่วไปแล้วสามารถเตรียมได้ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. การเกิดปฏิกิริยา Block polymerization ของมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilous monomer) กับสารเชื่อมโยง (crosslinking agent)
2. การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของสารละลายพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilous monomer)
3. การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันไปพร้อมกับเกิดการเชื่อมโยงระหว่างพันธะของมอนอเมอร์กับสารเชื่อมโยง

ตามปกติไฮโดรเจล สามารถดูดซับน้ำได้ประมาณ 20 เท่าของน้ำหนักและนอกจากน้ำแล้วยังสามารถดูดซับสารละลายน้ำไฟฟ้า (electrolyte solution) และมีสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทำให้มีการศึกษาและพัฒนาวัสดุไฮโดรเจลมากขึ้นซึ่งไฮโดรเจลจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ มากมาย ทั้งด้านการแพทย์ ใช้เป็นแผ่นติดแผล ทำให้แผลหายเร็วขึ้นเพราะออกซิเจนสามารถผ่านรูพรุนของไฮโดรเจลได้ทำให้ร่างกายสร้างเนื้อเยื่อได้นั่นเอง[1] ด้านเกษตรกรรม ใช้เป็นตัวช่วยการอุ้มน้ำและแร่ธาตุต่างๆ ในดินไม่ให้ถูกชะล้างลงไปในดินชั้นล่าง

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์[2]เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งมีการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เช่น เส้นใย ฟิล์ม และวัสดุทางการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถเกิดเป็นไฮโดรเจลและมีสมบัติเข้ากันได้กับทางชีวภาพอย่างดียเยี่ยม จึงได้มีการพัฒนาใช้งานด้านพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เพื่อลดปัญหามลพิษทางขยะ และพัฒนาไฮโดรเจลที่มีสมบัติทนต่อความร้อนสำหรับใช้งานด้านเวชภัณฑ์

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและทดลองในการเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลักผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยมีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง
2. ศึกษาอัตราส่วนระหว่างสารเมือกแมงลักกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์ม และมีผลต่อสมบัติของฟิล์มคลุมดินอย่างไร
3. ศึกษาบทบาทของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีผลต่อฟิล์ม
4. ศึกษาสมบัติต่างๆของฟิล์มที่ได้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการเตรียมฟิล์มจากสารเมือกแมงลักผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยมีบอริกเป็นสารเชื่อมโยงเพื่อไปปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสมบัติของฟิล์มให้เหมาะสม นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมได้จากการเติมสารก่อพันธะเชื่อมโยง เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีสมบัติที่ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม ด้านการเกษตร หรือในทางการแพทย์ต่อไป

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินการ

ในการวิจัยทำการเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 2% w/w และเตรียมสารเมือก (mucilage) ที่ได้จากการพองตัวจากเมล็ดแมงลัก (*Ocimumcanum Sims.*) จากนั้นทำการผสมโดยมีปริมาตรระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสารเมือกแมงลักในอัตราส่วนที่กำหนดคือ 1:1, 2:1 และ 1:2 ตามลำดับ จากนั้นเติมกลีเซอรอล 30% โดยน้ำหนักของสารเมือกแมงลัก และเติมบอริกซึ่งเป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง นำสารละลายที่เตรียมได้มาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์ม โดยเทลงบนภาดกระจกแล้วอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดน้ำ และนำฟิล์มที่ได้มาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบฟิล์มที่ได้จากพอลิเมอร์ผสมกับมาตรฐานของฟิล์ม ทำการสรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้งาน

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

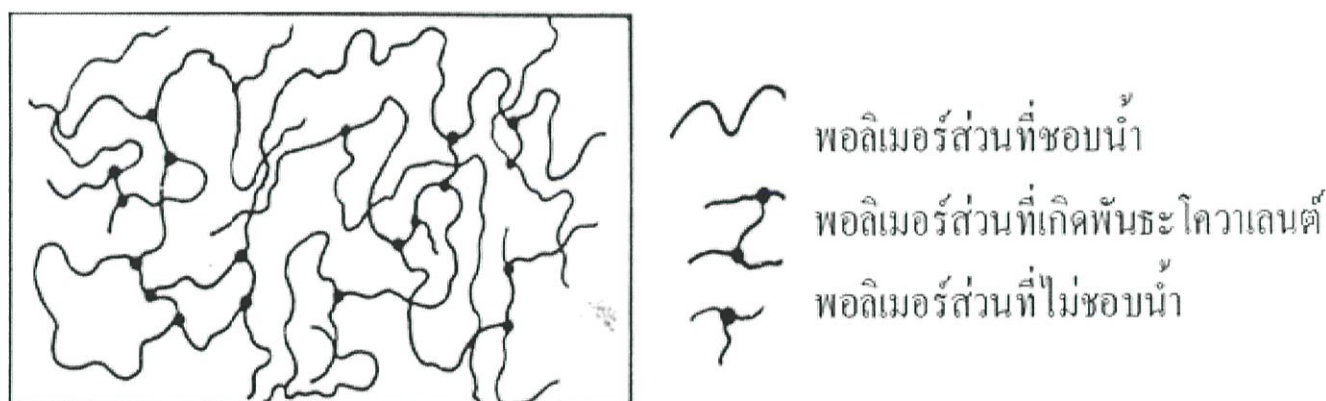
1. ทราบถึงวิธีการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้ฟิล์ม
2. ทราบถึงขั้นตอนในการเตรียมฟิล์มและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีสมบัติที่ดีและสวยงาม
3. ทราบถึงสมบัติของฟิล์มและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้
4. สามารถลดมลพิษทางด้านขยะ เนื่องจากฟิล์มสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไฮโดรเจล (Hydrogels)[3]

ไฮโดรเจล (Hydrogel) เป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ โครงสร้างของไฮโดรเจลประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ส่วนที่สามารถเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับโมเลกุลของน้ำหรือเรียกว่าส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) เช่น หมู่ $-OH$, $-COOH$, $-CONH_2$, $-CONH-$ และ $-SO_3H$ เป็นต้น และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) เช่น หมู่ $-CH_2-$ และ $-CH_3$ เป็นต้น ระหว่างสายโซ่มีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์พันธะไฮโดรเจน หรืออันตรกิริยาระหว่างหมู่ต่างๆในสายโซ่ ประกอบกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนมากมายและโมเลกุลมีการพันตัวกันหรือขดตัวกันอยู่ ทำให้ภายในโครงสร้างโดยรวมเกิดรูพรุนขนาดเล็กๆมากมาย ตัวอย่างของโครงสร้างทางเคมีของไฮโดรเจล



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของไฮโดรเจล [3]

2.1.1 สมบัติของไฮโดรเจล (Properties of Hydrogels) [3]

สมบัติเฉพาะของไฮโดรเจล คือ พองตัวได้แต่ไม่ละลายในน้ำเนื่องจากไฮโดรเจล ประกอบด้วย ทั้งส่วนที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำเมื่อนำไฮโดรเจลไปแช่น้ำโมเลกุลของน้ำสามารถแพร่ผ่านและแทรกเข้าไป อยู่ในบริเวณที่ว่างหรือรูพรุนภายในโครงสร้างสามมิติของไฮโดรเจลนั้นได้ เนื่องจากแรงดันออสโมติก โมเลกุลน้ำบางส่วนจะเกิดอันตรกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์แล้วผลักดันให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการขยายตัว หรือเกิดการพองตัวขึ้นซึ่งเป็นการปรับโครงสร้างของไฮโดรเจลให้เกิดสมดุลใหม่ไฮโดรเจลเมื่อขยายตัวเต็มที่ จะไม่แยกขาดออกจากกัน เนื่องจากภายในจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีความยาวจำกัดและยึดกันด้วย พันธะโคเวเลนต์โดยมีตัวเชื่อมต่อกัน (crosslinker) เป็นตัวช่วยยึดระหว่างสายพอลิเมอร์ไว้ การเปลี่ยนแปลงของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการพองตัว

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของไฮโดรเจล [3]

ก) แรงดันออสโมติก เนื่องจากปริมาณน้ำภายในและภายนอกไฮโดรเจลมีไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ดังนั้น น้ำจากภายนอกจึงแพร่เข้าไปในช่องว่างหรือรูพรุนของ ไฮโดรเจลนั้นถ้าแรงดันออสโมติกแตกต่างกันมากน้ำก็จะเคลื่อนที่เข้าไปในไฮโดรเจลมากขึ้น

ข) แรงกระทำระหว่างโมเลกุลน้ำกับไฮโดรเจล ถ้าพอลิเมอร์นั้นมีโครงสร้างทางเคมีที่เหมาะสมสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้มาก เช่น เมื่อเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้น หรือแรงดึงดูดระหว่างขั้ว จะทำให้เป็นการเหนี่ยวนำโมเลกุลน้ำแพร่เข้าสู่ไฮโดรเจลได้มาก

ค) ช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ถ้าไฮโดรเจล มีช่องว่างหรือรูพรุนระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์มากน้ำก็จะแพร่เข้าไปได้มาก

ง) ความยืดหยุ่นของสายโซ่พอลิเมอร์ ถ้าสายโซ่มีความยืดหยุ่นที่ดี จะเป็นการลดแรงต้าน ของการแพร่ของโมเลกุล น้ำเพื่อเข้าสู่สมดุลใหม่ทำให้โมเลกุลน้ำแพร่ผ่านเข้าสู่ไฮโดรเจลได้มาก

จ) ความหนาแน่นของการเชื่อมต่อบetweenสายโซ่พอลิเมอร์ ถ้ามีความหนาแน่นของการ เชื่อมต่อมากจะเปรียบเสมือนกับการเพิ่มแรงต้านทานในการขยายตัวของไฮโดรเจลทำให้ ความสามารถในการพองตัวได้ลดลง โมเลกุลน้ำที่อยู่ภายในไฮโดรเจลมี 2 ลักษณะใหญ่ๆ แสดงดังรูป 1.3 ได้แก่ โมเลกุลน้ำที่ไม่เกิดอันตรกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์ เรียกว่า “โมเลกุลน้ำอิสระ” สามารถเคลื่อนที่ได้ อย่างไม่อิสระ ระเบียบได้ง่าย มีผลต่อสมบัติของไฮโดรเจลไม่มากนัก และโมเลกุลน้ำที่เกิดพันธะกับสายโซ่

(bound water) ซึ่งมีการเคลื่อนที่ภายในโครงสร้างไฮโดรเจลได้ยากกว่าและต้องใช้ความร้อนปริมาณหนึ่งในการระเหยโมเลกุลน้ำลักษณะนี้ออก ปริมาณน้ำร้อยละที่มีเป็นองค์ประกอบอยู่ในไฮโดรเจล (water content, WC) สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$\% \text{ ปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบ} = \frac{(\text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่ดูดซับน้ำ} - \text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่แห้ง})}{\text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่ดูดซับน้ำ}} \times 100\%$$

สำหรับปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในไฮโดรเจลขณะที่ไฮโดรเจลพองตัวเต็มที่แล้วเรียกว่า “ปริมาณน้ำสมดุล” (equilibrium water content, EWC) นอกจากการหาปริมาณน้ำร้อยละที่มีเป็นองค์ประกอบที่อยู่ในไฮโดรเจลในตัวแปรของ WC ยังมีการศึกษาในตัวแปรสัดส่วนของการพองตัว (swelling ratio, SR) ซึ่งเป็นการแสดงน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซับเข้าไปเทียบกับพอลิเมอร์การคำนวณหา SR แสดงดังสมการ

$$\text{สัดส่วนการพองตัว} = \frac{(\text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่ดูดซับน้ำ} - \text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่แห้ง})}{\text{น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่แห้ง}}$$

สมบัติที่สำคัญอีกประการของไฮโดรเจล คือ การยอมให้มีการแพร่ผ่านของโมเลกุลต่างๆ เช่น น้ำ โปรตีน ยา หรือแม้แต่ก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านทางการแพทย์

2.1.3 กลไกของการเกิดเจล (Gelation) [3]

กลไกของการเกิดเจลสามารถแบ่งออกได้ 5 ขั้นตอนดังนี้

1. initiation
2. microgel formation
3. cluster formation
4. macrogelation
5. post-gelation

เมื่อระบบประกอบด้วยสารละลายมอนอเมอร์ตัวเชื่อมตอสายโซ่และตัวริเริ่ม สังเคราะห์เริ่มจากขั้นเริ่มต้น (initiation) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเพื่อให้ตัวริเริ่มแตกตัวให้ฟรีเรดิคอลลเพื่อเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยฟรีเรดิคอลลที่ได้จากข้างต้นจะทำอันตรกิริยากับมอนอเมอร์และ/หรือตัวเชื่อมตอสายโซ่เกิดเป็น monomeric radicals จากนั้น monomeric radicals ดังกล่าวจะเกิดการเชื่อมต่อกันใน 2 ลักษณะคือการเชื่อมตอระหว่างกันเองภายใน monomeric radical ซึ่งนำไปสู่การรวมตัวกลายเป็นกลุ่มก้อน (intramolecular crosslink) หรือเกิดการเชื่อมต่อกันระหว่าง monomeric radical กลายเป็นร่างแหตาข่าย (intermolecular crosslink) ซึ่งการเกิดทั้งสองลักษณะข้างต้นจะนำไปสู่การเกิด microgel การดำเนินไปของปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้มีสัดส่วนประมาณ 20% จากนั้นปฏิกิริยาดำเนินต่อไปสู่ขั้นตอนที่ 3 (cluster formation) ซึ่งอยู่ในช่วง 40-80% ของการดำเนินไปของปฏิกิริยากล่าวคือเป็นขั้นตอนที่เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ใหญ่ขึ้นซึ่งเกิดจาก microgel ก้อนอื่นหรือจากมอนอเมอร์และตัวเชื่อมตอสายโซ่ที่ยังไม่เกิดการเชื่อมตอสารละลายภายในระบบของขั้นตอนนี้จะเกิดความหนืดเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

2.2 แมงลัก [4]

| | |
|-----------------|--|
| ชื่อวิทยาศาสตร์ | <i>Ocimum citriodorum</i> |
| วงศ์ | Labiatae |
| ชื่อสามัญ | Hoary Basil, Lemon Basil, Thai Lemon Basil |
| ชื่ออื่น | ก้อมก้อขาว |

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ [5]

แมงลัก เป็นพืชล้มลุกในสกุลกะเพรา-โหระพา ลักษณะของต้นแมงลักจะคล้ายต้นกะเพราต่างกันที่กลิ่นและใบจะมีสีเขียวจางกว่าใบกะเพรา แมงลักมีลำต้นสูงประมาณ 65 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมทุกส่วน ใบเป็นใบเดี่ยวทรงรีหรือรูปหอกหรือรี ขอบใบเรียบ บ้างมีขอบหยักมนมีกลิ่นหอมคล้ายมะนาวฝรั่ง ดอกออกช่ออยู่ปลายยอด ช่อดอกจะออกเรียงเป็นชั้นๆ กลีบดอกมีสีขาวออกเป็นวงรอบก้าน ผลจะเป็นผลชนิดแห้ง ภายในมี 4 ผลย่อย เรียกว่า เมล็ดแมงลัก

ใบแมงลัก ใช้กินสด ใส่สลัดผัก หรือประดับจานอาหาร ส่วนมากในประเทศไทยจะกินกับขนมจีนหรือใส่แกงเลียงและแกงต่างๆ ใบแมงลักมีน้ำมันหอมระเหยราวร้อยละ 0.7 น้ำมันหอมระเหยที่เป็นส่วนประกอบหลักคือซิทรัล (citral) ต่างประเทศใช้ใบแมงลักแต่งกลิ่นอาหาร เนื่องจากมีกลิ่นมะนาวจึงมักใช้แต่งกลิ่นอาหารจำพวกปลาและไก่ในอาหารฝรั่ง

ผล ที่คนไทยเรียกว่าเมล็ดแมงลักใช้ทำขนม น้ำแข็งไส ใส ไอศกรีม ใส่น้ำเต้าหู้ หรือใส่นมอุ่นและใช้เป็นยาระบายชนิดเพิ่มกาก ที่สหรัฐอเมริกาปลูกแมงลักเป็นไม้ประดับและ ใช้ใบแห้งประกอบบุหงาสำหรับสูคนอบ้าบัต

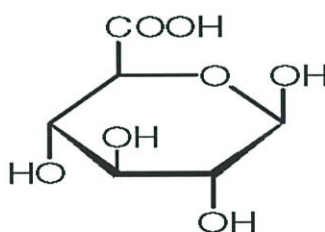
ต้นแมงลัก ให้น้ำมันหอมระเหยได้ ใช้แต่งกลิ่นสบู่ และเครื่องสำอางค์ กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยนี้แตกต่างกันไปตามท้องถิ่นที่ปลูก น้ำมันแมงลักที่ซื้อขายกันในท้องตลาดมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด ชนิดที่หนึ่งประกอบด้วย methyl cinnamate เป็นสารหลัก ชนิดที่ 2 ประกอบด้วย d-camphor เป็นสารหลัก ชนิดที่ 3 ประกอบด้วย polyuronide พบในธรรมชาติในรูปเกลือ อาจเป็นเกลือ Ca, K, Mg ของ polyuronide ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลที่อยู่ในรูปกรด uronic acid เชื่อมต่อกันด้วย glycoside linkage และเป็น branched chain ส่วนของน้ำตาล อาจเป็น hexose uronic acid ที่พบมากคือ glucuronic acid และ galacturonic acid

- Polyuronide

เกิดจากการเรียงตัวของกรด hexuronic สองตัว คือ- (beta)-D-mannuronic acid unit และ

- (alpha)-L-glucuronic acid

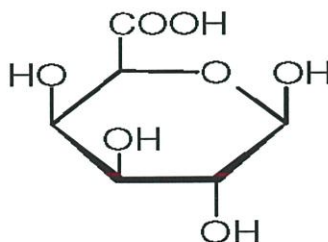
- Glucuronic acid



β-D-glucuronic acid

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของ glucuronic acid [5]

- Galacturonic acid



β-D-galacturonic acid

รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของ galacturonic acid [5]

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมี [6]

เมล็ดแมงลักประกอบด้วยสารคาร์โบไฮเดรตหลายชนิดซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่และสารประกอบอื่นๆ เช่น Camphene , mucilage , myrcene oil, D-Glucose เป็นต้นเปลือกผลแมงลัก มีสารเมือก (mucilage) ซึ่งพองตัวในน้ำได้ , ใบนี้น้ำมันหอมระเหยประเภทการบูร, เบอโรนีอัล, ซีนีออล และยูจีนอล

2.2.3 สรรพคุณทางยาของแมงลักที่มีใช้ในประเทศไทย [4]

ขับลมในลำไส้ อาหารไม่ย่อย แน่นไม่สบายท้อง ให้นำต้นและใบแมงลักต้มน้ำดื่ม

ขับเหงื่อ เมื่อมีอาการครั่นเนื้อครั่นตัวไม่ค่อยสบาย นำต้นและใบแมงลักต้มน้ำดื่ม

บรรเทาอาการหวัด อาการคัดจมูก น้ำมูกไหล หลอดลมอักเสบ ใช้ใบแมงลัก 1 กำมือล้างสะอาดโขลก คั้นน้ำดื่ม 1 ถ้วยตะไลบรรเทาอาการดังกล่าว

บรรเทาอาการผื่นคัน พืชจากพืช พืชสัตว์กัดต่อย หรืออาการคันจากเชื้อรา ใช้ใบแมงลักสดโขลก พอกบริเวณที่มีอาการและเปลี่ยนยาบ่อยๆ

แก้ท้องร่วงท้องเสีย ใบแมงลักสัก 2 กำมือ ล้างสะอาด โขลกบิบบคั้นน้ำดื่ม แก้ท้องร่วงได้ **เพิ่มน้ำนมแม่** ให้แม่ที่ให้นมลูกกินแกงเลียงหัวปลี ใส่ใบแมงลัก และให้ลูกดูดหัวนมบ่อยๆ เพิ่มการสร้างน้ำนมแม่

บำรุงสายตา ใบแมงลักมีวิตามินเอสูงการกินใบแมงลักเป็นประจำช่วยบำรุงสายตา

บำรุงเลือด แก้โลหิตจาง ใบแมงลักอุดมด้วยธาตุเหล็กช่วยบำรุงโลหิต

เสริมสร้างกระดูก ใบแมงลักมีแคลเซียมสูงช่วยบำรุงกระดูก

เป็นยาระบาย ใช้เมล็ดแก่ของแมงลัก สัก 1 ช้อนชาแช่น้ำ 1 แก้ว ปล่อยให้พองตัวดีแล้ว เดิมน้ำตาลเล็กน้อย ต้มแก้ท้องผูก แนะนำให้ใช้กับหญิงตั้งครรภ์และแม่ที่เลี้ยงลูกด้วยนมตนเอง ที่ไม่ต้องการภาวะท้องผูกเพราะเป็นการแก้ปัญหาแบบธรรมชาติ

แพทย์หญิง ดวงรัตน์ เชี่ยวชาญวิทย์[7] กล่าวว่า ส่วนที่นำมาใช้เป็นยาของแมงลัก คือ เมล็ดแมงลักที่แก่ บริเวณเปลือกนอกของผลจะมี **สารเมือก** ซึ่งสามารถพองตัวในน้ำได้ถึง 45 เท่า และได้ทำการศึกษาวิจัยพบว่า มีสรรพคุณเป็นยาระบายชนิดเพิ่มกาก (Bulk laxative) เนื่องจากสารเมือกเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไม่ถูกย่อย จึงช่วยเพิ่มกากอาหารได้ และสารเมือกนี้ยังช่วยหล่อลื่น ทำให้อุจจาระอ่อนตัวสามารถขับถ่ายได้สะดวกยิ่งขึ้นจึงมีการนำเมล็ดแมงลักมารับประทานก่อนอาหาร หรือบางคนก็รับประทานแทนอาหารเพื่อไม่ให้กระเพาะว่าง จึงสามารถช่วยลดความอ้วนได้ เพราะเมล็ดแมงลักไม่ก่อให้เกิดแคลอรี (พลังงาน) เนื่องจากไม่มีการย่อยสลาย และดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย

สำหรับไบของแมงลักยังประกอบด้วย น้ำมันหอมระเหยประเภทการบูร บอริเนอล ซินีออล ซึ่งมีสรรพคุณช่วยขับลมทำให้ลดอาการท้องอืดท้องเฟ้อ และยังมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคกลาก คัดจมูก บรรเทาอาการหวัด น้ำมูกไหล

เมล็ดแมงลักยังใช้รับประทานเป็นของหวาน นอกจาก ใส่น้ำหวาน เมล็ดแมงลัก วุ้น และใส่น้ำแข็ง ขนมวุ้นหน้าเมล็ดแมงลัก นอกจากนี้ในปัจจุบันยังใส่ในไอศกรีมเพื่อนำให้เนื้อไอศกรีมเหนียวขึ้น และนิยมใส่น้ำเต้าหู้ร่วมกับวุ้น สาคุ ถั่วแดง ฯลฯ

2.2.4 ข้อควรระวังการใช้แมงลัก [4]

ถ้าใช้เมล็ดแมงลักที่ยังพองตัวไม่เต็มที่ จะทำให้มีการดูดน้ำจากลำไส้เกิดอาการขาดน้ำ และอาจเกิดอาการลำไส้อุดตันได้ (โดยเฉพาะแมงลักที่บดเป็นผง) รวมถึงที่ต่างประเทศใช้ไบแมงลักบรรเทาอาการไอ ขับเหงื่อ และขับลม

2.2.5 การศึกษาทางเภสัชวิทยาและทางการแพทย์ [4]

1. ฤทธิ์เป็นยาระบาย

การศึกษาในสัตว์ทดลองเมื่อป้อนเมล็ดแมงลัก ขนาด 37.5 มก./กก. ละลายน้ำให้พองตัว ให้หนูขาวและหนูถีบจักร จะมีผลทำให้ลำไส้มีการเคลื่อนไหวเทียบเท่ากับการให้หนูกินยาถ่าย metamucil

การทดลองทางคลินิกมีการทดลองใช้เมล็ดแมงลัก โดยใช้ปริมาณ 2 ช้อนชา ผสมน้ำ 240 มล. หรือประมาณ 1 แก้ว ให้ผลเป็นยาระบายในคนปกติเช่นเดียวกับ psyllium 2 ช้อนชา โดยมีผลที่น่าสนใจคือ เพิ่มจำนวนครั้งในการถ่าย เพิ่มปริมาณอุจจาระ ทำให้อุจจาระอ่อนตัวกว่าปกติ จากการศึกษาจะพบว่าเมล็ดแมงลักสามารถใช้เป็นยาระบายได้ดี

นอกจากนี้ยังมีการทดลองกับผู้ป่วยที่จะได้รับการผ่าตัดต่อมลูกหมาก และนิ่วในไต โดยให้กินยาระบายเมล็ดแมงลัก (เมล็ดแมงลักบดเป็นผง) ขนาดครึ่งถึง 1 ช้อนชา และ 1 ช้อนชาครึ่ง ในน้ำ 150 มิลลิลิตร 3 ครั้งหลังอาหาร/วัน และหลังการผ่าตัด เป็นเวลา 3-8 วัน และกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับเมล็ดแมงลัก พบว่าสัดส่วนอาการท้องผูกหลังการผ่าตัดของผู้ป่วยกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับเมล็ดแมงลักเท่ากับร้อยละ 80.6 ขณะที่กลุ่มที่ได้รับเมล็ดแมงลักมีสัดส่วนของอาการท้องผูกเท่ากับร้อยละ 13.3, 31.6 และ 10.5 ตามลำดับ จากการศึกษาจะเห็นว่าเมล็ดแมงลักสามารถลดอาการท้องผูกของผู้ป่วยหลังผ่าตัดได้

2. ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

งานวิจัยจากอินเดีย ปี พ.ศ. 2551 รายงานการพบสารโพลีฟีนอลหลายชนิดในใบแมงลักสารดังกล่าว คือกรดโรสมารินิกกรดลิโทสเปอเมิก กรดวานิลิก กรดคูมาริก กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก กรดซิงจิก กรดกาเฟอิก กรดเฟอรูลิก กรดซินนามิก กรดไฮดรอกซีฟีนิลแล็กติก และกรดซินนาปิก สารสกัดใบแมงลักแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในหลอดทดลองได้เป็นอย่างดี

ปัจจุบันมีงานวิจัยของไทยเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์จากแมงลัก มีการทดลองใช้มิวซิเลจ (สารเมือก) จากเมล็ดแมงลักเป็นสารให้ความคงตัวแทน guar gum ในการผลิตไอศกรีมกล้วยหอม พบว่าเมื่อปริมาณของสารเมือกจากเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้นไอศกรีมจะมีความหนืดสูงขึ้น เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับไอศกรีมกล้วยหอมสูตรมาตรฐานที่ใช้ guar gum เป็นสารให้ความคงตัว พบว่าสูตรที่ใช้สารเมือกจากเมล็ดแมงลักร้อยละ 0.5 มีเนื้อสัมผัส การละลายในปากและความชอบโดยรวมสูงกว่า และมีปริมาณเส้นใยสูงชันอย่างมีนัยสำคัญ แปลว่าไอศกรีมสารเมือกเมล็ดแมงลักอร่อยกว่าไอศกรีมที่ทำจาก guar gum และมีคุณค่าอาหารสูงกว่าด้วย

2.2.6 ส่วนประกอบทางโภชนาการ [5]

| ส่วนประกอบ | ร้อยละปริมาณ | หมายเหตุ |
|--------------|--------------|---|
| โปรตีน | 15.5-17.87 | เอาส่วนเยื่อเมือกออกและหาเฉพาะส่วนที่เป็นเม็ดดำข้างในจะมีโปรตีนร้อยละ 18.2 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของเม็ดแห้ง ซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่ในเม็ดแมงลักจะเป็นโปรตีนชนิดโกลบิวลิน |
| ไขมัน | 18.3-19.60 | เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักเม็ดแห้ง |
| คาร์โบไฮเดรต | 55.56 | เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักเม็ดแห้ง คาร์โบไฮเดรตส่วนมากจะเป็นชนิดโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ มีเพียงร้อยละ 6.98 เท่านั้นที่เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดที่ร่างกายมนุษย์สามารถย่อยสลายได้ และมีน้ำตาลทั้งหมดเพียงร้อยละ 0.55 |

| | | |
|----------|------------|---|
| ใยอาหาร | 80 | เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักเมล็ดแห้ง |
| ความชื้น | 10.3-14.10 | ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศรอบๆ เม็ดแมงลัก เนื่องจากแมงลักสามารถดูดความชื้นได้ดี |
| เถ้า | 4.4-6.87 | เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของเมล็ดแห้ง และเถ้าส่วนใหญ่ของเม็ดแมงลักจะเป็น แคลเซียม โปรแตสเซียม และคลอไรด์ |

2.2.7 สมบัติการพองตัวของเม็ดแมงลัก [5]

เม็ดแมงลัก เมื่อถูกน้ำจะพองตัวทันที เกิดจากการที่น้ำแทรกซึมเข้าไปในเปลือกของเม็ดแมงลัก โดยเปลือกนอกจะพองตัวเป็นเมือกสีขาวหนา และโปร่งแสง ทำให้เส้นใยเกิดการพองตัวซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดในช่วงเวลา 10 นาทีถึง 1 ชั่วโมง จากการศึกษาสมบัติการพองตัวของเม็ดแมงลักต่อปัจจัยอื่นๆ พบว่าเม็ดแมงลักจะพองตัวได้เร็วขึ้น เมื่ออยู่ใต้น้ำที่อุณหภูมิสูง กล่าวคือ ในน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C เม็ดแมงลักใช้เวลาในการพองตัวเต็มที่ 4.30 นาที , ในน้ำที่อุณหภูมิ 25 °C เม็ดแมงลักใช้เวลาในการพองตัวเต็มที่ 8.20 นาที , ในน้ำอุณหภูมิ 10 °C เม็ดแมงลักใช้เวลาในการพองตัวเต็มที่ 26.45 นาที แต่ในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 2 °C เม็ดแมงลักจะพองตัวไม่เต็มที่ ต้องใช้เวลานานถึง 225 นาที จะพบว่าเม็ดแมงลักพองตัวได้ดีที่สุดในสภาพน้ำที่เป็นกลาง ในสภาพน้ำที่เป็นกรด เม็ดแมงลักจะพองตัวได้ช้ากว่าในสภาพน้ำที่เป็นด่าง และเมื่อนำเม็ดแมงลักมาบดเป็นผง พบว่าจะมีการพองตัวได้ดีที่ประมาณร้อยละ 129.9 ของเมล็ดปกติ แสดงให้เห็นว่าถ้าบดเม็ดแมงลักจนละเอียดทำให้เส้นใยเม็ดแมงลักแตกตัวได้ดี

2.2.8 สารเมือก (Mucilage) [8]

การแยกสารเมือก (Mucilage) ออกจากเมล็ด สารเมือกที่ได้จะมีลักษณะที่ ขาวขุ่น เหนียวข้น มีความหนืดมาก มีการไหลไม่ค่อยดีนัก เมื่อนำสารเมือกมาทำให้แห้งจะเป็นแผ่นสีขาวขุ่น เมื่อโดนน้ำจะพองตัวอีกครั้ง โดยส่วนประกอบทางเคมีของสารเมือก จะเป็น polyuronide พบในธรรมชาติในรูปเกลือ อาจเป็นเกลือ Ca, K, Mg ของ polyuronide ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลที่อยู่ในรูปกรด uronic acid เชื่อมต่อกันด้วย glycoside linkage และเป็น branched chain ส่วนของน้ำตาล อาจเป็น hexose uronic acid ที่พบมากคือ glucuronic acid และ galacturonic acid

2.2.9 คุณสมบัติของสารเมือกเมล็ดแมงลัก [9]

- ศึกษาความหนืด (viscosity)

เตรียมสารกระจายตัวของเมือกเมล็ดแมงลักที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 จากนั้นศึกษาความหนืดโดยใช้ Brookfield digital viscometer โดยใช้ลูกตุ้มเบอร์ 34 (Brookfield LV-III+, USA) รอบการหมุนที่ 150 rpm และวัดความหนืดที่อุณหภูมิ 30°C

- ศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC)

นำผงเมือกเมล็ดแมงลัก 0.015 g มากระจายตัวน้ำกลั่น 5 ml ผสมให้เข้ากันโดยใช้ magnetic stirrer เป็นเวลา 30 นาที นำสารเมือกไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 xg เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 25°C แยกสารละลายส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยง (supernatant) ออกคำนวณค่า WHC ดังสมการ

$$WHC = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

- ศึกษาการไหล (rheology)

วัดความหนืดโดยใช้ Brookfield digital viscometer ใช้ลูกตุ้มเบอร์ 34 โดยมีรอบการหมุนที่ 5-150 rpm จากนั้น ลดรอบการหมุนลงจนถึง 5 rpm วัดความหนืดที่อุณหภูมิ 30°C

2.2.10 ศึกษาความหนืดและความสามารถในการอุ้มน้ำของสารเมือกเมล็ดแมงลัก [9]

เมื่อทำการสกัดสารเมือกจากเมล็ดแมงลักโดยการสกัดด้วยน้ำและนำไปตกตะกอนด้วยเอทานอลร้อยละ 95 น้ำเมือกที่ได้เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนเมื่อนำไปอบแห้งได้แผ่นเมือกแห้งที่มีสีน้ำตาลและเมื่อนำไปย่อยขนาดได้เป็นผงที่ฟุ้งกระจาย จากการสกัดพบว่าได้ผลผลิตของสารเมือกเฉลี่ยร้อยละ 22.74 โดยคิดเป็นน้ำหนักเมือกแห้งต่อน้ำหนักของเมล็ดแห้งสารเมือก ที่กระจายตัวในน้ำความเข้มข้นร้อยละ 0.25 มีความหนืดเฉลี่ย 73.86 cP และมีความสามารถในการอุ้มน้ำเฉลี่ย 195.03 กรัมต่อผงเมือกแห้ง 1 กรัม ดังตารางที่ 2.1

2.2.11 การศึกษาการไหลของสารเมือกเมล็ดแมงลัก [9]

พบว่าสารเมือกมีการไหลแบบ pseudoplastic คือความหนืดลดลงเมื่ออัตราการเฉือนเพิ่มขึ้นและมี hysteresis area ระหว่างกราฟขาขึ้นและขาลงแสดงถึง thixotropic properties ของสารเมือก จากเมล็ดแมงลัก (ตารางที่ 2.1)

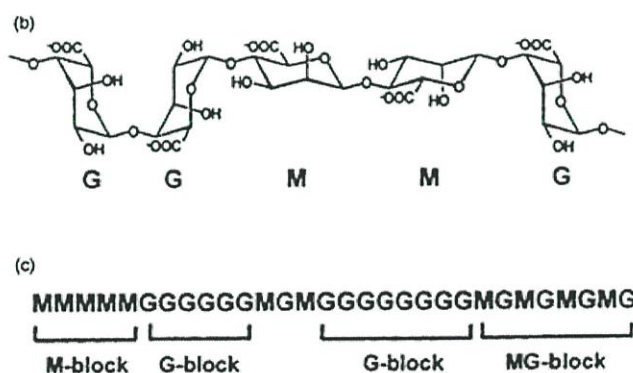
ตารางที่ 2.1 แสดงค่า yield, viscosity และ water holding capacity (WHC) ของเมล็ดแมงลัก

| Trial No. | Yield (%) | Viscosity (cP) | WHC |
|-----------|-----------|----------------|--------|
| N1 | 23.22 | 72.6 | 162.47 |
| N2 | 23.21 | 71.8 | 226.06 |
| N3 | 22.83 | 76.1 | 204.31 |
| N4 | 22.66 | 70.4 | 196.68 |
| N5 | 21.80 | 78.4 | 185.61 |

Mean±SD 22.74±0.58 73.86±3.30 195.03±23.46

2.2.12 โครงสร้างที่มีส่วนเหมือนโครงสร้างในสารเมือกแมงลัก [10]

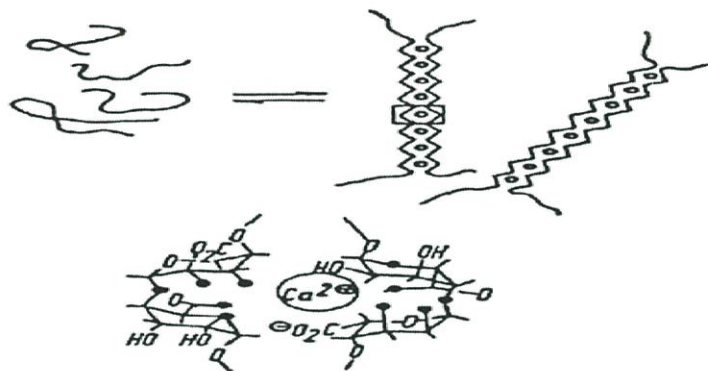
อัลจิเนต (Alginate) เป็น unbranched binary copolymer ของ 1,4- β -D-manuronic acid (M) และ L-guluronic acid (G) ในโมเลกุลประกอบด้วย homopolymeric regions ของ G และ M ที่เรียกว่า G- และ M-blocks ตามลำดับและยังมีบางส่วนของโมเลกุลเป็น MG-blocks สัดส่วนของ copolymer และโครงสร้างเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของอัลจิเนต เช่น ถ้าพอลิเมอร์มี G ในปริมาณที่สูงจะมี สมบัติเป็นเจลที่แข็งที่ความเข้มข้นของโลหะประจุบวกเฉพาะ (polyvalent metal cation) แต่ถ้าพอลิเมอร์มี M ปริมาณสูงจะมีแนวโน้มที่จะเกิดเจลที่อ่อนนุ่ม และมีสภาวะในการเกิดเจลที่กว้างกว่า



รูปที่ 2.4 โครงสร้างแบบต่างๆ ของอัลจิเนต (Alginate) [10]

โครงสร้างคล้ายกันนี้พบในวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลที่รู้จักกันดีว่า Sodium alginate กรด Alginic เป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์ Phaeophyceae ซึ่งจะจับไอออนบวกที่มีอยู่ในน้ำทะเลเช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ กลายเป็นเจลไม่ละลายน้ำ กรด Alginic จัดเป็นกรด Uronic ประเภทหนึ่งประกอบด้วย

Polyguluronic acid และ Polymannuronic acid โครงสร้างทางเคมีของเจล ไม่ละลายน้ำเกิดจากกรดพอลิยูรอนิกเหล่านี้เกิดแรงกระทำระหว่างไอออนแคลเซียม (Ca^{2+}) กับหมู่ COO^- และหมู่ $-\text{OH}$ เกิดโครงสร้างที่เรียกว่า "Egg box" ดังรูปซึ่งเป็นโครงสร้างที่เหมือนกับโครงสร้างในสารเมือกกุ้งแมงลัก เพียงแต่ต่างกันที่ชนิดของน้ำตาล

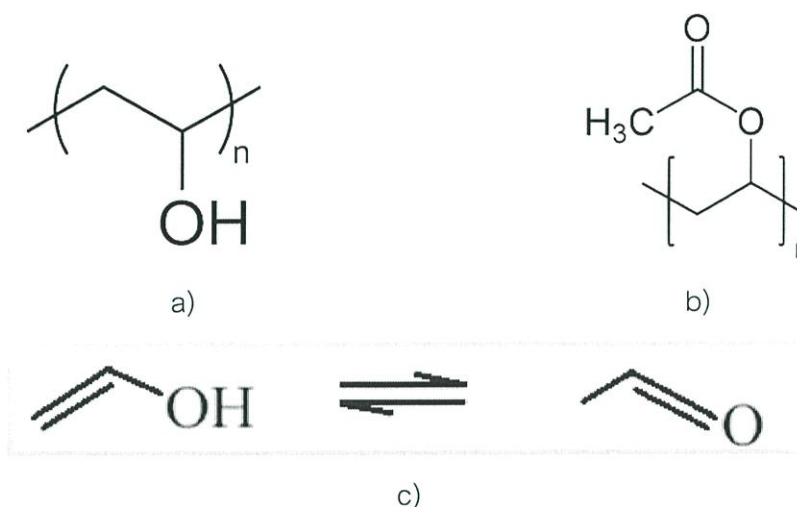


รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดเจลของ Calcium alginate (Egg-box model) [10]

2.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) [11]

เป็นพอลิเมอร์มีโครงสร้างที่ค่อนข้างพื้นฐานโดยมีกิ่งเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) มอนอเมอร์คือไวนิลแอลกอฮอล์แต่เป็นโครงสร้างที่ไม่เสถียรซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็น Tautomeric form คืออะซีทัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) ดังนั้นแล้วพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จึงถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ของไวนิลอะซิเตท (Vinyl acetate) เป็นพอลิไวนิลอะซิเตท (Polyvinyl acetate, PVAc) ตามด้วยการไฮโดรไลซิสจาก PVAc ไปเป็น PVA

