

การเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิซีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส



นางสาว สุภาภรณ์ พรหมสุรินทร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF POLYPROPYLENE/ALKYLPHOSPHONATE-CELLULOSE COMPOSITE



Miss Supaporn Phomsurin

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสโฟ-
เนตเซลลูโลส

โดย

นางสาวสุภาภรณ์ พรหมสุรินทร์

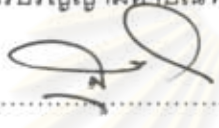
สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

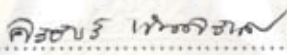
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ

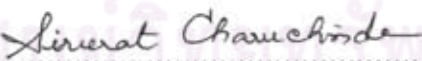
คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เจียมศิริเลิศ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ จารุจินดา)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ไพพรรณ ลันตีสุข)

สุภาภรณ์ พรหมสุนทร : การเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส. (PREPARATION OF POLYPROPYLENE/ALKYLPHOSPHONATE-CELLULOSE COMPOSITE), อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.กาวี ศรีภูถักิจ, 82 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส เบื้องต้นทำการตัดแปรพื้นผิวของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอนิกได้เป็นแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเพื่อให้สามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิโพรพิลีน โดยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสเตรียมได้จากการทำไฮโดรไลซิสผ้าฝ้ายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ การตัดแปรไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอนิกและไดโซยาไดเอไมด์อาศัยการอบผึ่งที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที จากการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิค SEM, FT-IR, TGA และ XRD พบว่ากรดแอลคิลฟอสฟอนิกสามารถตัดแปรไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสได้ จากนั้นผสมแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสและพอลิโพรพิลีนด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่และนำไปอัดแบบขึ้นรูป วัสดุเชิงประกอบที่ได้นำมาตรวจสอบคุณลักษณะด้วยเทคนิค OM, XRD, TGA และ DSC ส่วนสมบัติการหน่วงไฟทดสอบโดยใช้มาตรฐาน UL-94 จากผลการทดลองพบว่าการเติมแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสลงไปในพอลิโพรพิลีนนั้นสามารถลดเสถียรภาพทางความร้อนให้กับพอลิโพรพิลีนได้ และเมื่อทดสอบสมบัติการหน่วงไฟพบว่ามีอัตราการลามไฟลดลง เมื่อปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้นซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเป็นผลของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่เติมเข้าไปเป็นสารหน่วงไฟสำหรับพอลิโพรพิลีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ลายมือชื่อนิสิต สุภาภรณ์ พรหมสุนทร
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก Mrs. ศักดิ์ทิพย์
ปีการศึกษา 2553

5172521023 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS : CELLULOSE / MICROCRYSTALLINE CELLULOSE/ ALKYLPHOSPHONIC ACID / POLYPROPYLENE / FLAME RETARDANT

SUPAPORN PHOMSURIN : PREPARATION OF POLYPROPYLENE/ALKYLPHOSPHONATE-CELLULOSE COMPOSITE. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. KAWEE SRIKULKIT, Ph.D., 82 pp.

In this study, the polypropylene/alkylphosphonate-cellulose composite was prepared. In the first step, the surface modification of microcrystalline cellulose with alkylphosphonic acid was carried-out in order to obtain the alkylphosphonate-cellulose having good compatibility with PP matrix. For the preparation of alkylphosphonic acid treated microcrystalline cellulose, the cotton fabric was hydrolyzed with 3 M hydrochloric acid, resulting in microcrystalline cellulose in powder form. The microcrystalline cellulose was treated by alkylphosphonic acid and followed by curing at 170 °C for 3 minutes to produce alkylphosphonate cellulose. Characterizations including SEM, FT-IR, XRD and TGA were employed to analyze the structure of alkylphosphonate cellulose. The results revealed that the surface of alkylphosphonic acid treated microcrystalline cellulose was covered by alkylphosphonic acid. In the following step, the obtained alkylphosphonate cellulose was mixed with PP powder using twin-screw extruder and followed by compression molding. The composites were characterized by OM, XRD, TGA, and DSC. In addition, the flame retardancy property of the composites were tested by UL-94 standard. The results indicated that the addition of alkylphosphonate cellulose into polypropylene could reduce the thermal stability into polypropylene. For flammability testing, the results showed that the burning rates decreased with an increase in alkylphosphonate cellulose content, further confirming the effect of alkylphosphonate cellulose on flame retardancy for polypropylene.

Department: Materials Science..... Student's signature Supaporn Phomsurin
Field of study: Applied Polymer Science and Textile technology. Advisor's signature Kawee Srikulkat
Academic year: 2010.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ ความเชื่อเพื่อด้านเครื่องมือ วัสดุดิบและสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังรายนาม ต่อไปนี้

1. รศ.ดร. กาวี ศรีกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหา และแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
2. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง ที่ให้ทุนสนับสนุนในการ วิจัย
6. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนในงานวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า จนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พอลิโพรพิลีน.....	3
2.2 ฝ้าย.....	6
2.3 เซลลูโลส.....	11
2.4 สารหน่วงไฟ.....	14
2.5 การอัด.....	18
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.3 วิธีการทดลอง.....	29
3.3.1 การเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากผ้าฝ้าย.....	29
3.3.2 การดัดแปรพื้นผิวของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสด้วยกรดแอลคิล- ฟอสฟอนิก.....	29
3.3.3 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิโพรพิลีนและไมโครคริสตัล- ลีนเซลลูโลส.....	29

3.3.4 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ.....	31
3.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ.....	32
3.4.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและ แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Scanning electron microscope(SEM).....	32
3.4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและ แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)	33
3.4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและ แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD).....	34
3.4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส - และแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA).....	34
3.4.5 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุ - เชิงประกอบพอลิไพร์พอลิเมอร์/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	35
3.4.6 การตรวจสอบลักษณะภายนอกของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์พอลิเมอร์/ แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	35
3.4.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์พอลิเมอร์/ แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส.....	36
3.4.8 การทดสอบการติดไฟในแนวนอนตามมาตรฐาน UL-94แบบ HB ของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์พอลิเมอร์/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส....	37
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	39
4.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิล- ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Scanning electron microscope(SEM).....	39
4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิล - ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR).....	42

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิล - ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD).....	44
4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิล- ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA).....	45
4.5 ผลของการหาภาวะการขึ้นรูปของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์โรฟิลีน/แอลคิล - ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่องอัดแบบ.....	47
4.6 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบ พอลิไพร์โรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	49
4.7 การตรวจสอบลักษณะภายนอกของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์โรฟิลีน/แอลคิล - ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง.....	50
4.8 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอส- ฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD).....	51
4.9 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์โรฟิลีน/แอลคิล- ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA).....	52
4.10 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์โรฟิลีน/แอลคิล- ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC).....	54
4.11 การทดสอบการติดไฟในแนวนอนตามมาตรฐาน UL-94 แบบ HBของวัสดุ- เชิงประกอบพอลิไพร์โรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส.....	56
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	61
รายการอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	82

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
ตารางที่ 3.1	ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิล-ฟอสฟอเนตเซลลูโลส.....	30
ตารางที่ 3.2	ภาวะการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบ (Compression molding).....	31
ตารางที่ 4.1	อุณหภูมิการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส.....	47
ตารางที่ 4.2	ลักษณะขึ้นงานที่ได้เมื่อใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส Preheating time 180 วินาที และ Venting time เป็น 10 ครั้ง.....	48
ตารางที่ 4.3	ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิค TGA.....	54
ตารางที่ 4.4	ผลของปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีต่อสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส.....	56
ตารางที่ 4.5	แสดงการติดไฟของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่เวลาต่างๆ.....	58
ตารางที่ 4.6	อธิบายลักษณะการติดไฟของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิล-ฟอสฟอเนตเซลลูโลส.....	59

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 ชนิดของพอลิโพรพิลีนตามลักษณะโครงสร้างสเตอริโอ.....	4
รูปที่ 2.2 การพอลิเมอไรเซชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-เนตตา.....	5
รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้าย.....	7
รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายตามยาวของเส้นใยฝ้ายจากกล้องจุลทรรศน์.....	8
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส.....	12
รูปที่ 2.6 ลักษณะของเครื่องอัด.....	19
รูปที่ 2.7 แสดงเข้าชนิดต่างๆสำหรับการอัด.....	21
รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการอัดและการฉีด.....	23
รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างเคมีของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก.....	27
รูปที่ 3.2 เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบหลอมเหลวชนิดเกลียวคู่.....	30
รูปที่ 3.3 เครื่องอัดแบบ.....	31
รูปที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	33
รูปที่ 3.5 เครื่อง FT-IR spectrometer	33
รูปที่ 3.6 เครื่อง X-ray Diffractometer.....	34
รูปที่ 3.7 เครื่อง Thermal Gravimetric Analyser.....	35
รูปที่ 3.8 กล้อง Optical microscope.....	36
รูปที่ 3.9 เครื่อง Differential scanning calorimeter.....	37
รูปที่ 3.10 ชิ้นงานตัวอย่าง.....	38
รูปที่ 3.11 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบการติดไฟในแนวนอนตามมาตรฐาน UL-94 แบบ HB.....	38
รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนต-เซลลูโลส.....	39
รูปที่ 4.2 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 350 เท่า ของอนุภาคไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่อัตราส่วนกรดแอลคิลฟอสฟอนิกต่อไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสต่างกัน.....	40

รูปที่ 4.3	ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 2500 เท่า ของอนุภาคไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่อัตราส่วนกรดแอลคิลฟอสฟอนิกต่อไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสต่างกัน.....	41
รูปที่ 4.4	อินฟราเรดสเปกตรัมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของอนุภาคไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่อัตราส่วนกรดแอลคิลฟอสฟอนิกต่อไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสต่างกัน.....	42
รูปที่ 4.5	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส.....	43
รูปที่ 4.6	ปฏิกริยาระหว่างไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสกับกรดแอลคิลฟอสฟอนิก.....	43
รูปที่ 4.7	XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของอนุภาคไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่อัตราส่วนกรดแอลคิลฟอสฟอนิกต่อไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสต่างกัน.....	44
รูปที่ 4.8	TG เทอร์โมแกรมของอนุภาคไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่อัตราส่วนกรดแอลคิลฟอสฟอนิกต่อไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสต่างกัน.....	46
รูปที่ 4.9	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า ของพอลิไพโรฟิไลนและวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิไลน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสต่างกัน.....	50
รูปที่ 4.10	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่าของพอลิไพโรฟิไลนและวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิไลน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส.....	51
รูปที่ 4.11	XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของพอลิไพโรฟิไลนและวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิไลน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส.....	52
รูปที่ 4.12	TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 50-1000 °C ของพอลิไพโรฟิไลนและวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิไลน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตต่างกัน.....	53
รูปที่ 4.13	DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิไพโรฟิไลนและวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิไลน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตต่างกัน.....	55
รูปที่ 4.14	เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิไพโรฟิไลนและวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิไลน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส.....	55

รูปที่ 4.15 แสดงอัตราค่าการลามไฟของของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิ-
ลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส.....

57



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่นิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมพลาสติกและอุตสาหกรรมสิ่งทอ เนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา ดูดความชื้นต่ำ ทนต่อรา แมลง และสารเคมี แต่ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของพลาสติกในกลุ่มโพลีเอทิลีนรวมทั้งพอลิโพรพิลีน คือ ติดไฟง่าย เนื่องจากพอลิโพรพิลีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน เมื่อเกิดการไหม้ขึ้นจะติดไฟอย่างรวดเร็วและดับยาก มีลักษณะการไหม้อย่างต่อเนื่องจนไม่หลงเหลือขาร์ การปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีนี้สามารถทำได้โดยการเติมสารเติมแต่งที่มีคุณสมบัติในด้านการหน่วงไฟลงไป เพื่อจะเพิ่มความต้านทานต่อการติดไฟ ลดการแพร่กระจายของไฟ ยับยั้งการก่อตัวของควัน โดยจุดประสงค์หลักของสารหน่วงไฟก็เพื่อที่จะทำให้การติดไฟและการลุกลามของไฟช้าลง สารหน่วงไฟที่นิยมใช้ได้แก่ สารหน่วงไฟที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ สารหน่วงไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ สารหน่วงไฟที่มีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบ หรือเมทัลออกไซด์และสารประกอบโลหะ โดยในระยะหลังนี้ได้มีความพยายามที่จะพัฒนาสารหน่วงไฟประเภทสารประกอบฟอสฟอรัสขึ้นมาเพื่อใช้แทนที่สารหน่วงไฟประเภทที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากสารหน่วงไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อเกิดการเผาไหม้จะเกิดแก๊สฮาโลเจนที่เป็นอันตรายหากสูดดมเข้าไปในปริมาณมากอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้และเพื่อช่วยในการรักษาสิ่งแวดล้อม