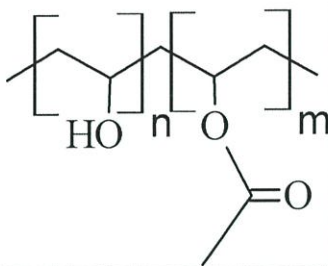
PVA มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีจุดหลอมเหลวที่ 200 องศาเซลเซียสความหนาแน่นอยู่ในช่วงระหว่าง $1.19\text{-}1.31 \text{ g/cm}^3$



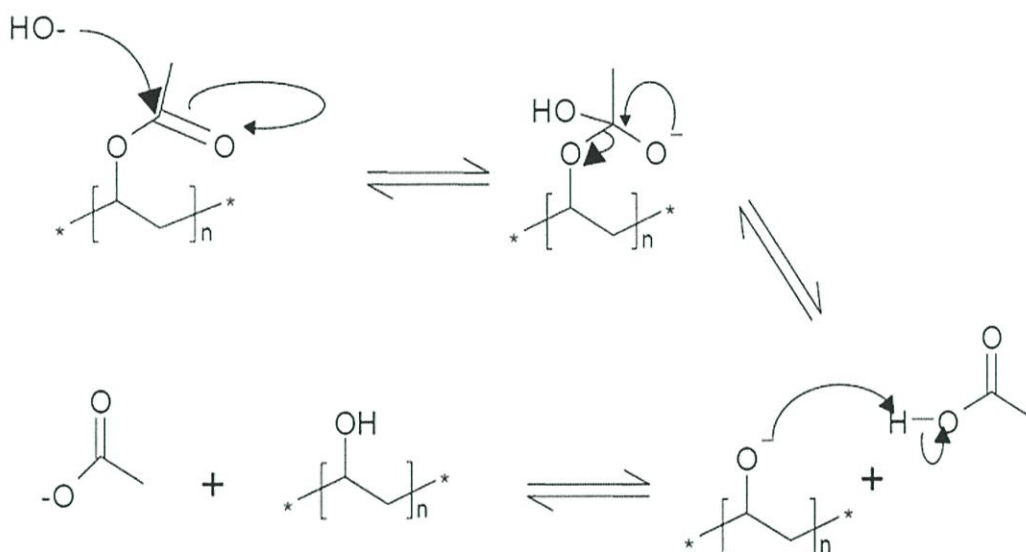
รูปที่ 2.6 a) โครงสร้างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ b) โครงสร้างพอลิไวนิลอะซิเตท c) โครงสร้างทวิโทเมอร์ริกของไวนิลแอลกอฮอล์ [11]

2.3.1 การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [11]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดได้จากการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระของไวนิลแอลกอฮอล์แต่เนื่องจากมีปัญหาตามที่กล่าวไปข้างต้น จึงต้องใช้ไวนิลอะซิเตทในการสังเคราะห์แทน และทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสภายหลังเพื่อเปลี่ยนหมู่คาร์บอนิลให้เป็นหมู่ไฮดรอกซิล กระบวนการไฮโดรไลซิสนั้นไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ทำให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ร่วม (copolymer) ระหว่าง PVA และ PVAc เสมอ ใน PVA เกรดการค้าจะมีระดับการย่อยสลาย (degree of hydrolysis, %DH) สูง (มากกว่า 98.5%) %DH หรือสัดส่วนของหมู่อะซิเตทในพอลิเมอร์มีผลต่อสมบัติเชิงกล, สมบัติทางเคมี, การละลายและความเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สมบัติการละลายน้ำของ PVA ที่มี %DH สูงการละลายน้ำจะต่ำ ซึ่งมาจากหมู่อะซิเตทที่ไม่ชอบน้ำเหลืออยู่ในโครงสร้างไปรบกวนการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลและภายในโมเลกุลของหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ติดกัน แต่ถ้าอุณหภูมิสูงมากกว่า 70 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ไม่เกิดการละลายน้ำ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างพอลิเมอร์ร่วมระหว่าง PVA กับ PVAc [11]



รูปที่ 2.8 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของ PVAc [11]

2.3.2 การย่อยสลายของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [11]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีโครงสร้างของสายโซ่หลักเป็นอะลิฟาติก (aliphatic backbone) ทำให้เกิดการสลายตัวได้ช้า เนื่องจากพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมกับอีกคาร์บอนอะตอม (C-C bonds) ต้องใช้พลังงานสูงในการทำลายพันธะ การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นเกิดขึ้นได้ยาก จึงต้องมีการเพิ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ได้เกิดขึ้นในธรรมชาติเข้าไป โดยไปทำให้พันธะของสายโซ่หลักอ่อนแอลง ส่งผลให้เวลาในการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นสั้นลง

2.3.3 การใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [11]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายอุตสาหกรรมเคลือบสี, ใช้โดยทั่วไปในการเคลือบเส้นใยและสิ่งทอ, เคลือบผิวยาเมื่อดูที่โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แล้วเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในทางการแพทย์ จากโครงสร้างที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ทำให้ละลายได้ดีในน้ำและปลอดภัยเมื่ออยู่ในร่างกายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จึงถูกอนุญาตให้ใช้ได้ในการอาหารและยา

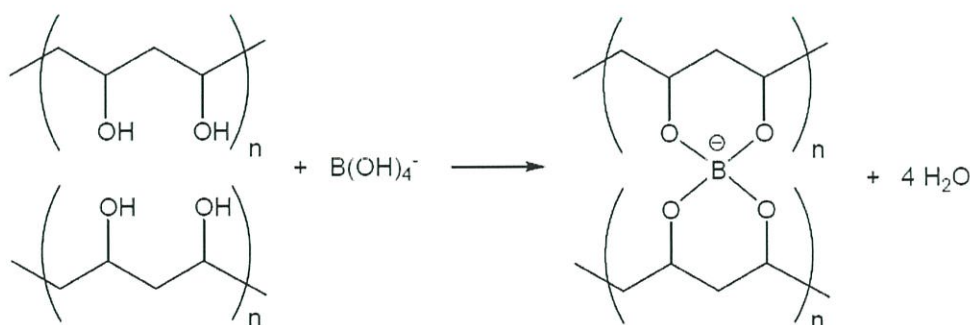
2.4 กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3) [12]

โบรอนถือเป็นธาตุอาหารจำเป็นต่อพืชและกับมนุษย์ด้วย โบรอนในอาหารโดยทั่วไปมากที่สุดมาจากกรดบอริก เช่น ผลไม้, ผัก, ธัญพืช และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในถั่วกรดบอริกเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติทั้งในน้ำและดิน ในความจริงแล้วคนทั่วไปควรได้รับโบรอน 1-3 มิลลิกรัมต่อวัน

กรดบอริกเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น และมีรสขมเล็กน้อย ลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวคล้ายเกลือหรือแป้งเด็กมีจุดเดือดที่ 300 องศาเซลเซียสและจุดหลอมเหลวที่ 169 องศาเซลเซียสความหนาแน่น 1.435 g/cm^3

2.4.1 การเกิดพันธะเชื่อมโยงของกรดบอริก [12]

กรดบอริกเมื่ออยู่ในน้ำจะเปลี่ยนเป็น $B(OH)_4^-$ เข้าไปทำปฏิกิริยาบนโครงสร้างที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เช่น PVA เกิดเป็นโครงสร้างดังรูป



รูปที่ 2.10 การเชื่อมโยงด้วยกรดบอริก [11]

2.4.2 การนำกรดบอริกไปใช้ประโยชน์ [13]

ยาและเครื่องสำอาง กรดบอริกเป็นยาฆ่าเชื้อที่ไม่รุนแรงเช่นเดียวกับกรดอ่อน ทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิวภายนอกของร่างกาย เป็นที่นิยมใช้กันในน้ำยาล้างคอนแทคเลนส์, น้ำยาหยอดตา, แป้งเด็กและผลิตภัณฑ์ใช้ภายนอกอื่นๆ

อาหารเสริม กรดบอริกและสารบอเรตอื่นๆ ถูกใช้เพิ่มมากขึ้นในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารซึ่งเป็นแหล่งของธาตุโบรอน โดยที่โบรอนมีประสิทธิภาพในการเสริมสร้างกระดูกและข้อต่อ ข้อสำคัญคือผลต่อสุขภาพของกรดบอริกและสารบอเรตในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารนั้น

สารหน่วงการติดไฟ กรดบอริกยับยั้งการปลดปล่อยแก๊สติดไฟจากการเผาเซลล์ลูลอส เช่น ฝ้าย, ไม้ และผลิตภัณฑ์กระดาษ ทั้งยังปลดปล่อยสารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ทำให้การเผาไหม้ช้าลงยิ่งขึ้น ผลิตภัณฑ์ทั่วไปที่มีการใส่กรดบอริกเพื่อเป็นสารหน่วงการติดไฟ ได้แก่ พลาสติก, สิ่งทอ, สารเคลือบชนิดพิเศษและผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม

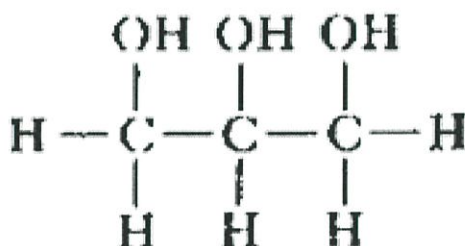
แก้วและเส้นใยแก้ว กรดบอริกช่วยเพิ่มความคงทนต่อสารเคมีและอุณหภูมิของแก้ว และยังช่วยในกระบวนการผลิตเส้นใยของเส้นใยแก้วที่ใช้ในฉนวนใยแก้วเช่นเดียวกับแผ่นใยแก้วเสริมแรง

ยาป้องกันรักษาเนื้อไม้และการควบคุมศัตรูพืช กรดบอริกเป็นแหล่งทั่วไปของสารประกอบโบรอน เมื่อถูกใช้ในสูตรของผลิตภัณฑ์ควบคุมเชื้อราและศัตรูพืช สารประกอบโบรอนช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นการป้องกันรักษาเนื้อไม้ได้จริง ในทำนองเดียวกันกรดบอริกยังใช้ในสระว่ายน้ำและสปาที่มีความปลอดภัยแทนการใช้คลอรีน กรดบอริกเป็นสารธรรมชาติที่มีความนิยมเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ป้องกันแมลง ไม่เหมือนยาฆ่าแมลง กรดบอริกไม่ได้ฆ่าแมลงจากการสัมผัสกับสารเคมีที่มีพิษ แต่ทำหน้าที่เป็นสารดูความชื้นทำให้เกิดเป็นรอยแยกหรือรอยแตกเล็กๆ บนตัวแมลงจนแมลงแห้งตายไปเองและความเป็นเกลือของกรดบอริกยังไปรบกวนการเผาผลาญพลังงานของแมลงอีกด้วย

การใช้งานอื่นๆ กรดบอริกถูกใช้โดยทั่วไปในกระบวนการชุบแข็งโลหะและรักษาโลหะผสมรวมถึงการชุบโลหะ ใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกและภาชนะเคลือบ, กาว, สารหล่อลื่นและในของใช้ทั่วไปจนไปถึงผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2.5 กลีเซอรอล (glycerol) [14]

กลีเซอรอลหรือกลีเซอริน คือแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีคาร์บอน 3 ตัวต่อกันและมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ต่อกับคาร์บอนทั้ง 3 ตัว กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นของเหลว หนืดใส ไม่มีกลิ่น มีรสหวาน กลีเซอรอลมีจุดเดือดที่ 290 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่ 18 องศาเซลเซียส ละลายน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี แต่ไม่ละลายในอีเทอร์ เบนซินหรือน้ำมัน



รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของกลีเซอรอล [15]

2.5.1 แหล่งที่มาของกลีเซอรอล [14]

กลีเซอรอลสามารถถูกสังเคราะห์ได้ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตจากน้ำตาลกลูโคส โดยกลูโคสจะสลายตัวในวิถีไกลโคไลซิสและถูกใช้เป็นตัวกลางในการสังเคราะห์กลีเซอรอล ร่างกายจะนำกลีเซอรอลที่สังเคราะห์ได้ไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้เป็นไตรกลีเซอไรด์ซึ่งใช้เป็นพลังงานสำรองของร่างกาย ในระบบอุตสาหกรรม กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จาก 3 กระบวนการหลักคือ การผลิตสบู่ การผลิตกรดไขมัน และการผลิตอัลคิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล ในการผลิตไบโอดีเซลจะมีกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ประมาณ 10% ซึ่งเมื่อนำมาล้างแยกเมทานอลออกไปแล้วจะได้กลีเซอรอลที่มีระดับความบริสุทธิ์ต่างกันออกไป เช่น กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์ 82-85% จะเป็นเกรดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ขณะที่กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.7% จะนำมาผลิตเครื่องสำอาง รวมทั้งผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน

2.5.2 การผลิตกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล [14]

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบัน เกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันและไขมัน รวมไปถึงน้ำมันที่ผ่านการใช้งานหรือน้ำมันเหลือทิ้งในครัวเรือนจะได้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมด้วยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตทั้งหมด กลีเซอรอลที่ได้มีสิ่งต่างๆเจือปนอยู่ด้วยมีลักษณะเป็นสี

น้ำตาลเข้มข้นมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูงเมื่อเปรียบเทียบกับกลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอล จะขึ้นอยู่กับความสะอาดของวัตถุดิบที่ใช้กระบวนการที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล กระบวนการแยกระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอรอลและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โดยในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลส่วนใหญ่ มักจะใช้ตัวเร่งที่เป็นเฟสเดียวกับสารตั้งต้น (homogeneous catalyst) และมีคุณสมบัติเป็นต่าง เนื่องจากให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่สูงและใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้ในส่วนของกลีเซอรอลที่แยกออก

2.5.3 การใช้ประโยชน์จากกลีเซอรอล [14]

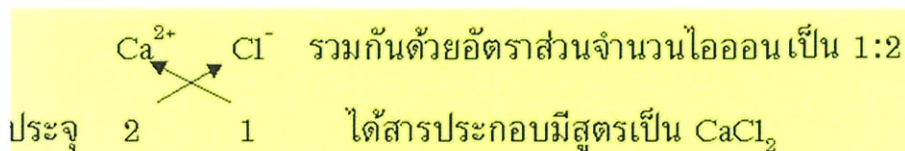
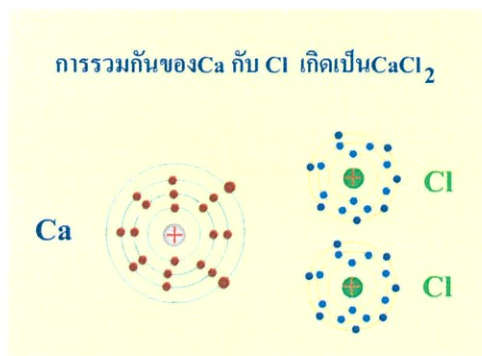
กลีเซอรอลถูกใช้งานอย่างกว้างขวางโดยใช้เป็นสารละลาย สารเพิ่มความหวาน (sweetener), ใช้ผลิตเครื่องสำอาง (cosmetics and personal care products), สบู่เหลว (liquid soaps), ลูกอม (candy), สุรา (liqueurs), หมึก (inks), สารหล่อลื่น (lubricants), สารป้องกันการแข็งตัว (antifreeze mixtures), เป็นส่วนผสมอาหาร (Food and beverage ingredients), อาหารสัตว์ (Animal feed), สารปฏิชีวนะ (Antibiotics), ยา (Pharmaceuticals), สารให้ความชุ่มชื้น (moisturizers), น้ำมันไฮดรอลิกส์ (Hydraulic fluids), สารตั้งต้นทางปิโตรเคมีต่างๆ (Polyether polyols, propylene glycol, epichlorohydrin) และอื่นๆ

ในขณะที่กลีเซอรอลบริสุทธิ์ (99.5%) จะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทั้งในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเคมี และอุตสาหกรรมอาหาร กลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์ต่ำทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงและมีราคาค่อนข้างต่ำ หลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ และการนำกลีเซอรอลดิบไปแปลงเป็นวัตถุดิบอื่นที่มีประโยชน์ ซึ่งเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรอลดิบ โดยปกติกลีเซอรอลบริสุทธิ์ (99.5%) จะถูกใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง เนื่องจากกลีเซอรอลมีจุดเดือดสูงถึง 290 องศาเซลเซียส การแยกกลีเซอรอลเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ตามต้องการโดยการกลั่นที่อุณหภูมิสูงจะทำให้กลีเซอรอลเกิดการสลายตัวไปเป็นสารชนิดอื่น ดังนั้นเพื่อให้กลีเซอรอลที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงและไม่เกิดการสลายตัว จึงจำเป็นต้องทำการแยกกลีเซอรอลออกจากสารเจือปนอื่นๆ ด้วยวิธีการกลั่นแบบสุญญากาศ โดยก่อนทำการกลั่นแยกแบบสุญญากาศเมทานอลในกลีเซอรอลดิบจะถูกชะล้างเพื่อนำกลับไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอีกครั้ง เช่นเดียวกันกับตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกชะล้างด้วยกรดเกิดเป็นเกลือและถูกกำจัดออกจากกลีเซอรอลดิบ โดยวิธีแยกด้วยแรงโน้มถ่วงเช่นการกรองหรือการใช้เครื่องเหวี่ยงแยก

ในปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ได้ทำการศึกษาคำการนำกลีเซอรอลดิบไปแปรรูปเป็นสารอื่นที่มีมูลค่าเพิ่ม เช่นนำไปใช้ในกระบวนการผลิตสาร 1,3-Propanediol ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติโดยผ่านวิธีการหมักโดยใช้แบคทีเรีย นอกจากนี้ยังมีการนำกลีเซอรอลดิบไปใช้ในกระบวนการผลิตสาร Docosahexenoic acid (DHA) หรือ Omega-3 ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ ช่วยต่อต้านโรคมะเร็ง การนำกลีเซอรอลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงก็เป็นวิธีการหนึ่งที่นำกลีเซอรอลไปใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตามกลีเซอรอลที่นำไปเผาไหม้ให้ความร้อนโดยตรงนั้นจะสลายตัวได้สารพิษขึ้นมาชนิดหนึ่ง ได้แก่ อะโครลีน (Acrolein) ซึ่งมีพิษอย่างมากต่อร่างกายมนุษย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบการเผาไหม้ให้ดี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสารพิษกระจายสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาพบว่า กลีเซอรอลเป็นสารตั้งต้นที่มีประสิทธิภาพชนิดหนึ่งในการนำไปใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

2.6 แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) [10]

เป็นสารประกอบคลอไรด์ มีพันธะไอออนิกในการยึดเกาะกันสารประกอบแคลเซียมคลอไรด์นั้นมีจุดหลอมเหลวที่ 782 องศาเซลเซียส อยู่ในสถานะของแข็งที่ 25 องศาเซลเซียส สารละลายมีความเป็นกลาง มีการใช้งานสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในชีวิตประจำวันคือ ใช้ในเครื่องทำความเย็นในอุตสาหกรรมห้องเย็น ใช้ทำฝันทึบ



รูปที่ 2.12 แสดงการรวมตัวของ Ca^{2+} กับ Cl^- เกิดเป็น CaCl_2 [10]

2.7 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นฤมล และคณะ (2543) [16] ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยเติมพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และซิลค์โปรตีน (silk protein) แล้วทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงโดยกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde) พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดพันธะเชื่อมโยงคือ 20 นาที เพื่อให้ได้สมบัติการดูดซับน้ำที่ดีที่สุด และไม่ควรมากกว่า 40 นาที ความสามารถในการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl), โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI), แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl₂) และ แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ของแผ่นฟิล์มที่มีและไม่มีพันธะเชื่อมโยงขึ้นกับความเข้มข้นพบว่า ความเข้มข้นต่ำได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นสูง ความสามารถในการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ของฟิล์มที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยงที่ pH 9 สามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าที่ pH 4

ณรงค์ และคณะ (2524) [17] ได้ศึกษาหากรรมวิธีในการแยกสารเมือก (mucilage) ออกจากเมล็ดแมงลัก (*Ocimum canum Sims.*) โดยการปั่นแยก กับ แยกโดยการต้มเมล็ดซึ่งพองตัวในน้ำภายใต้ความดัน ทั้งยังศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสารเมือก ได้แก่ Moisture content, Moisture adsorption, Compressibility ผลของ pH ต่อการพองตัวของสารเมือก ความหนืด และคุณสมบัติการไหลของสารเมือก เพื่อเป็นแนวทางในการนำเสนอ ในการนำเอาสารเมือกนั้นไปใช้ประโยชน์

ผ่องชีเยาะ ชาเดร์ และคณะ (2542) [18] ได้ศึกษาการเตรียมยาระบายเพิ่มกากชนิดแคปซูลจากสารเมือกของเมล็ดแมงลักสารเมือกที่แยกได้จากเมล็ดแมงลักนำมาทำให้แห้งโดยวิธีไลโอฟิลไลซ์นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นนุ่ม สีขาวไปบดเป็นผงละเอียดและผ่านร่อนเบอร์ 60 การเติมแลคโตส 5% w/v ก่อนการทำสารเมือกให้แห้งจะทำให้สารเมือกแห้งที่ได้ ง่ายต่อการบดเป็นผงและบรรจุแคปซูลมากยิ่งขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพบางประการของผงสารเมือกแห้งพบว่าปัจจัยการพองตัวของสารเมือกที่ไม่ได้ผสมแลคโตส และสารเมือกที่ผสมแลค-โตส 5% w/v มีค่าเท่ากับ 198 และ 100

ธีระพล และคณะ (2544) [19] ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างสารเมือก (Mucilage) ที่ได้จากการพองตัวของเมล็ดแมงลัก (*Ocimumcanum Sims.*) กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA 3% w/w) ศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาในการปรับสภาพทางความร้อนที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ทำการเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำ (Water uptake) และสมบัติเชิงกลของของฟิล์มที่ได้จาก PVA อย่างเดียวที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2.5, 5 และ 10 นาที ตามลำดับกับฟิล์มผสมระหว่างสารเมือกและ PVA ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร และในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร

โดยผ่านการปรับสภาพเช่นเดียวกับฟิล์มที่ได้จาก PVA อย่างเดียว ศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มทั้ง 3 สูตร โดยใช้เทคนิค TGA และ DSC ในการตรวจสอบ จากการทดลองพบว่า สมบัติทางความร้อน ของฟิล์มผสมในอัตราส่วน 2:1 ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนเป็นเวลา 2.5 นาที ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด โดยจะให้ค่าการดูดซับน้ำ 605.34% ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) 584 MPa และค่าความสามารถในการยืด (% Elongation at break)

วิชญ์ แทนบุญช่วย และ สมใจ ขจรชีพพันธังาม (2550) [20] ศึกษาผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต และแรงดึงฟิล์ม (Drawing ratio) ขณะขึ้นรูป โดยพอลิเมอร์ที่ใช้คือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene) LDPE ผลจากการทดลองพบว่า การเพิ่มสัดส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีผลทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นแต่จะไปลดสมบัติความทนแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว (Elongation) ของแผ่นฟิล์ม และการเพิ่มขึ้นของขนาดแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปจะทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มมากขึ้น สำหรับแผ่นฟิล์มที่มีส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากัน พบว่าการเพิ่มขนาดของแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปจะทำให้ฟิล์มมีสมบัติความทนแรงดึงเพิ่มมากขึ้น

Kimb, J.O., Park, J.K., Kimb, J.H. (2551) [21] ไฮโดรเจลมีคุณสมบัติพิเศษในการดูดซึมน้ำได้ดี จึงเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในผ้าปิดแผล เตรียมได้จากการนำพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ โซเดียมอัลจิเนต มาผ่านกระบวนการวัลจิกรการทำให้แข็งและละลาย โดยนำพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ โซเดียมอัลจิเนตและไนโตรฟูโรซานที่เตรียมในน้ำกลั่นในอัตราส่วนต่างๆ จากนั้นนำไปกวนให้เข้ากันแล้วเทในจานแก้ว แล้วทำให้แข็งที่อุณหภูมิ -20°C แล้วให้กลับสู่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชม. จากนั้นทำการทดสอบหาค่าต่างๆ เช่น อัตราการบวมตัว TGA การดูดซึมน้ำโปรตีนบนผิวหน้าของไฮโดรเจล เป็นต้น นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับผ้าปิดแผล

B. Anroop, S.P. Bhatnagar, B. Ghosh และ V. Parcha (2548) [22] ศึกษาสมบัติแขวนลอยของสารเมือกจากเม็ดแมงลักสารเมือกสกัดจากเม็ดแมงลักนำมาศึกษาความเป็นพิษเตรียมสารแขวนลอยของ Zinc oxide โดยผสมกับสารเมือกจากแมงลัก Tragacanth และโซเดียมคาร์บอเนตซี-เมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นต่างๆพบว่าสารเมือกจากแมงลักทำหน้าที่เป็นสารแขวนลอยดีกว่าสารอีกสองชนิดและไม่มีพิษ ดังนั้น สารสกัดจากแมงลักสามารถนำมาใช้ทางเภสัชวิทยาโดยใช้เป็นสารแขวนลอยได้

Matsuda, A., Gong, J.P., Osada, Y. (2541) [23] อิทธิพลของน้ำและการเชื่อมโยงในการจัดสร้างโครงสร้างในไฮโดรเจล ศึกษาการบวมน้ำและองศาการบวมตัว ของไฮโดรเจล เตรียมโดยโคพอลิเมอร์ของอะคริลิกแอซิด และ อะคริลิกมอนอเมอร์ เป็น hydrophobic เป็นหมู่อัลคิลสายโซ่ยาว คือ n-stearyl, n-stearyl, hexadecyl acrylate และ 16-acryloyl hexadecanoic acid ศึกษาโดยเครื่อง XRD และ DSC อิทธิพลของน้ำและการเชื่อมโยงให้ข้อมูลโดยอธิบายเรื่องโครงสร้างได้โดย การเพิ่มขึ้นของน้ำที่เหมาะสมจะเพิ่มความเป็นผลึก พอสันนิษฐานได้ว่าเกี่ยวเนื่องกับการเพิ่มของ hydrophobic ระหว่างสายโซ่อัลคิลด้วย ยังพบว่าการเชื่อมโยงหยุดยั้งการสร้างโครงสร้างภายในไฮโดรเจล และค่าความหนาแน่นการเชื่อมโยงเป็นผลอย่างมากกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น 810 บริษัท Jasco จำกัด
2. เครื่องชั่ง Denver Instrument Company รุ่น TR-6101
3. เครื่องวัดความหนา (Micrometer) รุ่น IP 54 0-25 mm : Mitutoyo
4. เตาอบ High Performance Lab Oven
5. เครื่องปั่น mulenex
6. เครื่องให้ความร้อน Hot plate
7. เดซิเคเตอร์สูญญากาศ
8. ปีกเกอร์ ขนาด 25, 50, 250 และ 600 มิลลิลิตร
9. กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
10. ถาดอะลูมิเนียม
11. นาฬิกาจับเวลา
12. แท่งแก้วคน
13. ผ้าขาวบาง
14. ซ้อนตักสารเคมี

3.1.2 สารเคมี

1. เม็ดแมงลัก (*Ocimumcanum Sims*) บริษัทไร่ทิพย์ จำกัด
2. น้ำกลั่น
3. สารกลีเซอรอล (Glycerol) 99.5% บริษัท Univar B/No. AH501173
4. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 2% w/w เตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ บริษัท SIGMA P1763-2509 Fully hydrolysed มวลโมเลกุล 17,000
5. สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว (Sodium chloride)
6. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 5% w/w (Calcium chloride)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมสารละลาย

ลำดับการเตรียมผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

ชั่งเม็ดแมงลัก 40 กรัม แช่ในน้ำกลั่นร้อน 1800 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ใส่เม็ดแมงลักที่บวมน้ำแล้วในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร



ปั่นกรนด้วยเครื่องปั่นเพื่อแยกสารเมือกออกจากเม็ดแมงลัก เป็นเวลา 30 วินาที



แยกสารละลายเมือกออกจากเม็ดแมงลักด้วยการคั้นออกจากผ้าขาว



นำเมือกจากเม็ดแมงลัก มาเทใส่ถาดอะลูมิเนียมซึ่งรองพื้นถาดด้วยฟิล์มพลาสติก

เกลี่ยให้เรียบและบางพอควร พยายามอย่าให้มีฟองอากาศ



นำไปอบที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จนกว่าจะแห้ง



ลอกแผ่นเม็ดแมงลักที่อบแห้งแล้วออกจากถาดอะลูมิเนียม นำไปบดให้ละเอียด

3.2.2 การเตรียมแผ่นฟิล์ม

ตอนที่ 1 เตรียมฟิล์มแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีบอริกปริมาณต่าง ๆ

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณ H_3BO_3 ที่ใช้เตรียมฟิล์ม

| | H_3BO_3 (กรัม) | | | | |
|--------------|------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 0.0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 |
| ผงแมงลัก (M) | 0.0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 |
| 2% PVA (P) | 0.0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 |

3.2.2.1 ลำดับการเตรียมฟิล์มแมงลักและฟิล์ม PVA ผสม H_3BO_3

ชั่งผงสารเมือกจากเม็ดแมงลักจำนวน 3 กรัม* เทใส่บีกเกอร์ที่ใส่น้ำกลั่นร้อน 150 มิลลิลิตร

ให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส จนเกิดเจล



แล้วเติมกลีเซอรอล 0.9 กรัม (30% ของแมงลัก)



เติม H_3BO_3 ตามตารางที่ 3.1 ผสมกวนให้เข้ากัน 30 นาที เติลงแม่พิมพ์พลาสติก



อบแห้งที่ 60-70 องศาเซลเซียส

* เปลี่ยนผงแมงลักเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณ PVA ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มผสม

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนต่างๆ ของผงแมงลักและ PVA

| แมงลัก (กรัม) | 2% PVA (กรัม) | H ₃ BO ₃ (กรัม) | | | | |
|---------------|---------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | 0.0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 |
| 3 | 3 | 0.0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 |
| 3 | 6 | 0.0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 |
| 6 | 3 | 0.0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 |

3.2.2.2 ลำดับการเตรียมฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีบอริกปริมาณต่างๆ

ชั่งผงสารเมื่อกจากเม็ดแมงลักจำนวน 3 กรัม เทใส่บีกเกอร์ที่ใส่น้ำกลั่นร้อน 150 มิลลิลิตร

ให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส จนเกิดเจล



แล้วเติมกลีเซอรอล 0.9 กรัม (30% ของแมงลัก)



เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ตามตารางที่ 3.2



เติม H₃BO₃ ตามตารางที่ 2 ผสมกวนให้เข้ากัน 30 นาที เติลงแม่พิมพ์พลาสติก



อบแห้งที่ 60-70 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 3 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ 5% (w/v) ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มแมงลัก

ชั่งผงสารเมื่อกจากเม็ดแมงลักจำนวน 3 กรัม เทใส่บีกเกอร์ที่ใส่น้ำกลั่นร้อน 150 มิลลิลิตร

ให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส จนเกิดเจล



แล้วเติมกลีเซอรอล 0.9 กรัม (30% ของแมงลัก)



เติมแคลเซียมคลอไรด์ 5% (w/v) 5 มิลลิลิตร



เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ตามตารางที่ 3.2



เติม H_3BO_3 ตามตารางที่ 2 ผสมกวนให้เข้ากัน 30 นาที เทลงแม่พิมพ์พลาสติก



อบแห้งที่ 60-70 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 4 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มแมงลัก

3.2.4.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

1. นำฟิล์มแมงลักและฟิล์มผสม PVA มาบดให้เป็นผง ผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) และอัดเป็นแผ่นฟิล์ม
2. นำแผ่นฟิล์มตัวอย่างวางลงบนช่องใส่ตัวอย่าง
3. ทำการวัดโดยสแกน 6 รอบ ที่เลขคลื่นระหว่าง $400-4000\text{ cm}^{-1}$

3.2.4.2 สมบัติเชิงกล

การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Tests) (ASTM D882) ด้วยเครื่อง Universal Testing

1. ตัดฟิล์มแมงลักผสม PVA ก่อนและหลังการวางในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ให้มีขนาด 2.5x10 ซม. ทุกสูตร จำนวน 10 ชิ้น
2. นำตัวอย่างจำนวน 1 ตัวอย่างมายึดติดกับที่จับ (Grip) ทั้งสองข้างโดยใช้ความยาวเกต (Gauge length) 15 มิลลิเมตร อัตราเร็วที่ใช้ในการดึง 7.5 mm/min และ Load cell 10 N
3. วัดค่า ความแข็งแรงดึง การดึงยืด ณ จุดขาด

3.2.4.3 สมบัติทางกายภาพ

การดูดซับน้ำ (Water uptake)

1. ตัดฟิล์มแมงลักก่อน และหลังการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ขนาด 1x1 นิ้วซึ่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. แช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ควรชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง)
3. นำขึ้นมาชั่งน้ำหนักส่วนเกิน ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

$$\% \text{ การดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของฟิล์มแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักของฟิล์มแห้งก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักของฟิล์มแห้งก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

3.2.4.4 สมบัติทางความร้อน

เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA)

1. นำฟิล์มแมงลักผสม PVA มาตัดเป็นชิ้นเล็ก
2. ปรับค่า Heating rate 20°C/min ช่วงอุณหภูมิ 50-500 °C ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน

3.2.4.5 ตรวจวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์ม

เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

1. ตัดฟิล์มตัวอย่างวางในเครื่อง
2. ทำการสแกนตั้งแต่ $2\theta = 0^\circ - 50^\circ$

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเปรียบเทียบสมบัติของฟิล์มแมงลัก ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนต่างๆ ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง และฟิล์มผสมปรับปรุงด้วยแคลเซียมคลอไรด์ โดยสมบัติต่างๆ ที่ทดสอบ ได้แก่ การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มผสม เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ จึงมีการกำหนดสัญลักษณ์ ดังนี้

| | |
|---------|--|
| (M) | ฟิล์มแมงลัก |
| (P) | ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ |
| (1M1P) | ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก |
| (1M2P) | ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก |
| (2M1P) | ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก |
| (C1M2P) | ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ |
| (C2M1P) | ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ |

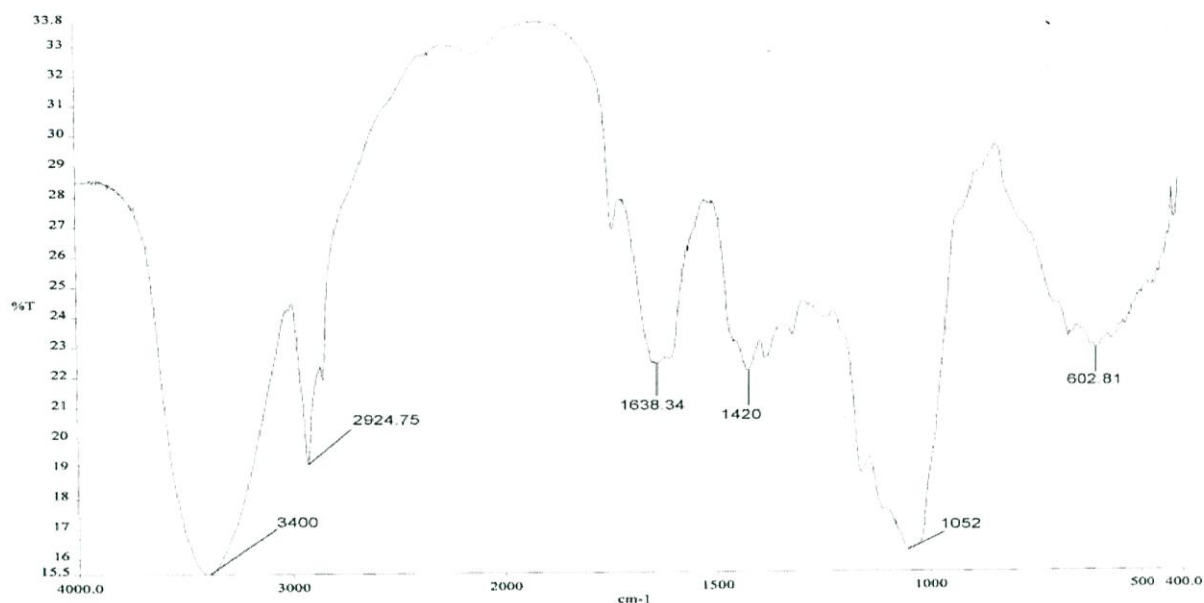
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณอัตราส่วนต่างๆ ของฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในน้ำกั้น 150 มิลลิเมตร

| ชื่อสูตร | ปริมาณแมงลัก (กรัม) | ปริมาณ 2% PVA (กรัม) | ปริมาณกรีเซอรอล (กรัม) | ปริมาณบอริก (กรัม) | ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ (มิลลิเมตร) |
|-----------|---------------------|----------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 1M1P | 3 | 3 | 0.9 | - | - |
| 1M1P 0.3 | 3 | 3 | 0.9 | 0.3 | - |
| 1M1P 0.6 | 3 | 3 | 0.9 | 0.6 | - |
| 1M1P 0.9 | 3 | 3 | 0.9 | 0.9 | - |
| 1M1P 1.2 | 3 | 3 | 0.9 | 1.2 | - |
| 1M2P | 3 | 6 | 0.9 | - | - |
| 1M2P 0.3 | 3 | 6 | 0.9 | 0.3 | - |
| 1M2P 0.6 | 3 | 6 | 0.9 | 0.6 | - |
| 1M2P 0.9 | 3 | 6 | 0.9 | 0.9 | - |
| 1M2P 1.2 | 3 | 6 | 0.9 | 1.2 | - |
| 2M1P | 6 | 3 | 1.8 | - | - |
| 2M1P 0.3 | 6 | 3 | 1.8 | 0.3 | - |
| 2M1P 0.6 | 6 | 3 | 1.8 | 0.6 | - |
| 2M1P 0.9 | 6 | 3 | 1.8 | 0.9 | - |
| 2M1P 1.2 | 6 | 3 | 1.8 | 1.2 | - |
| C1M2P 0.3 | 3 | 6 | 0.9 | 0.3 | 5 |
| C1M2P 0.9 | 3 | 6 | 0.9 | 0.9 | 5 |
| C2M1P 0.3 | 6 | 3 | 1.8 | 0.3 | 5 |
| C2M1P 0.9 | 6 | 3 | 1.8 | 0.9 | 5 |

หมายเหตุ ใช้ปริมาณกรีเซอรอล 30% ของน้ำหนักผงแมงลัก

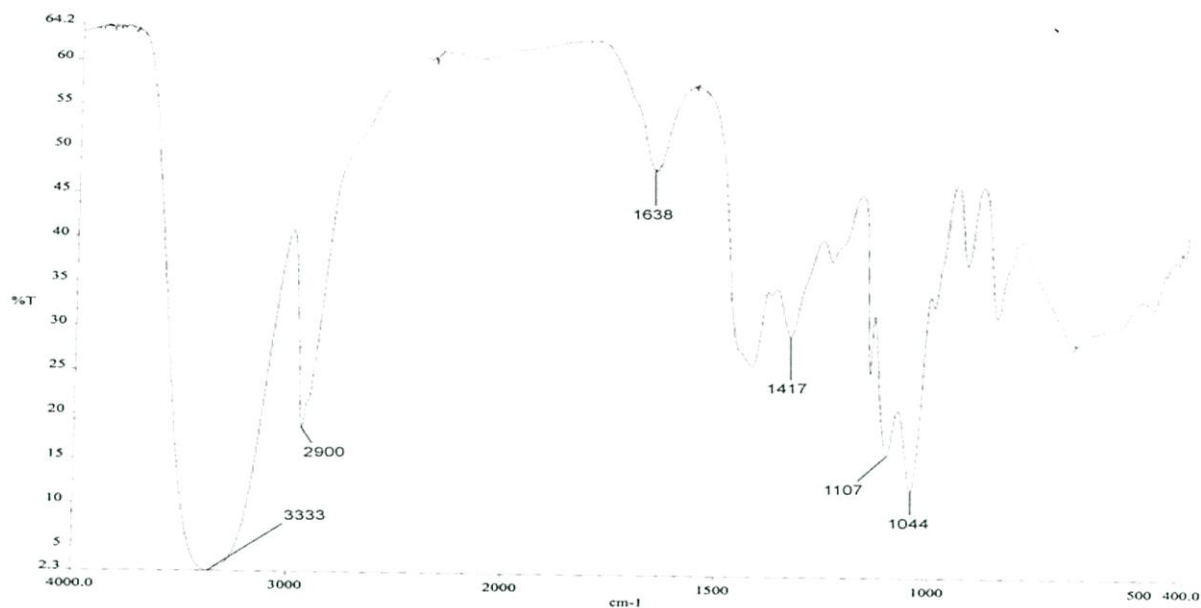
ตอนที่ 1 ศึกษาผลของอัตราส่วนของฟิล์มผสมและปริมาณของสารเชื่อมโยงบอริก