สารหน่วงไฟที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบเป็นสารหน่วงไฟที่มีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟที่ดีโดยสารหน่วงไฟในกลุ่มนี้มีความน่าสนใจ คือ จะทำให้เกิดชั้นชาร์ที่มีความคงทนต่อความร้อนปกคลุมพื้นผิววัสดุ ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน อีกทั้งควันเขม่ามีความเป็นพิษต่ำกว่าตระกูลฮาโลเจน และมีประสิทธิภาพหน่วงการติดไฟได้ดี โดยเฉพาะเมื่อประยุกต์กับพอลิเมอร์ธรรมชาติ เนื่องจากฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ธรรมชาติแล้วกลายเป็นชาร์ซึ่งทำหน้าที่กีดขวางกระบวนการเผาไหม้ อีกทั้งพอลิเมอร์จากธรรมชาตินั้นได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางโดยใช้เป็นสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงให้กับพลาสติก

ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติการหน่วงไฟของพอลิโพรพิลีน โดยนำไมโครคริสตัลไลน์มาดัดแปรด้วยกรดแอสคิลฟอสฟอนิกแล้วทำการศึกษาคุณสมบัติต่างๆของแอสคิลฟอสฟอนเนตเซลลูโลสที่ได้ โดยคาดหวังว่าแอสคิลฟอสฟอนเนตเซลลูโลสนี้เมื่อผสมกับพอลิโพรพิลีน

แล้วจะทำให้วัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์ฟิไลน์มีสมบัติทางความร้อนและมีความสามารถในการหน่วงไฟได้ดีขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เตรียมแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสโดยการดัดแปรไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอนิก
2. เตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์ฟิไลน์/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิคหลอมเหลว
3. วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและสมบัติการหน่วงไฟของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์ฟิไลน์/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส

ขอบเขตของการวิจัย

1. เตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส
2. ดัดแปรไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอนิก
3. ศึกษาสมบัติของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่ผ่านการดัดแปร ได้แก่ โครงสร้าง สัณฐานวิทยา หมู่ฟังก์ชันทางเคมี และเสถียรภาพทางความร้อน
4. เตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์ฟิไลน์/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิคการผสมแบบหลอมเหลวในอัตราร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักสารทั้งหมด
5. ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการหน่วงไฟของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์ฟิไลน์/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์ฟิไลน์/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีความสามารถในการหน่วงไฟ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิโพรพิลีน [1]

พอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ประเภทโอเลฟินที่ถูกพัฒนามาตั้งแต่อดีต จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2497 ศาสตราจารย์กิลลิโอ แนตตา (Prof. Giulio Natta) ชาวอิตาลีได้นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ ศาสตราจารย์ คาร์ล ซีเกลอร์ (Prof. Karl Ziegler) ชาวเยอรมันค้นพบ โดยงานวิจัยของ Ziegler ได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับความดันและความร้อนต่ำ ในการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยานี้สามารถทำให้แก๊สโพรพิลีน (CH) กลายเป็นพอลิโพรพิลีนได้มาใช้ในการเตรียมพอลิโพรพิลีน โดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำให้ได้พอลิโพรพิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงแตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติที่แตกต่างกันไป โดยสามารถแบ่งชนิดของพอลิโพรพิลีนตามลักษณะการจัดเรียงตัวของหมู่เมทิลได้สามแบบดังนี้

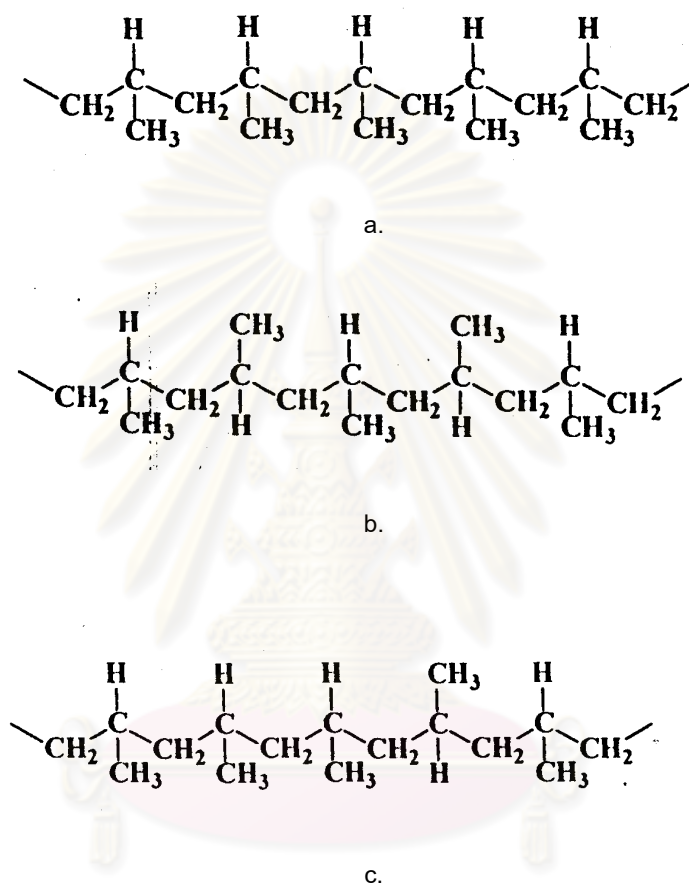
1. ไอโซแทกติก (isotactic) พอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงตัวแบบไอโซแทกติก กล่าวคือ หมู่เมทิล (methyl) ที่เกาะอยู่กับสายโซ่จะมีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกันตลอดทั้งสายโซ่ ทำให้การจัดเรียงตัวแบบนี้มีความเป็นระเบียบที่สุด พอลิโพรพิลีนชนิดนี้จึงมีความผลึก (Crystalline) ค่อนข้างสูง เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นระเบียบ

2. ซินดีโอแทกติก (syndiotactic) พอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงตัวแบบซินดีโอแทกติกจะมีการจัดเรียงหมู่เมทิล (methyl) จะสลับกันอยู่คนละข้างของสายโซ่ ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลงความเป็นผลึกจึงลดลง

3. อะแทกติก (atactic) การจัดเรียงตัวแบบนี้หมู่เมทิล (methyl) จะไม่เฉพาะเจาะจงจะอยู่ข้างใดข้างหนึ่งหรือสลับกันทั้งสาย แต่จะอยู่แบบสุ่มไปตามสายโซ่หลัก จากการวางตัวของหมู่เมทิลนี้เอง จึงทำให้พอลิเมอร์ที่ได้ไม่มีความเป็นระเบียบเหมือนกับชนิดไอโซแทกติก พอลิโพรพิลีนชนิดนี้จึงมีความเป็นผลึกน้อย หรือมีความเป็นอสัณฐานมากกว่า (amorphous)

การจัดเรียงตัวของหมู่เมทิลนี้จะสามารถควบคุมได้โดยการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพอลิโพรพิลีนมอนอเมอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-แนตตา ซึ่งโครงสร้างทั้งสามแบบนี้จะมีความเป็นระเบียบที่ต่างกันส่งผลให้มีสมบัติที่ต่างกัน โดยไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนจะมีความหนาแน่นสูงเหมือนพอลิเอทิลีน แต่มีจุดอ่อนตัวสูงกว่าและมี