4.1.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน (Infrared absorption spectroscopy (IR))



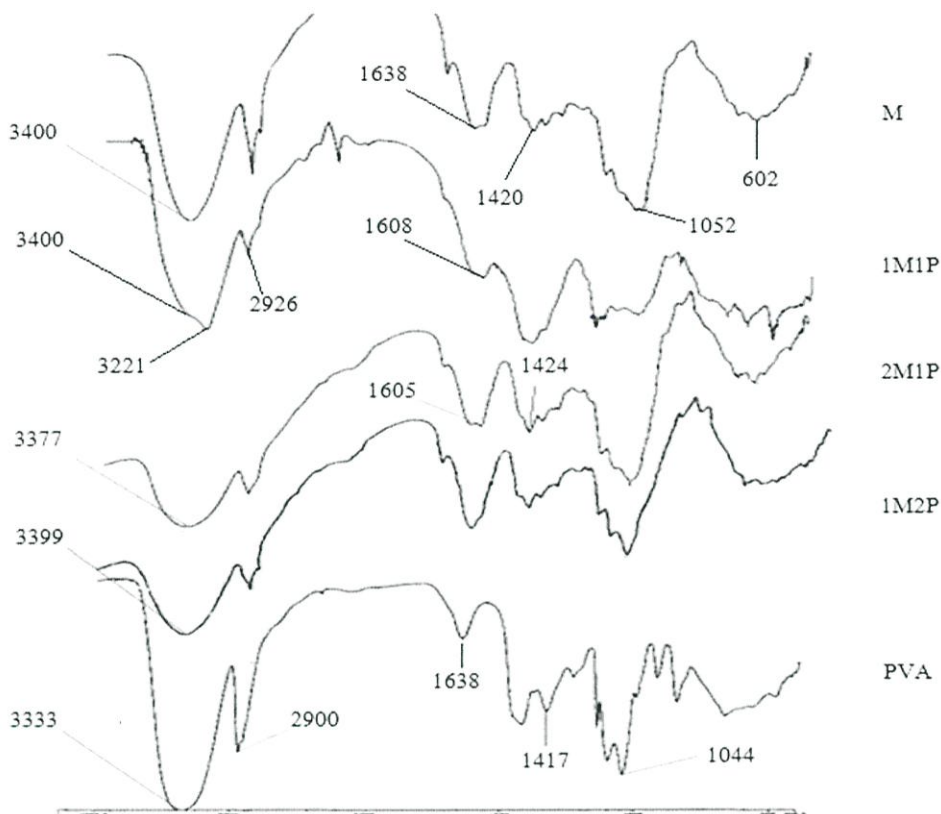
รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัม IR ของฟิล์มแมงลัก

จากรูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัม IR ของฟิล์มแมงลัก โดยพิจารณาที่เลขคลื่นในช่วง 400-4000 cm^{-1} พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ 3400 cm^{-1} คือหมู่ไฮดรอกซิล เลขคลื่นที่ 2924.75 cm^{-1} คือ หมู่ C-H ของ อะลิฟาติก เลขคลื่น 1638.34 cm^{-1} คือ การสั่นของโมเลกุลน้ำที่ถูกจับอยู่ในฟิล์ม[24] ที่เลขคลื่น 1420 cm^{-1} คือ -OH bending ของหมู่ น้ำตาล ที่เลขคลื่น 1052 cm^{-1} เป็น -C-O-C- stretching ของน้ำตาล



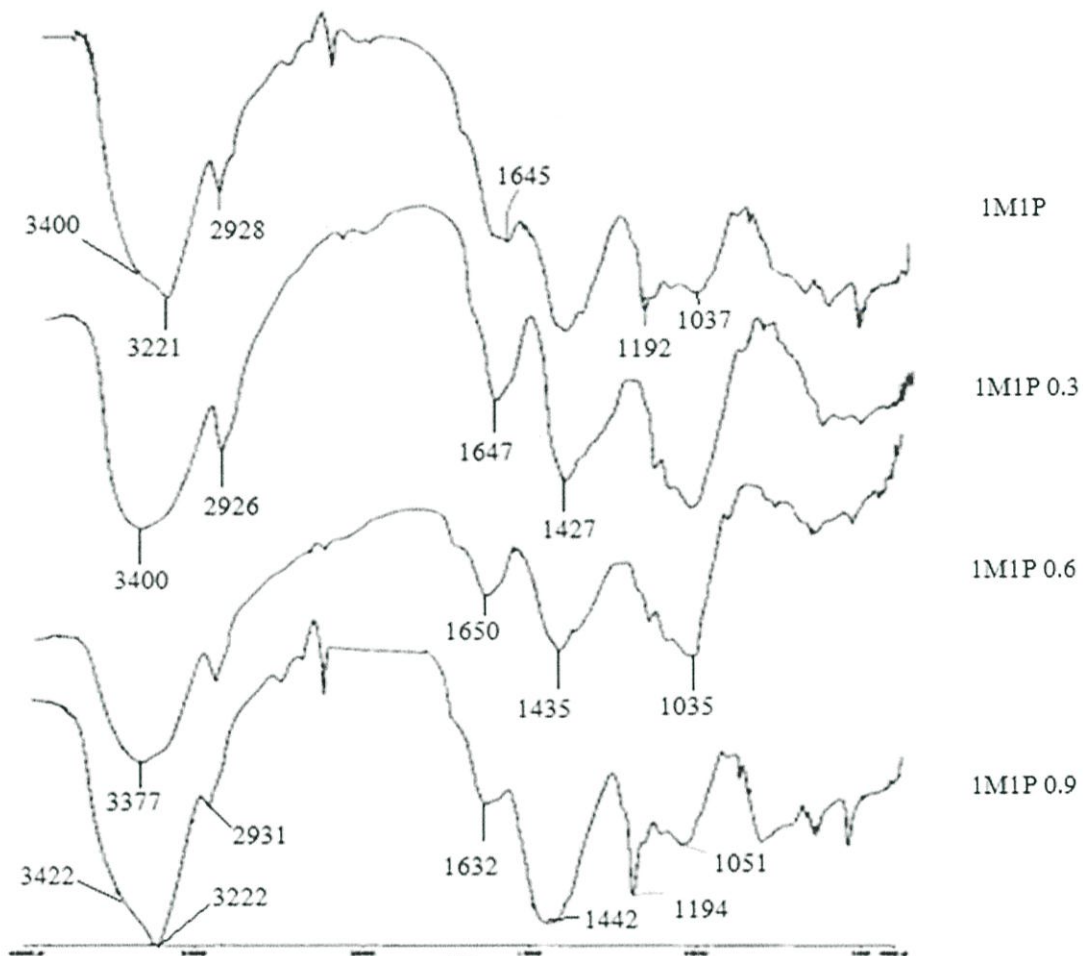
รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัม IR ของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จากรูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัม IR ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยพิจารณาที่เลขคลื่นในช่วง 400-4000 cm^{-1} พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ 3333 cm^{-1} คือ -OH stretching เลขคลื่นประมาณ 2900 cm^{-1} คือ หมู่ C-H ของ อะลิฟาติก เลขคลื่น 1638 cm^{-1} คือ การสั่นของโมเลกุลน้ำที่อยู่ในฟิล์ม[24] เลขคลื่นที่ 1417 cm^{-1} คือหมู่ -OH bending และ เลขคลื่นประมาณ 1107-1044 cm^{-1} คือ หมู่ C-O stretching



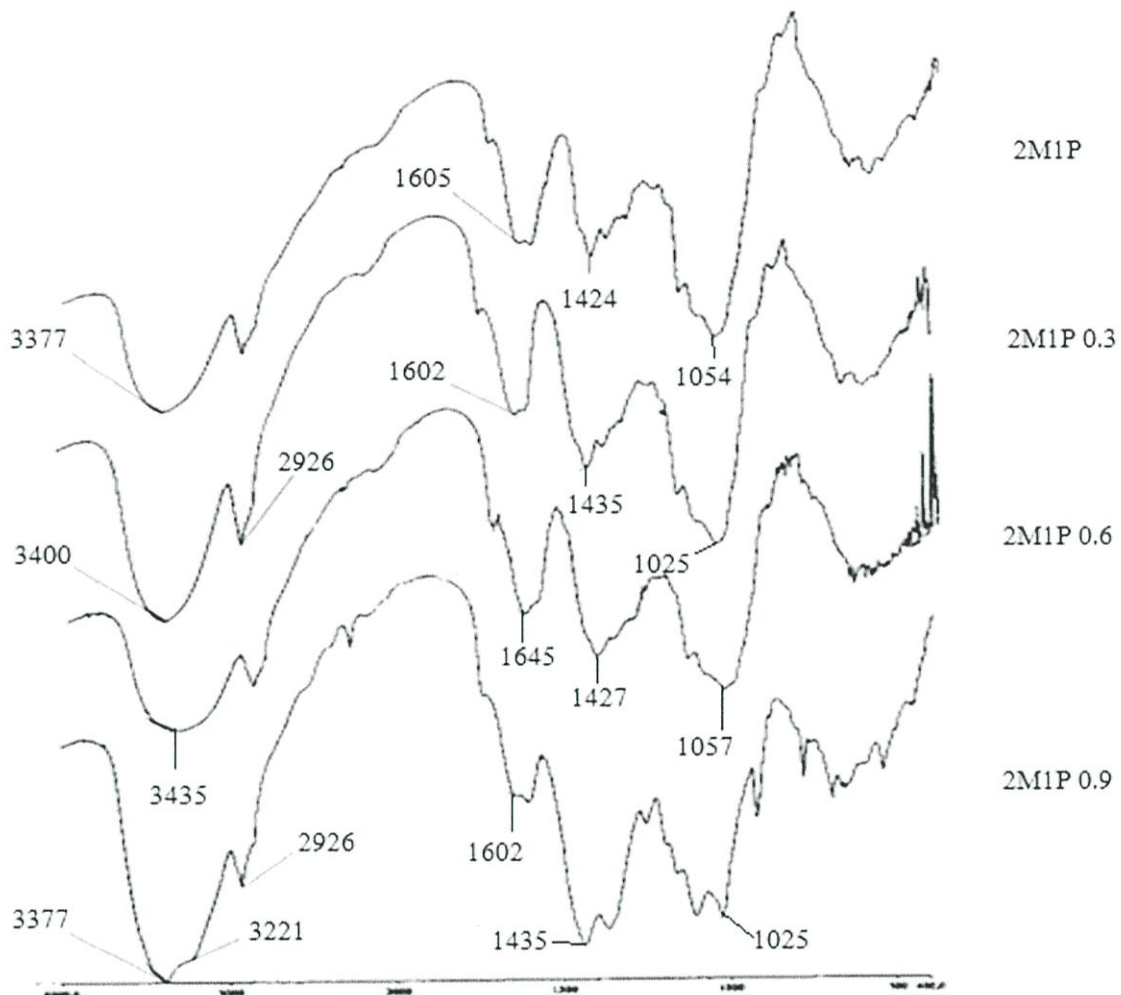
รูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัม IR ของฟิล์มแมงลัก ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มผสมที่อัตราส่วนต่างๆ
เมื่อไม่มีสารเชื่อมโยง

จากรูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบสเปกตรัม IR ของฟิล์มแมงลัก ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วน 1M1P, 1M2P และ 2M1P พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ $3399-3221\text{ cm}^{-1}$ คือหมู่ไฮดรอกซิลของแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นโดยพิกจะมีลักษณะสั้นลงและกว้างขึ้น แสดงว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่เลขคลื่นประมาณ $2910-2900\text{ cm}^{-1}$ คือหมู่ C-H stretching ที่เลขคลื่นประมาณ $1605-1636.34\text{ cm}^{-1}$ คือ การสั่นของโมเลกุลน้ำที่อยู่ในฟิล์ม[24] และ $-\text{CH}_2-\text{O}-$ stretching และที่เลขคลื่นประมาณ $1037-1192\text{ cm}^{-1}$ คือ C-O-C- stretching พบว่าที่อัตราส่วน 1M1P พิกที่ $-\text{OH}$ stretching และ C-O stretching เกิดการแยกออกเป็น 2 พิก แสดงว่าการสั่นของ $-\text{OH}$ stretching และ C-O ในแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน ซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กันเองที่ไม่ดีนัก ในขณะที่อัตราส่วน 2M1P และ 1M2P มีการเชื่อมโยงระหว่างแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เข้ากันได้ดีมากกว่า



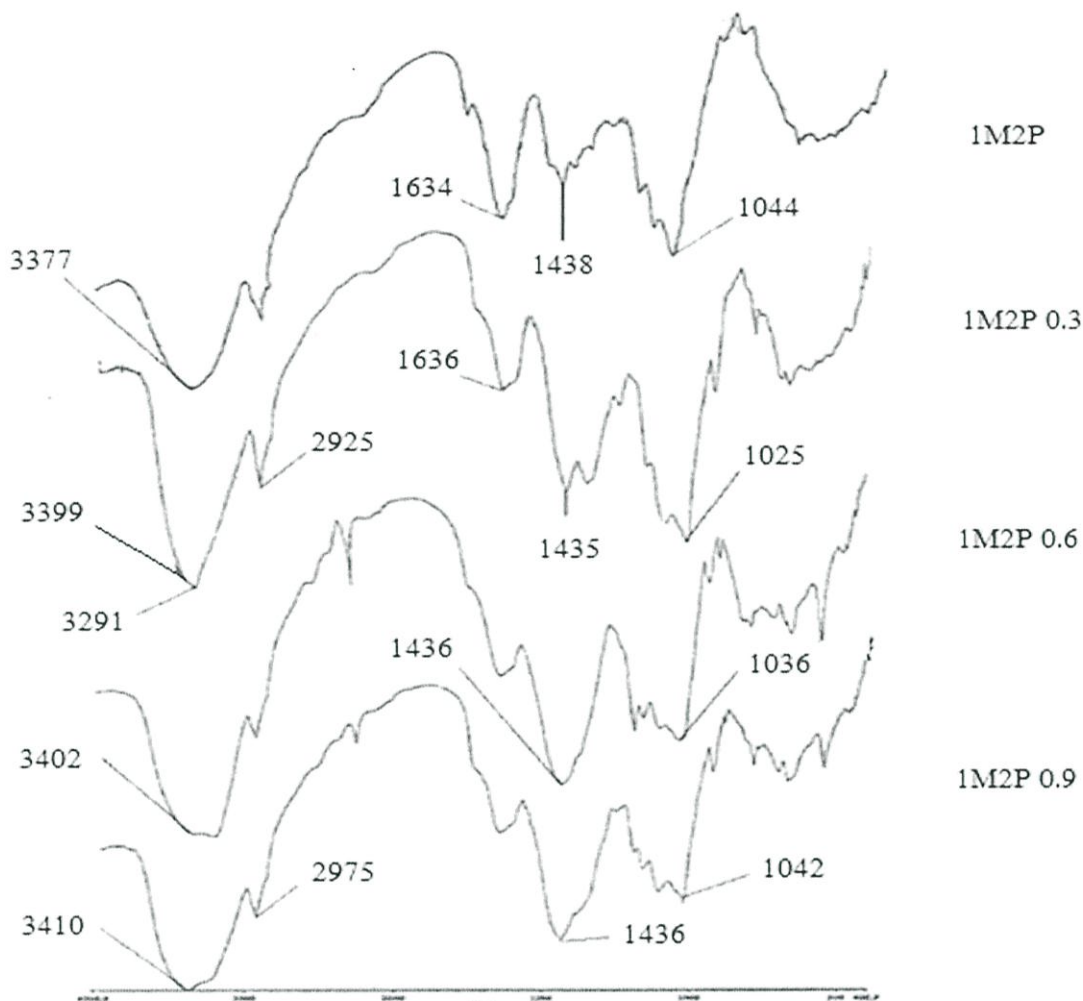
รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัม IR फिल्मผสม 1M1P ที่ไม่มีและมีส่วนเชื่อมโยงบอริกปริมาณ 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.4 พิจารณาที่เลขคลื่นประมาณ $3221-3422 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นของหมู่ $-OH$ stretching พบว่า เมื่อไม่มีสารเชื่อมโยงบอริก พืดแสดงลักษณะผสมของทั้งแอมดักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เมื่อเพิ่มบอริก 0.3-0.6 กรัม พืดจะรวมกัน แสดงว่าบอริกเชื่อมโยงกับ $-OH$ ของทั้งสองส่วนได้บ้าง แต่เมื่อเติมบอริก 0.9 กรัมลักษณะของพืดจะเปลี่ยนไปคือ แหวมมากขึ้น ซึ่งแสดงว่า บอริกทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่ในภูมิภาคของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่เลขคลื่นประมาณ $1051.79-1194.05 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นของหมู่ $-C-O-$ ที่อยู่ใแอมดักและ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อมีสารก่อกั้นระเชื่อมโยงมากถึง 0.9 กรัม แยกเป็น 2 พืด พืดแหลมที่เลขคลื่น 1194.05 cm^{-1} น่าจะเป็นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ส่วนพืดที่กว้างและตื้นเป็นของแอมดัก แสดงว่าเมื่อเติมสารเชื่อมโยงบอริกที่มากเกินไป คือ 0.9 กรัม สารเชื่อมโยงบอริกจะเข้าไปทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากกว่าเชื่อมโยงกับแอมดัก จะเกิดพืดแยกกันดังรูป 4.4



รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัม IR फिल्मผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริกปริมาณ 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.5 พิจารณาพีคที่เลขคลื่น $3222-3435.27 \text{ cm}^{-1}$ ของ -OH stretching พบว่า พีคกว้างขึ้นเมื่อมีกรดบอริก 0.9 กรัม พีคจะแยกเป็น 2 พีคที่เลขคลื่น 3222 และ 3377 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการสั่นของหมู่ -OH ในแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พีคที่เลขคลื่น 1602.07 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคการสั่นโมเลกุลของน้ำในฟิล์มสั้นลง[24] แสดงว่าน้ำในฟิล์มมีน้อยลง เพราะเกิดพันธะเชื่อมโยง นอกจากนี้พีคที่ 1435.94 cm^{-1} แยกออกเป็น 2 พีคชัดเจน แสดงถึงการสั่นสะท้อนของพีค -OH bending ในแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน

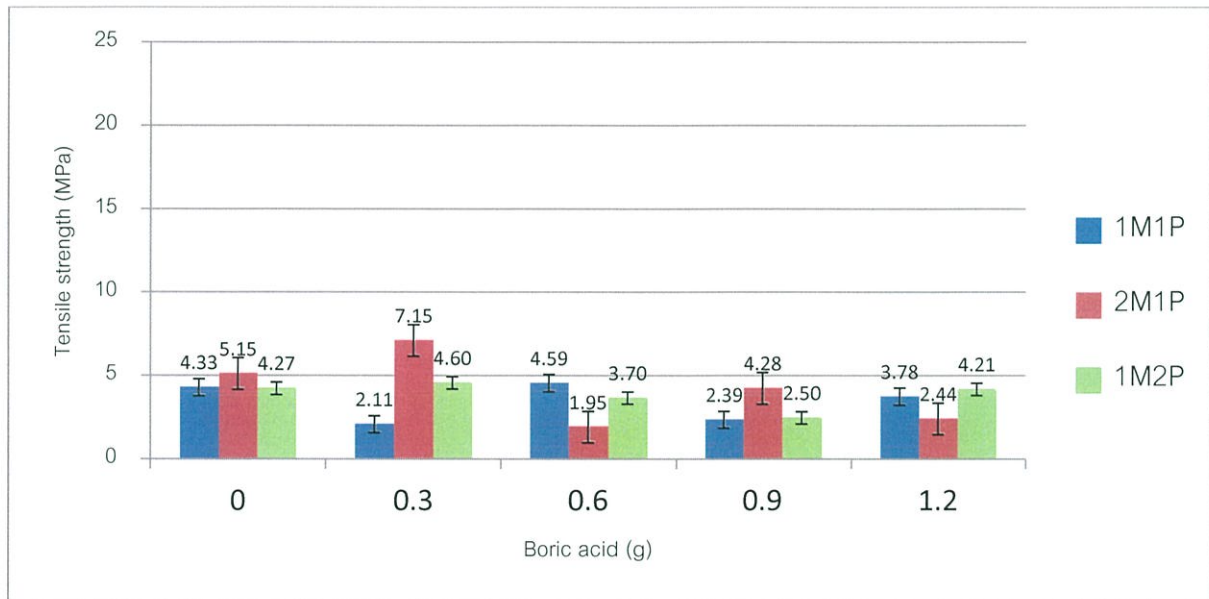


รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัม IR फिल्मผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีส่วนเชื่อมโยงบอริกปริมาณ 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัม

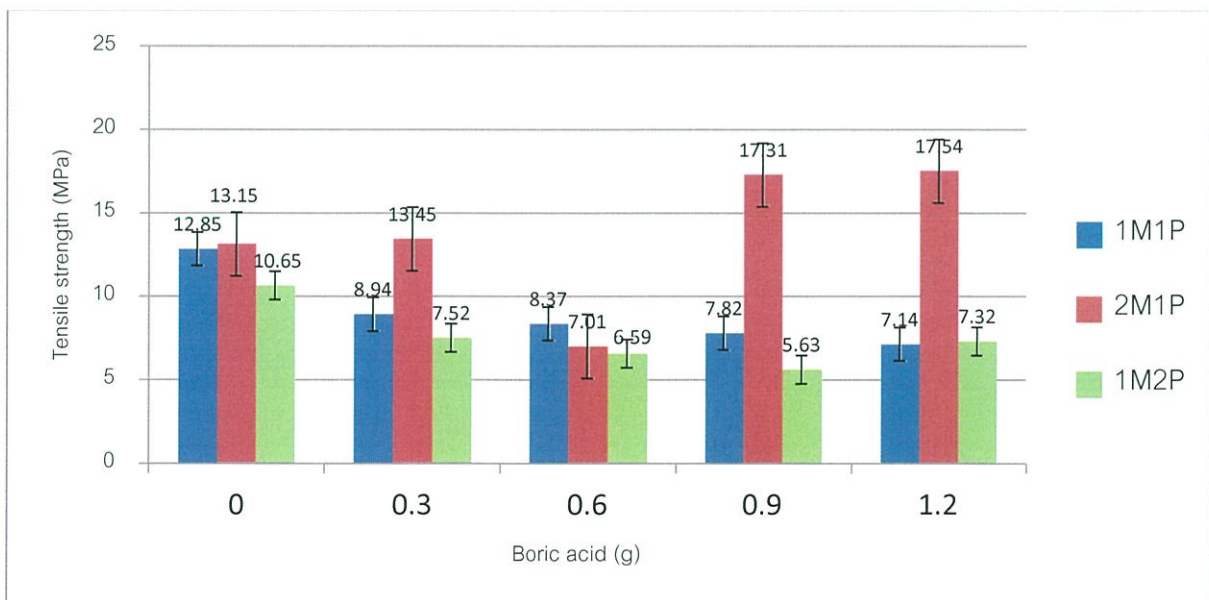
จากรูปที่ 4.6 พิจารณาเลขคลื่นที่ประมาณ 3291-3410 cm^{-1} ซึ่งเป็นของหมู่ -OH stretching พบว่าเมื่อไม่มีสารเชื่อมโยงบอริก พีคของ -OH stretching จะรวมกันอยู่เป็นพีคเดียว แต่เมื่อเพิ่มปริมาณบอริกให้มากขึ้น พีค -OH stretching จะเกิดการแยกเป็น 2 พีค เลขคลื่น 1634-1636.74 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของการสั่นของโมเลกุลน้ำในฟิล์ม[24] พบว่าเมื่อเกิดเชื่อมโยงบอริกจะลดลง แสดงว่าน้ำในฟิล์มลดลง ที่เลขคลื่น 1434.44-1438.53 cm^{-1} มียอด 2 ยอด ซึ่งเป็นการสั่นของ -OH bending แสดงว่าหมู่ -OH ในแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สั่นไม่เหมือนกัน อาจเนื่องจากหมู่ -OH ในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกิดเชื่อมโยงบอริกบางส่วน

4.1.2 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

นำฟิล์มตัวอย่างมาทดสอบสมบัติเชิงกล โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มแรกเก็บที่อุณหภูมิห้อง ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และกลุ่มที่สองเก็บที่อุณหภูมิห้อง ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 75% (เก็บในสารละลายอิมิตัวโซเดียมคลอไรด์)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50%



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%

จากรูปที่ 4.7 फिल्मแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในทุกอัตราส่วนที่ศึกษาโดยมีบอริกเป็นสารเชื่อมโยงที่ไม่ได้ผ่านการวางในสารละลายอิมัลชันโซเดียมคลอไรด์ จะมีค่าความแข็งแรงดึงค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อนำ फिल्मแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยมีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง ไปวางในเดกซิเคเตอร์ที่มีสารละลายอิมัลชันโซเดียมคลอไรด์ ทำให้ फिल्मมีความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ส่งผลให้ फिल्मมีค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้น (รูปที่ 4.8) เนื่องจากในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ปริมาณน้ำที่อยู่ใน फिल्मยังคงเก็บอยู่ใน फिल्म ระเหยออกมาช้า น้ำที่มีอยู่มากจึงไปจับกับแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกิดพันธะไฮโดรเจน จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของ फिल्मจึงสูงขึ้น

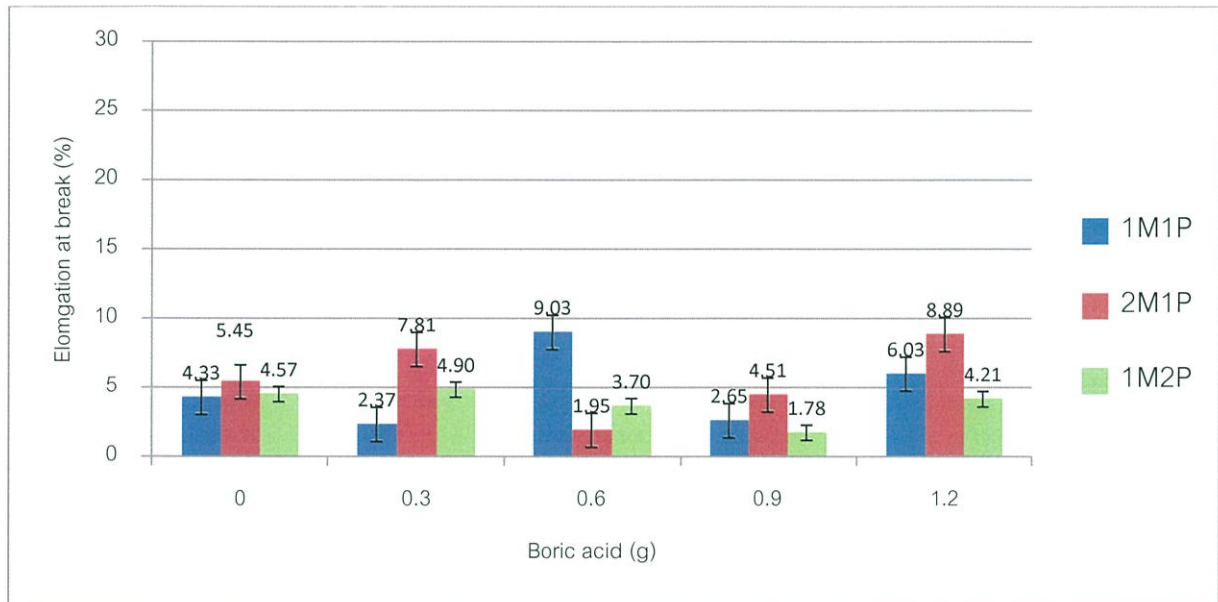
फिल्मแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วน 1M1P , 2M1P และ 1M2P ที่ไม่ผสมบอริก นำไปวางในเดกซิเคเตอร์ที่มีสารละลายอิมัลชันโซเดียมคลอไรด์ พบว่าอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก (2M1P) มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดคือ 13.15 MPa เนื่องจาก มีปริมาณวุ้นแมงลักมาก ทำให้ फिल्मสามารถดูดความชื้นได้มาก ส่งผลให้ 2M1P มีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่า फिल्मแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนอื่นๆ และจากรูปที่ 4.8 พบว่า 1M2P มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำที่สุด เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีความสามารถในการดูดน้ำได้ต่ำกว่าแมงลัก ทำให้ความชื้นที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ใน फिल्मน้อย

ปริมาณบอริก 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 กรัม ที่ใส่ลงใน फिल्मแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีผลต่อความแข็งแรงดึงของ फिल्म จากรูปที่ 4.8 พบว่า फिल्मผสมอัตราส่วน 2M1P ปริมาณบอริก 1.2 กรัมมีค่าความแข็งแรงดึงมากที่สุดคือ 17.54 MPa ผลการทดลองคล้ายกับ Yeping Yin และคณะ[25] ซึ่งรายงานว่าการเพิ่มปริมาณบอริกจะปรับปรุงการเชื่อมโยงระหว่างวัฏภาคของแป้งกับ PVA ทำให้เกิดความแข็งแรงของพันธะใน 2 วัฏภาค ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้น

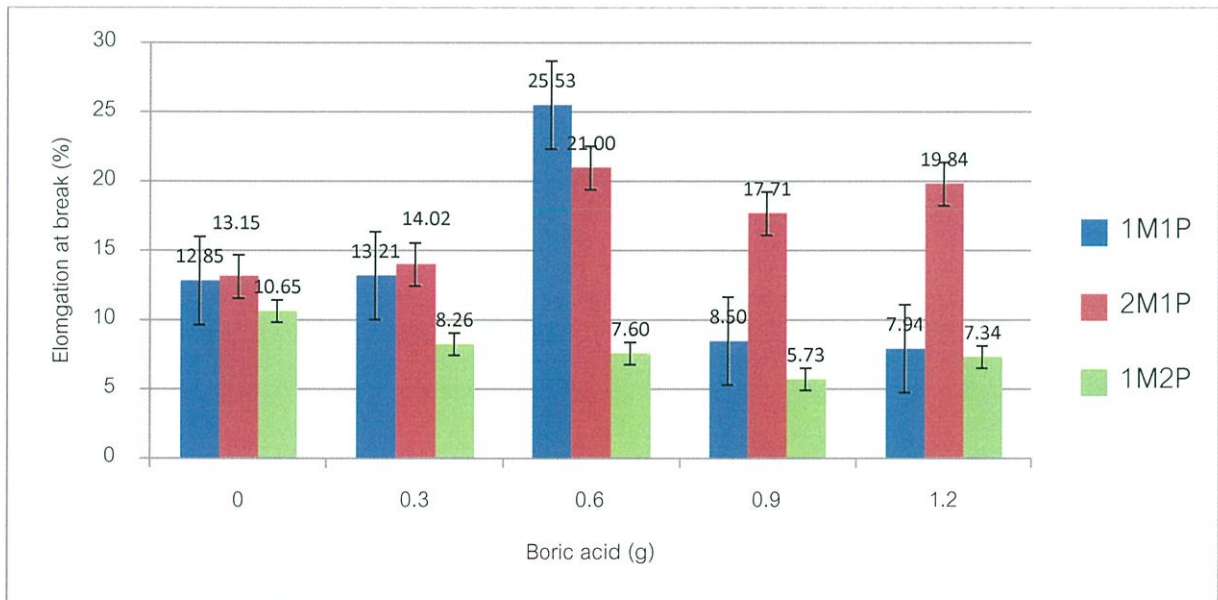
फिल्मผสมอัตราส่วน 1M2P มีสมบัติความแข็งแรงดึงต่ำกว่า फिल्म 1M1P และ 2M1P ในทุกปริมาณของบอริก แสดงว่าบอริกทำปฏิกิริยากับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้ดีกว่าทำปฏิกิริยากับแมงลัก จึงเกิดการเชื่อมโยงมาก พันธะเชื่อมโยงมากเกินไปจะทำให้ फिल्मแข็งเปราะ ความแข็งแรงดึงลดลง

4.1.3 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

นำฟิล์มตัวอย่างมาทดสอบสมบัติเชิงกล โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มแรกเก็บที่อุณหภูมิห้อง ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และกลุ่มที่สองเก็บที่อุณหภูมิห้อง ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 75% (เก็บในสารละลายอิมิตัวโซเดียมคลอไรด์)



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความยืด ณ จุดขาดของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50%



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความยืด ณ จุดขาดของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%

จากรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 फिल्मเมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่มีบอริก เป็นสารเชื่อมโยง 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 กรัม โดย फिल्मเมงลักที่ไม่ได้นำไปวางในเดกซีเคเตอร์ที่มี สารละลายอิมิตัวโซเดียมคลอไรด์ จะมีความดึงยึด ณ จุดขาดน้อย นั่นคือ फिल्मกรอบแตกง่าย ในขณะที่ फिल्मเมงลักที่ผ่านการวางในเดกซีเคเตอร์ที่มีสารละลายอิมิตัวโซเดียมคลอไรด์ พบว่าค่าความดึงยึด ณ จุดขาดของ फिल्मผสมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากน้ำที่มีอยู่ในเนื้อของ फिल्मผสม ทำให้ फिल्मผสมเกิด ปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่เพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนที่ได้มากขึ้น สายโซ่พอลิเมอร์ของ फिल्मผสมยืดออกได้มากขึ้น ก่อนขาด

จากรูปที่ 4.10 พบว่า फिल्मผสม 1M1P มีบอริก 0.6 กรัม มีค่าความดึงยึด ณ จุดขาดสูงที่สุด คือ 25% อย่างไรก็ตาม फिल्म 2M1P มีค่าความดึงยึด ณ จุดขาดสูงในทุกๆ ปริมาณของบอริก แสดงว่าบอริกที่ เชื่อมโยงในวิฏภาคของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้ปริมาณอิสระใน फिल्मเพิ่มขึ้น फिल्मยืดได้มากกว่าขนาด สำหรับ फिल्म 1M2P มีค่าความดึงยึด ณ จุดขาดต่ำในทุกๆ ปริมาณของบอริก แสดงว่าบอริกเข้าทำปฏิกิริยา กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีอยู่มากได้ดี พันธะเชื่อมโยงมาก จุดเชื่อมโยงใน फिल्मมาก โมเลกุลเคลื่อนไหว ยาก ความดึงยึด ณ จุดขาดจึงต่ำ

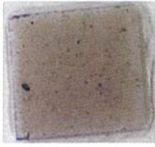
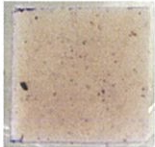
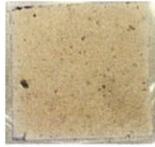
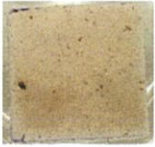
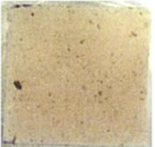
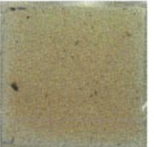

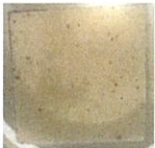
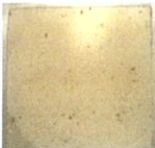
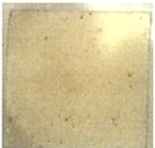
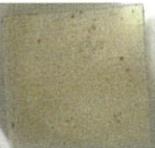

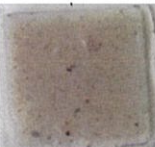
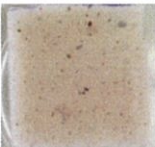








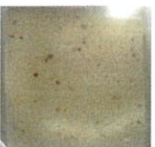
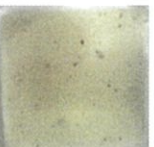
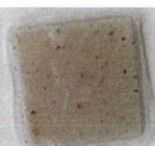







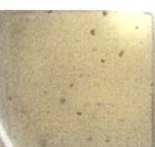

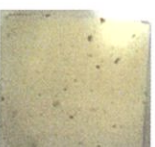







4.1.4 การดูดซับน้ำ (Water uptake)

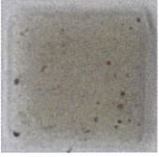
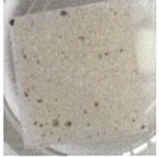


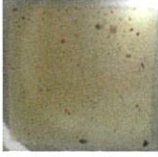
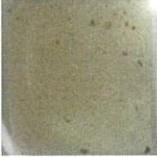
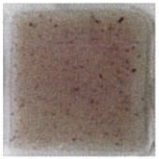
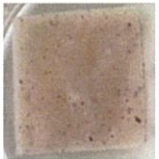



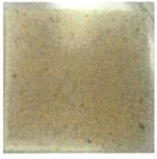



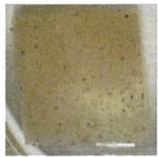


4.1.4.1 ลักษณะทางกายภาพเมื่อแช่น้ำ

นำตัวอย่างที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริกมาแช่น้ำ และถ่ายรูปเพื่อทำการบันทึกผล เมื่อครบทุกๆ 1 ชั่วโมง แช่ต่อจน 24 ชั่วโมง และถ่ายรูปเพื่อทำการบันทึกผล

จากตารางที่ 4.2 फिल्मเมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อไม่มีสารก่อกพันธะ เชื่อมโยง พบว่าความสามารถในการดูดน้ำของ फिल्मสูตร 2M1P มีการดูดน้ำได้รวดเร็วมากที่สุด และทำให้ फिल्मเกิดการเสียหายได้เร็วที่สุด เมื่อเติมสารเชื่อมโยงบอริกตามปริมาณต่างๆ พบว่ายิ่งเพิ่มปริมาณบอริก ยิ่งทำให้ फिल्मเสียหายได้เร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากบอริกที่มากขึ้นจะเกิดการเชื่อมโยงกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ได้ดียิ่งขึ้น จากงานวิจัยของ Yeping Yin และคณะ[25] ทำให้ทราบว่าสารเชื่อมโยงบอริกจะเลือกทำ ปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้อย่างดีเยี่ยม ทำให้ $-OH$ ของเมงลักเป็นอิสระมากขึ้น จึงดูดน้ำได้เร็ว เสียสภาพเร็ว

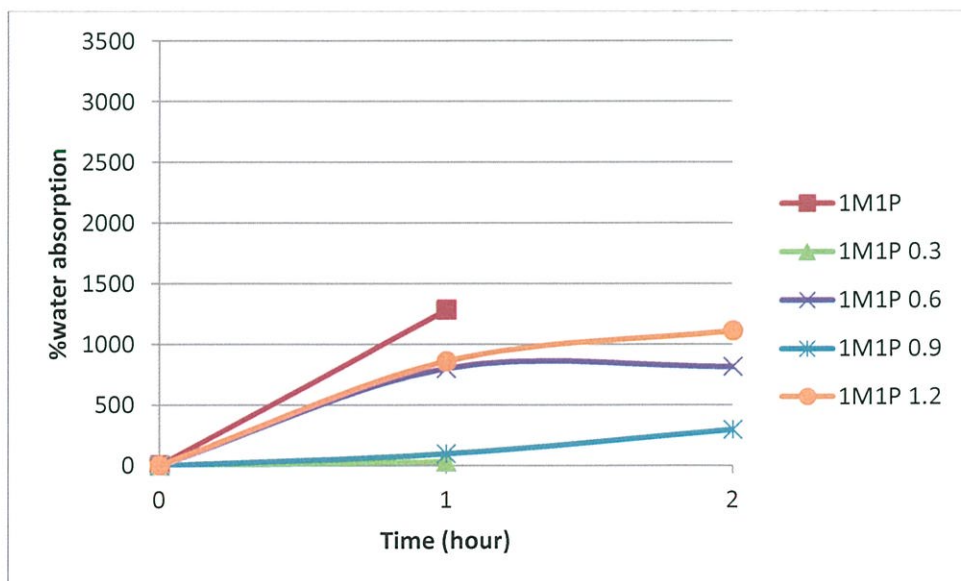
ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มผสมหลังจากนำไปแช่น้ำในเวลาต่างๆ

| | 1 ชั่วโมง | 2 ชั่วโมง | 3 ชั่วโมง | 4 ชั่วโมง | 5 ชั่วโมง | 24 ชั่วโมง |
|-------------|---|---|---|---|---|---|
| 2M1P |  |  |  |  |  |  |
| 1M2P |  |  |  |  |  |  |
| 2M1P 0.3 |  |  |  |  |  |  |
| 1M2P 0.3 |  |  |  |  |  |  |
| 2M1P 0.6 |  |  |  |  |  |  |
| 1M2P 0.6 |  |  |  |  |  |  |
| 2M1P 0.9 |  |  |  |  |  |  |

| | 1 ชั่วโมง | 2 ชั่วโมง | 3 ชั่วโมง | 4 ชั่วโมง | 5 ชั่วโมง | 24 ชั่วโมง |
|-------------|---|---|---|---|---|---|
| 1M2P 0.9 |  |  |  |  |  |  |
| 2M1P 1.2 |  |  |  |  |  |  |
| 1M2P 1.2 |  |  |  |  |  |  |