ความแข็งแรงกว่าแบบอื่นๆ ซึ่งมีส่วนของอัสติฐานทำให้ความแข็งแรงลดลง หลังจากนั้นพอลิโพรพิลีนจึงกลายเป็นพอลิเมอร์สำคัญอีกชนิดหนึ่ง [2] , [3]

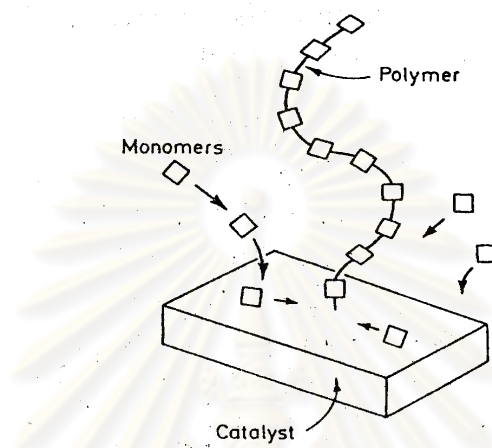


รูปที่ 2.1 ชนิดของพอลิโพรพิลีนตามลักษณะโครงสร้างสเตอริโอ (stereo configuration)
a.) isotactic, b.) syndiotactic และ c.) atactic

การสังเคราะห์พอลิโพรพิลีน

การสังเคราะห์พอลิโพรพิลีนเริ่มจากการนำพอลิโพรพิลีนมอนอเมอร์ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของแก๊สพอลิโพรพิลีนจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เรียกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา ที่นิยมใช้คือทิตเนียมไตรคลอไรด์กับอะลูมิเนียมไตรเอทิล อะลูมิเนียมไตริวทิลหรืออะลูมิเนียมไตรเอทิลโมโนคลอไรด์ในแนพทาภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน โดยอาจใช้ตัวเร่ง 10% แนพทา 90% ผ่านเข้าไปในเตาปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง จะได้พอลิเมอร์ถึง 80-85% เทคนิคการพอลิเมอร์ไรเซ-

ชั้นมักใช้แบบแขวนลอยมากกว่าแบบสารละลาย โมเลกุลจะเติบโตยาวขึ้นในลักษณะเดียวกันกับการยาวขึ้นของเส้นผม ดังแสดงในรูป 2.2 [3] การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลทำได้โดยใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวย้ายสายโซ่ หรืออาจจะปรับเปลี่ยนสัดส่วนของตัวเร่งอุณหภูมิ ความดันของมอนอเมอร์หรือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 2.2 การพอลิเมอไรเซชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-เนตตา

สมบัติของพอลิโพรพิลีนและการใช้ประโยชน์

พอลิโพรพิลีนที่เตรียมได้โดยตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-เนตตาจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000 ถึง 200,000 มีความหนาแน่นประมาณ 0.90g/cm^3 อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) $164\text{-}170\text{ }^\circ\text{C}$ ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าเกิน 80°C ขึ้นไปจะละลายในไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติก และคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน มีความทนแรงดึง ความแข็งดึง และความแข็งแรงที่สูงมาก มีความมัน (gloss) ที่ดี มีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีมาก มีความเฉื่อยต่อสารเคมีและความชื้น แต่มีเสถียรภาพทางความร้อน แสงและการเกิดออกซิเดชันที่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีน ทำให้พอลิโพรพิลีนที่ใช้ทางการค้ามักผสมสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอนดำ ไบแก้ว ยาง และสารแอนติออกซิแดนต์ เป็นต้น เพื่อให้สมบัติที่ดีขึ้นเหมาะกับการใช้งาน พอลิโพรพิลีนมักใช้ทำวัสดุของใช้ในครัว แผ่นฟิล์มสำหรับห่อ ถุงพลาสติกใส่ของร้อน เชือกปอพลาสติก กล่องแบตเตอรี่ กระเป๋า ถังขยะ ถังน้ำ ท่อน้ำ ชิ้นส่วนตู้เย็น เส้นใยสิ่งทอทั้งแบบเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว ประมาณครึ่งหนึ่งของพอลิโพรพิลีนที่ผลิตขึ้นถูกนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์โดยวิธีฉีดแบบ เช่น ทำชิ้นส่วนรถยนต์ ตู้วิทยุหรือโทรทัศน์ ภาชนะเครื่องครัว เป็นต้น และมีการนำไปทำเป็นเส้น (filament) ทำแปรง เชือก พรหม ผ้าห่ม ทำฟิล์ม ทำถุงพลาสติกใส่ของประเภทที่เรียกว่าถุงร้อนชนิดใส ทำหลอดกาแฟ ลังใส่ขวด

2.2 ฝ้าย [4,5,6]

ฝ้ายเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มนุษย์รู้จักและใช้ประโยชน์มานานแล้ว พบในทั่วทุกแห่งของโลก ในยุคที่ไม่มีเครื่องจักรกลนั้นการนำเส้นใยฝ้ายมาทอเป็นผ้าเป็นวิธีการที่ยุ่งยากมาก ต่อมาเมื่อ Eli Whitney ประดิษฐ์เครื่องหีบฝ้ายได้ในปี พ.ศ.2336 ทำให้การแยกเส้นใยฝ้ายออกจากเมล็ดทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น

ฝ้าย (Cotton) เป็นเส้นใยเซลลูโลสที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งและมีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากฝ้ายมีความทนทาน แข็งแรง ดูดซึมน้ำได้ดีทำให้สวมใส่สบายระบายอากาศและความร้อนได้ดี เนื้อผ้าซักกรีดและทำความสะอาดง่าย เป็นต้น นอกจากนี้ฝ้ายยังมีการเพาะปลูกฝ้ายกันเกือบทุกแห่งเกือบทั่วโลกยกเว้นบางประเทศที่มีภูมิอากาศหนาว เพราะฝ้ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีอากาศอบอุ่นอุณหภูมิสูงกว่า 21 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะสหรัฐอเมริกา จีน และรัสเซีย ซึ่งต่างก็เป็นประเทศผู้นำในการผลิตฝ้ายทั้งสิ้น ดังนั้นประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจึงสามารถทำการเพาะปลูกฝ้ายได้ผลผลิตดี และมีโรงงานสิ่งทอซึ่งทำกิจการเกี่ยวกับฝ้ายอยู่ในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก ผ้าที่ผลิตจากฝ้ายพันธุ์ดีเส้นใยยาว ผิวของผ้าจะเรียบเนียน และทนทาน คุณภาพของผ้าฝ้ายขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความยาวและความเรียบของเส้นใย ใยฝ้ายเองไม่แข็งแรงนัก แต่เมื่อนำมาทอเป็นผ้า จะได้ผ้าที่แข็งแรง ยิ่งทอเนื้อหนา-แน่นจะยิ่งแข็งแรง ทนทาน ดูดความชื้นได้ดี เหมาะสำหรับการทำผ้าเช็ดตัว ผ้าเช็ดหน้า ผ้าฝ้ายเนื้อบางถึงเนื้อหนาปานกลาง ใช้เป็นชุดสวมในฤดูร้อนจะรู้สึกเย็นสบาย