4.1.4.2 ปริมาณน้ำที่ดูดซับ

นำตัวอย่างที่ไม่มีและมีส่วนผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล เช่นน้ำครบทุก 1 ซม. จะตัดฟิล์มขึ้นมาชั่งน้ำหนักด้วยกระดาษกรอง และนำไปชั่งน้ำหนัก

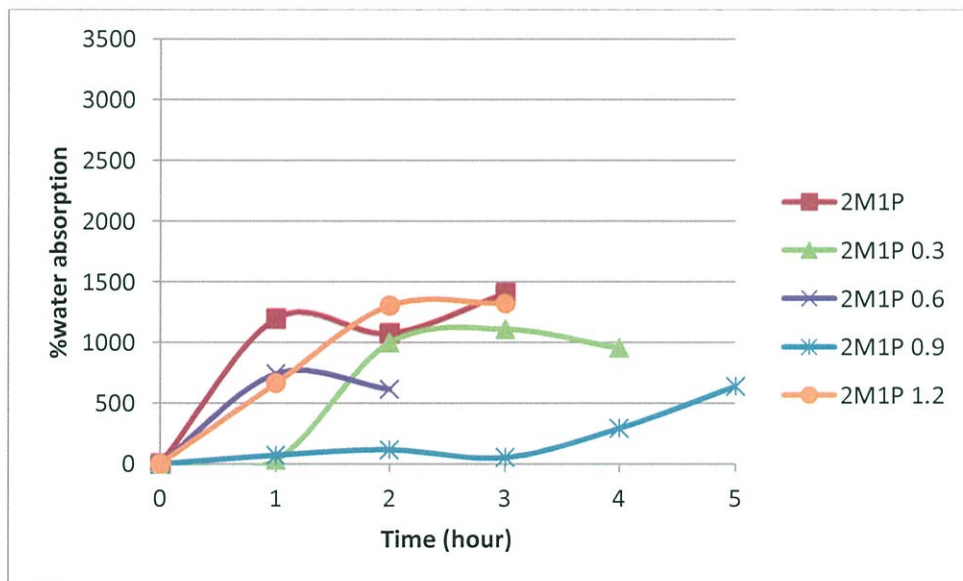


รูปที่ 4.11 การดูดซับน้ำของฟิล์มผสม 1M1P ที่ไม่มีและมีส่วนผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล

จากรูปที่ 4.11 พบว่า พิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1M1P ที่ไม่มีสารเชื่อมโยงบอริก ดูดซับน้ำได้มากที่สุด 1280% ภายในเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง พิล์มผสม 1M1P ที่ไม่มีสารเชื่อมโยงบอริก ไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ น้ำสามารถที่จะเข้าไปในโครงสร้างและทำลายพันธะไฮโดรเจน ทำให้ฟิล์มไม่สามารถคงรูปอยู่ได้นาน

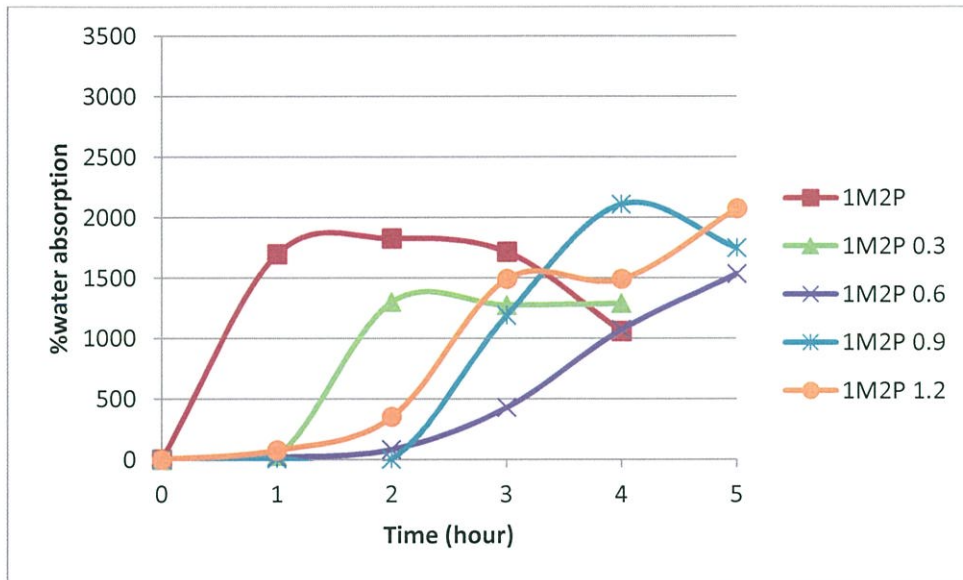
ฟิล์มผสม 1M1P ที่เติมบอริก 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 กรัม พบว่าดูดน้ำได้ต่ำกว่าฟิล์มผสม 1M1P ที่ไม่มีบอริก และอยู่ได้นาน 2 ชั่วโมง แสดงว่าบอริกเกิดการเชื่อมโยงกับหมู่ -OH ในฟิล์มได้ และพบว่าปริมาณบอริก 0.9 กรัม ทำให้ดูดน้ำได้น้อยที่สุด

เนื่องจากสูตร 1M1P มีความคงรูปต่ำเมื่อแช่น้ำ จึงไม่นำสูตร 1M1P มาศึกษาในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.12 การดูดซับน้ำของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีส่วนเชื่อมโยงบอริก

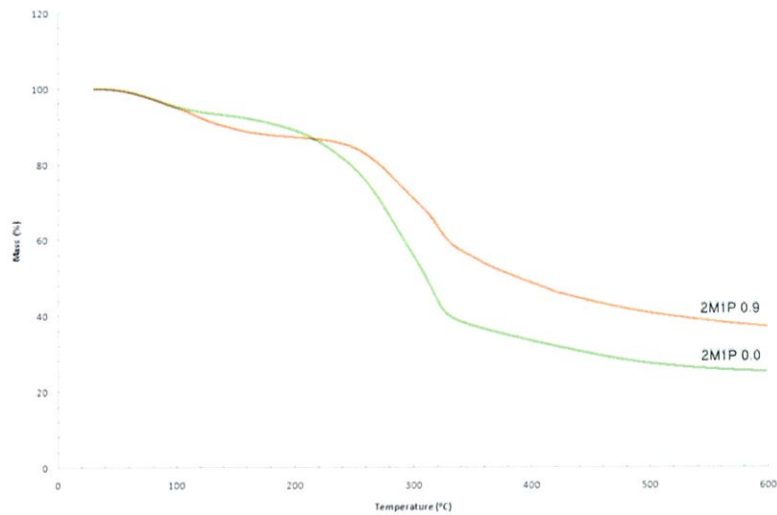
จากรูปที่ 4.12 พิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2M1P ที่ไม่มีการเชื่อมโยง สามารถดูดน้ำได้ถึง 1200% ภายในเวลา 1 ชั่วโมง และอยู่ได้นาน 3 ชั่วโมง เมื่อเติมบอริกลงไปในฟิล์ม พบว่าการดูดน้ำลดลงและอยู่ได้นานขึ้น โดยเฉพาะฟิล์มผสม 2M1P ที่เติมบอริก 0.9 กรัม การดูดน้ำต่ำสุด คือ 0% และเริ่มดูดน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง แสดงว่าที่สูตรนี้ฟิล์มมีพันธะเชื่อมโยงสูง และหมู่ -OH อิสระน้อย ในกรณีที่ใช้บอริก 1.2 กรัม พบว่าดูดน้ำได้มากกว่า 0.9 กรัม อาจเนื่องจากพันธะเชื่อมโยงที่มากเกินไปจะขัดขวางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขณะที่ทำให้ฟิล์มแห้ง ทำให้ปริมาณอิสระในฟิล์มมากขึ้น ดูดน้ำได้เร็วขึ้น



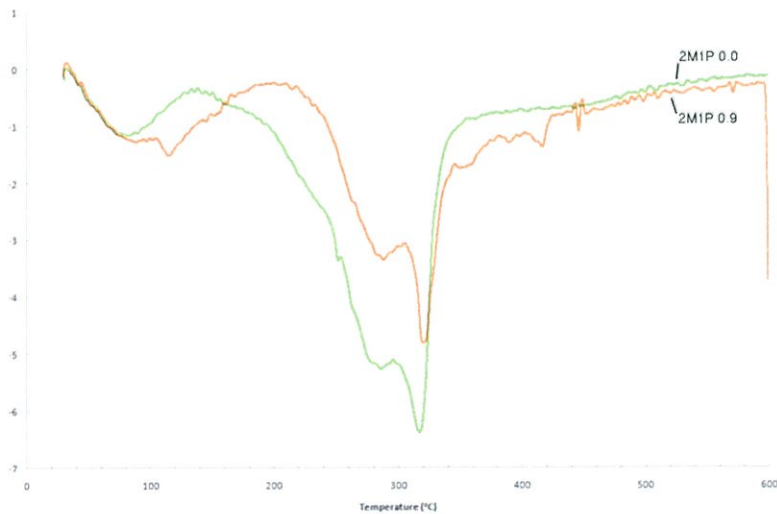
รูปที่ 4.13 การดูดซับน้ำของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก

จากรูปที่ 4.13 ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1M2P เมื่อไม่มีบอริกดูดน้ำได้สูงถึง 1700% และคงรูปอยู่ได้นาน 3 ชั่วโมงจึงเริ่มละลาย เมื่อเติมบอริก 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 กรัม พบว่าการดูดน้ำลดลง โดยเฉพาะชั่วโมงที่ 1 จากนั้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยเฉพาะฟิล์มผสม 1M2P ที่มีบอริก 0.6 กรัม ดูดน้ำน้อยที่สุดตั้งแต่ชั่วโมงแรก จากนั้นน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง แสดงว่าหมู่ -OH ที่ดึงดูดน้ำมีเหลือน้อยกว่าในสูตรอื่นๆ

4.1.5 Thermogravimetric Analysis (TGA)



(ก)

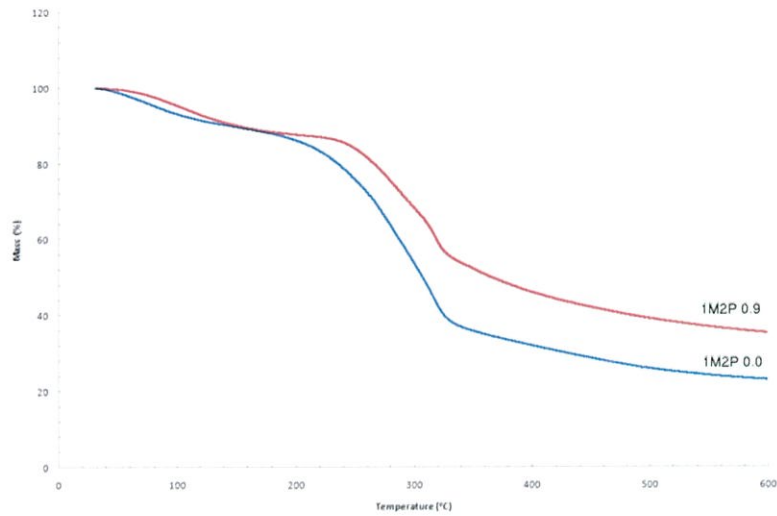


(ข)

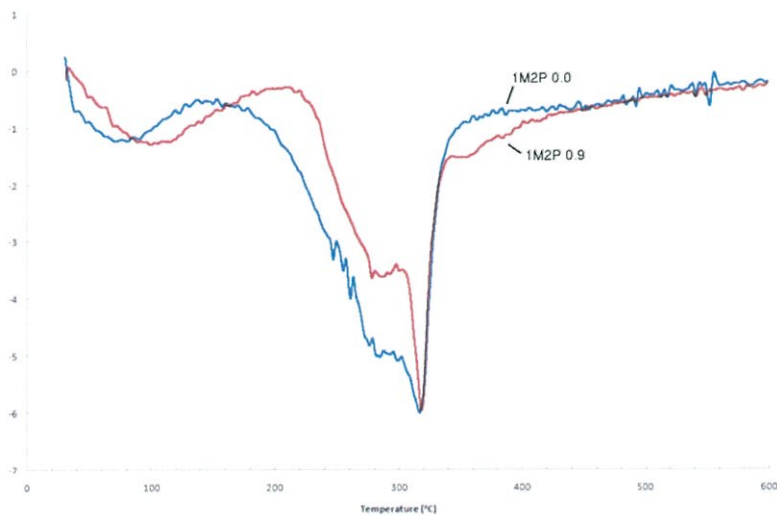
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟ TGA (ก) และ DTG (ข) ของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มี และมีสารเชื่อมโยงบอริก 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มผสม 2M1P ไม่มีสารเชื่อมโยงบอริก มี 2 ชั้น ชั้นแรกที่อุณหภูมิ 285.7 °C เป็นส่วนของแมงลักและชั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 317.0 °C เป็นส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวของแมงลักอยู่ที่ 256-265 °C [26] อุณหภูมิการสลายตัวของแมงลักที่เชื่อมโยงบอริกอยู่ที่ 275-295 °C [27] และอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อยู่ที่ประมาณ 300 °C [2] แสดงให้เห็นว่า แมงลักกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สูงขึ้น

ในกรณีที่มีเมงลักมาก พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะรวมกันเป็นกลุ่มกระจายอยู่ในวัฏภาคของเมงลัก และเกิดพันธะไฮโดรเจนกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเติมบอริกเป็นสารเชื่อมโยง จะทำให้อุณหภูมิการสลายตัว ส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เปลี่ยนจาก 317.0 °C เป็น 319.6 °C และอุณหภูมิการสลายตัวส่วนของ เมงลัก เปลี่ยนจาก 285.7 °C เป็น 288.1 °C เพราะเกิดการเชื่อมโยง



(ก)

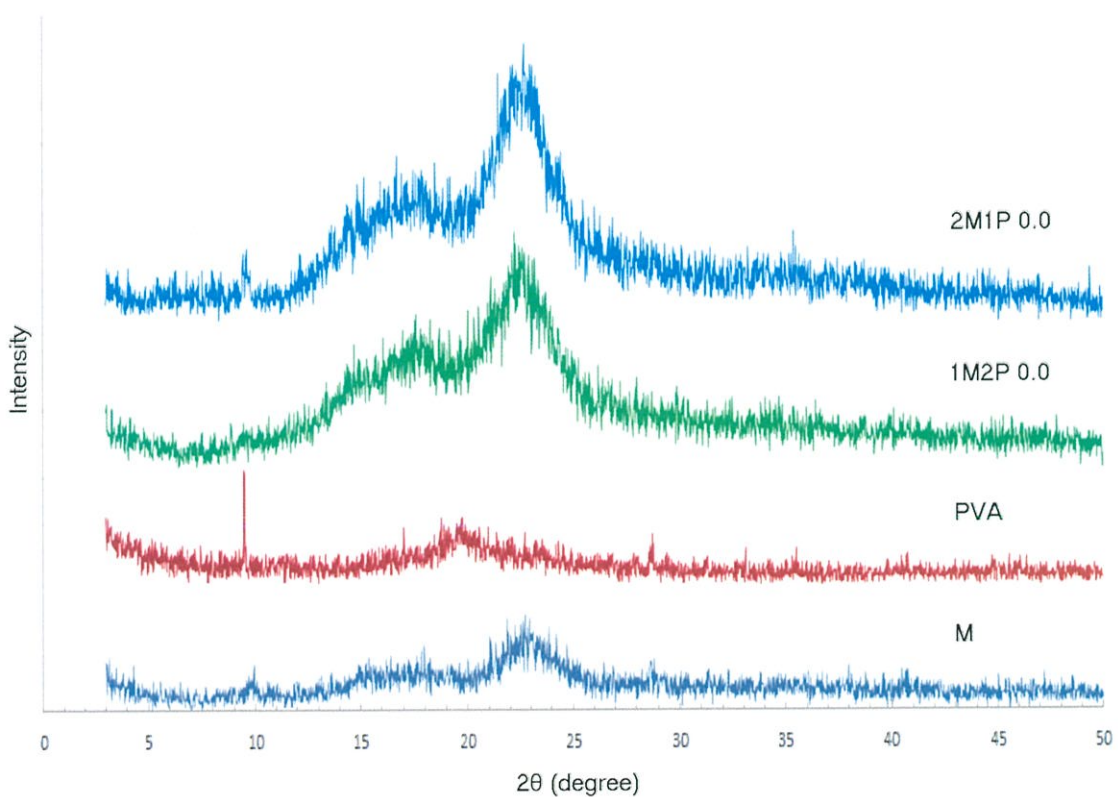


(ข)

รูปที่ 4.15 แสดงกราฟ TGA (ก) และ DTG (ข) ของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มี และมีสารเชื่อมโยงบอริก 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มผสมสูตร 1M2P ที่ไม่มีและมีส่วนเชื่อมโยงจะคล้ายกัน คือ เห็นเป็น 2 พีคชัดเจน ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิ 284.6 °C เป็นส่วนของแมงลักและชั้นที่ 2 ที่มีอุณหภูมิ 316. °C เป็นส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เมื่อมีการใส่บอริกซึ่งเป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวในชั้นแรกซึ่งเป็นของแมงลักเปลี่ยนจาก 284.6 °C เป็น 278.1 °C และอุณหภูมิการสลายตัวในชั้นที่ 2 ซึ่งเป็นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เปลี่ยนจาก 316.8 °C เป็น 318.6 °C เนื่องจากบอริกเป็นสารเกิดพันธะเชื่อมโยงกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้ดีกว่าแมงลัก อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จึงสูงขึ้น และผลกั้วภาคของแมงลักแยกออกไป ส่งผลให้แมงลักเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ได้น้อยลง อุณหภูมิการสลายตัวจึงลดลง

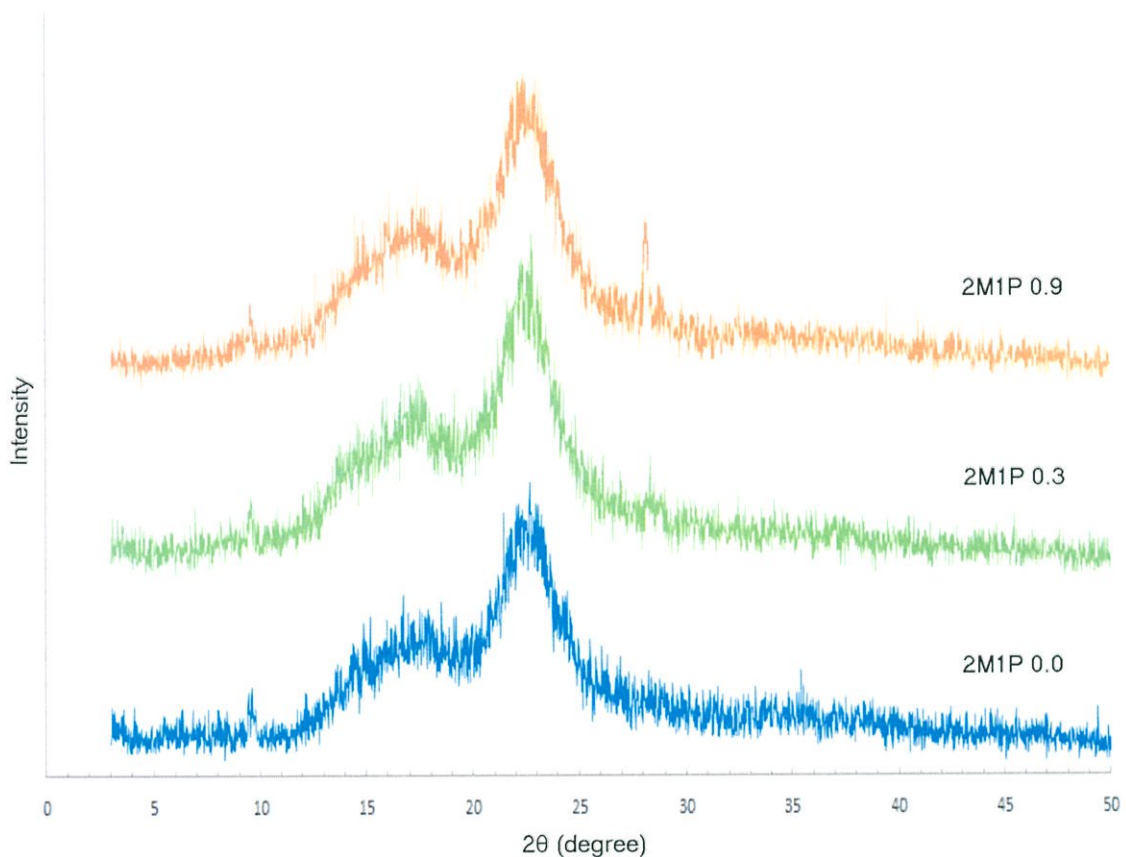
4.1.6 X-ray Diffraction (XRD)



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของ แมงลัก, PVA, ฟิล์มผสม 1M2P และ 2M1P เมื่อไม่มีสารเชื่อมโยงบอริก

จากรูปที่ 4.16 แสดงโครงผลึกของแมงลักเป็นพีคกว้างปรากฏที่ $2\theta = 14.7^\circ$, 16.4° และ 23° ซึ่งเป็นลักษณะโครงผลึกของเซลลูโลส[28] และโครงผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ปรากฏที่ $2\theta = 19.7^\circ$

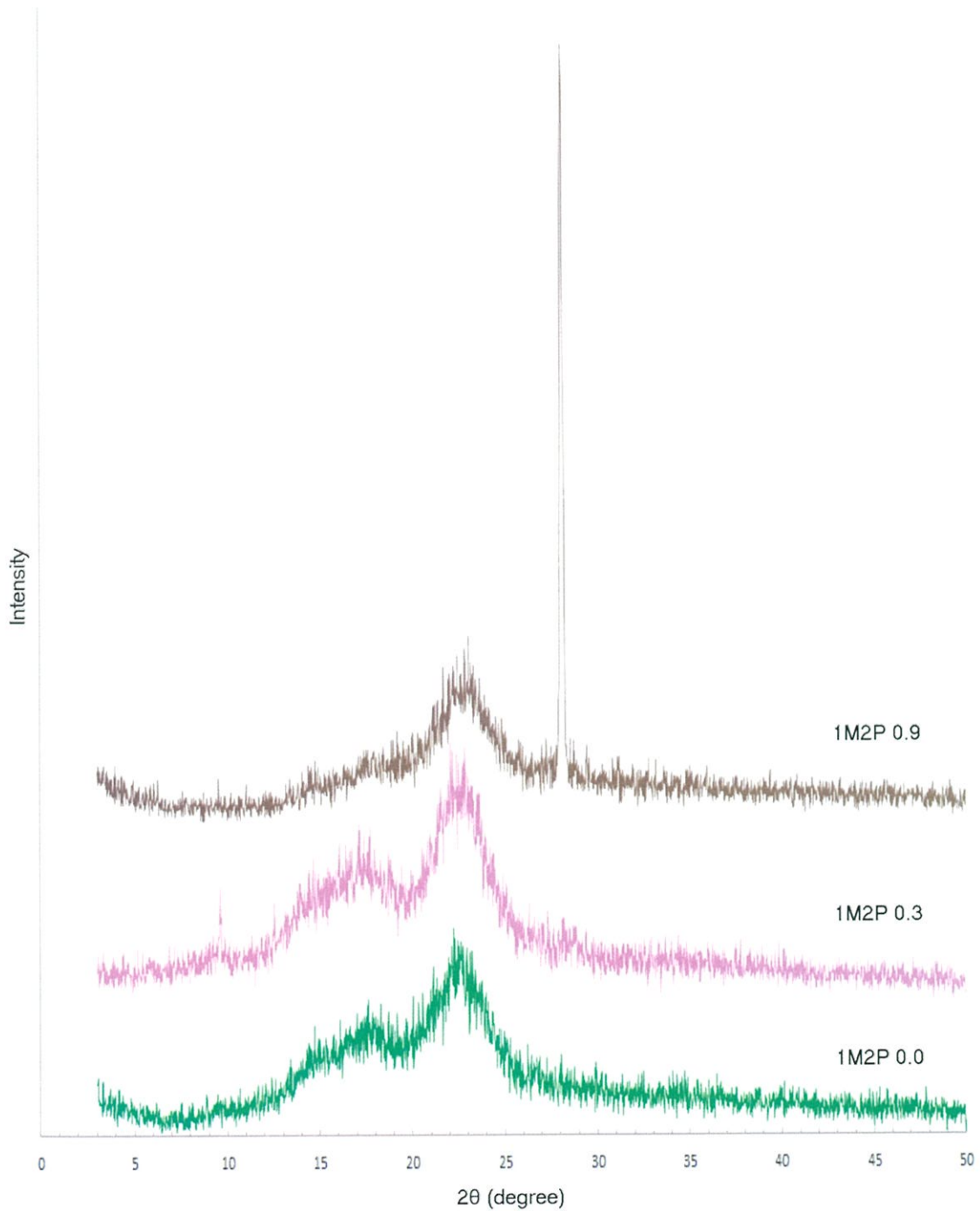
เมื่อได้ทำการผสมกันระหว่างแมงลักกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยที่ยังไม่มีการใส่บอริกเป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง พบว่าโครงสร้างของแมงลักมีความเข้ม (intensity) พีคสูงขึ้น แต่รูปร่างโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลงและไม่ปรากฏพีคที่ 19.7° ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งแสดงว่า พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมเข้ากันได้ดีกับแมงลักในทั้งอัตราส่วน 1M2P และ 2M1P



รูปที่ 4.17 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีส่วนเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.17 เปรียบเทียบโครงสร้างของฟิล์มผสม 2M1P เมื่อมีการใส่บอริก 0.3 และ 0.9 กรัม เป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงพบว่า โครงสร้างนั้นไม่เปลี่ยนแปลง ความเข้มของพีคก็เท่ากัน แต่เกิดพีคขึ้นที่ $2\theta = 28.5^\circ$ ซึ่งเป็นพีคความเป็นผลึกของบอริก[29] เนื่องจากบอริกซึ่งเป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงนั้น นอกจากเป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงได้ดีกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แล้ว ยังสามารถก่อพันธะเชื่อมโยงกับสารเมือกแมงลักได้ดีด้วย[26]

ในกรณีฟิล์ม 2M1P และใส่บอริกมากถึง 0.9 กรัม โครงผลึกของแมงลักไม่เปลี่ยนแปลงและพบพีคของบอริก แสดงว่าบอริกเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดีกว่า เพราะถ้าเข้าทำปฏิกิริยาในส่วนสารเมือกแมงลักมากกว่า โครงผลึกของสารเมือกแมงลักควรเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.18 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นโครงผลึกของฟิล์มผสม เมื่อมีการใส่บอริกซึ่งเป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงในสูตร 1M2P เมื่อใส่สารก่อพันธะเชื่อมโยงมากถึง 0.9 กรัม พบว่าโครงผลึกเปลี่ยนไป โดยพีคที่บริเวณ $2\theta = 15-19.7^\circ$ หายไป และพีคที่ $2\theta = 23^\circ$ ความเข้มลดลง นอกจากนี้พีค $2\theta = 28.5^\circ$ ซึ่งเป็นของบอริก [29] สูงมาก แสดงว่าบอริกที่มากเกินไปทำปฏิกิริยากับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้ดี เนื่องจากบอริกเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีอยู่มากได้ดี พันธะเชื่อมโยงมาก โมเลกุลเคลื่อนไหวยาก จึงขัดขวางการเกิดผลึกของแมงลักในขณะเตรียมฟิล์ม ทำให้ผลึกบริเวณ $2\theta = 15-19.7^\circ$ หายไป













4.1.7 การย่อยสลาย

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีปริมาณบอริกมากเกินไป จะเกิดการย่อยสลายมากขึ้น เนื่องจาก บอริกเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้ดี ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างแมงลักกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลดลง ค่าความแข็งแรงของฟิล์มจึงลดลง การย่อยสลายของฟิล์มจึงง่ายขึ้น

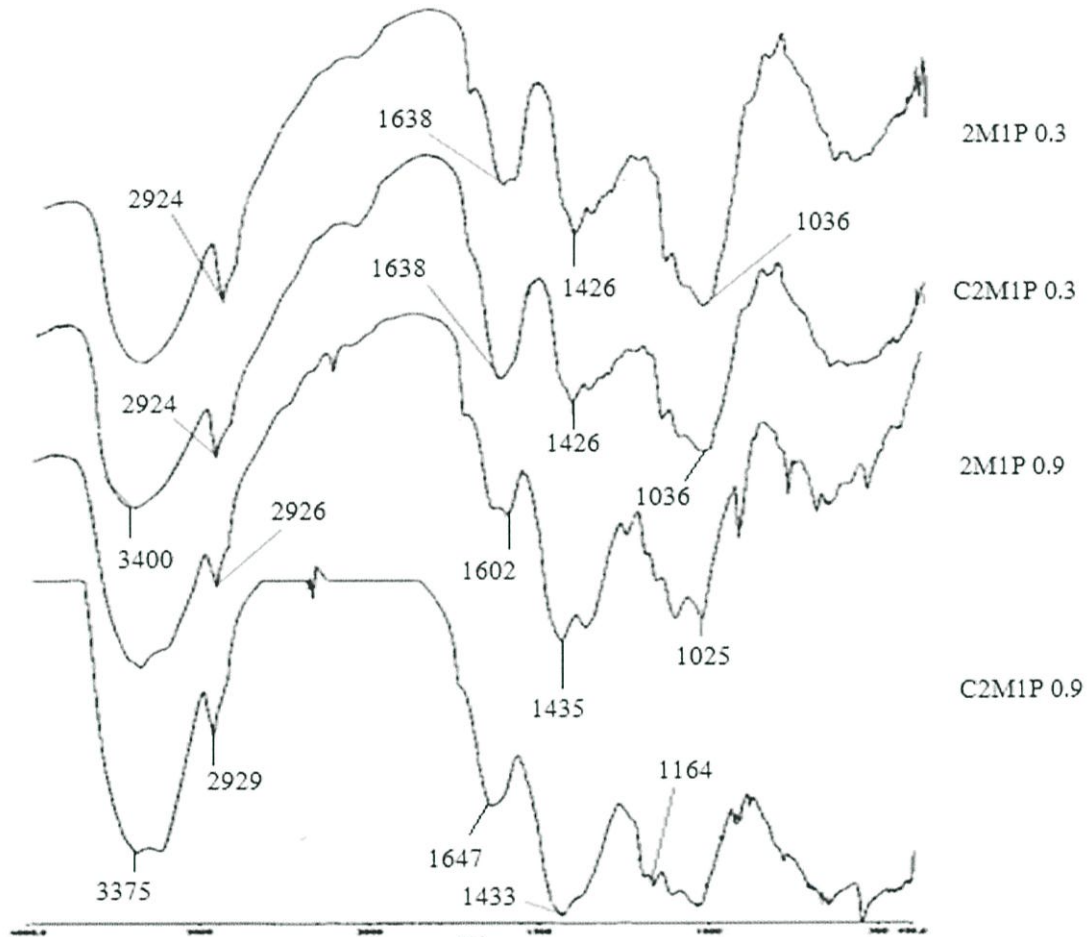
ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 2M1P เกิดการย่อยสลายได้มากกว่าสูตร 1M2P เนื่องจากสูตร 2M1P มีปริมาณวุ้นแมงลักเยอะ และแมงลักเป็นพอลิเมอร์ตามธรรมชาติ จึงสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงส่งผลให้ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สูตร 2M1P สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าสูตร 1M2P

ตารางที่ 4.3 แสดงการย่อยสลายของฟิล์มผสมที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง

| สูตร | เมื่อนำฟิล์มไปวางไว้บนดิน | |
|----------|---|---|
| | 1 เดือน | 4 เดือน |
| 1M1P 0.3 |  |  |
| 1M1P 0.6 |  |  |

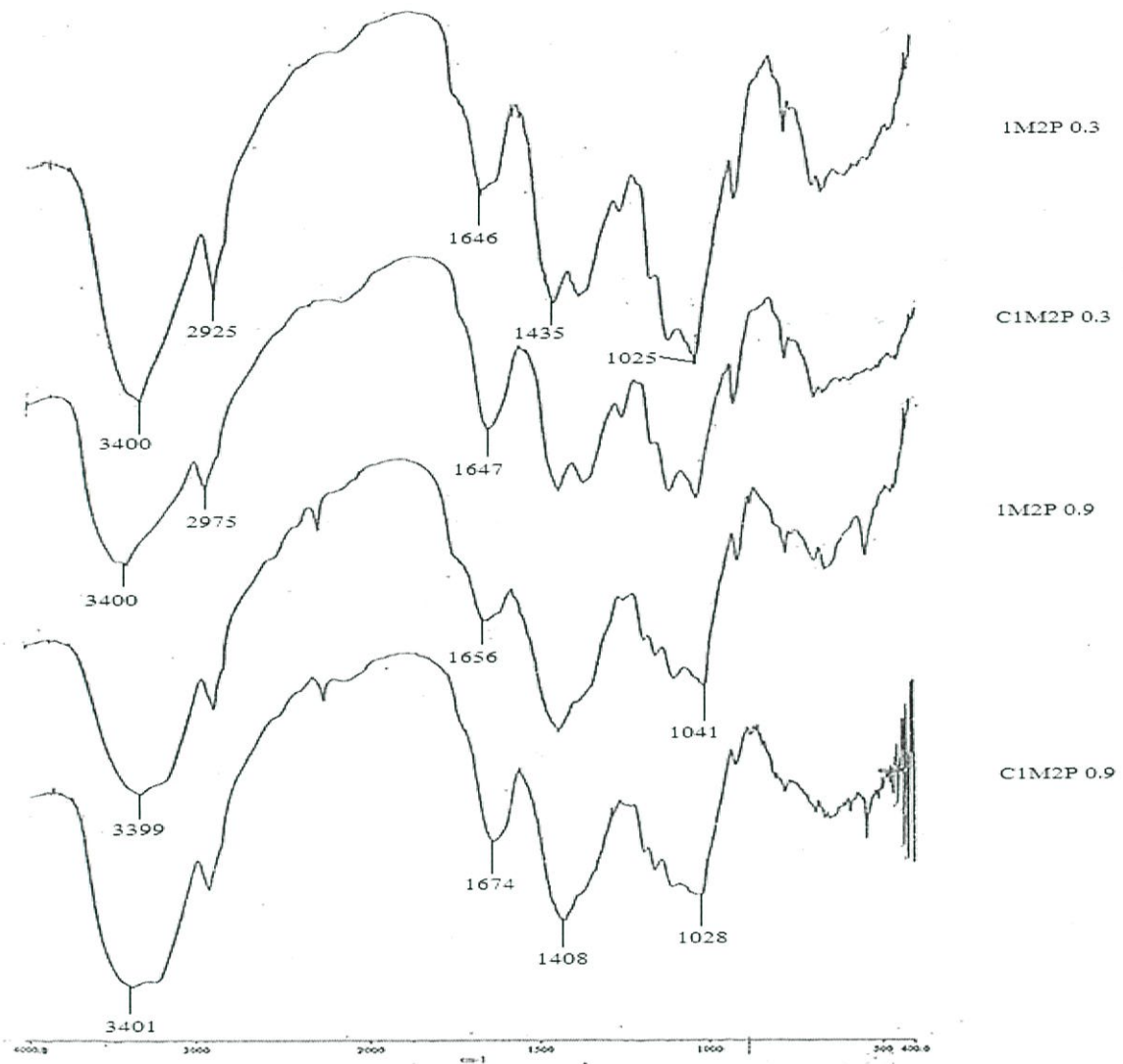
| สูตร | เมื่อนำฟิล์มไปวางไว้บนดิน | |
|----------|---|---|
| | 1 เดือน | 4 เดือน |
| 1M1P 0.9 |  |  |
| 1M1P 1.2 |  |  |
| 2M1P 0.3 |  |  |
| 2M1P 0.6 |  |  |
| 2M1P 0.9 |  |  |
| 2M1P 1.2 |  |  |

4.2.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน (Infrared absorption spectroscopy (IR))



รูปที่ 4.21 แสดงสเปกตรัม IR फिल्मผสม C2M1P มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.21 พบว่า 2M1P และ C2M1P ให้สเปกตรัม IR ที่คล้ายกันในทุกเลขคลื่น แสดงว่าการสั่นของพีคทุกตำแหน่งยังคล้ายกับก่อนเติมแคลเซียมคลอไรด์ และที่เลขคลื่น $1602.70-1647.03 \text{ cm}^{-1}$ คือ ตำแหน่งของการสั่นของโมเลกุลน้ำที่อยู่ในฟิล์ม สังเกตว่าเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไปทำให้ค่าการกักเก็บน้ำหรือดูดน้ำของฟิล์มมีมากขึ้น แสดงว่าแคลเซียมไอออนในส่วนที่ไม่ได้เกิดการเชื่อมโยงกับแมงลักในฟิล์ม จะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ จึงทำให้ฟิล์มมีปริมาตรช่องว่างในฟิล์มมาก จึงเกิดการดูดน้ำได้มากขึ้นเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์

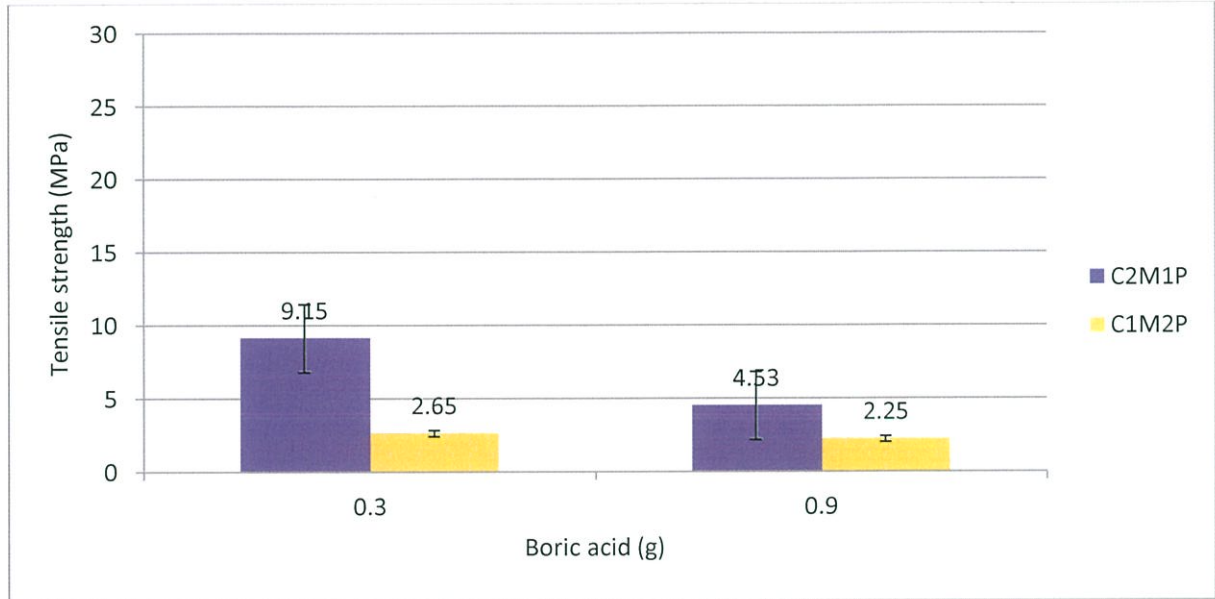


รูปที่ 4.22 แสดงสเปกตรัม IR फिल्मผสม C1M2P มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม

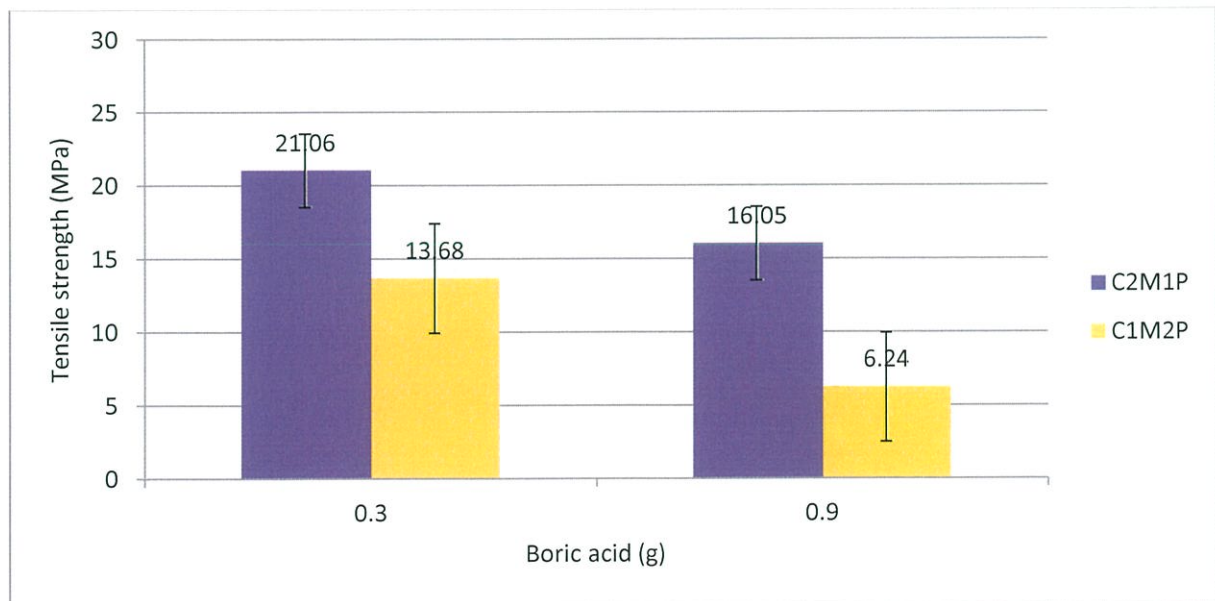
จากรูปที่ 4.22 พบว่า 1M2P และ C1M2P ให้สเปกตรัม IR ที่คล้ายกันในทุกเลขคลื่น แสดงว่าการสั่นของพีคทุกตำแหน่งยังคงคล้ายกับก่อนเติมแคลเซียมคลอไรด์ แต่เมื่อสังเกตที่เลขคลื่น $1656-1674 \text{ cm}^{-1}$ ตำแหน่งการสั่นของโมเลกุลน้ำที่มีอยู่ในฟิล์มมีค่ามากขึ้นเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ แสดงว่าฟิล์มมีการกักเก็บหรือดูดน้ำได้มากขึ้นเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์

4.2.2 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

นำฟิล์มตัวอย่าง C1M2P และ C2M1P มาทดสอบสมบัติเชิงกล โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มแรกเก็บที่อุณหภูมิห้อง ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และกลุ่มที่สองเก็บที่อุณหภูมิห้อง ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 75% (เก็บในสารละลายอิมิตัวไซเดียมคลอไรด์)

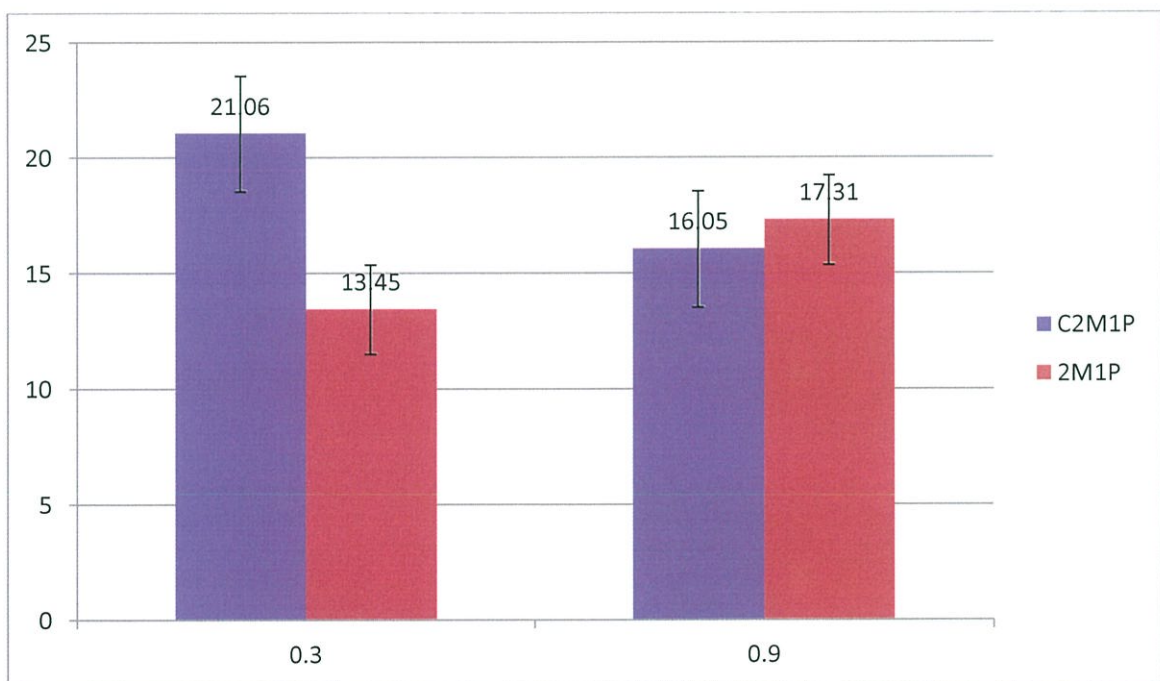


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50%



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%

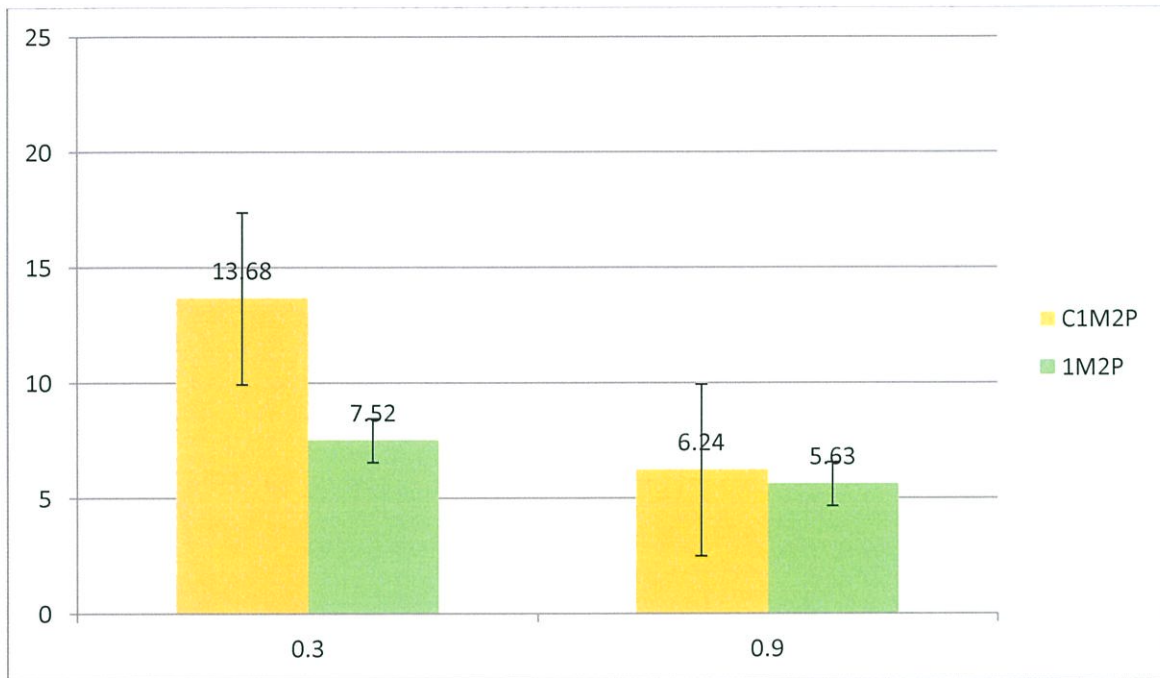
จากรูปที่ 4.23 फिल्मแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนที่ศึกษาโดยมีบอริกเป็นสารเชื่อมโยงที่ไม่ได้ผ่านการวางในสารละลายอิมิตัวไซเดียมคลอไรด์ จะมีค่าความแข็งแรงดึงค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อนำ फिल्मแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยงไปวางในเดกซิเคเตอร์ที่มีสารละลายอิมิตัวไซเดียมคลอไรด์ ทำให้ फिल्मมีความชื้นสัมพัทธ์ 75% ส่งผลให้ फिल्मมีค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้น (รูปที่ 4.23) เนื่องจากในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 75% ปริมาณน้ำที่อยู่ใน फिल्मยังคงเก็บอยู่ใน फिल्म ระเหยออกมาช้า น้ำที่มีอยู่มากจึงไปจับกับแมงลักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกิดพันธะไฮโดรเจน จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของ फिल्मสูงขึ้น แต่เมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงใน फिल्मแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณ 5 มิลลิลิตร พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของ फिल्मมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ फिल्मแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่เติมแคลเซียมคลอไรด์ ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 เนื่องจากแคลเซียมไอออนสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงกับโมเลกุลแมงลัก จึงส่งผลให้ फिल्मมีความแข็งแรงขึ้น



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของ फिल्मผสม 2M1P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 และ 0.9 กรัม ที่มีและไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%

จากกราฟที่ 4.25 เป็นการเปรียบเทียบ फिल्मผสมที่เติมแคลเซียมคลอไรด์และไม่เติมแคลเซียมคลอไรด์ เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของ फिल्मผสม 2M1P ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 75% ที่มีปริมาณบอริก 0.3 กรัม มีค่าความแข็งแรงดึง 13.45 MPa แต่พอเติมแคลเซียมคลอไรด์ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มเป็น 21.06 MPa และ फिल्मผสมที่มีปริมาณบอริก 0.9 กรัม มีค่าความแข็งแรงดึง 17.31 MPa แต่พอเติมแคลเซียมคลอไรด์

ไรด์ค่าความแข็งแรงดึงเป็น 16.05 MPa เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถเชื่อมโยงกับโมเลกุลแมงกานีส จึงทำให้ฟิล์มแข็งแรงขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงจึงสูงขึ้น



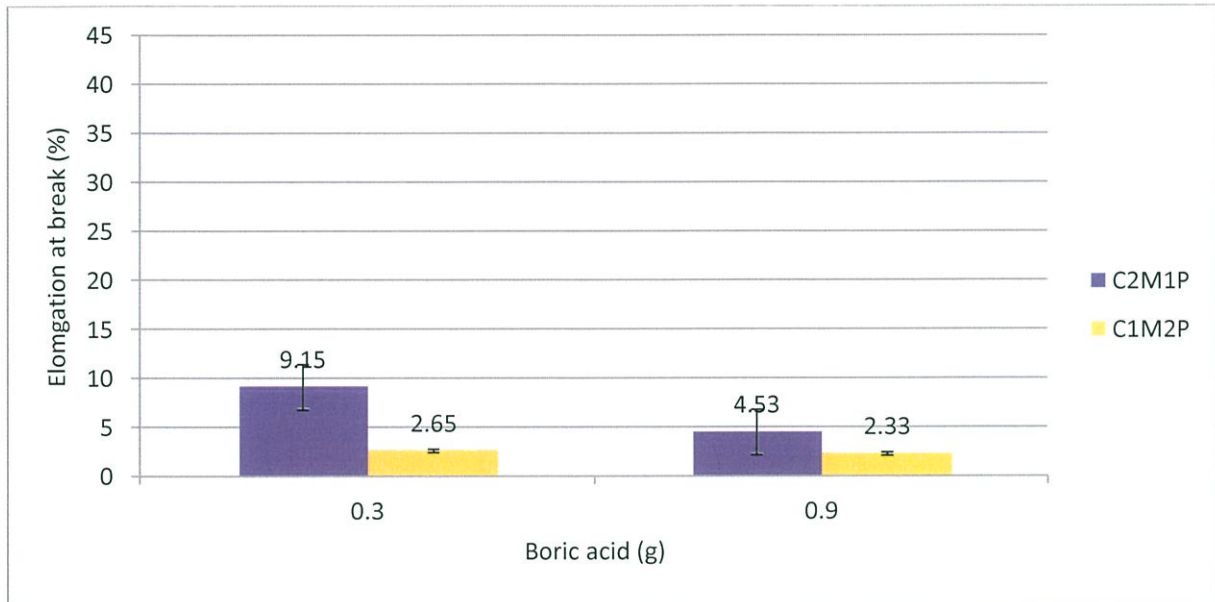
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสม 1M2P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 และ 0.9 กรัม ที่มีและไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%

จากกราฟที่ 4.26 เป็นการเปรียบเทียบฟิล์มผสมที่เติมแคลเซียมคลอไรด์และไม่เติมแคลเซียมคลอไรด์ เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของฟิล์มผสม 1M1P ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 75% ที่มีปริมาณบอริก 0.3 กรัม มีค่าความแข็งแรงดึง 7.52 MPa แต่พอเติมแคลเซียมคลอไรด์ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มเป็น 13.68 MPa และฟิล์มผสมที่มีปริมาณบอริก 0.9 กรัม มีค่าความแข็งแรงดึง 5.63 MPa แต่พอเติมแคลเซียมคลอไรด์ค่าความแข็งแรงดึงเป็น 6.24 MPa

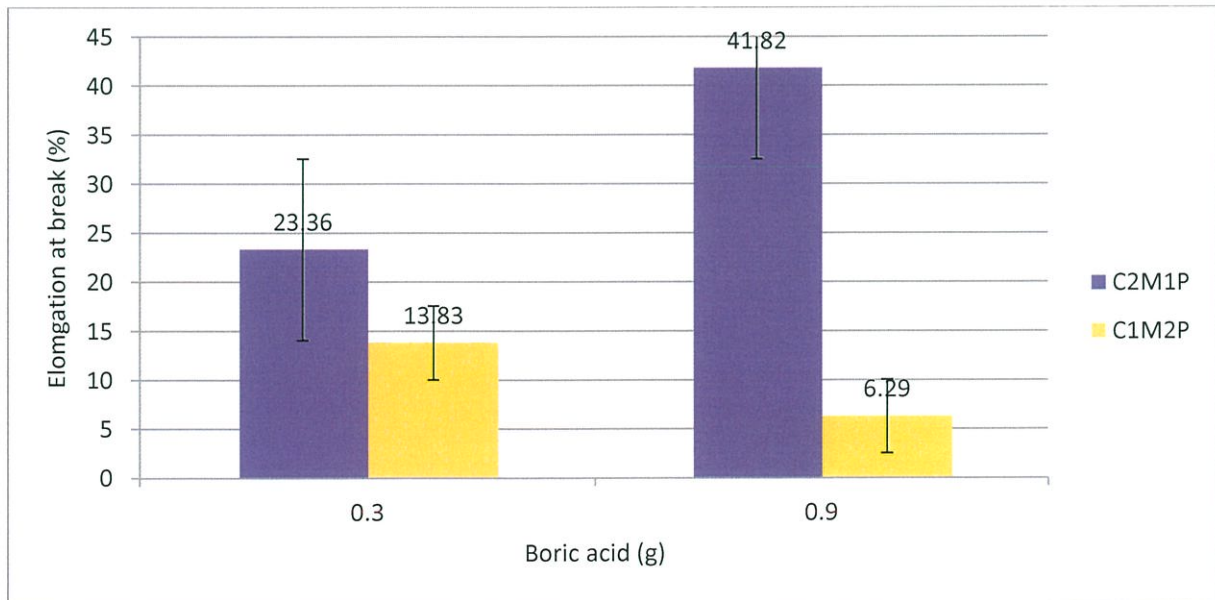
ผลการทดลองแสดงว่าการใช้สารก่อพันธะเชื่อมโยงน้อย เช่น บอริก 0.3 กรัม ทำให้ในฟิล์มผสมยังมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดเชื่อมโยงกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้มาก ทำให้ความแข็งแรงดึงสูงขึ้นเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ การใช้สารก่อพันธะเชื่อมโยงบอริกมาก เช่น 0.9 กรัม ทำให้เหลือหมู่ฟังก์ชันที่ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้น้อย ความแข็งแรงดึงจึงไม่เปลี่ยนแปลงมากและอาจลดลงเล็กน้อย เพราะเกิดการเชื่อมโยงมาก ทำให้ชิ้นงานแข็งเปราะ

4.2.3 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

นำฟิล์มตัวอย่างมาทดสอบสมบัติเชิงกล โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มแรกเก็บที่อุณหภูมิห้อง ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และกลุ่มที่สองเก็บที่อุณหภูมิห้อง ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 75% (เก็บในสารละลายอิมิตัวโซเดียมคลอไรด์)



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าความยืด ณ จุดขาดของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50%

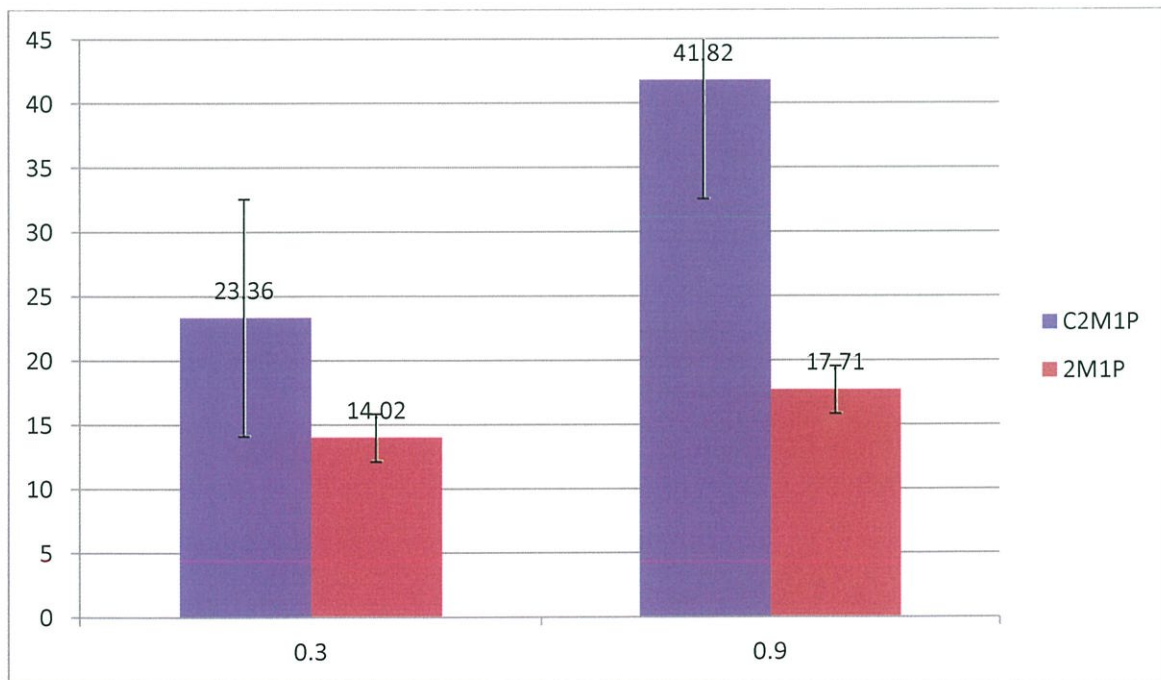


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าความยืด ณ จุดขาดของฟิล์มผสมที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%

จากรูปที่ 4.27 फिल्मแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 และ 0.9 กรัม โดยฟิล์มผสมที่ไม่ได้นำไปวางในเดกซิเดเตอร์ที่มีสารละลายอิมิตัวโซเดียมคลอไรด์ จะมีความตึงยึด ณ จุดขาดน้อย ในขณะที่ฟิล์มผสมที่ผ่านการวางในเดกซิเดเตอร์ที่มีสารละลายอิมิตัวโซเดียมคลอไรด์ พบว่าค่าความตึงยึด ณ จุดขาดของฟิล์มผสมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูป 4.27 อาจเนื่องจากน้ำที่มีอยู่ในเนื้อของฟิล์มผสม ทำให้ฟิล์มผสมเกิดปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่เพิ่มขึ้น จึงเคลื่อนที่ได้มากขึ้น สายโซ่พอลิเมอร์ของฟิล์มผสมยืดออกได้มากขึ้นก่อนขาด

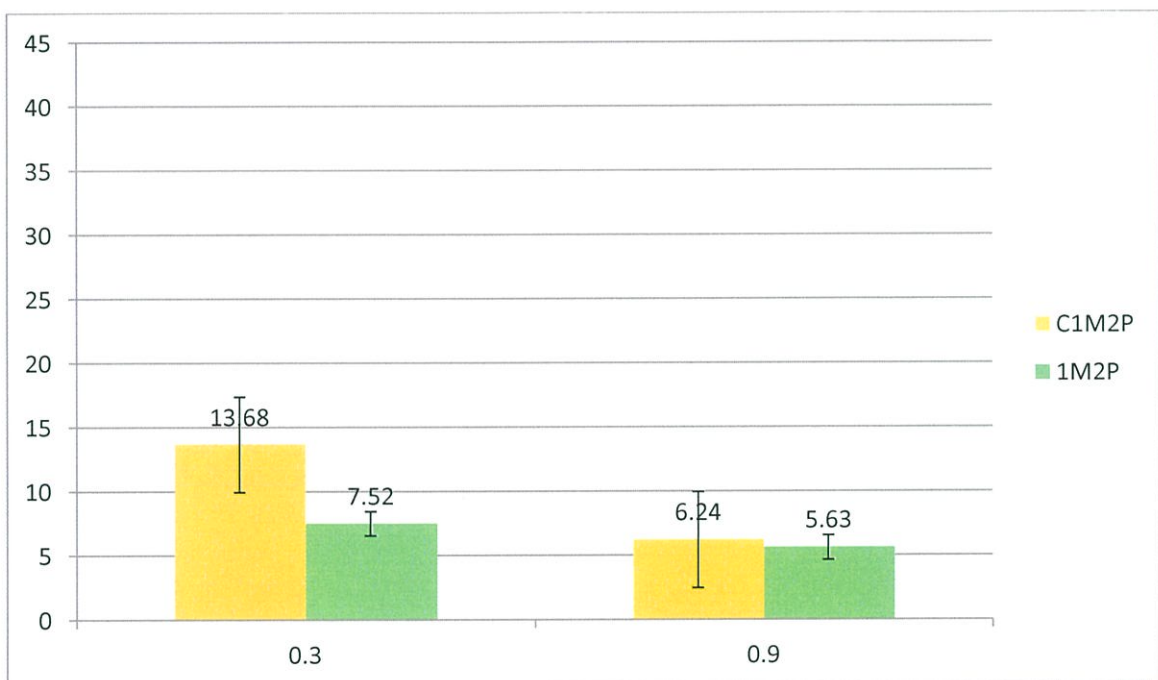
จากรูปที่ 4.24 พบว่าสูตร C2M1P มีค่าความตึงยึด ณ จุดขาดสูงกว่าสูตร C1M2P ในทุกๆ อัตราส่วนของปริมาณบอริก และ C2M1P ปริมาณบอริกที่ 0.9 กรัมมีค่าความตึงยึด ณ จุดขาดสูงที่สุดคือ 41.82% บอริกทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้ดีกว่าแมงลัก ส่งผลให้ แมงลักมีการดูดน้ำมากขึ้น น้ำจึงทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ค่าการตึงยึด ณ จุดขาดจึงสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตร 2M1P กับ C2M1P ที่มีปริมาณบอริก 0.9 กรัม จากรูปที่ 4.10 และ 4.28 พบว่า ค่าตึงยึด ณ จุดขาดของ C2M1P สูงกว่า 2M1P เนื่องจากไอออนแคลเซียมคลอไรด์มีความสามารถในการดูดน้ำ ส่งผลให้น้ำคงอยู่ในฟิล์ม ทำให้ฟิล์มผสมเกิดปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่เพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนที่ได้มากขึ้น สายโซ่พอลิเมอร์ของฟิล์มผสมยืดออกได้มากขึ้นก่อนขาด



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าร้อยละการตึงยึด ณ จุดขาดของฟิล์มผสม 2M1P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 และ 0.9 กรัม ที่มีและไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%

จากกราฟที่ 4.29 เป็นการเปรียบเทียบฟิล์มผสมที่เติมแคลเซียมคลอไรด์และไม่เติมแคลเซียมคลอไรด์ เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละการดึงยึดของฟิล์มผสม 2M1P ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 75% ที่มีปริมาณบอริก 0.3 กรัม มีค่าความแข็งแรงดึง 14.02% แต่พอเติมแคลเซียมคลอไรด์ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มเป็น 23.36% และฟิล์มผสมที่มีปริมาณบอริก 0.9 กรัม มีค่าความแข็งแรงดึง 17.71% แต่พอเติมแคลเซียมคลอไรด์ค่าความแข็งแรงดึงเป็น 41.82% เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีความสามารถในการดูดน้ำ ส่งผลให้ฟิล์มผสมเกิดปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่เพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนที่ได้มากขึ้น สายโซ่ของพอลิเมอร์ของฟิล์มยึดออกได้มากขึ้นก่อนขาด ค่าร้อยละการดึงยึดของฟิล์มจึงมากขึ้น



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของฟิล์มผสม 1M2P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 และ 0.9 กรัม ที่มีและไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%

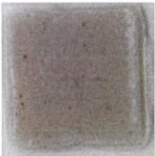
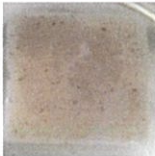
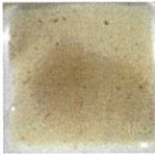



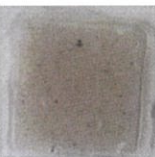


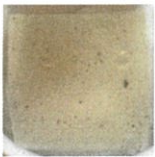
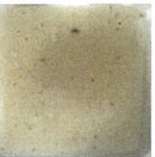
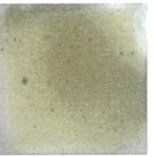
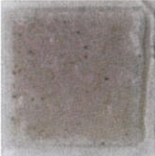





จากกราฟที่ 4.30 เป็นการเปรียบเทียบฟิล์มผสมที่เติมแคลเซียมคลอไรด์และไม่เติมแคลเซียมคลอไรด์ เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละการดึงยึดของฟิล์มผสม 1M2P ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 75% ที่มีปริมาณบอริก 0.3 กรัม มีค่าความแข็งแรงดึง 7.52% แต่พอเติมแคลเซียมคลอไรด์ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มเป็น 13.68% และฟิล์มผสมที่มีปริมาณบอริก 0.9 กรัม มีค่าความแข็งแรงดึง 5.63% แต่พอเติมแคลเซียมคลอไรด์ค่าความแข็งแรงดึงเป็น 6.24%

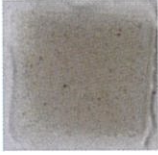

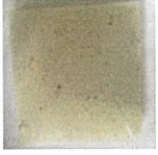

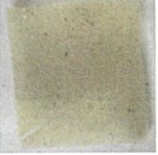

4.2.4 การดูดซับน้ำ (Water uptake)

4.2.4.1 ลักษณะทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.4 การปรับปรุงสูตร 2M1P เพื่อให้ฟิล์มมีความคงรูปมากขึ้น โดยทดลองปรับสูตรของ 1M2P และ 2M1P ที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ 5 มิลลิลิตร บอริกปริมาณ 0.3 กรัม และ 0.9 กรัม เนื่องจากที่ปริมาณบอริก 0.3 กรัม และ 0.9 กรัม ทำให้มีค่าการทดสอบทางกายภาพที่ดี จึงมีข้อสูตรใหม่ที่ปรับปรุงว่า C1M2P และ C2M1P หลังจากการทดลองแช่น้ำครั้งละ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นแช่น้ำติดต่อกันให้ครบ 24 ชั่วโมง จะพบว่าสูตร C1M2P ที่มีบอริก 0.9 กรัม จะมีค่าการดูดน้ำน้อยที่สุด และสามารถคงรูปได้มากที่สุด แสดงว่าเมงลักเกิดพันธะเชื่อมโยงกับแคลเซียมไอออนได้ทำให้ สามารถดูดน้ำได้น้อยลง ความสามารถดูดน้ำของแผ่นฟิล์มจึงลดลงและส่งผลให้ฟิล์มคงรูปในน้ำได้มากขึ้น และสูตร C2M1P ที่มีบอริก 0.9 กรัม มีค่าการดูดน้ำได้มากที่สุด จึงทำให้เสียสภาพได้ง่ายที่สุด เนื่องจาก 2M1P มีปริมาณของเมงลักมาก ทำให้หมู่ -OH ในเมงลักดูดน้ำได้ อีกทั้งยังเพิ่มปริมาณบอริกให้มากขึ้นก็ยิ่งทำให้ฟิล์มเสียสภาพได้ง่ายยิ่งขึ้นดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มผสมที่เติมแคลเซียมคลอไรด์หลังจากนำไปแช่น้ำในเวลาต่างๆ

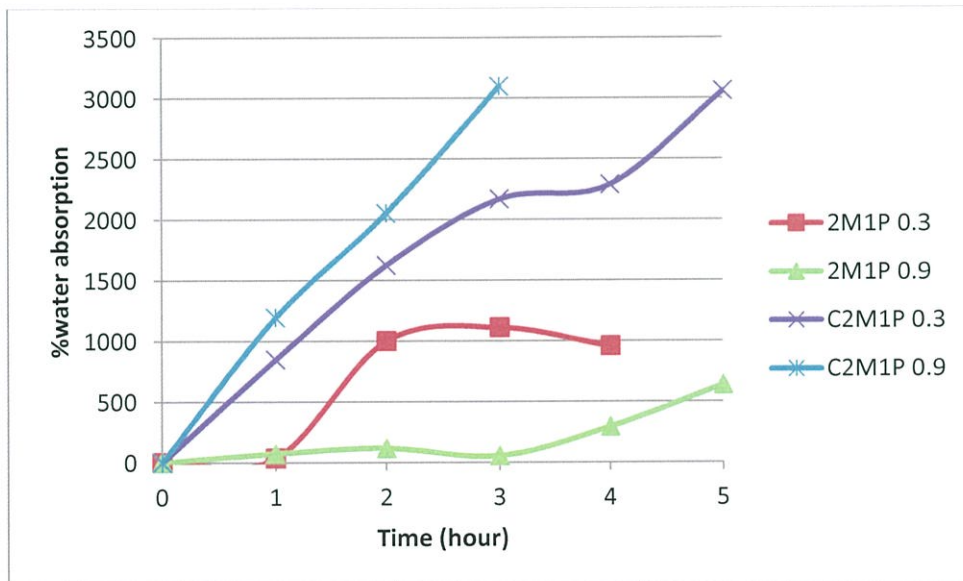
| | 1 ชั่วโมง | 2 ชั่วโมง | 3 ชั่วโมง | 4 ชั่วโมง | 5 ชั่วโมง | 24 ชั่วโมง |
|--------------|---|---|---|---|---|---|
| C2M1P 0.3 |  |  |  |  |  |  |
| C2M1P 0.9 |  |  |  |  |  |  |
| C1M2P 0.3 |  |  |  |  |  |  |

| | 1 ชั่วโมง | 2 ชั่วโมง | 3 ชั่วโมง | 4 ชั่วโมง | 5 ชั่วโมง | 24 ชั่วโมง |
|--------------|---|---|---|--|---|---|
| C1M2P 0.9 |  |  |  |  |  |  |

*หมายเหตุ: ฟิล์มไม่ถูกรบกวนด้วยการตักหรือคน

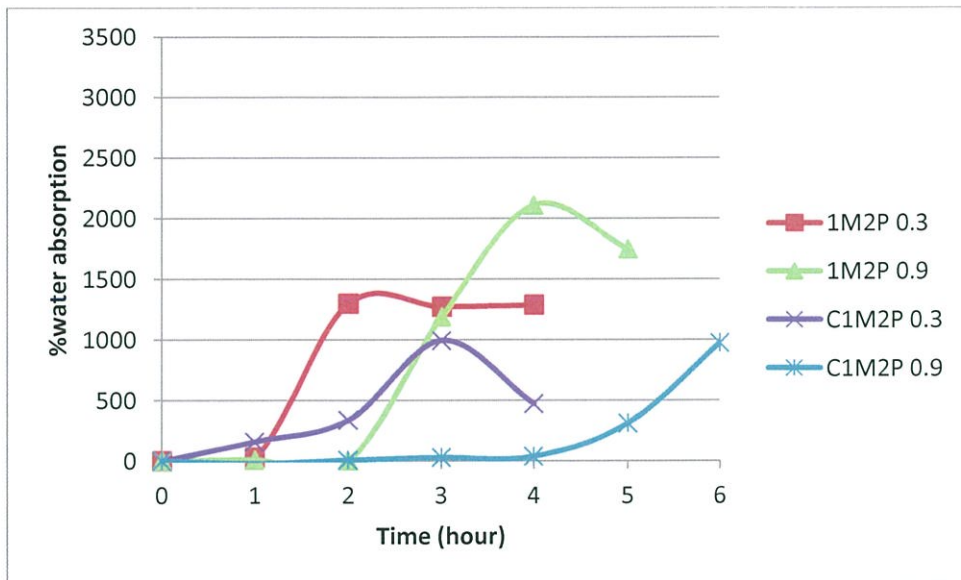
4.2.4.2 ปริมาณการดูดซับน้ำ

แช่น้ำครบทุก 1 ชม. จะตักฟิล์มขึ้นมาซับน้ำด้วยกระดาษกรองจนอิมตัว และนำไปชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 4.31 การดูดซับน้ำของฟิล์มผสม 2M1P และ C2M1P ที่มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม

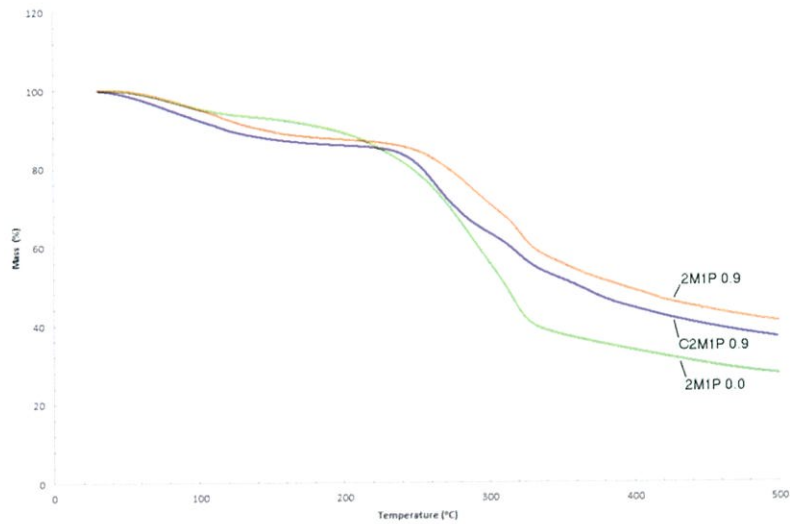
จากรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการใส่แคลเซียมคลอไรด์ลงในสูตร 2M1P พบว่ามีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น แสดงว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับแมงลักได้ดี เกิดพันธะเชื่อมโยงบอริกมาก ซึ่งจะขัดขวางการเกิดผลึกของฟิล์มในขณะที่ทำให้ฟิล์มแห้ง ทำให้ปริมาตรอิสระของฟิล์มเพิ่มขึ้น การดูดซับน้ำจึงมากขึ้น



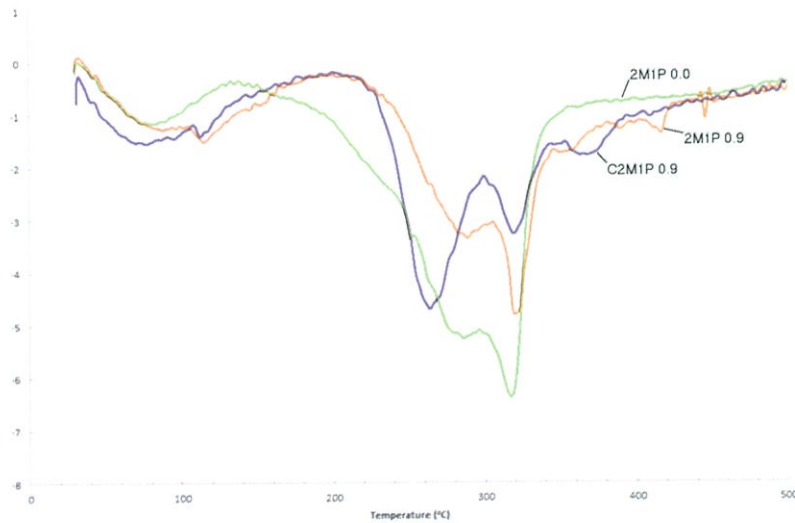
รูปที่ 4.32 การดูดซับน้ำของฟิล์มผสม 1M2P และ C1M2P ที่มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการใส่แคลเซียมคลอไรด์ลงในสูตร 1M2P พบว่ามีการดูดซับน้ำลดลง โดยเฉพาะฟิล์มผสม 1M2P ที่มีบอริก 0.9 กรัม แสดงว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับหมู่ $-OH$ ในฟิล์ม เท่ากับลดหมู่ชอบน้ำลง การดูดน้ำจึงลดลงสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงดึงที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและความยืด ผน จุดขาดที่ลดลงเล็กน้อย

4.2.5 Thermogravimetric Analysis (TGA)



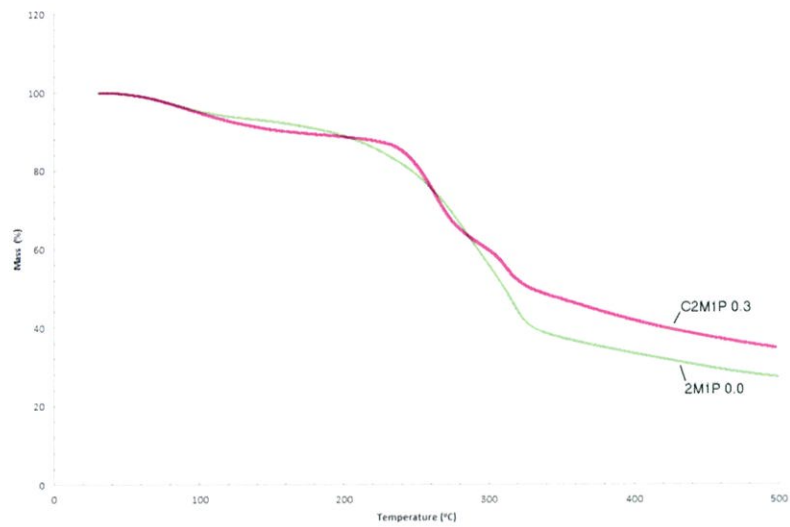
(ก)



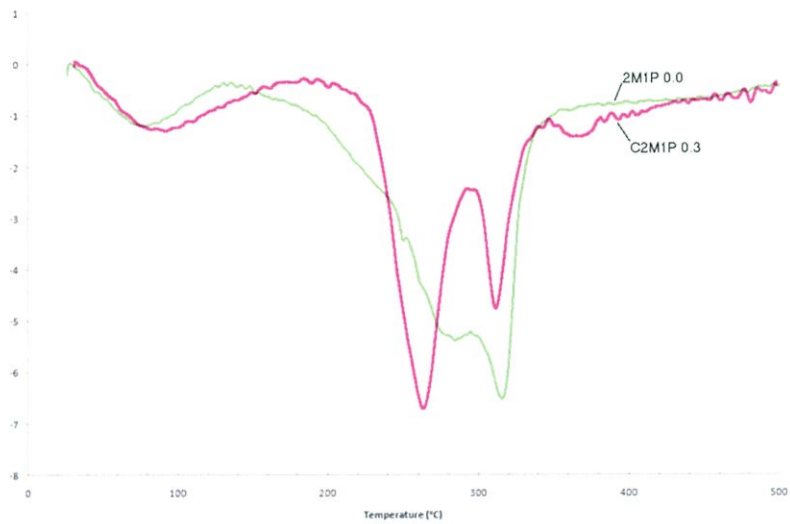
(ข)

รูปที่ 4.33 แสดงกราฟ TGA (ก) และ DTG (ข) ของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีส่วนผสมของบอริก 0.9 กรัม และ C2M1P ที่มีบอริกเป็นส่วนผสม 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.33 สูตร C2M1P ที่มีบอริกเป็นส่วนผสม 0.9 กรัม ที่กราฟ DTG พิกของแมงลักที่อุณหภูมิ 263.6 °C กับพิกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ 319.1 °C นั้นแยกออกจากกันอย่างชัดเจน และมีพิกใหม่เกิดขึ้นที่ 368.0 °C ซึ่งน่าจะเป็นพิกของแมงลักทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เกิดการแยกวัฏภาคกันระหว่างแมงลักที่ไม่ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของแมงลักที่ไม่ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลง



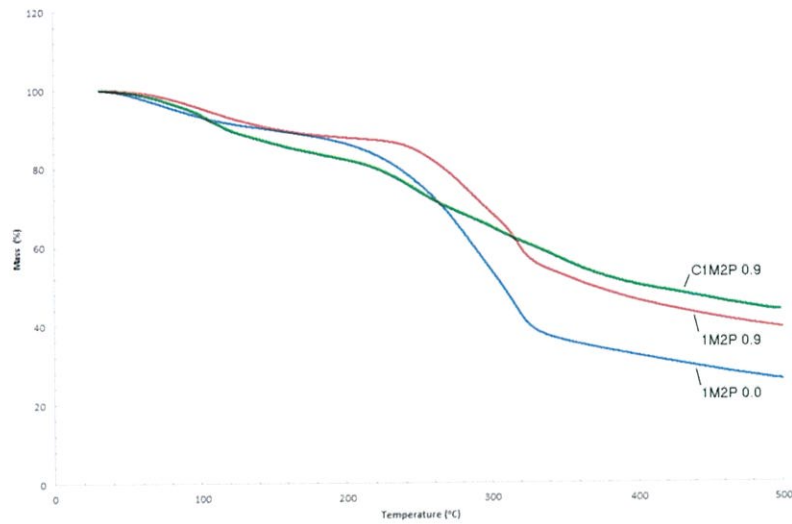
(ก)