โครงสร้างทางกายภาพ

โดยทั่วไปฝ้ายดิบจะมีสีออกครีมขาว และพบว่าในบางชนิดอาจมีสีเข้มออกครีมน้ำตาลได้ ทั้งนี้ขึ้นกับการเพาะปลูกและสภาพภูมิอากาศ ซึ่งคุณภาพของฝ้ายจะขึ้นกับความยาวและความยาวของเส้นใย ปกติแล้วเส้นใยฝ้ายจะมีความยาวอยู่ในช่วง 1,000 – 3,000 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยขึ้นกับที่มาของฝ้ายนั้น สำหรับความกว้างเส้นใยฝ้ายมีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันไปตั้งแต่ 16 – 20 ไมครอน และรูปร่างภาคตัดขวางของเส้นใยมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นกับการเจริญเติบโตของเส้นใย ซึ่งปกติเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นรูปร่างภาคตัดขวางของเส้นใยคล้ายเมล็ดถั่ว มีช่องตรงกลางเส้นใยที่กลวงเรียกว่า lumen สำหรับเส้นใยที่ยังอ่อนอยู่จะมีลักษณะภาคตัดขวางเป็นรูปตัว U และมีผนังเซลล์ที่บางกว่าในเส้นใยที่โตเต็มที่ โดยเรียกผนังเซลล์ที่เกิดขึ้นก่อนนี้ว่าผนังชั้นแรก (primary cell) แต่เมื่อเส้นใยเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ จนโตเต็มที่จะมีผนังเซลล์ที่หนาขึ้นและมีลักษณะภาคตัดขวางค่อนข้างกลมมากขึ้น

ทำให้ช่องตรงกลางเส้นใยเล็กและแคบลง ดังรูปที่ 2.3 [8] ซึ่งผนังที่หนาขึ้นนี้มาจากการเจริญเติบโตเป็นชั้นๆ จากผนังด้านนอกเข้าสู่ด้านใน โดยเรียกรวมผนังที่หนาขึ้นดังกล่าวว่าผนังชั้นที่สอง (secondary wall) และแต่ละชั้นของผนังเส้นใยเกิดจากการเจริญเติบโตของสายไซโมเลกุลเซลลูโลส ซึ่งมีการจัดเรียงสายไซโมเลกุลที่บิดเปลี่ยนทิศทางไปตามธรรมชาติ โดยส่วนนี้เองทำให้เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นลักษณะของเส้นใยที่บิดเป็นเกลียว ซึ่งเรียกลักษณะดังกล่าวว่า เกลียวฝ้าย (convolutions) ดังรูปที่ 2.4 [6] เมื่อฝ้ายเจริญเติบโตเต็มที่พร้อมสำหรับการนำมาปั่นด้าย ผนังเซลล์ (Cell Wall) จะมีความหนา แก่จัด พู และละเอียด (Fibre Fineness) ซึ่งจะช่วยให้อโครงสร้างภายในหยิกงอปิดพันกันเป็นเกลียวตามทิศทางการหมุนของเข็มนาฬิกา อาจหมุนตาม (จากซ้ายมาขวา) หรือทวน (จากขวามาซ้าย) ขึ้นอยู่กับเฟืองฟันที่แต่ละชนิด จากคุณลักษณะพิเศษนี้ช่วยให้ผิวสัมผัสของเส้นใยจับยึดติดกันแน่นเพิ่มความแข็งแรงให้สูงขึ้น



รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้าย



รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายตามยาวของเส้นใยฝ้ายจากกล้องจุลทรรศน์

โครงสร้างทางเคมี

เส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยเซลลูโลสชนิดหนึ่งที่มีอัตราส่วนของความเป็นผลึกต่อความเป็นอสัณฐานสูงถึงประมาณสองต่อหนึ่ง ทำให้ความสามารถในการยึดตัวดีและดูดซึมความชื้นสูง ประกอบด้วยเซลลูโลส 94% และที่เหลืออีก 6% ได้แก่ สารพวกโปรตีน แร่ธาตุ แวกซ์ (wax) กรดอินทรีย์ น้ำตาล และผงสี (pigments) แต่โดยส่วนมากเมื่อนำเส้นใยฝ้ายมาใช้งาน จะต้องนำเส้นใยนั้นผ่านกระบวนการตกแต่งสำเร็จเสียก่อน เช่น กระบวนการกำจัดสิ่งสกปรก (scouring) และกระบวนการฟอกขาว (bleaching) เป็นต้น ทำให้เส้นใยฝ้ายที่ได้มีเซลลูโลสถึง 99% โดยโครงสร้างเซลลูโลสนั้นมีองค์ประกอบทางเคมีซึ่งประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน 44.4% ไฮโดรเจน 6.2% และออกซิเจน 49.4% มีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยพื้นฐานซึ่งเรียกว่า anhydro-d-glucose (CHO) ต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลยาวทำให้ไม่ละลายน้ำเหมือนกับน้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนี้นับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดสมบัติของฝ้าย กล่าวคือหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้ฝ้ายมีสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) และลักษณะการเรียงตัวเป็นสายโซ่โมเลกุลของกลูโคสที่ยาวนั้น มีผลทำให้ฝ้ายมีความแข็งแรงสูง ซึ่งโดยทั่วไปฝ้ายมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10,000 ไปจนถึง 2,000,000

สมบัติทางกายภาพ

1. รูปร่างจากกล้องจุลทรรศน์ : เส้นใยฝ้ายมีลักษณะคล้ายหลอดที่แบน มีเกลียวเหมือนการบิดริบบิ้น ผิวของเส้นใยฝ้ายปกติจะไม่เรียบ และมีรูปร่างภาคตัดขวางเป็นรูปถั่ว ซึ่งตรงกลางกลวงเป็นช่องส่งน้ำ

2. ความยาว : เส้นใยฝ้ายแต่ละเส้นมีความยาวประมาณ $\frac{1}{4}$ ถึง $2\frac{1}{2}$ นิ้ว ซึ่งเส้นใยฝ้ายที่ยาวจะแสดงถึงคุณภาพของเส้นใยที่ดีด้วย

3. สี : ฝ้ายดิบโดยปกติมีสีขาวออกครีม แต่บางชนิดก็มีสีครีมเข้มไปทางน้ำตาลได้

4. ความมันเงา : ฝ้ายปกติมีความมันเงาเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าผ่านกระบวนการเมอริซิไรซ์ (mercerization) จะมีความมันเงามากขึ้น

5. ความแข็งแรง : เส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงปานกลาง โดยมีความเหนียว (tenacity) ประมาณ 26.5 – 44.1 cN/tex (3.0 – 5.0 g/den) และความทนแรงดึง (Tensile Strength) มีค่าประมาณ 2,800 – 8,400 kg/cm² (40,000 -120,000 lb/in²) แต่เมื่อเปียกน้ำเส้นใยฝ้ายจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 10 – 20 % และกระบวนการเมอริซิไรซ์สามารถทำให้เส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย

6. การยืดตัว : เส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการยืดตัวได้น้อย โดยมีค่าการยืดตัวที่จุดขาด (elongation at break) ประมาณ 5 – 10%

7. สมบัติการคืนตัวกลับ : เส้นใยฝ้ายมีสมบัติการคืนตัวกลับ (elastic properties) ภายหลังได้รับแรงกระทำ โดยที่การยืดดึงออก 2% เส้นใยฝ้ายมีการคืนตัวกลับ 74% ส่วนที่การยืดดึงออก 5% เส้นใยฝ้ายมีการคืนตัวกลับเพียง 45% เท่านั้น

8. ความถ่วงจำเพาะ : ฝ้ายมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.54

9. ผลกระทบต่อความชื้น : ฝ้ายมีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี โดยที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 65% ฝ้ายสามารถดูดซึมความชื้นได้ 6 – 8% และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% พบว่า ฝ้ายสามารถดูดซึมความชื้นได้สูงถึง 25 - 27%

10. ผลกระทบต่อความร้อน : ฝ้ายสามารถทนต่อความร้อนได้ดี โดยสามารถแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ได้ และสามารถอบแห้งที่อุณหภูมิ 71 – 93 °C นอกจากนี้ฝ้ายยังสามารถทนต่อความร้อนได้สูงถึง 204 – 208 °C (400 – 425 °F) ในระยะเวลาสั้นๆ เช่น การรีดผ้าอาจใช้ที่

อุณหภูมินี้ได้ และจะเริ่มไหม้พร้อมกับเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่อุณหภูมิ 246 °C (475 °F) ซึ่งที่อุณหภูมิสูงขึ้นกว่านี้ฝ้ายจะถูกทำลายได้

สมบัติทางเคมี

1. ผลกระทบต่อกรด : ฝ้ายสามารถถูกทำลายด้วยกรดแก่ได้ง่าย เช่น กรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น เป็นต้น โดยจะละลายฝ้ายเป็นยางเหนียว แต่สำหรับสารพวกกรดอ่อน จะไม่สามารถทำลายฝ้ายได้ เช่น กรดอะซิติก และกรดออกซาลิก เป็นต้น ซึ่งถ้าแช่เส้นใยฝ้ายในกรดออกซาลิกจะมีผลให้เส้นใยอ่อนตัวลง

2. ผลกระทบต่อด่าง : ฝ้ายมีความทนทานต่อด่างได้ดี สามารถซักล้างในสารละลายที่เป็นด่างได้โดยเส้นใยไม่เสียหาย นอกจากนั้นด่างที่เป็นสารเคมีหลักในการทำเมอร์ซีไรซ์จะส่งผลให้เส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงขึ้นด้วย

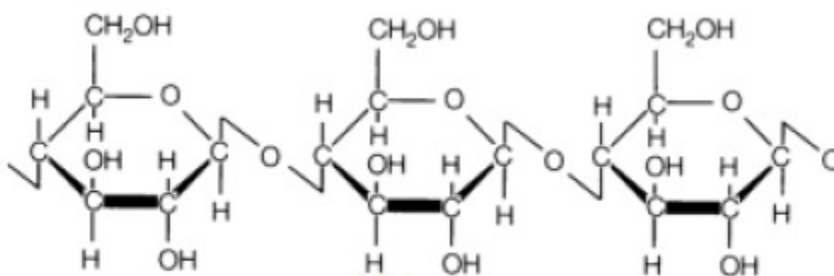
3. ผลกระทบต่อตัวทำละลายอินทรีย์ : ฝ้ายมีความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ โดยมีสารอินทรีย์เพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถละลายฝ้ายได้ เช่น สารประกอบคอปเปอร์ คิว-ปรามโมเนียม ไฮดรอกไซด์ (copper complex cuprammonium hydroxide) และ คิวไพโรเอทิลีน ไดอะมีน (cupriethylene diamine) เป็นต้น

4. ผลกระทบต่อสารซักฟอก : ฝ้ายทนต่อสารซักฟอกได้ดีมาก แต่สารซักฟอกที่เป็นตัวออกซิไดส์รุนแรง เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (potassium permanganate) และ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (sodium hypochloride) จะสามารถทำให้ฝ้ายเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของออกซีเซลลูโลส (oxycellulose) ซึ่งมีผลให้ความแข็งแรงของฝ้ายลดลง ฝ้ายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และขาดง่ายเมื่อเปียก

5. ผลกระทบต่อแสงแดด : รังสีอัลตราไวโอเล็ตในแสงแดดจะเปลี่ยนโครงสร้างเซลลูโลสเป็นออกซีเซลลูโลสได้ ซึ่งทำให้เส้นใยฝ้ายที่ถูกแสงแดดมีความแข็งแรงลดลง และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

2.3 เซลลูโลส [7,8]