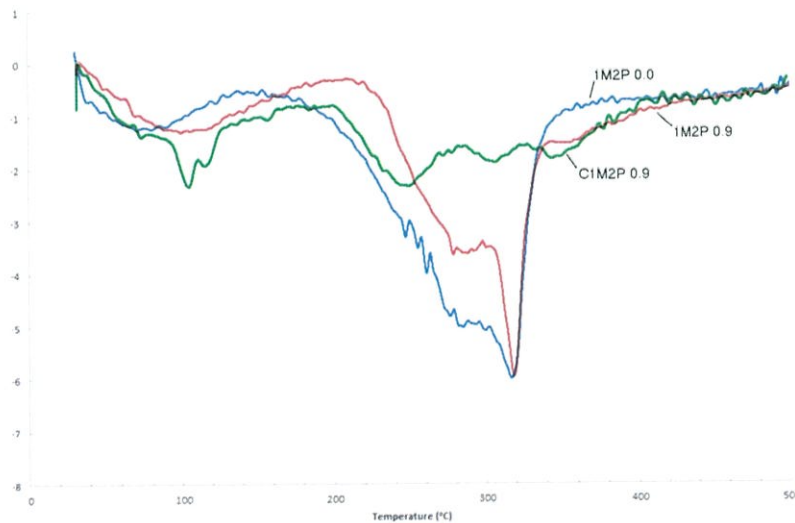
(ข)

รูปที่ 4.34 แสดงกราฟ TGA (ก) และ DTG (ข) ของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีสารเชื่อมโยงบอริก และ C2M1P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 กรัม

จากรูปที่ 4.34 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการสลายตัวของสูตร 1M2P ที่ไม่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง เมื่อมีการเติมบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 กรัม และแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าพีคมีลักษณะคล้ายกับสูตร C2M1P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.9 กรัม คือเห็นเป็น 3 พีค พีคแรกของแมงลักที่อุณหภูมิ 262.9°C พีคที่ 2 ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ 311.6°C และพีคใหม่เกิดขึ้นที่ 365.4°C ซึ่งน่าจะเป็นพีคของแมงลักทำกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับแมงลักได้จริง



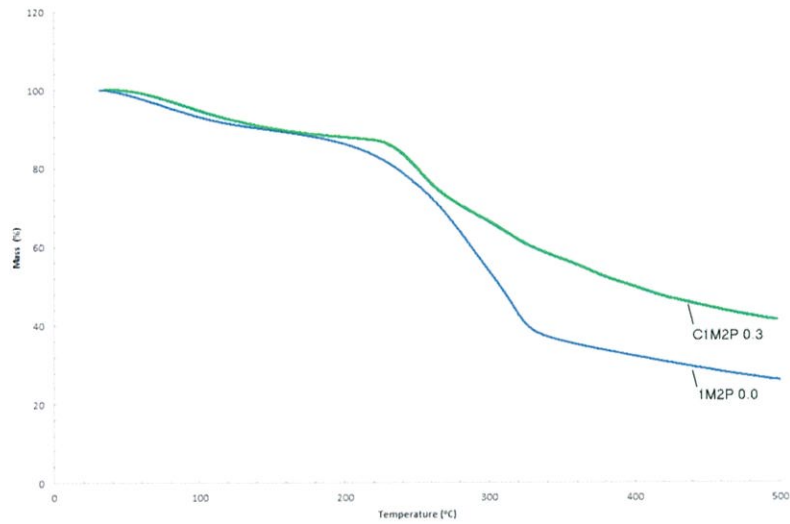
(ก)



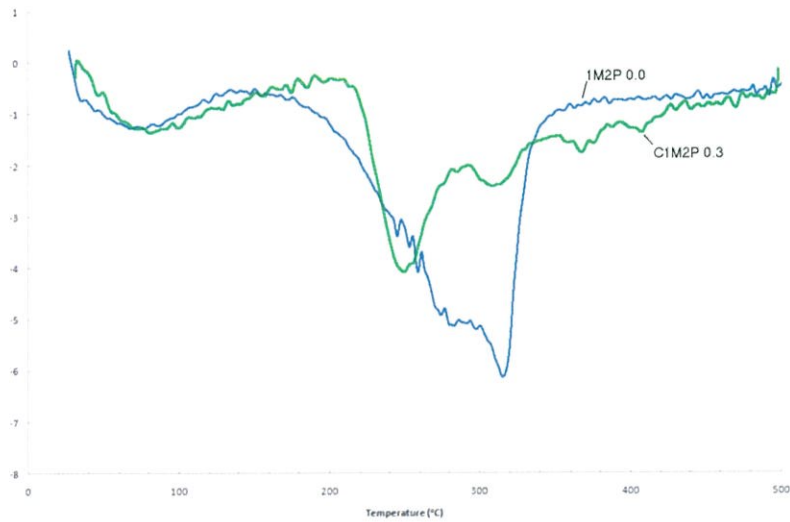
(ข)

รูปที่ 4.35 แสดงกราฟ TGA (ก) และ DTG (ข) ของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีส่วนเชื่อมโยงบอริก 0.9 กรัม และ C1M2P ที่มีบอริกเป็นส่วนเชื่อมโยงบอริก 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.35 แสดงให้เห็นว่ากราฟอุณหภูมิการสลายตัวของสูตร C1M2P ที่มีบอริกเป็นส่วนเชื่อมโยงบอริก 0.9 กรัม มีลักษณะคล้ายกับสูตร C2M1P ที่มีบอริกเป็นส่วนเชื่อมโยงบอริก 0.9 กรัม คือเห็นเป็น 3 พีค พีคแรกของแมงลักที่อุณหภูมิ 248.9 °C พีคที่ 2 ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ 306.6 °C และพีคใหม่เกิดขึ้นที่ 344.1 °C ซึ่งน่าจะเป็นพีคของแมงลักทำกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งคำอธิบายจะคล้ายกับฟิล์มผสม C2M1P ที่มีบอริกเป็นส่วนเชื่อมโยงบอริก 0.9 กรัม



(ก)



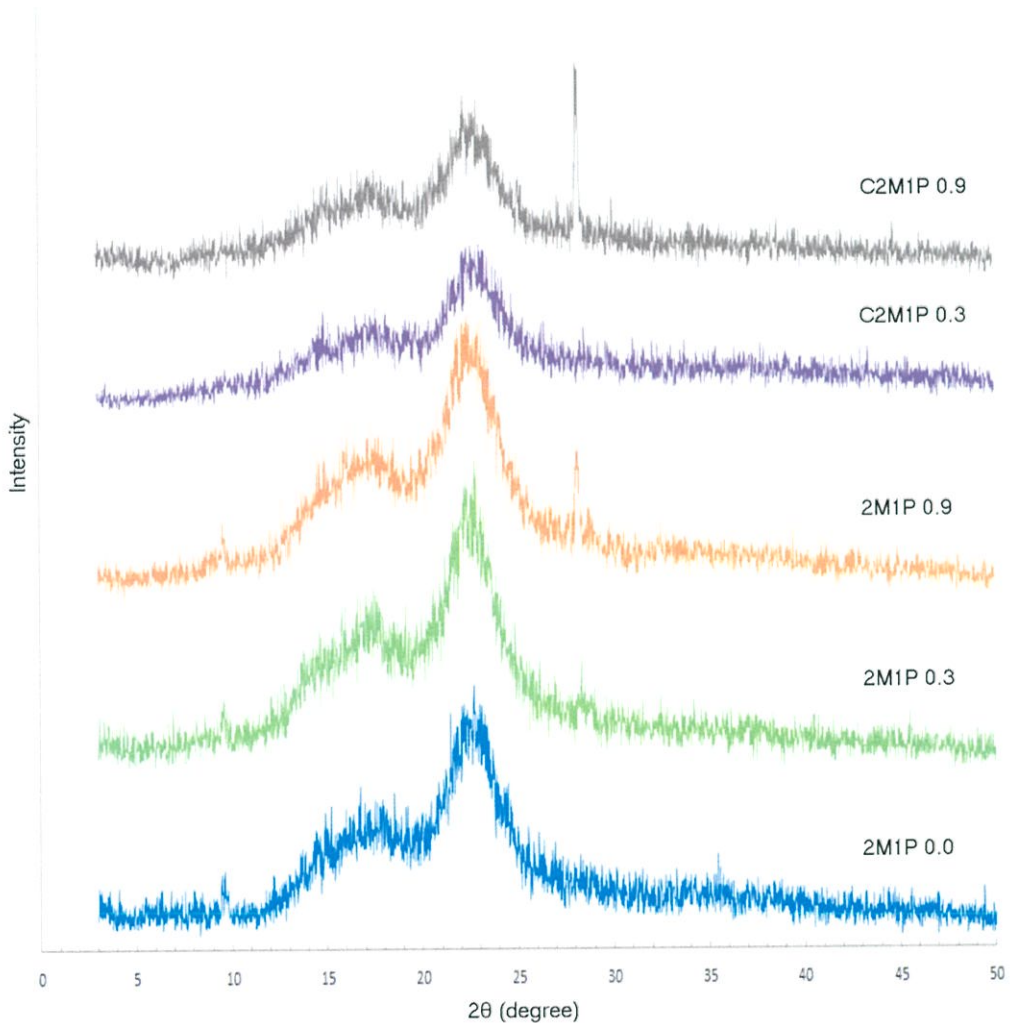
(ข)

รูปที่ 4.36 แสดงกราฟ TGA (ก) และ DTG (ข) ของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีสารเชื่อมโยงบอริก และ C1M2P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 กรัม

จากรูปที่ 4.36 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการสลายตัวของสูตร 1M2P ที่ไม่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง เมื่อมีการเติมบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.3 กรัม และแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าพีคมีลักษณะคล้ายกับสูตร C1M2P ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง 0.9 กรัม คือเห็นเป็น 3 พีค พีคแรกของแมงลักที่อุณหภูมิ 249.5 °C พีคที่ 2 ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ 309.1 °C พีคที่ 3 ที่ 367.6 °C ซึ่งน่าจะเป็นพีคของแมงลักทำกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับแมงลักได้จริง และมีพีคที่ 4 เกิดขึ้นที่ประมาณ 400 °C ซึ่งน่าจะเป็นพีคของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์

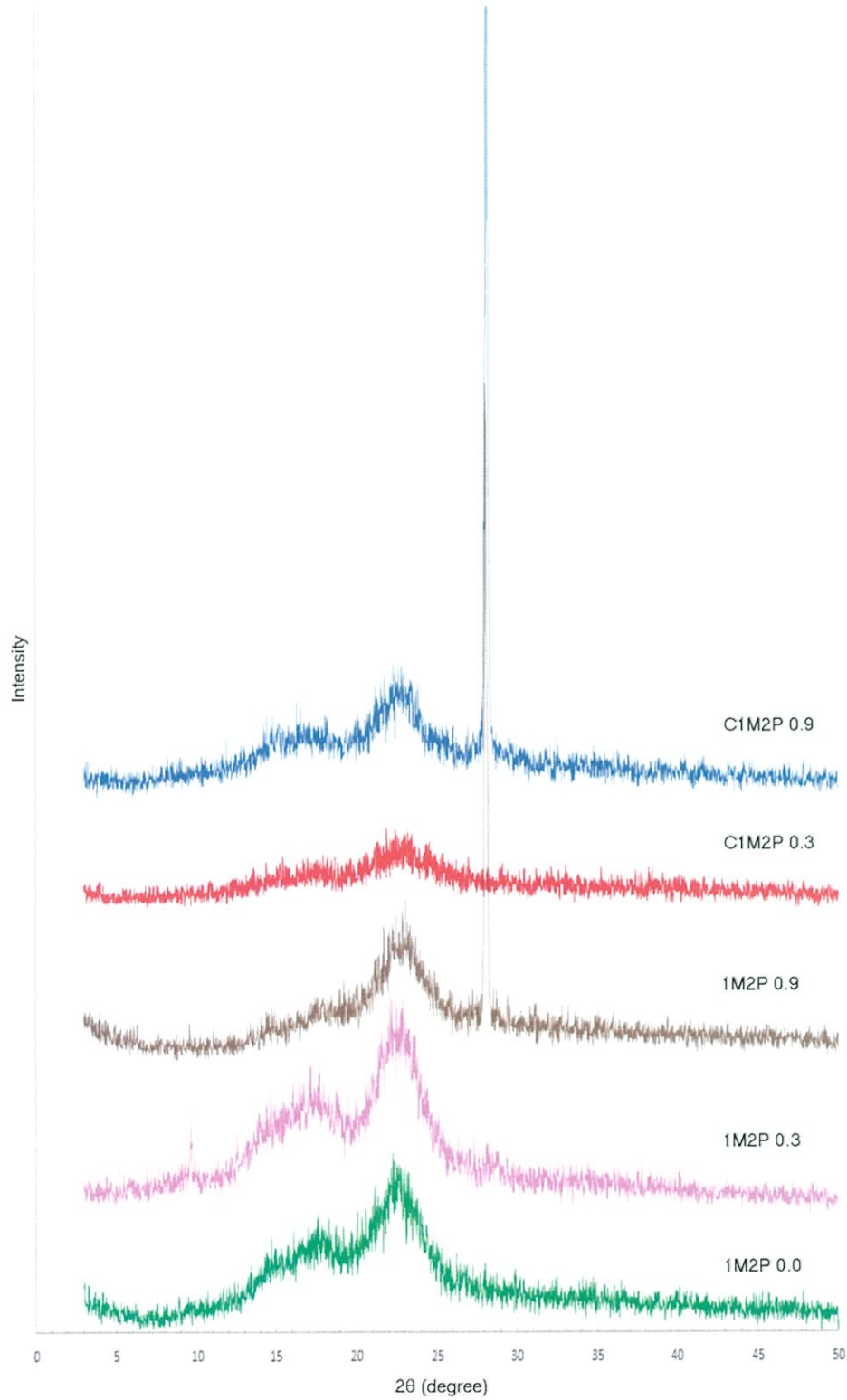
เพราะพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับบอริก จะมาทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีพีคที่ 4 เกิดขึ้น

4.2.6 X-ray Diffraction (XRD)



รูปที่ 4.37 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของฟิล์มผสม 2M1P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก และ C2M1P ที่มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.37 แสดงให้เห็นว่าการใส่ CaCl_2 ในสูตร 2M1P ที่มีการใส่บอริกซึ่งเป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม ให้ผลในทำนองเดียวกัน คือ โครงผลึกของฟิล์มเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะที่ $2\theta = 15-19.7^\circ$ และความเข้มของพีคลดลงเล็กน้อย แสดงว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงบอริกกับแมงลักได้บ้าง



รูปที่ 4.38 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของฟิล์มผสม 1M2P ที่ไม่มีและมีสารเชื่อมโยงบอริก และ C1M2P ที่มีสารเชื่อมโยงบอริก 0.3 และ 0.9 กรัม

จากรูปที่ 4.38 แสดงให้เห็นว่าการใส่ CaCl_2 ในสูตร 1M2P ที่มีการใส่บอริกซึ่งเป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง 0.3 และ 0.9 กรัม ให้ผลในการทำงานเดียวกัน คือ ลักษณะโครงผลึกที่เป็นเซลล์ูโลสของแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเข้มลดลง และเห็นพีคของบอริก[29]ความเข้มสูงมาก แสดงว่าบอริกเข้าทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับหมู่ $-\text{OH}$ ในฟิล์มได้มาก และเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มของผลึกฟิล์มผสมลดลง แสดงว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับแมงลักได้บางส่วน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่า ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เมื่อแห้งที่อุณหภูมิห้องมีลักษณะแข็งเปราะ ดูดน้ำได้มาก แต่เสียสภาพง่าย เมื่อนำฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์วางในเดกซิเคเตอร์ที่มีสารละลายอิมิตัวโซเดียมคลอไรด์ พบว่า การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น แสดงว่าน้ำในฟิล์มผสมทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์

ผลการทดสอบฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าปริมาณบอริกมากส่งผลให้ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มค่าความแข็งแรงดึงและค่าความดึงยืด ณ จุดขาดสูงขึ้น ดูดน้ำลดลงในช่วงโม่งแรก เมื่อเทียบกับฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง แต่ทำให้ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มค่าความแข็งแรงดึงและค่าความดึงยืด ณ จุดขาดลดลง

การเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในฟิล์มพบว่า ทำให้ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง ดูดน้ำได้มากกว่าเมื่อไม่มีแคลเซียมคลอไรด์ แต่ทำให้ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ที่มีบอริกเป็นสารเชื่อมโยง ดูดน้ำได้ลดลง

ฟิล์มแมงลักผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ (C2M1P) โดยมีปริมาณบอริก 0.9 กรัม ฟิล์มที่ได้มีลักษณะนิ่ม ยืดได้ ไม่เปราะแตกหักง่าย สมบัติเชิงกลดี เพราะแนวโน้มค่าความแข็งแรงดึงและค่าความดึงยืด ณ จุดขาดสูงและมีปริมาณของบอริกที่ไม่มากเกินไป

ถ้ามีปริมาณของบอริกมากถึง 1.2 กรัม จะทำให้ฟิล์มที่ได้แข็งเปราะแตกหักง่าย และเกิดผลึกของบอริกขึ้นที่พื้นผิวและในเนื้อฟิล์ม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรหากรรมวิธีอื่นในการทำฟิล์มแทนการหล่อแบบ (Casting) เนื่องจากของผสมมีสภาพหนืดไหลยาก เพื่อให้ได้ค่าความหนาสม่ำเสมอ การทดสอบสมบัติเชิงกลจะได้ค่าที่แน่นอนมากขึ้น
2. ควรนำฟิล์มไปอบในตู้อบสุญญากาศ เพื่อไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ในชิ้นงาน
3. ศึกษาหาสารเชื่อมโยงชนิดอื่นๆ เพื่อให้ได้สมบัติต่างๆ ดียิ่งขึ้น
4. ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของแมกัลกและโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อให้ได้สมบัติต่างๆ ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] วนิดา วงษ์แสง. (2553). "การกำจัดไอออนโลหะหนักจากสารละลายนำด้วยไฮโดรเจล". โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2553.
- [2] Ling S., Zhihua X., Di W., Guanhao X., Shixue R., Guizhen F. (2013). Mechanical Properties Research and Structural Characterization of Alkali Lignin/Poly(vinyl alcohol) Reaction Films. *BioResources*, 8(3), 3532-3543.
- [3] Ottenbrite, และคณะ. (1996). "ไฮโดรเจล (Hydrogel)". [สืบค้นเมื่อ 13 ธ.ค. 2556]. เข้าถึงได้ที่ URL: http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/chem0352pj_ch1.pdf
- [4] Herbal Medicine. *Ocimum citriodorum*. (2009). [สืบค้นเมื่อ 13 ธ.ค. 2556]. เข้าถึงได้ที่ URL: http://www.rspg.or.th/plants_data/herbs/herbs_05_8.htm
- [5] หมอชาวบ้าน. (2552). "แมงลัก". [สืบค้นเมื่อ 12 ธ.ค. 2556]. เข้าถึงได้ที่ URL: <http://www.doctor.or.th/article/detail/5844>
- [6] Beautyfullallday. (2012). "แมงลัก กินดีอยู่ดีมีประโยชน์". [สืบค้นเมื่อ 12 ธ.ค. 2556]. เข้าถึงได้ที่ URL: <http://www.beautyfullallday.com/healthy/แมงลัก-กินดี-รักษาโรค.html>
- [7] ชยามฤต, ก่องกานดา. (2540). "สมุนไพรไทย ตอนที่ 6". กรุงเทพฯ.
- [8] กลมทิพย์ สัจจาอนันตกุล และมาลี ชิมศรีสกุล. (2546). "ผลการใช้ผงเมือกแมงลักเป็นสารเพิ่มความเหนียวในผลิตภัณฑ์บะหมี่สุกแห้ง". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2546.
- [9] สุรินี คำเพ็ง, จอมใจ พีรพัฒนา, และเกษม นันทชัย. "การสกัดและคุณสมบัติของสารเมือกเมล็ดแมงลัก". *Agricultural Sci. J.*, 43(3), หน้า 372-375.
- [10] ชมพูนุท ไกรทอง, ภัสภรณ์ อุปรารัตน์, และ สุนทรี จิตจำ. (2551). "การปรับปรุงเจลจากแมงลักเพื่อนำไปใช้ประโยชน์". โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2551.

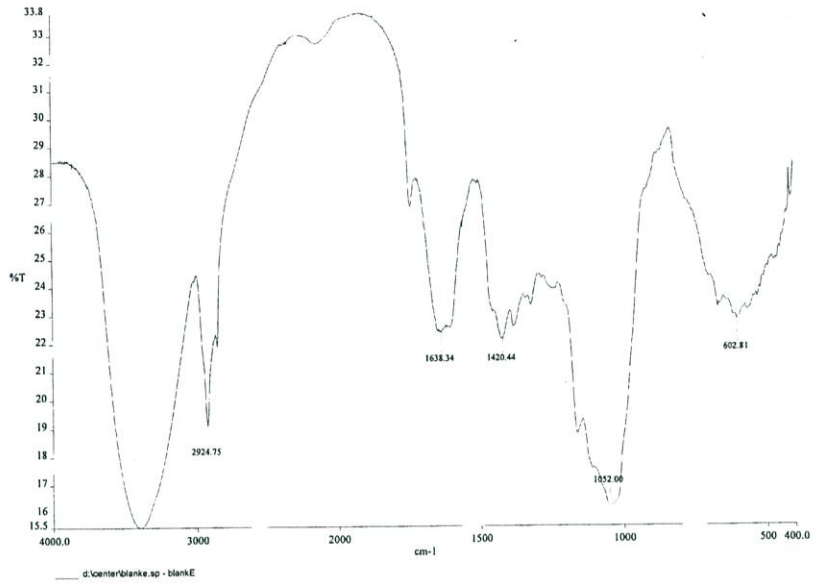
- [11] Illanes, T. (2011). Synthesis of Novel Degradable Polymers for Tissue Engineering by Radical Polymerization: Synthesis and characterization of 2-methylene-1,3-dioxepane and copolymerization thereof with vinyl acetate followed by polymer characterization and hydrolysis. KTH, School of Chemical Science and Engineering (CHE).
- [12] Rose Mill Co. (2008). WHAT IS BORIC ACID?. [สืบค้นเมื่อ 11 ธ.ค. 2556] เข้าถึงได้ที่: URL: <http://www.natbat.com/What%20Is%20Boric%20Acid.pdf>
- [13] NCSU – Dept. of Chemistry. Slime – Polyvinyl Alcohol with Borax. [สืบค้นเมื่อ 11 ธ.ค. 2556] เข้าถึงได้ที่: URL: <http://ncsu.edu/project/chemistrydemos/Organic/Slime.pdf>
- [14] สุธิดา อรรถยานันท์, และอมรชัย อภรณ์วิชานพ. (2555). “ทำความรู้จักกับ “กลีเซอรอล” ว่าที่แหล่งพลังงานทดแทนในอนาคต”. Technology Promotion, Vol.39, No.226, หน้า 49-52.
- [15] BIOCHEMISTRY: The Chemistry of Living Things. [สืบค้นเมื่อ 11 ธ.ค. 2556] เข้าถึงได้ที่: URL: <http://home.roadrunner.com/~lubehawk/BioHELP!/biochem.htm>
- [16] นฤมล ศรีวิฑูรย์, และวัลยา ศรีสง่า. (2543). “การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นไหมเหลือทิ้ง”. โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2543.
- [17] ณรงค์ ยุคันตพรพงษ์, นงนิตย์ ธีระวัฒน์สุข, และ สิริรัตน์ ทองเทพ.(2524). “การแยกสารที่มีสมบัติในการพองตัวจากเม็ดแมงลักเพื่อใช้ประโยชน์ทางเภสัชกรรมและเภสัชอุตสาหกรรม” โครงการพิเศษหลักสูตรปริญญาตรี, คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2524.
- [18] ฝอซีเยาะ ชาเดร์, ปราณี รัตนสุวรรณ, และภาคภูมิ พาณิชยุปการนันท์. (2542). “การเตรียมยาละลายเพิ่ม กากชนิดแคปซูลจากสารเมือกของเม็ดแมงลัก”. วารสารสงขลานครินทร์, ต.ค.-ธ.ค. 2542, 21(4), หน้า 441-446.

- [19] ชีระพล มณีวรานนท์กุล, สุวิทย์ เชื้อโสภณ, และ อรกมล ทองใบ. (2544). "การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างสารเมือก (Mucilage) จากเมล็ดแมงลัก (*Ocimum cannm Sims.*) กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)". โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2544.
- [20] วิษณุ แทนบุญช่วย, และสมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. (2550). "ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและแรงดึงฟิล์มต่อสมบัติความทนแรงดึงและอัตราการซึมผ่านของฟิล์มพอลิเอทิลีน". การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2550.
- [21] Kimb, J.O., Park, J.K., Kimb, J.H. (2008). Development of polyvinyl alcohol-sodium alginate gel-matrix-based wound dressing system containing nitrofurazone. Journal of Pharmaceutics, Volume 359, Issues1-2, 79-86.
- [22] Anroop, B., Bhatnagar, S.P., Ghosh, B., Parcha, V. (2005) Studies on Ocimum gratissimum seed mucilage:evaluation of suspending properties. Department of Pharmaceutical Science, Volume 67, Issues 2, 206-209.
- [23] Matsuda, A., Gong, J.P., Osada, Y. Effect of water and cross-linkage on the formation of organized structure in the hydrogels. Polymer Gels and Networks, Volume 6, Issue 5, 307-317
- [24] Chaplin M. (2014). Water structure and science. [สืบค้นเมื่อ 14 มี.ค. 2557] เข้าถึงได้ที่: URL: <http://www1.lsbu.ac.uk/water/vibrat.html>
- [25] Yeping Y., Jianfang L., Yingchun L., Zhong L. (2005). Strach Crosslinked with Poly(vinylalcohol) by Boric Acid. Journal of Applied Polymer Science, 96, 1394-1397.
- [26] นฤนาท เทศศรีเมือง. 2556. อิทธิพลของสารเชื่อมโยงที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มจากสารเมือกแมงลัก. วิทยานิพนธ์, สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2556

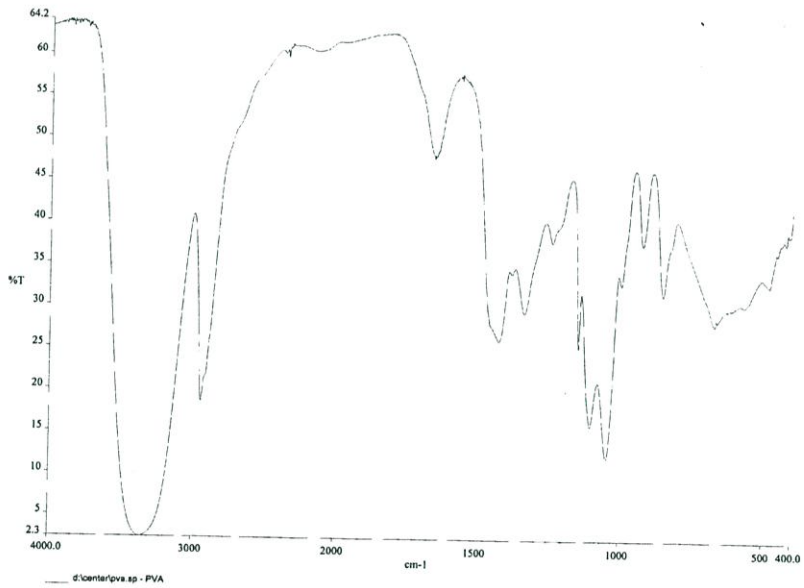
- [27] พิรุณรัตน์ พันธุ์ชาติรี. 2556. การดัดแปรสารเมือกจากแมงลักสำหรับการดูดซับโลหะ. วิทยานิพนธ์, สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2556
- [28] Ping, L., You-Lo, H. (2012). Cellulose isolation and core-shell nanostructures of cellulose nanocrystals from chardonnay grape skins. *Carbohydrate Polymers*, 87, 2546-2553.
- [29] Mahdy M.A., Et-Hussaini O.M., Wahab G.M.A., El-Shahat M.F. (2004). Extraction of Boric Acid from Bittern Solutions of Qaron Lake, Egypt by Ion Exchange. 2th International Boron Symposium, 297-309.

ภาคผนวก

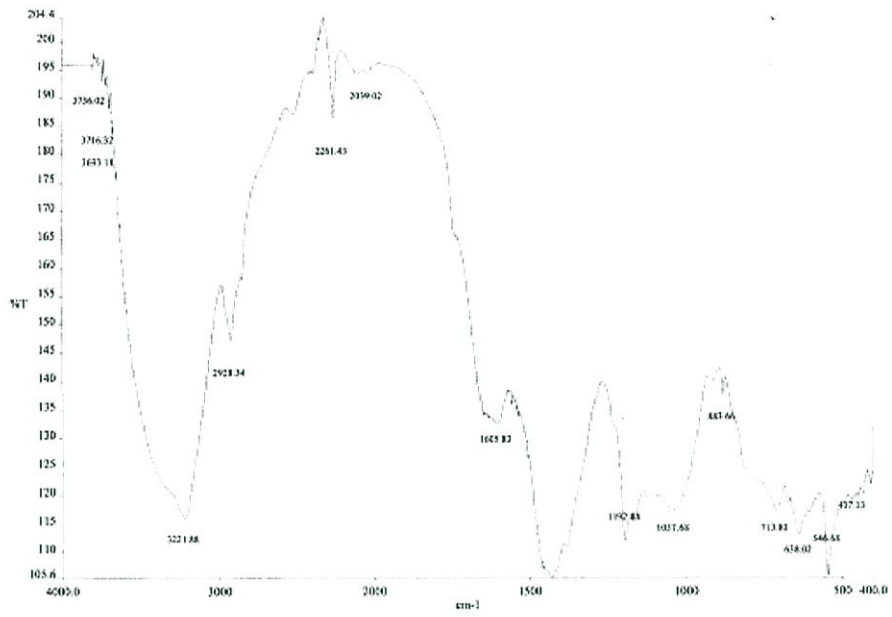
ภาคผนวก ก
IR Spectrum ของฟิล์ม



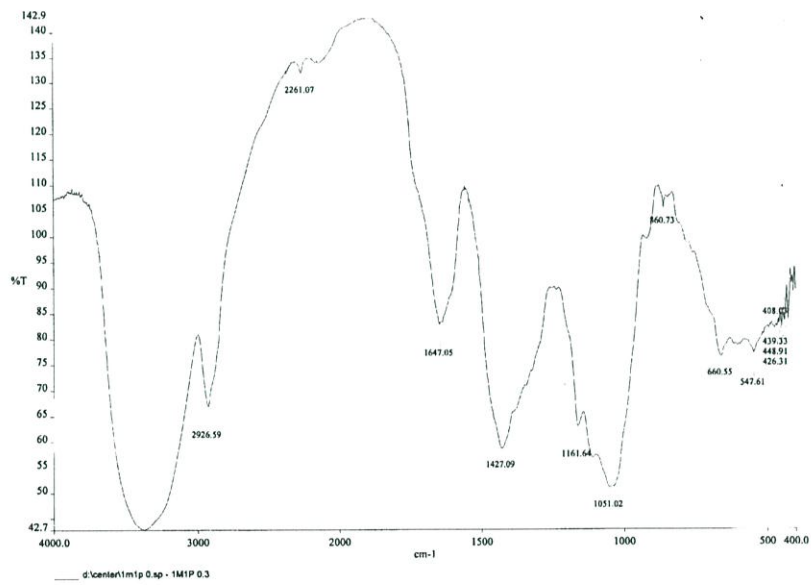
รูปที่ ก.1 สเปกตรัมของสูตร M



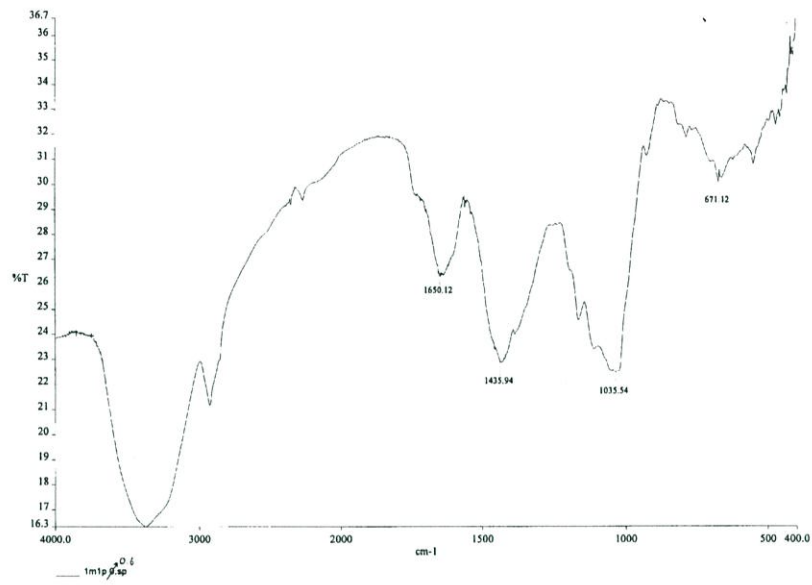
รูปที่ ก.2 สเปกตรัมของสูตร PVA



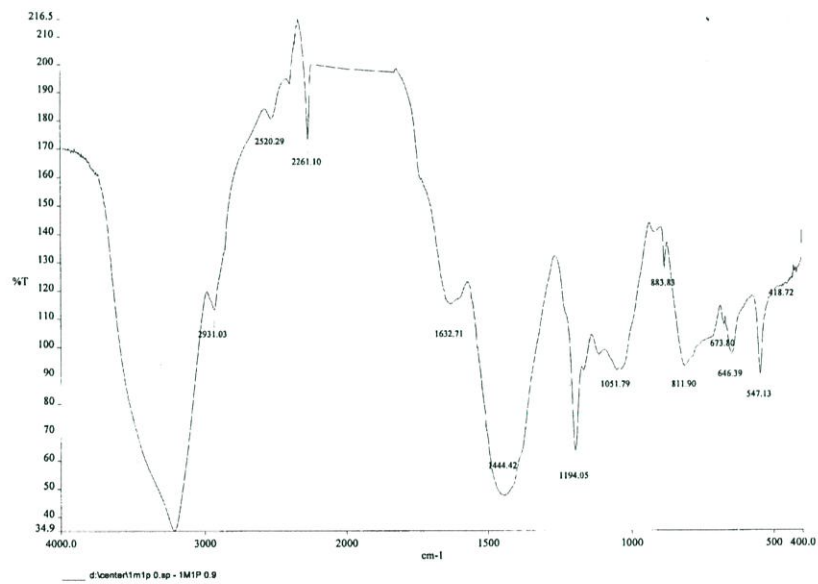
รูปที่ ก.3 สเปกตรัมของสูตร 1M1P



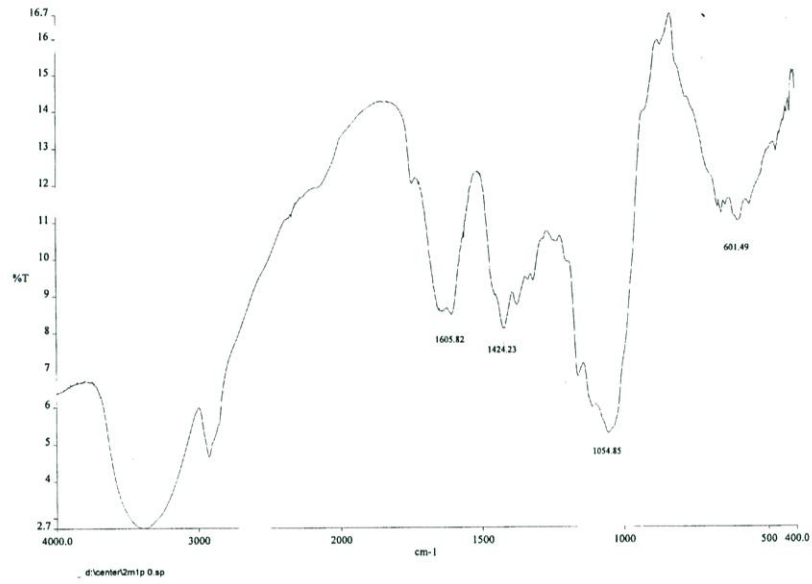
รูปที่ ก.4 สเปกตรัมของสูตร 1M1P 0.3



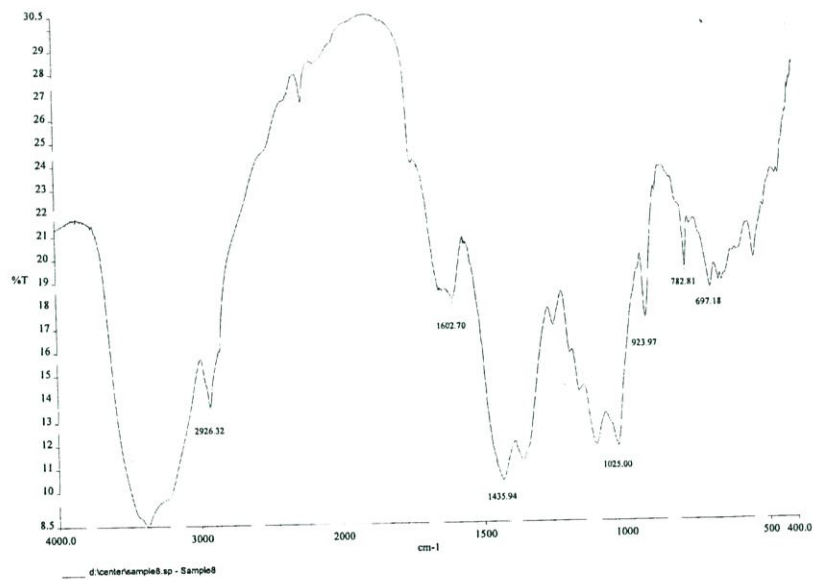
รูปที่ ก.5 สเปกตรัมของสูตร 1M1P 0.6



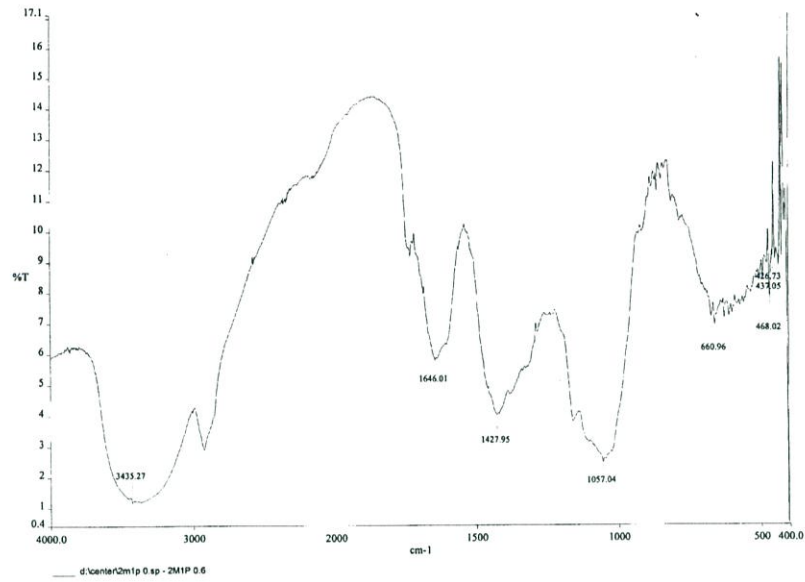
รูปที่ ก.6 สเปกตรัมของสูตร 1M1P 0.9



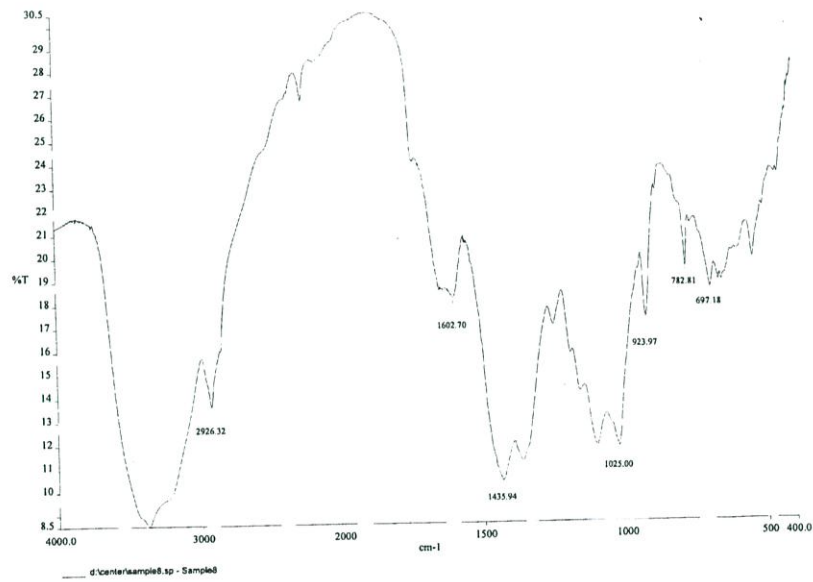
รูปที่ ก.7 สเปกตรัมของสูตร 2M1P



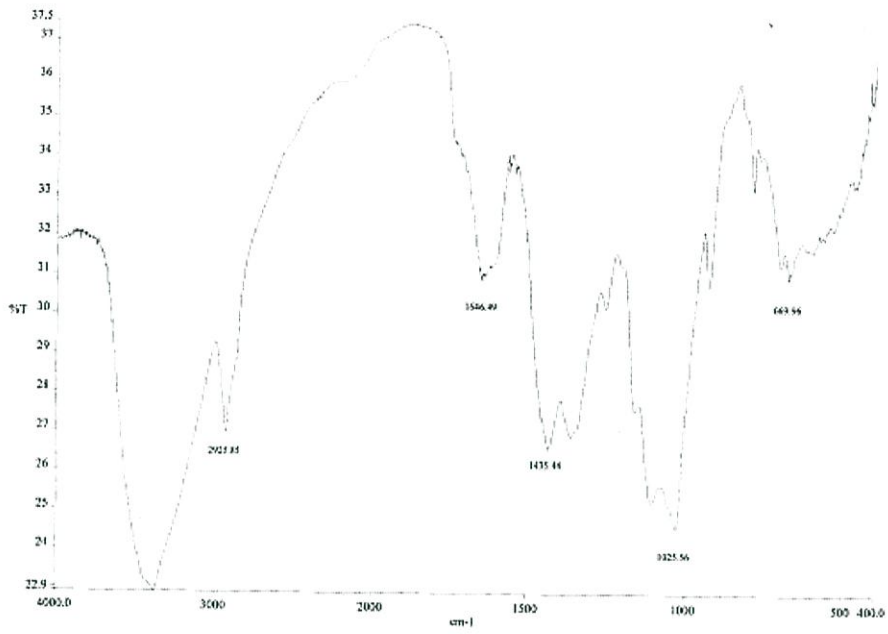
รูปที่ ก.8 สเปกตรัมของสูตร 2M1P 0.3



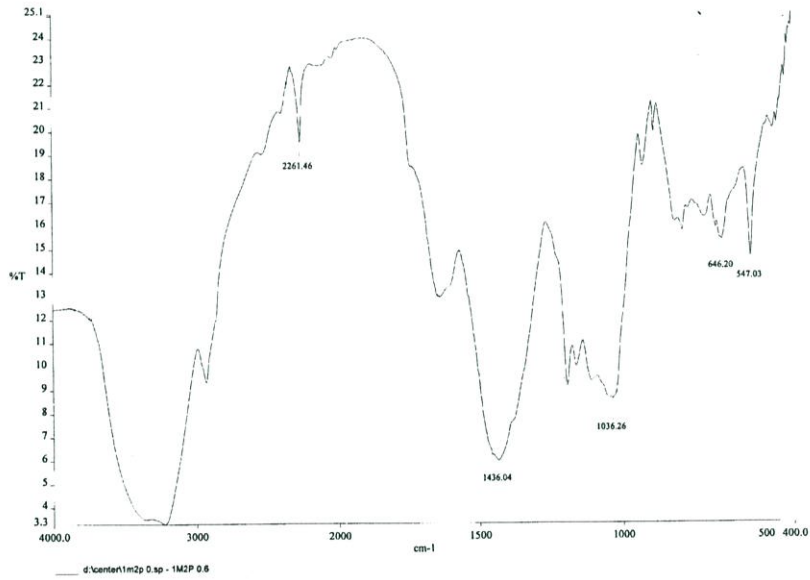
รูปที่ ก.9 สเปกตรัมของสูตร 2M1P 0.6



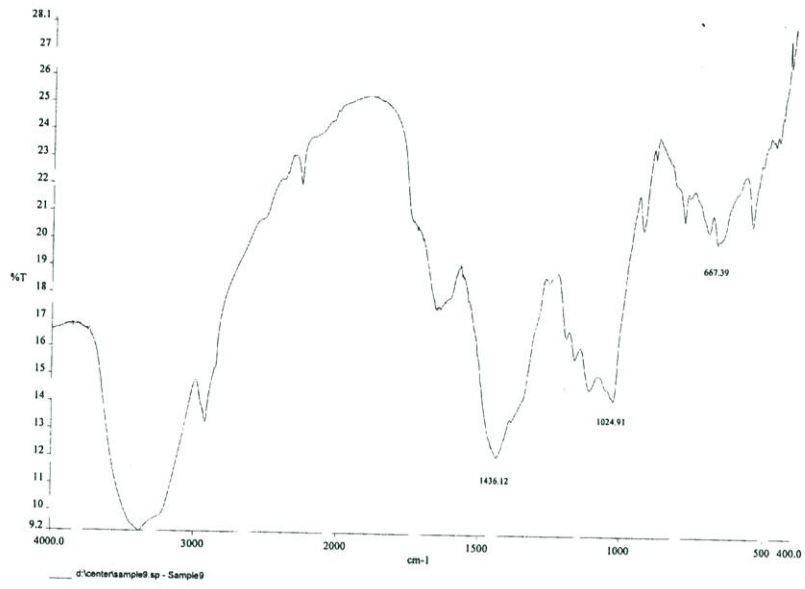
รูปที่ ก.10 สเปกตรัมของสูตร 2M1P 0.9



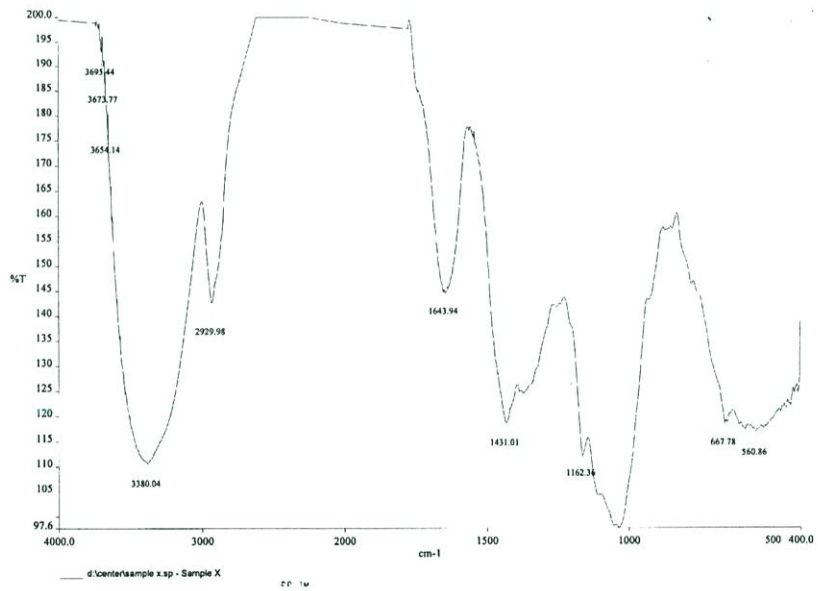
รูปที่ ก.11 สเปกตรัมของสูตร 1M2P 0.3



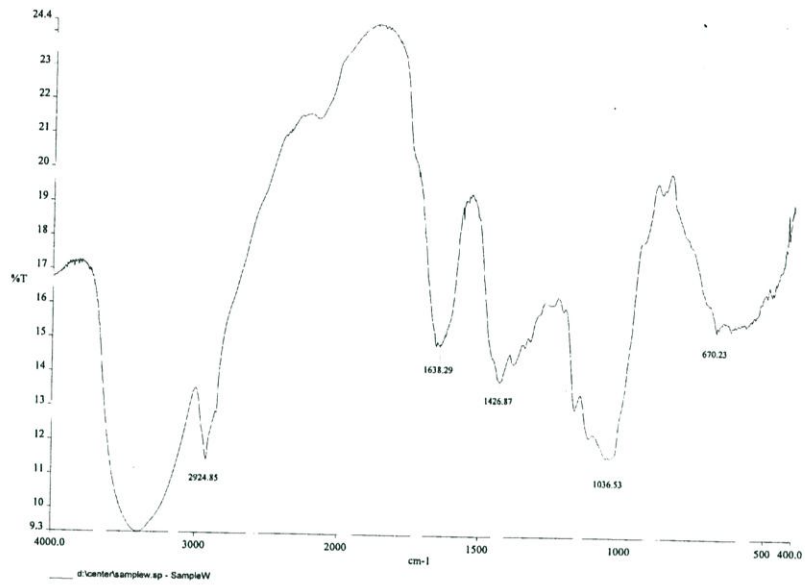
รูปที่ ก.12 สเปกตรัมของสูตร 1M2P 0.6



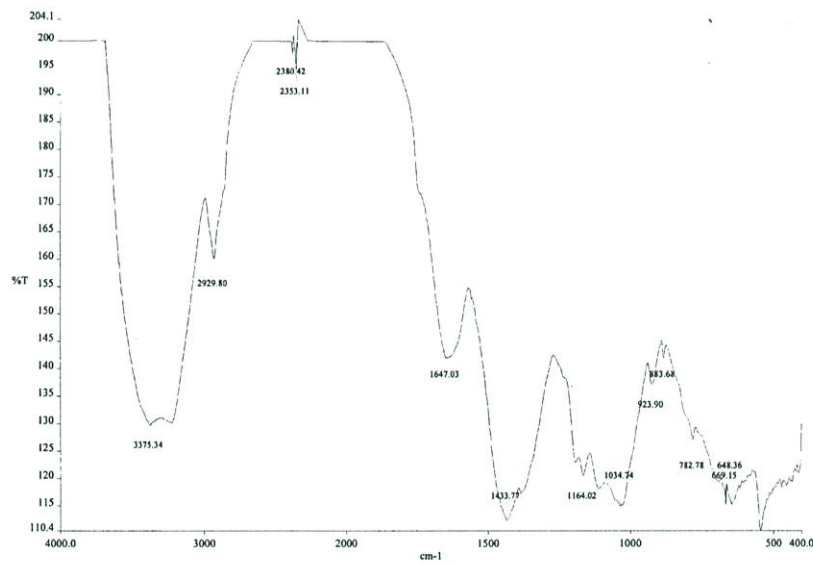
รูปที่ ก.13 สเปกตรัมของสูตร 1M2P 0.9



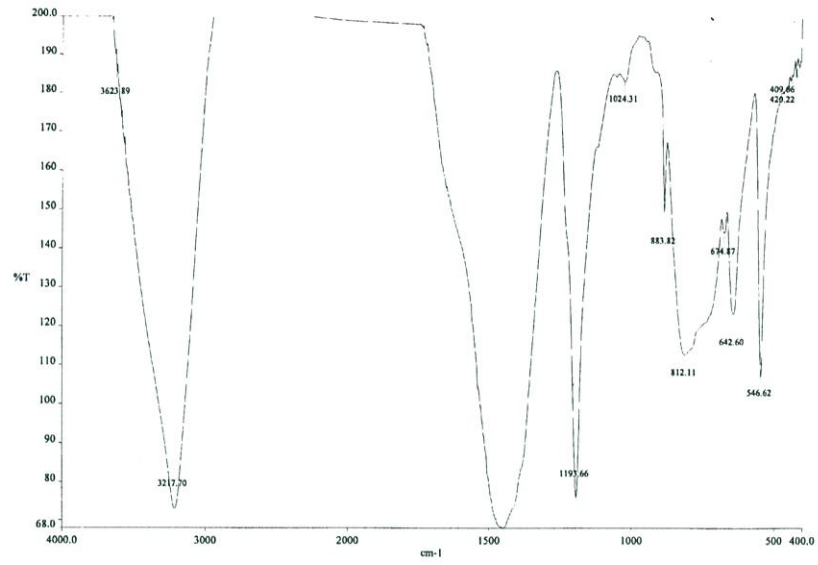
รูปที่ ก.14 สเปกตรัมของสูตร C2M1P 0.3



รูปที่ ก.15 สเปกตรัมของสูตร C1M2P 0.3



รูปที่ ก.16 สเปกตรัมของสูตร C2M1P 0.9



รูปที่ ก.17 สเปกตรัมของสูตร C1M2P 0.9

ภาคผนวก ข
สมบัติเชิงกลของฟิล์ม

ตารางที่ ข.1 แสดงผลความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มแมงลักสูตรต่างๆที่อุณหภูมิห้อง

| สูตร | Tensile strength (N/mm ²) | | | เฉลี่ย |
|-----------|---------------------------------------|------------|------------|---------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | |
| 1M1P | 3.6577 | 5.8251 | 3.5032 | 4.3287 |
| 1M1P 0.3 | 3.4075 | 1.9706 | 0.96631 | 2.1148 |
| 1M1P 0.6 | 4.8588 | 12.946 | 4.3148 | 7.3732 |
| 1M1P 0.9 | 2.5918 | 1.6435 | 2.9272 | 2.3875 |
| 1M1P 1.2 | 5.3951 | 1.3578 | 4.5822 | 3.7784 |
| 2M1P | 3.4375 | 5.9094 | 6.1041 | 5.1503 |
| 2M1P 0.3 | 7.1171 | 7.4742 | 6.8455 | 7.1456 |
| 2M1P 0.6 | 2.1256 | 1.2776 | 2.4571 | 1.9534 |
| 2M1P 0.9 | 3.0304 | 3.8332 | 5.6904 | 4.2755 |
| 2M1P 1.2 | - | 2.6260 | 2.2639 | 2.44495 |
| 1M2P | 4.2934 | 4.1050 | 4.3999 | 4.2661 |
| 1M2P 0.3 | 5.1112 | 4.8474 | 3.8475 | 4.6020 |
| 1M2P 0.6 | 3.0989 | 3.2447 | 4.7526 | 3.6987 |
| 1M2P 0.9 | 2.1555 | 2.7552 | 2.5760 | 2.4956 |
| 1M2P 1.2 | 2.7641 | 5.7202 | 4.1479 | 4.2107 |
| C1M2P 0.3 | 8.9931 | 7.0927 | 11.377 | 9.1543 |
| C1M2P 0.9 | 5.5129 | 3.3092 | 4.7662 | 4.5294 |
| C2M1P 0.3 | 2.4413 | - | 2.8642 | 2.6528 |
| C2M1P 0.9 | 2.0917 | 1.2401 | 3.4412 | 2.2577 |

ตารางที่ ข.2 แสดงผลความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มแมงลักสูตรต่างๆที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %

| สูตร | Tensile strength (N/mm ²) | | | เฉลี่ย |
|-----------|---------------------------------------|------------|------------|---------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | |
| 1M1P | 10.074 | 18.538 | 9.9251 | 12.8524 |
| 1M1P 0.3 | 14.141 | 5.4542 | 7.2245 | 8.9399 |
| 1M1P 0.6 | 9.6591 | 10.143 | 5.2982 | 8.3668 |
| 1M1P 0.9 | 8.2748 | 7.9479 | 7.2319 | 7.8182 |
| 1M1P 1.2 | 9.3191 | 5.5098 | 6.5855 | 7.1381 |
| 2M1P | 20.223 | 9.9048 | 9.3078 | 13.1452 |
| 2M1P 0.3 | 5.7912 | 13.413 | 21.155 | 13.4531 |
| 2M1P 0.6 | 9.0035 | 5.7653 | 6.2664 | 7.0117 |
| 2M1P 0.9 | 24.981 | 13.974 | 12.965 | 17.3067 |
| 2M1P 1.2 | 17.637 | 21.136 | 13.841 | 17.538 |
| 1M2P | 18.609 | 5.4822 | 7.8718 | 10.6543 |
| 1M2P 0.3 | 9.0872 | 7.5763 | 5.8872 | 7.5169 |
| 1M2P 0.6 | 5.1329 | 10.411 | 4.2156 | 6.5865 |
| 1M2P 0.9 | 4.6010 | 8.3371 | 3.9371 | 5.6251 |
| 1M2P 1.2 | 8.7691 | 7.3145 | 5.8761 | 7.3191 |
| C1M2P 0.3 | 10.685 | 20.948 | 31.547 | 21.06 |
| C1M2P 0.9 | 13.948 | 11.494 | 15.501 | 13.6476 |
| C2M1P 0.3 | 22.750 | 9.7802 | 15.610 | 16.0467 |
| C2M1P 0.9 | 0.9146 | 4.0977 | 13.716 | 6.2427 |

ตารางที่ ข.3 แสดงผลร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของฟิล์มแมงลักสูตรต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง

| สูตร | % Elongation at break | | | เฉลี่ย |
|-----------|-----------------------|------------|------------|--------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | |
| 1M1P | 3.6577 | 5.8251 | 3.5032 | 4.3287 |
| 1M1P 0.3 | 3.4075 | 1.9706 | 1.7218 | 2.367 |
| 1M1P 0.6 | 6.7736 | 12.946 | 7.3816 | 9.034 |
| 1M1P 0.9 | 2.5918 | 1.6435 | 3.7163 | 2.650 |
| 1M1P 1.2 | 5.3951 | 1.3578 | 4.5822 | 6.029 |
| 2M1P | 3.4375 | 5.9094 | 7.0117 | 5.4529 |
| 2M1P 0.3 | 8.0209 | 8.5492 | 6.8455 | 7.8052 |
| 2M1P 0.6 | 2.1256 | 1.2776 | 2.4571 | 1.953 |
| 2M1P 0.9 | 3.0304 | 4.8008 | 5.6904 | 4.507 |
| 2M1P 1.2 | 11.42 | 15.24 | - | 13.334 |
| 1M2P | 5.1986 | 4.1050 | 4.3999 | 1.5226 |
| 1M2P 0.3 | 5.1112 | 5.7325 | 3.8475 | 4.897 |
| 1M2P 0.6 | 3.0989 | 3.2447 | 4.7526 | 3.699 |
| 1M2P 0.9 | 2.1555 | 2.7552 | 2.5760 | 1.777 |
| 1M2P 1.2 | 2.7641 | 5.7202 | 4.1479 | 4.210 |
| C1M2P 0.3 | 8.9931 | 7.0927 | 11.377 | 9.1543 |
| C1M2P 0.9 | 2.4413 | 2.8642 | - | 2.6382 |
| C2M1P 0.3 | 5.5129 | 3.3092 | 4.7662 | 4.5294 |
| C2M1P 0.9 | 2.2937 | 1.2401 | 3.4412 | 2.325 |

ตารางที่ ข.4 แสดงผลร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของฟิล์มแมงลักสูตรต่างๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%

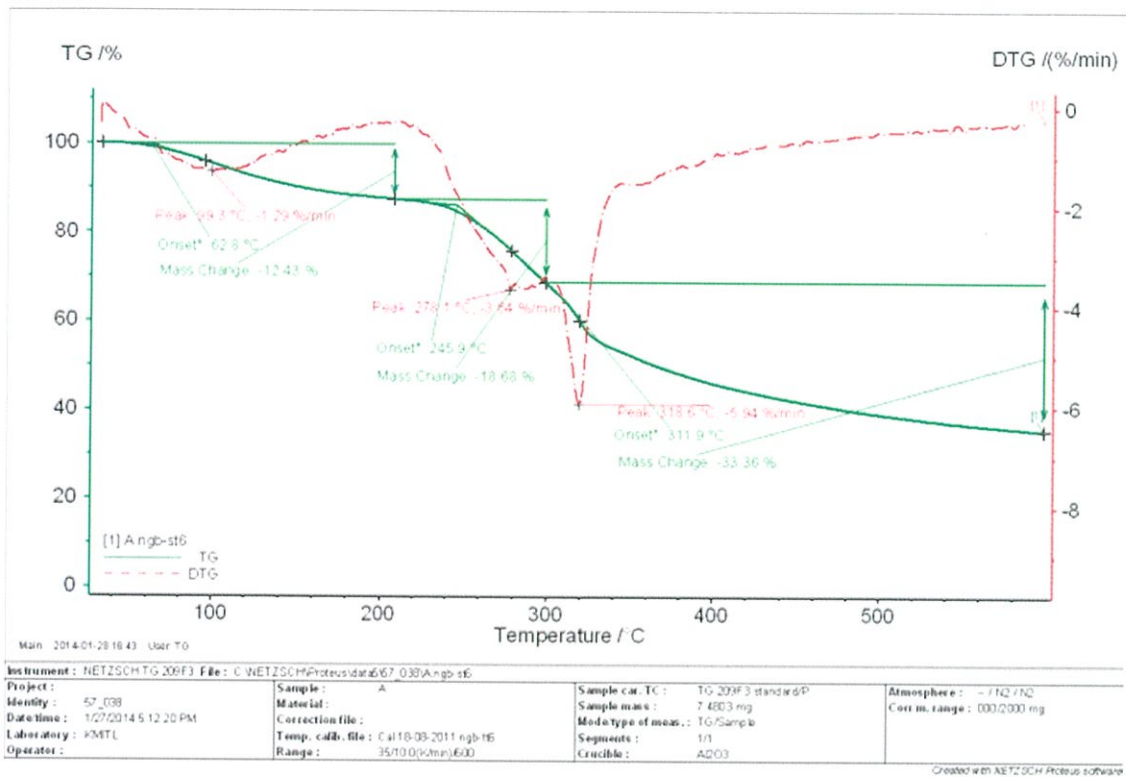
| สูตร | % Elongation at break | | | เฉลี่ย |
|-----------|-----------------------|------------|------------|---------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | |
| 1M1P | 10.074 | 20.761 | 9.9451 | 13.5933 |
| 1M1P 0.3 | 25.339 | 6.2885 | 8.0124 | 13.213 |
| 1M1P 0.6 | 9.6591 | 61.012 | 5.9098 | 25.53 |
| 1M1P 0.9 | 8.2748 | 8.9254 | 8.2903 | 8.496 |
| 1M1P 1.2 | 10.573 | 6.5631 | 6.6853 | 7.940 |
| 2M1P | 23.718 | 10.517 | 9.3078 | 14.5142 |
| 2M1P 0.3 | 6.7032 | 13.413 | 21.944 | 14.020 |
| 2M1P 0.6 | 9.0035 | 5.7653 | 6.6198 | 21.00 |
| 2M1P 0.9 | 25.337 | 14.824 | 12.965 | 17.708 |
| 2M1P 1.2 | 17.637 | 22.035 | - | 19.836 |
| 1M2P | 43.541 | 5.4822 | 8.1593 | 19.0608 |
| 1M2P 0.3 | 9.1280 | 8.7023 | 6.9480 | 8.259 |
| 1M2P 0.6 | 5.3243 | 13.253 | 4.2156 | 7.597 |
| 1M2P 0.9 | 4.9189 | 8.3371 | 3.9371 | 5.731 |
| 1M2P 1.2 | 8.7697 | 7.3788 | 5.8761 | 7.342 |
| C1M2P 0.3 | 12.189 | 21.167 | 36.709 | 23.355 |
| C1M2P 0.9 | - | 11.494 | 16.160 | 13.7821 |
| C2M1P 0.3 | 94.068 | 12.402 | 18.981 | 41.817 |
| C2M1P 0.9 | 0.9146 | 4.1886 | 13.756 | 16.756 |

ภาคผนวก ค
สมบัติการเก็บน้ำของฟิล์ม

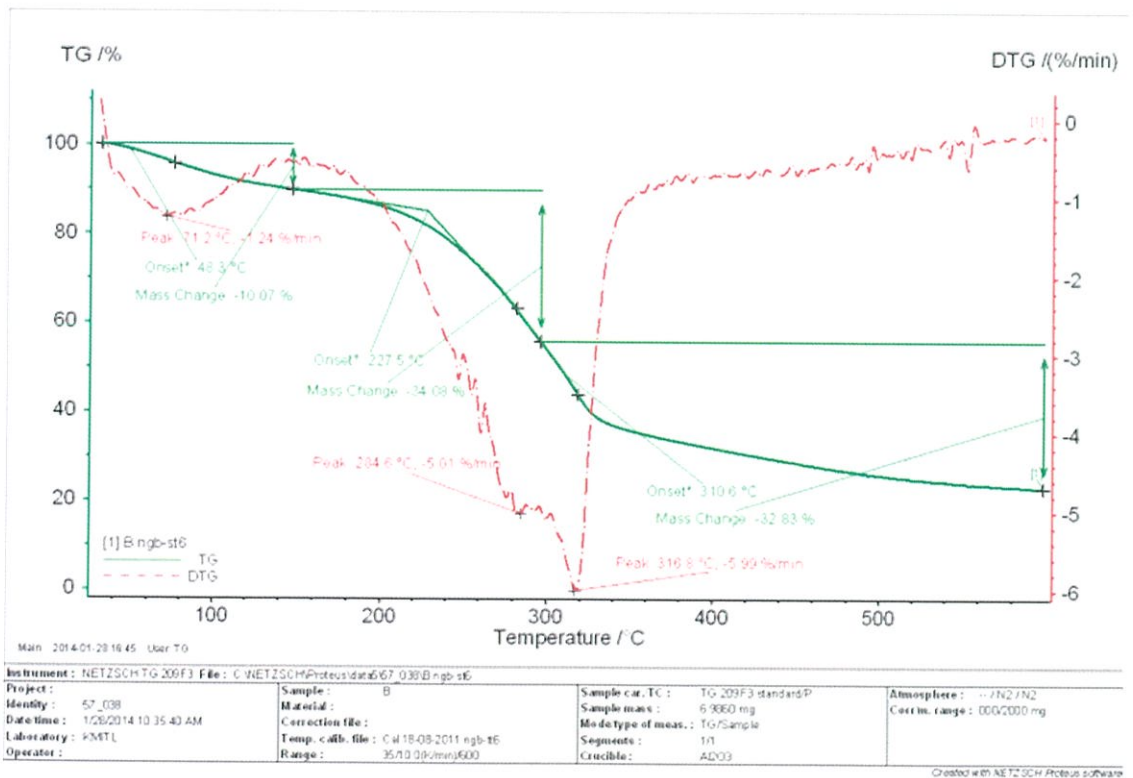
ตารางที่ ค.1 แสดงน้ำหนักการดูดน้ำของฟิล์มสูตรต่างๆ

| ชื่อตัวอย่างฟิล์ม | นน.ก่อนแช่น้ำ (g) | นน.หลังแช่น้ำ (g) | | | | | | |
|-------------------|----------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | | 1 ชม. | 2 ชม. | 3 ชม. | 4 ชม. | 5 ชม. | 6 ชม. | 7 ชม. |
| 1M1P | 0.0474 | 0.8542 | - | | | | | |
| 1M2P | 0.0519 | 0.9328 | 1.0007 | 0.9421 | 0.6009 | - | | |
| 2M1P | 0.0809 | 1.0497 | 0.9512 | 1.2188 | - | | | |
| 1M1P 0.3 | 0.0654 | 0.0867 | - | | | | | |
| 1M2P 0.3 | 0.0718 | 0.0932 | 1.0044 | 0.9871 | 0.9967 | - | | |
| 2M1P 0.3 | 0.0938 | 0.1256 | 1.0293 | 1.1349 | 0.9895 | - | | |
| 1M1P 0.6 | 0.0701 | 0.8312 | 0.8417 | - | | | | |
| 1M2P 0.6 | 0.0762 | 0.0897 | 0.1390 | 0.4025 | 0.8924 | 1.2450 | - | |
| 2M1P 0.6 | 0.1096 | 0.9209 | 0.7835 | - | | | | |
| 1M1P 0.9 | 0.0717 | 0.1425 | 0.2847 | - | | | | |
| 1M2P 0.9 | 0.0769 | 0.0840 | 0.0792 | 0.9913 | 1.6998 | 1.4209 | - | |
| 2M1P 0.9 | 0.1879 | 0.3248 | 0.4092 | 0.2904 | 0.7390 | 1.3891 | - | |
| 1M1P 1.2 | 0.0713 | 0.6831 | 0.8615 | - | | | | |
| 1M2P 1.2 | 0.0754 | 0.1324 | 0.3405 | 1.1987 | 1.1991 | 1.6391 | - | |
| 2M1P 1.2 | 0.1099 | 0.8390 | 1.5402 | 1.5629 | - | | | |
| C1M2P 0.3 | 0.0768 | 0.1976 | 0.3345 | 0.8402 | 0.4389 | - | | |
| C2M1P 0.3 | 0.0876 | 0.8298 | 1.5092 | 1.9863 | 2.0923 | 2.7682 | - | |
| C1M2P 0.9 | 0.0756 | 0.0593 | 0.0810 | 0.0972 | 0.1038 | 0.3098 | 0.8109 | - |
| C2M1P 0.9 | 0.0872 | 1.1279 | 1.8770 | 2.7894 | - | | | |

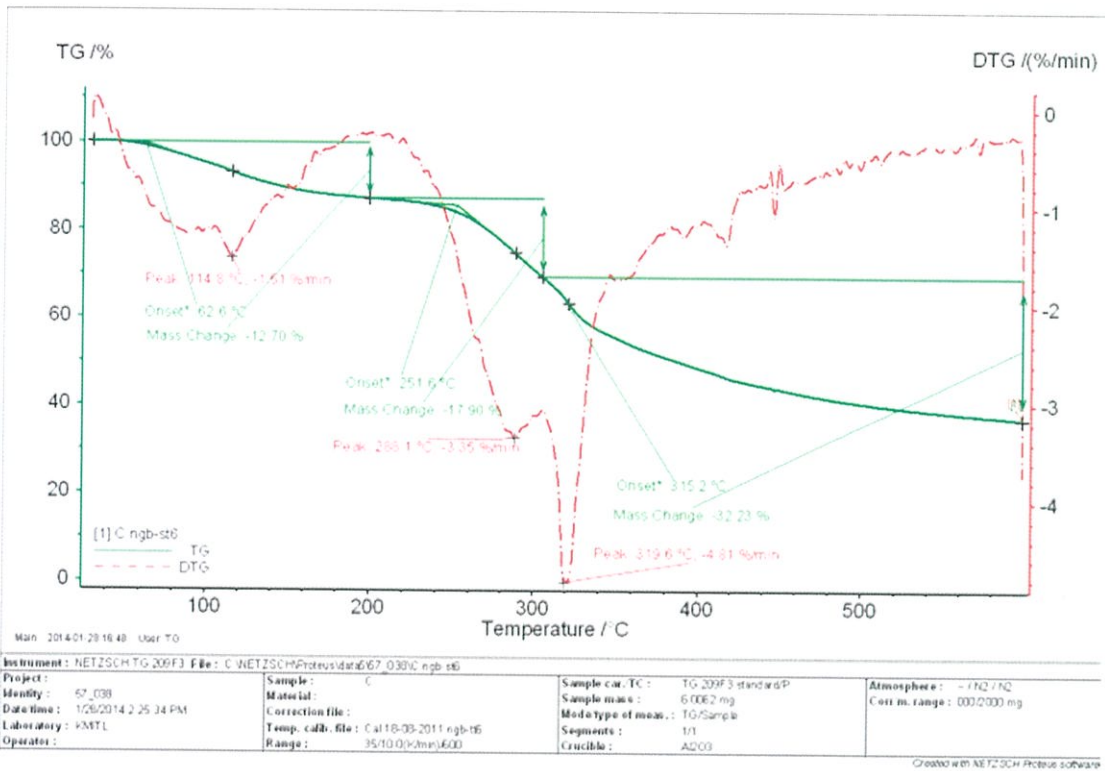
ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบ TGA



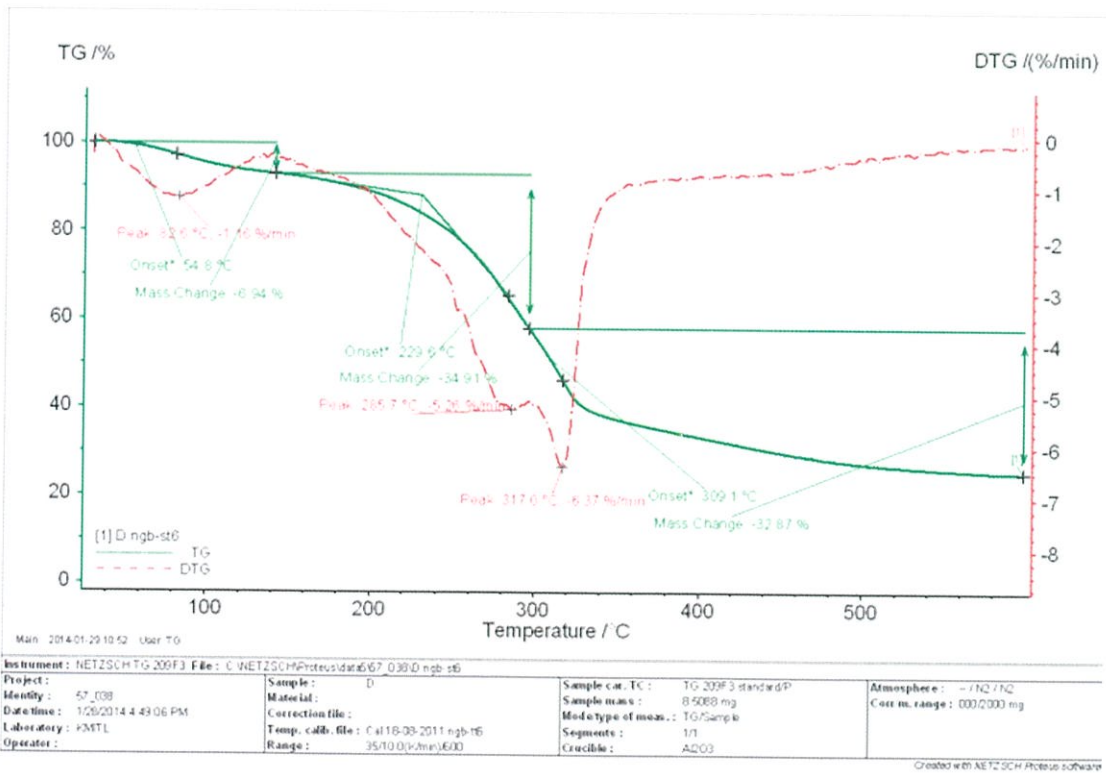
รูปที่ ง.1 สมบัติทางความร้อนสูตร 1M2P 0.9



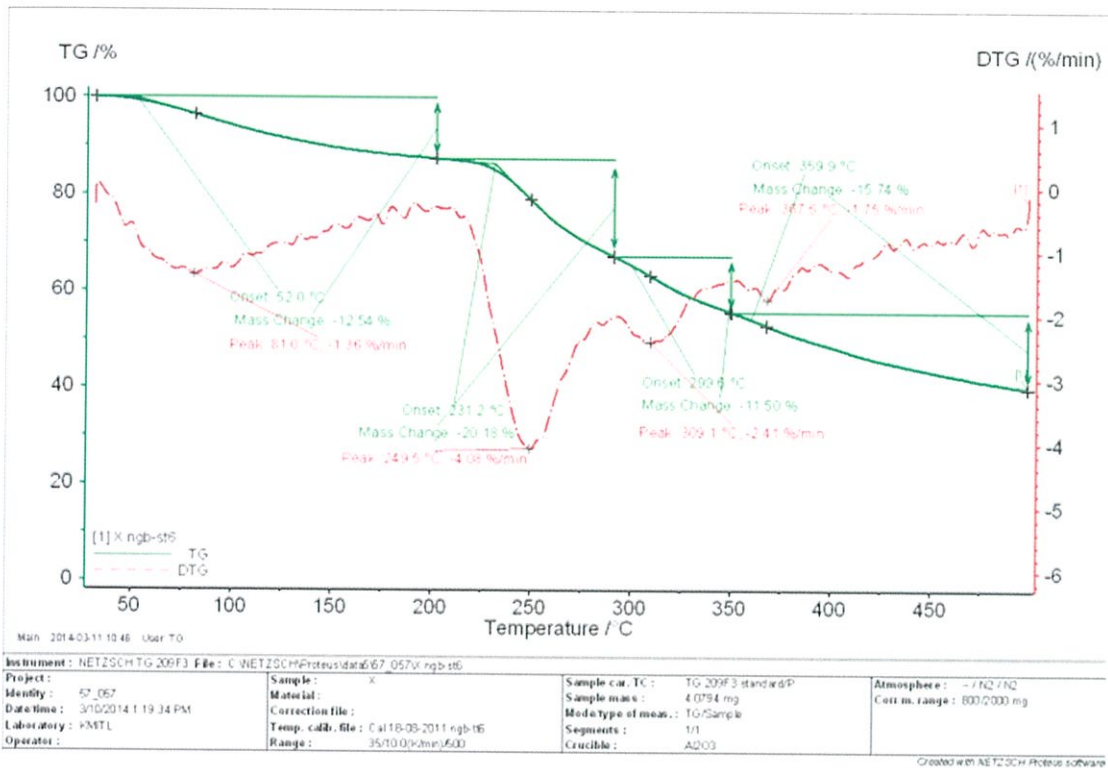
รูปที่ ง.2 สมบัติทางความร้อนสูตร 1M2P



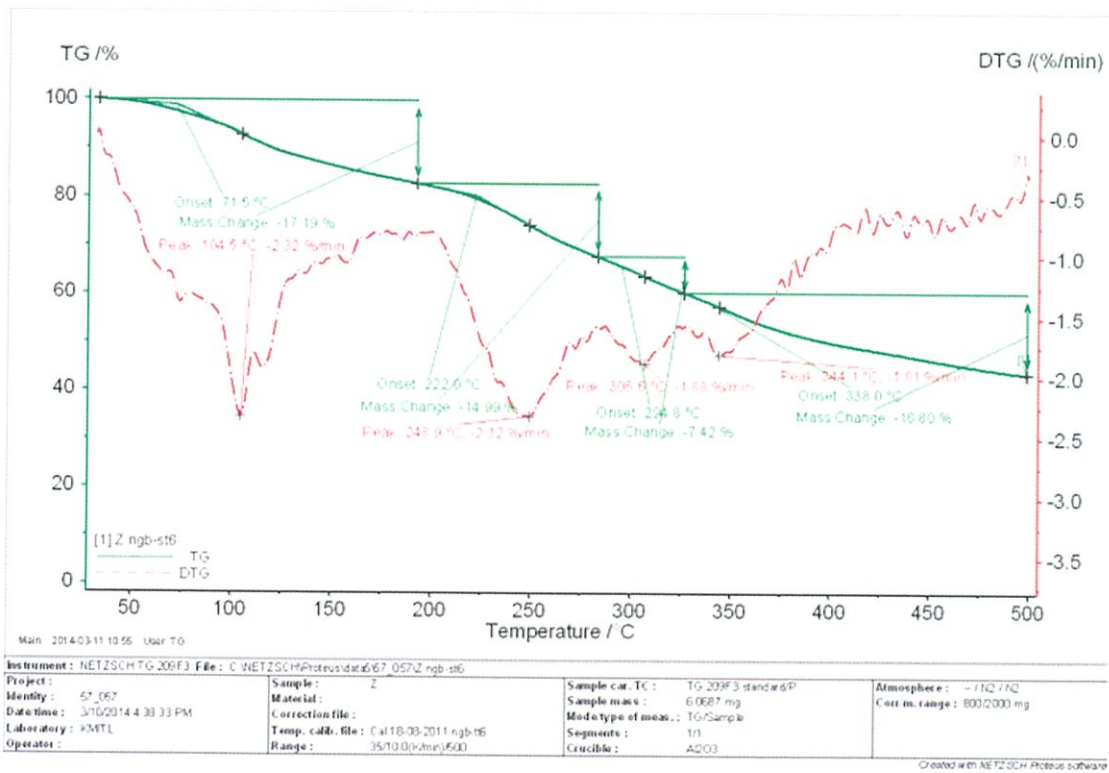
รูปที่ ง.3 สมบัติทางความร้อนสูตร 2M1P 0.9



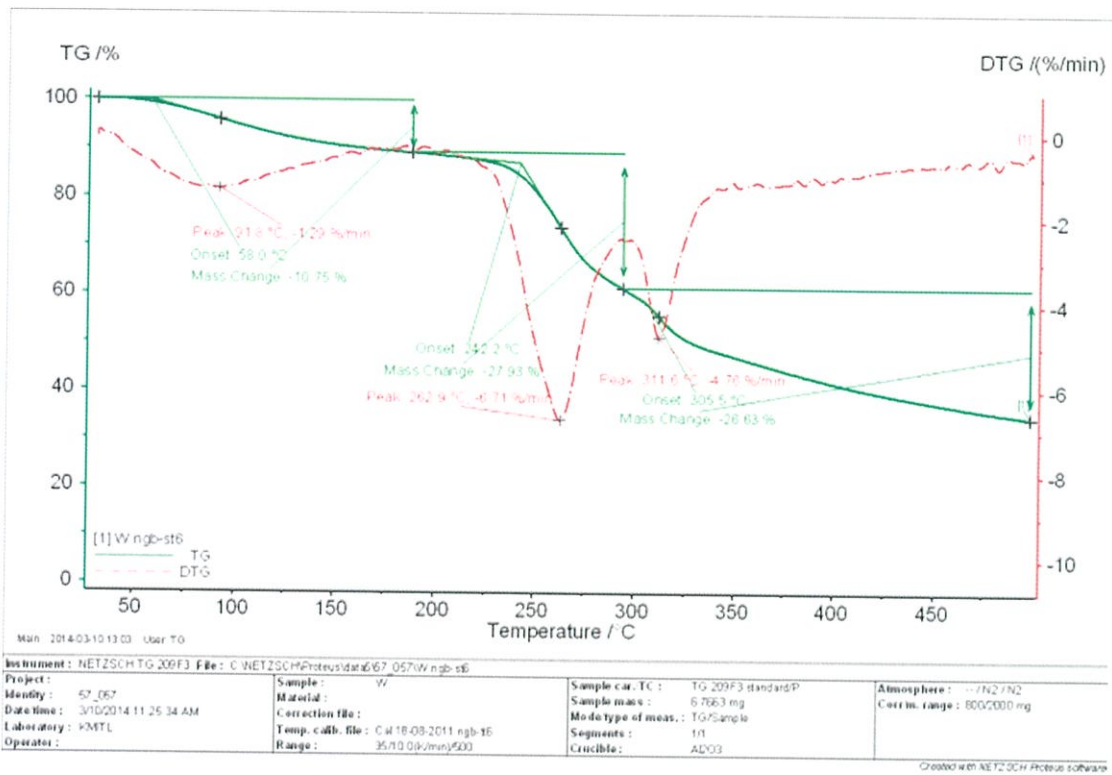
รูปที่ ง.4 สมบัติทางความร้อนสูตร 2M1P



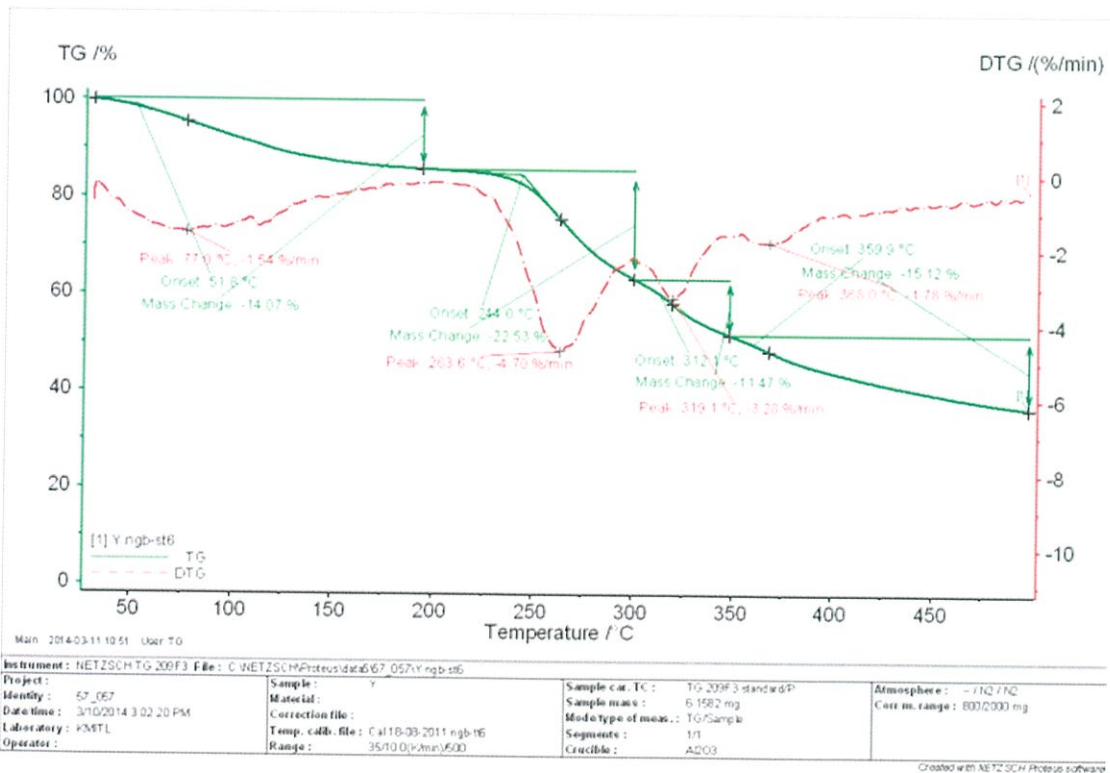
รูปที่ ง.5 สมบัติทางความร้อนสูตร C1M2P 0.3



รูปที่ ง.6 สมบัติทางความร้อนสูตร C1M2P 0.9

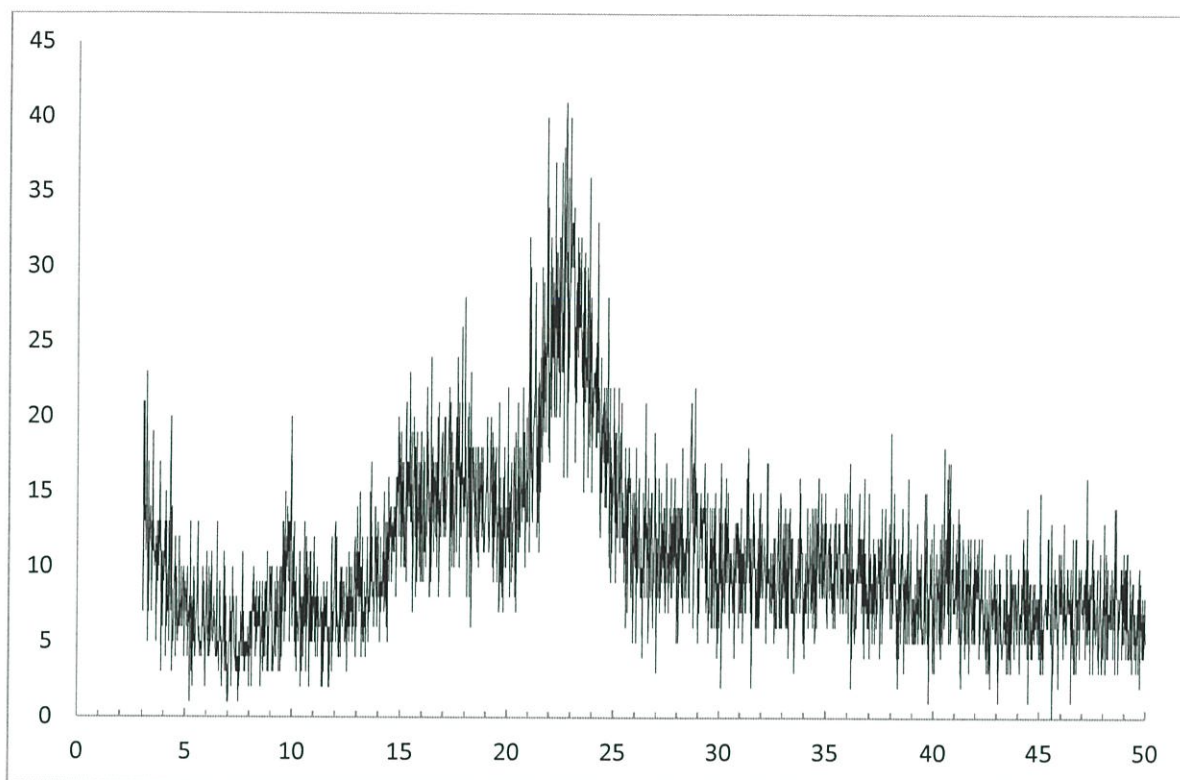


รูปที่ ง.7 สมบัติทางความร้อนสูตร C2M1P 0.3

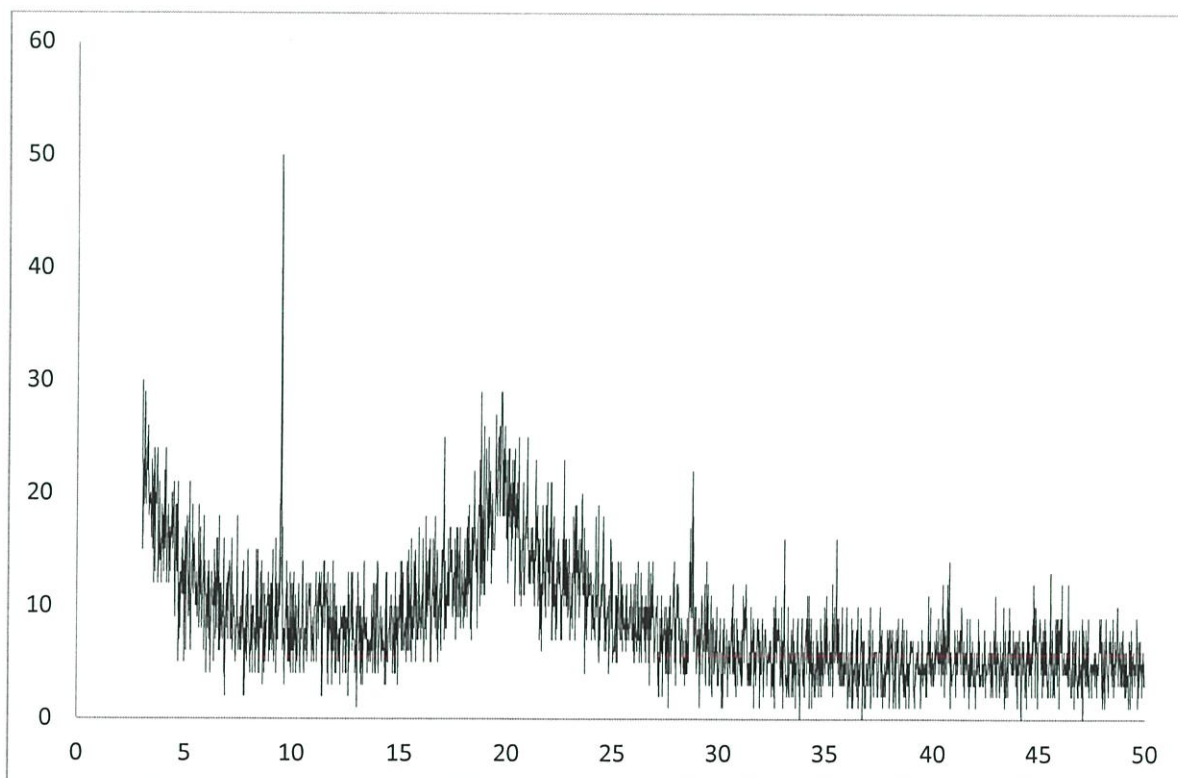


รูปที่ ง.8 สมบัติทางความร้อนสูตร C2M1P 0.9

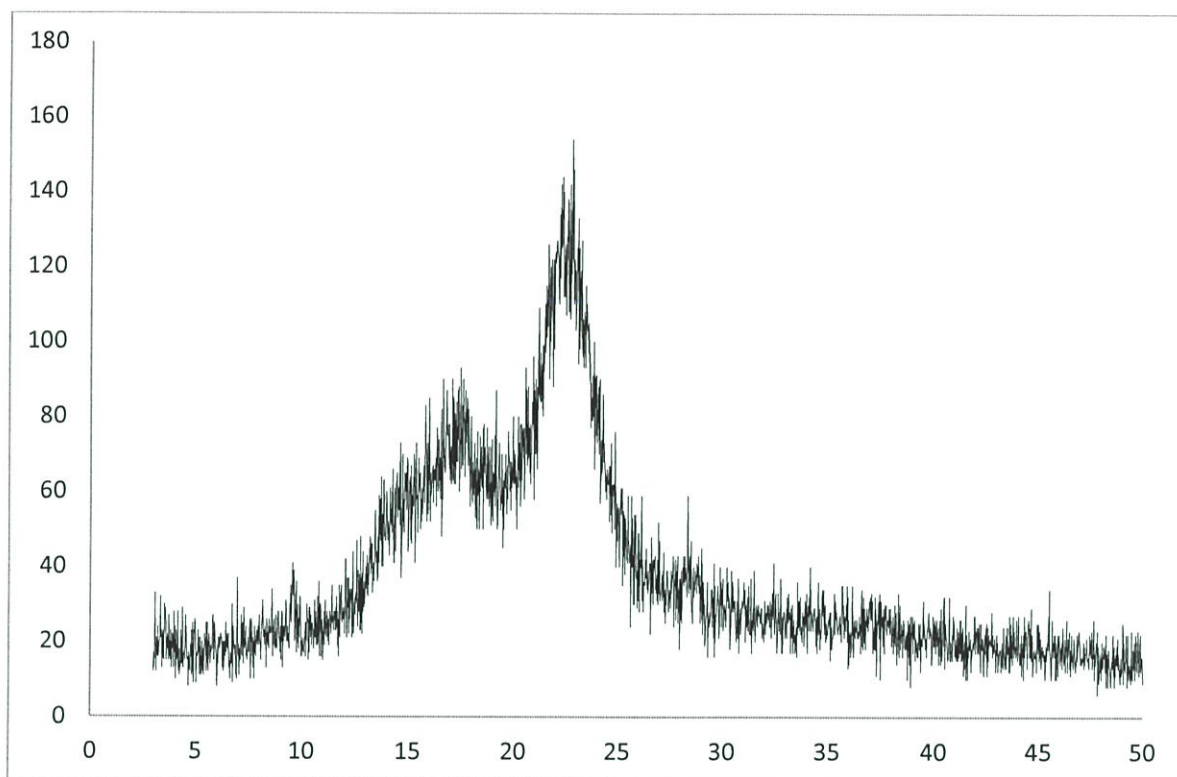
ภาคผนวก จ
ผลการทดสอบ XRD



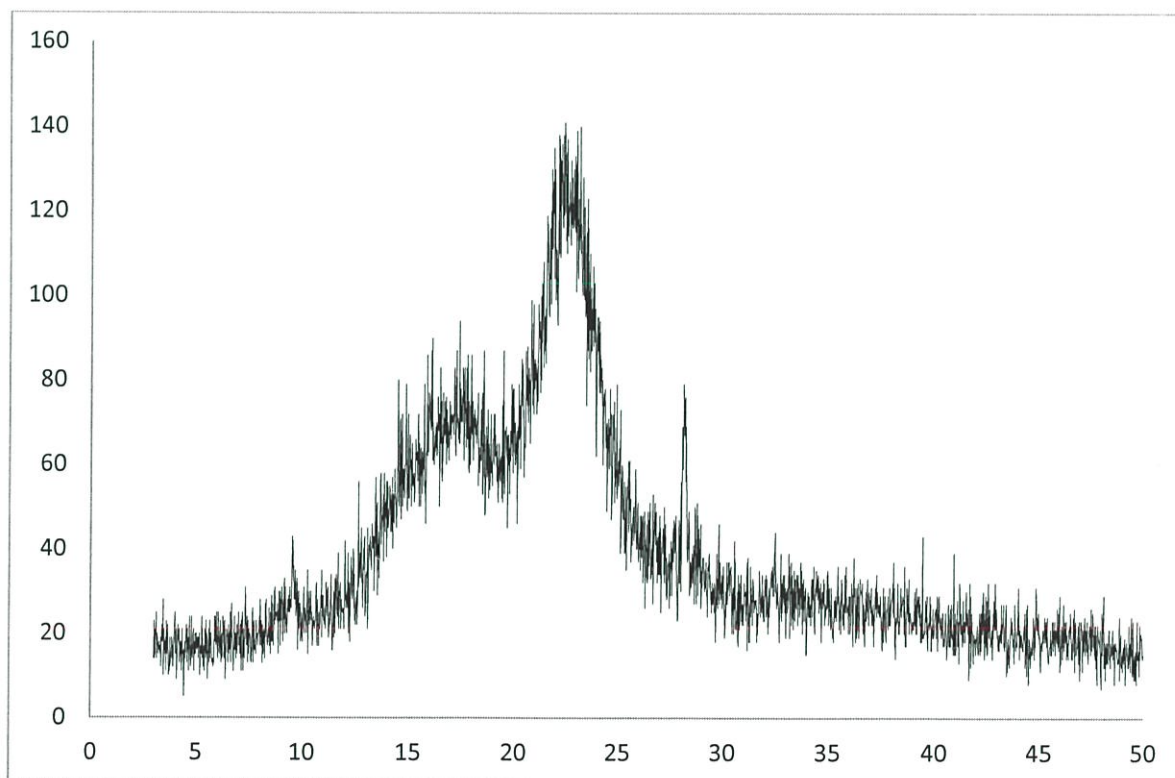
รูปที่ ๑.1 ผล XRD ของสูตร M



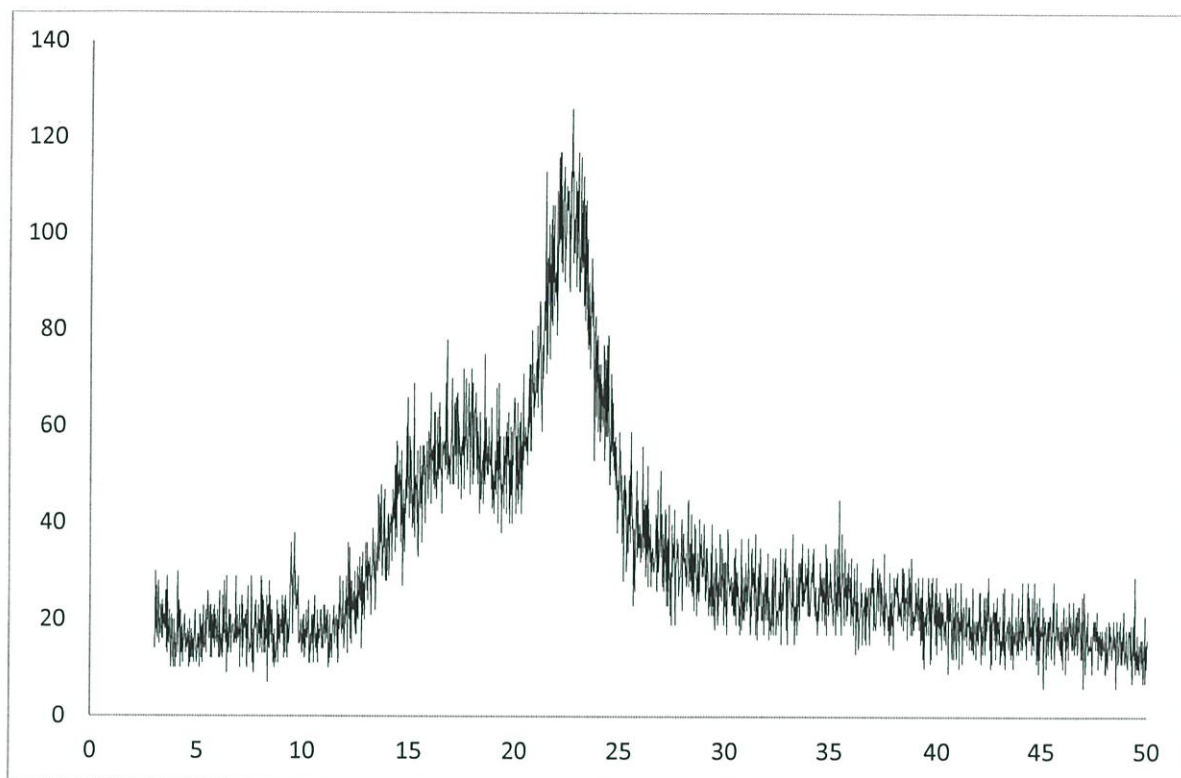
รูปที่ ๑.2 ผล XRD ของสูตร P



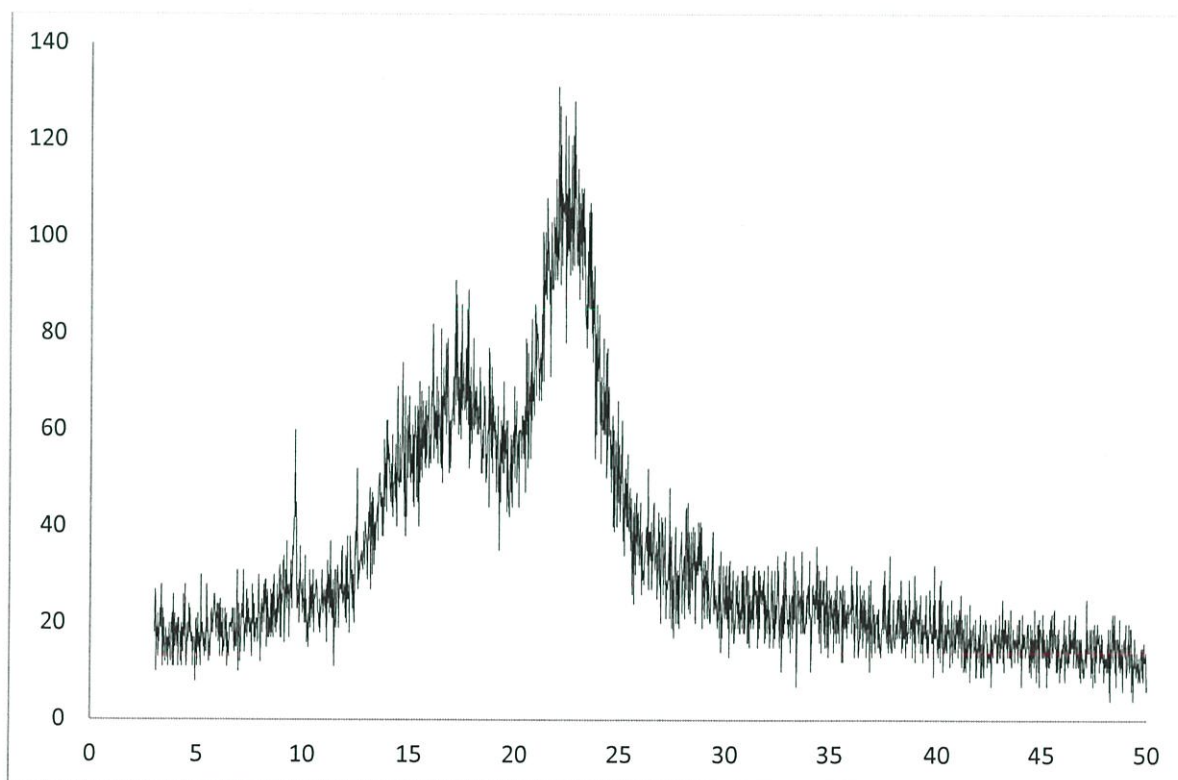
รูปที่ ๑.3 ผล XRD ของสูตร 2M1P 0.3



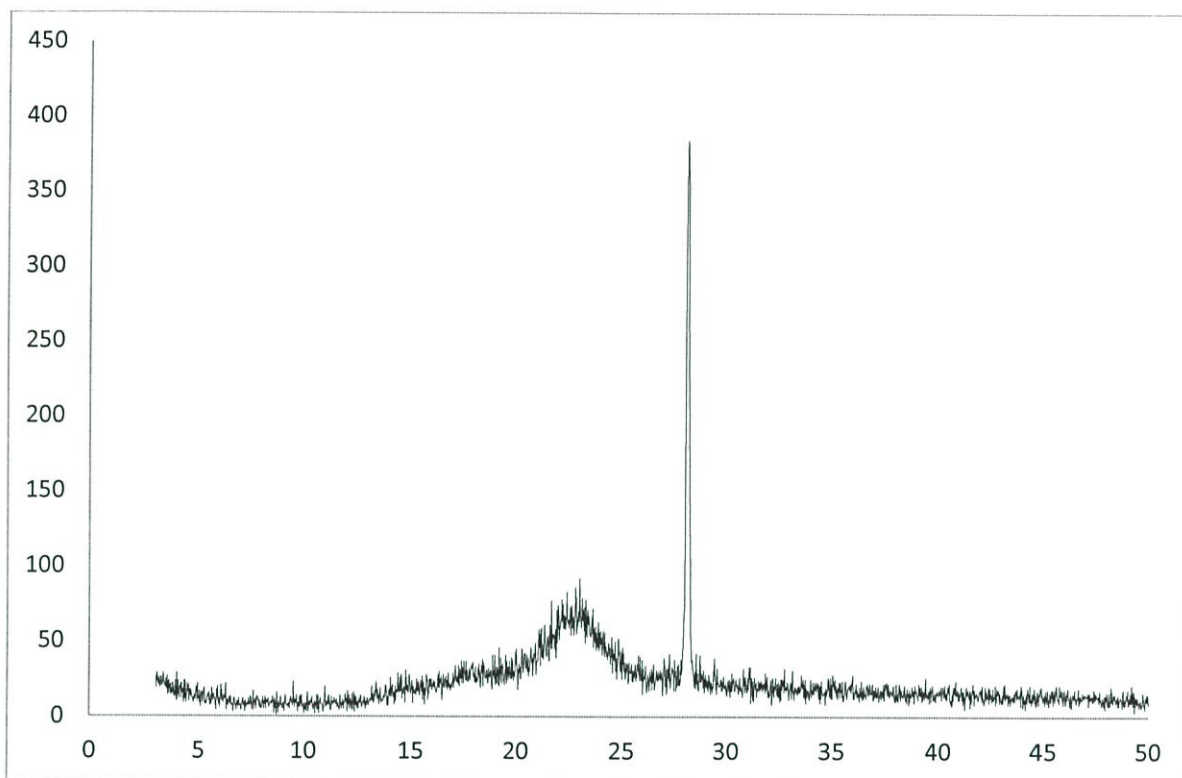
รูปที่ ๑.4 ผล XRD ของสูตร 2M1P 0.9



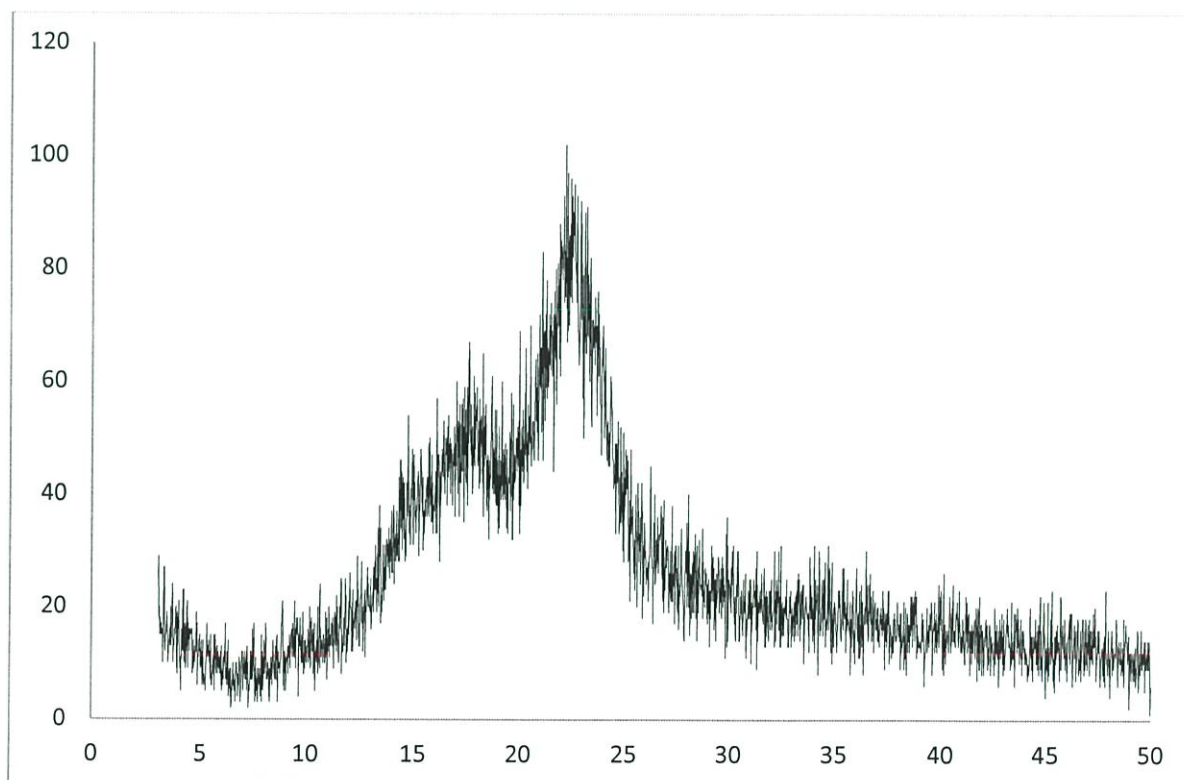
รูปที่ ๑.5 ผล XRD ของสูตร 2M1P



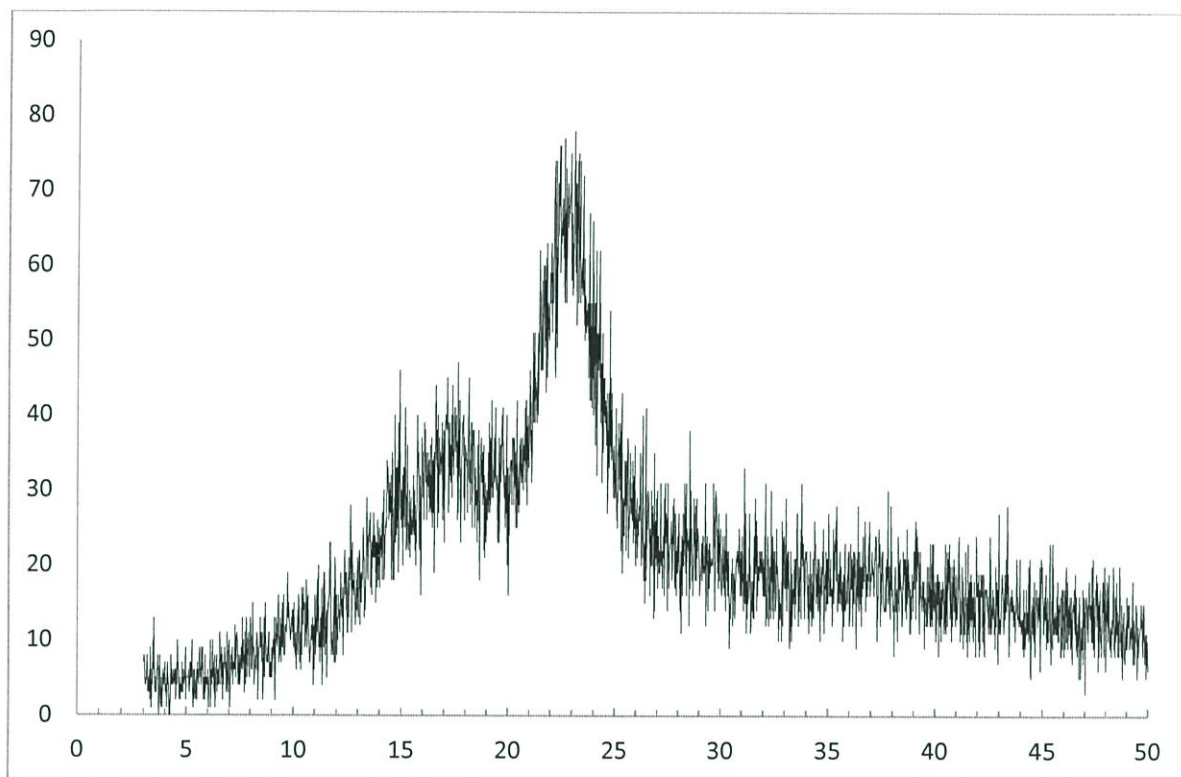
รูปที่ ๑.6 ผล XRD ของสูตร 1M2P 0.3



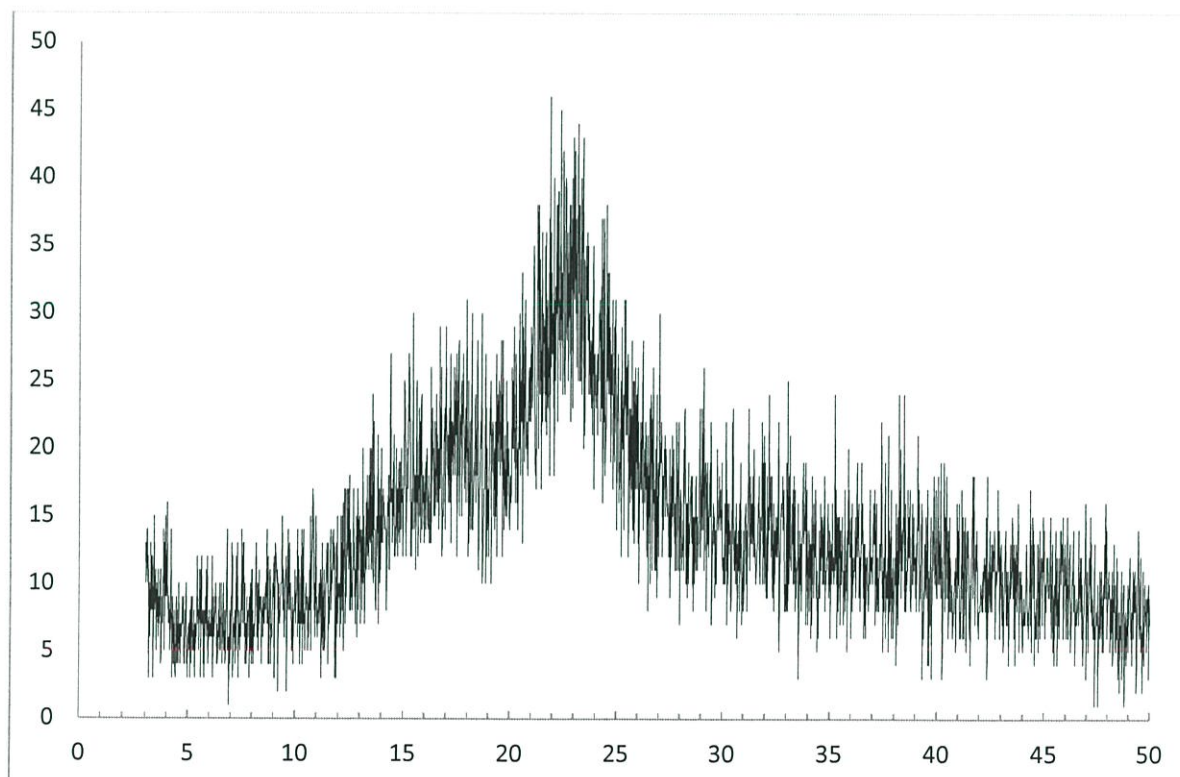
รูปที่ ๑.7 ผล XRD ของสูตร 1M2P 0.9



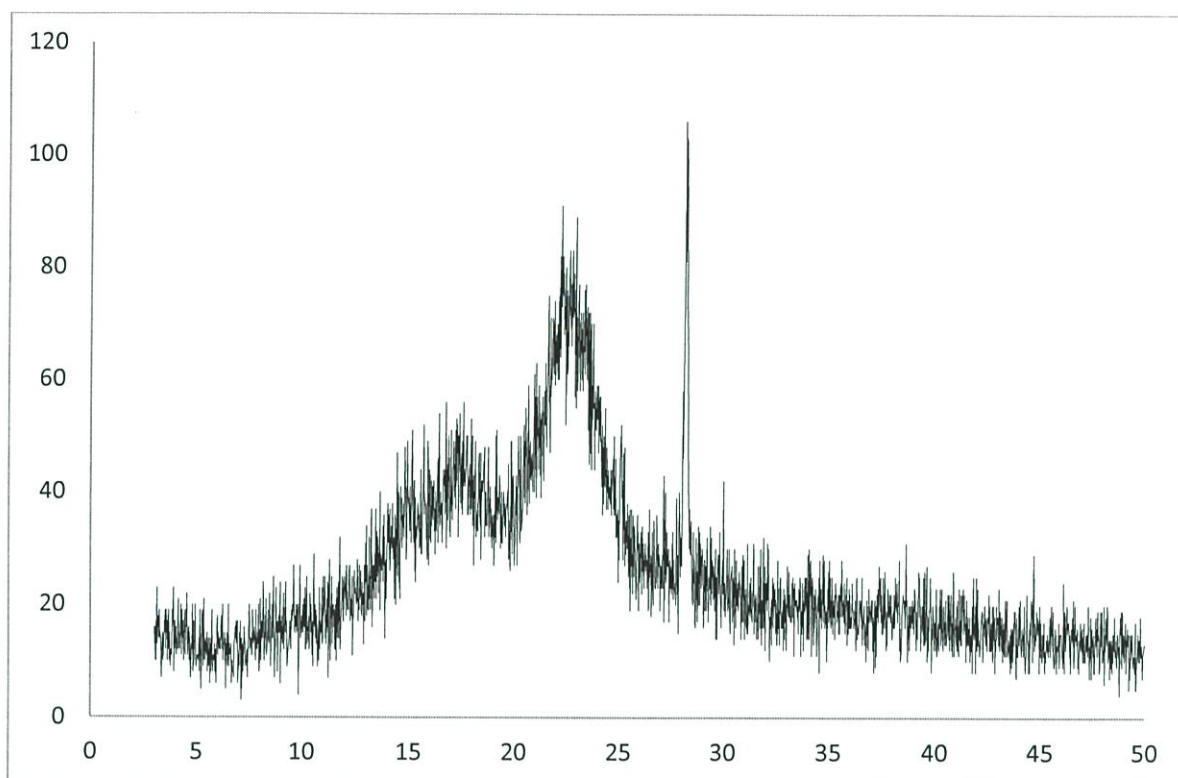
รูปที่ ๑.8 ผล XRD ของสูตร 1M2P



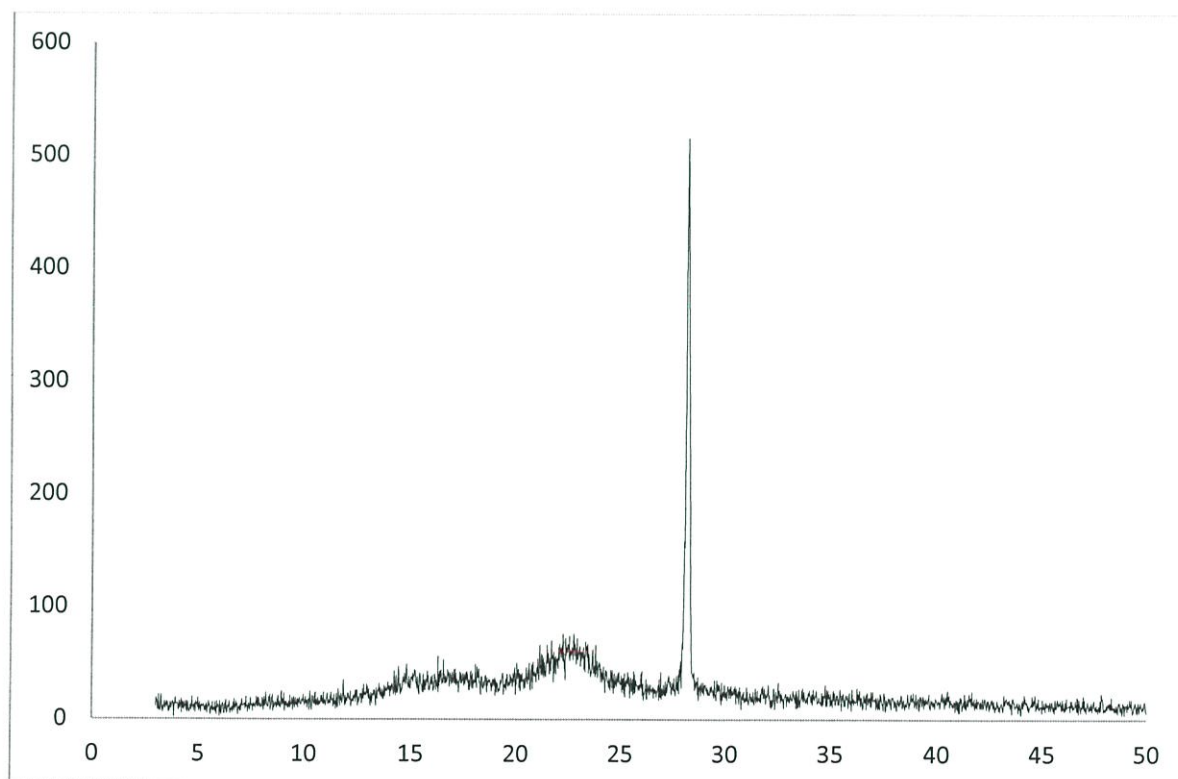
รูปที่ ๑.๙ ผล XRD ของสูตร C2M1P 0.3



รูปที่ ๑.๑๐ ผล XRD ของสูตร C1M2P 0.3



รูปที่ ๑.11 ผล XRD ของสูตร C2M1P 0.9



รูปที่ ๑.12 ผล XRD ของสูตร C1M2P 0.9