เป็นไฮโมพอลิแซคคาไรด์สายตรงของน้ำตาลกลูโคสอีกชนิดหนึ่งและเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุดในโลก เพราะเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ในพืชที่ให้ความแข็งแรง โมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ $\beta,1 \rightarrow 4$ ดังรูปที่ 2.5 และต่อกันเป็นสายยาวไม่มีสายแขนง สายยาวจะมาเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นพอลิคริสตัลไลน์ (polycrystalline) ที่แข็งแรงยึดเกาะกันเป็นเส้นใย (fibrous) เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสในแต่ละหน่วย จะยังมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ซึ่งจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของพอลิเมอร์ โดยที่ C ตำแหน่งที่ 3 กับ O ที่อยู่ในวงแหวนของโมเลกุลถัดไปและระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่ C ตำแหน่งที่ 6 กับ O ที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของ D-glucose ในอีกโมเลกุลหนึ่ง ทำให้บางส่วนของโครงสร้างเป็นผลึก (crystalline region) คือ มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ พอลิเมอร์เรียงตัวชิดกัน สายโซ่โมเลกุลจะยึดตรงเรียงขนานทำให้มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลน้อย พันธะเคมีที่ยึดระหว่างโมเลกุลด้านข้างเกิดขึ้นได้มาก ส่วนที่เกิดผลึกนี้จะมีความหนาแน่นมากกว่า จึงทนทานต่อการถูกไฮโดรไลซ์ด้วยสารเคมีมากกว่า ส่วนที่ไม่เป็นผลึก (noncrystalline region หรือ amorphous region) นอกจากนี้ส่วนที่เป็นผลึกยังดึงดูน้ำได้น้อยกว่าด้วย ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ เซลลูโลสในแต่ละโมเลกุลอยู่รวมกันเป็นกลุ่มใหญ่อย่างหนาแน่นโดยขาดเป็นเกลียวแบบเส้นเชือก อีกส่วนหนึ่งในบริเวณที่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบเรียกว่าบริเวณที่เป็นอสัณฐาน (amorphous region) พอลิเมอร์จะเรียงตัวระเกะระกะ สายโซ่พอลิเมอร์อาจบิดตัวโค้งงอหรือพาดทับไปบนอีกพอลิเมอร์ ทำให้เกิดมีที่ว่างระหว่างโมเลกุลมากกว่าแบบที่เป็นระเบียบ พันธะเคมีที่ยึดจับด้านข้างของโมเลกุลก็จะน้อยกว่าบริเวณดังกล่าวจะทำให้เส้นใยมีการยืดตัวได้และส่วนที่เป็นอสัณฐานนี้จะถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าส่วนที่เป็นผลึก



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส

โครงสร้างทางเคมีนับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย กล่าวคือ หมู่ไฮดรอกซิล(-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้มีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ดี ลักษณะการเรียงตัวเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวทำให้มีความแข็งแรงสูงตามไปด้วย นอกจากนี้แล้วในโครงสร้างบริเวณที่เป็นการต่อกันของธาตุ -C-O-C- จะเป็นบริเวณที่ถูกทำลายได้ด้วยผลจากการเกิดออกซิเดชัน หรือจากการถูกทำลายด้วยสภาพอากาศ ทำให้โมเลกุลยาวขาดลงกลายเป็นส่วนเล็กๆ ค้ำลายน้ำตาลและสลายกลายเป็นอาหารของพืชและสัตว์ต่อไป

สมบัติของเซลลูโลส

1. สมบัติการดูดซับ (adsorption)

ในเส้นใยเซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีน้ำแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลตรงที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ซึ่งทำให้เกิดความสามารถที่จะดูดซับน้ำเอาไว้ได้ การดูดซับน้ำในเซลลูโลสมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ หรืออุตสาหกรรมเส้นใย

2. การบวมตัว (swelling)

การบวมตัวของเซลลูโลสโดยน้ำและสารอื่นๆ จะลดความเป็นผลึกและจะไปเพิ่มความสามารถในการเข้าถึงได้ในการทำปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งเป็นแฟคเตอร์ที่มีความสำคัญมากในการเข้าทำปฏิกิริยาเคมีหรือการเสื่อมสภาพเซลลูโลส ความสามารถของสารละลายในการทำให้เซลลูโลสบวมตัวได้โดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ < น้ำ < เกลือ < กรด < ด่าง โดยสารละลายอินทรีย์สามารถทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัวระหว่างผลึก ได้แก่ เมทานอล เอทานอล เอนิลีนเบนซาลดีไฮด์ และไนโตรเบนซีน อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้สามารถทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัวได้น้อยกว่าน้ำ เนื่องจากความมีขั้วของสาร ถ้าสารมีความเป็น

ข้าวสูงจะมีความสามารถในการทำให้เซลลูโลสบวมตัวได้มากกว่า สารที่สามารถทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัวมีหลายชนิดได้แก่ สารอัลคาไลน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3. ความสามารถในการละลาย

เนื่องจากเซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่มีข้าวอีกทั้งยังมีลักษณะโครงสร้างภายในเป็นผลึก จึงเป็นการยากที่จะหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการละลายสารประกอบเซลลูโลส

4. การทำให้เสื่อมสภาพ

ความว่องไวในการปฏิกิริยาของการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ด้วยกรดขึ้นอยู่กับขอบเขตในส่วนผลึก หรือส่วนอสัณฐาน รวมทั้งความเข้มข้นของกรด ชนิดของกรด และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความว่องไวของเซลลูโลสปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมากแล้วจะประเมินจากความสามารถในการเข้าถึงได้ของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา เช่น กรดแก่ เอนไซม์ชนิดพิเศษ หรือจุลินทรีย์ (microorganism) การสัมผัสได้โดยตรงในทางกายภาพระหว่างสารเข้าทำปฏิกิริยาเหล่านี้กับเซลลูโลสเป็นสิ่งแรกที่ต้องการของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เนื่องจากเซลลูโลสเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำและมีโครงสร้างที่ซับซ้อน การสัมผัสกันของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสนั้นเกิดขึ้นได้เฉพาะการแพร่

ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส

คำว่าไฮโดรเซลลูโลสถูกเรียกครั้งแรกในปี ค.ศ. 1875 จนกระทั่งได้มีการเริ่มนำคอลลอยด์ที่ผลิตจากไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสใช้ในปี ค.ศ. 1962 โดยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสนี้สามารถผลิตได้จากกระบวนการเสื่อมสลาย (degradation) หรือการลดขนาดของอนุภาคของเซลลูโลสลงโดยใช้กรด ในช่วงแรกการนำไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสมาใช้ยังไม่ค่อยประสบผลสำเร็จนัก อย่างไรก็ตามต่อมาได้เริ่มมีการนำไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางการค้าเพิ่มมากขึ้น [9]

การเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเป็นการย่อยสลายส่วนที่เป็นอสัณฐานของเซลลูโลสออกจากเส้นใยเซลลูโลสให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นผลึกซึ่งการเตรียมโดยทั่วไปนิยมใช้ 2 วิธี คือ

1. การไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ (Enzymatic hydrolyze) [10]

เป็นการย่อยสลายสารประกอบเซลลูโลสด้วยเอนไซม์ซึ่งส่วนใหญ่ได้จากเชื้อราและแบคทีเรีย เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดที่สภาวะไม่รุนแรง (อุณหภูมิห้อง และความดันปกติ) จึงต้องใช้

เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลาหลายชั่วโมงถึงหลายวันจึงจะได้ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส แต่การใช้เอนไซม์มีข้อดี คือ เอนไซม์มีความเจาะจงในการเข้าทำปฏิกิริยา โดยไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นที่ไม่ใช่เซลลูโลส จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ แต่การใช้เอนไซม์ต้องใช้ต้นทุนสูงจึงไม่ค่อยนิยมใช้

2. การไฮโดรไลซ์ด้วยสารเคมี (Chemical hydrolyze)

ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเซลลูโลสด้วยสารละลายกรดเข้มข้น โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดนั้นจะมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสแตกออกอย่างรวดเร็วที่ส่วนของพันธะไกลโคซิดิกและระดับชั้นพอลิเมอร์เชนลดลง โดยกรดจะเข้าทำปฏิกิริยากับส่วนออสตราอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ส่วนโครงสร้างแบบผลึกนั้นจะถูกทำปฏิกิริยาจากกรดในอัตราที่ช้ามาก ๆ ภายหลังจากที่ส่วนออสตราถูกทำลายแล้ว อนุภาคที่เหลือจะเรียกว่า ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส [11] โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากกว่า เนื่องจากทำให้ได้ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสอย่างรวดเร็ว อีกทั้งกรดมีราคาไม่แพงและหาได้ง่าย เหมาะสมในทางอุตสาหกรรมมากกว่าการการไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์

2.4 สารหน่วงไฟ [12,13]

สารหน่วงไฟที่ใช้กันในพอลิเมอร์มีหลายประเภท แบ่งได้คร่าวๆดังนี้

- 1) สารประกอบฮาโลเจน โดยทั่วไปมักใช้ร่วมกับ แอนติโมนีออกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารช่วยเสริมการหน่วงไฟ (synergist)
- 2) สารประกอบไฮเดรต เช่น อะลูมิเนียมไตรไฮเดรต หรือแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์
- 3) สารประกอบโบเรต หรือกรดบอริก
- 4) สารประกอบฟอสฟอรัส

โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงสารหน่วงไฟประเภทสารประกอบฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

สารหน่วงไฟประเภทสารประกอบฟอสฟอรัส

โดยมากสารหน่วงไฟประเภทสารประกอบฟอสฟอรัสอินทรีย์มักเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง สารหน่วงไฟที่รู้จักกันดี ได้แก่ ไตรครีซิลฟอสเฟต (tricresyl phosphate) , ครีซิล-

ไดฟีนิลฟอสเฟต (cresyl diphenyl phosphate) , ออกทิลไดฟีนิลฟอสเฟต (octyl diphenyl phosphate) เป็นต้น โดยกลไกของสารประกอบประเภทนี้อาจทำหน้าที่หนึ่งอย่างหรือมากกว่าก็ได้ เช่น

1. ดำเนินปฏิกิริยาซึ่งจะดูดความร้อนที่ได้จากขบวนการเผาไหม้ของสารตั้งต้น และจะช่วยทำให้เกิดการเผาไหม้ต่อไปมากขึ้น
2. ผลิตถ่าน (char) ซึ่งไม่ติดไฟ หรือสารเคลือบผิว ซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนปกป้องสารตั้งต้นจากความร้อน รวมถึงออกซิเจน และทำให้อัตราเร็วการแพร่ของสารระเหยที่เป็นเชื้อเพลิงจากสารตั้งต้นลดลง
3. ผลิตสปีชีส์ที่ระเหยได้ ซึ่งจะรบกวนการคายความร้อนในปฏิกิริยา free-radical-propagating ทำให้ลดความเร็วในการติดไฟของพอลิเมอร์
4. ปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ที่ไม่ติดไฟ ซึ่งจะเจือจางความเข้มข้นของสปีชีส์ที่ติดไฟได้ในเฟสแก๊ส และทำให้การเผาไหม้ของสารตั้งต้นยากขึ้น
5. ทำให้การสลายตัวของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น มีผลให้พอลิเมอร์หลอมเหลวและหลุดออกจากเปลวไฟ

ซึ่งจะมีรูปแบบตามชนิดของสารประกอบฟอสฟอรัสและชนิดของพอลิเมอร์สารหน่วงไฟ ซึ่งประกอบด้วยฟอสฟอรัสมีบทบาททั้งในเฟสควบแน่น (condensed-phase) หรือเฟสของพอลิเมอร์ (polymer phase) และเฟสแก๊ส (vapor phase) เช่น ในโซนของเปลวไฟ หรือเกิดขึ้นทั้งสองเฟส การกระทำทางกายภาพและทางเคมีมีส่วนร่วมในทั้งสองเฟส

กลไกในเฟสควบแน่น (Condensed-Phase mechanism)

1) Charring & Related Mechanism

พบว่าในพอลิเมอร์ชนิดที่ประกอบด้วยออกซิเจน (oxygen-containing polymer) เช่น เซลลูโลส และโพลีเอทิลีนชนิดแข็ง ซึ่งมีสารประกอบฟอสฟอรัสอยู่ด้วยสามารถเพิ่มปริมาณการเกิดถ่านได้ การเปลี่ยนสารซึ่งสามารถเผาไหม้ได้ไปเป็นถ่านมีประโยชน์ในด้านไฟหลายประการ คือ

1. เป็นวัสดุที่ได้จากการเผาไหม้แทนแก๊สเชื้อเพลิง เช่น ในเซลลูโลส เมื่อได้รับความร้อน

จนถึงอุณหภูมิสลายตัว โดยปกติจะเกิดสารประเภทน้ำมันดิบ ซึ่งจะเกิดการแตกตัวต่อไปได้ แอลเคน , แอลคีน , แอลกอฮอล์ , คีโตน และเชื้อเพลิงที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ

2. กระบวนการเกิดถ่านโดยมากจะมีการคายน้ำ ดังนั้นแก๊สเชื้อเพลิงจะถูกเจือจางด้วยน้ำ ซึ่งเป็นสารที่ไม่ติดไฟ และมีความจุความร้อนสูงสามารถเกิดเป็นสิ่งกีดขวางการส่งผ่านความร้อน ทำหน้าที่ปกป้องพอลิเมอร์ที่อยู่ข้างใต้

3. ปฏิริยาการเกิดถ่านส่วนใหญ่เป็นปฏิริยาดูดความร้อนในเซลล์โลสซึ่งมีสารหน่วงไฟชนิดที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกไฟจะสลายตัวในเฟสควบแน่นได้กรดฟอสฟอริกและกรดโพลีฟอสฟอริก ในบางกรณีที่มีไนโตรเจนอยู่ด้วย อาจเกิดพันธะ P-Nซึ่งทำหน้าที่เป็น dehydrating catalyst โดยทำปฏิริยากับเซลล์โลส เกิดขึ้นในอัตราที่ดี และมีการปล่อยน้ำออกมา ซึ่งเป็นการกำจัดความร้อน

นอกจากผลกระทบทางเคมีแล้ว สารหน่วงไฟประเภทที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ มีแนวโน้มที่จะป้องกันการคุกรุ่นของไฟ โดยการขัดขวางของถ่านที่เคลือบบนผิว การคุกรุ่นของไฟไม่ได้ขึ้นกับสมบัติทางเคมีของวัตถุเท่านั้น แต่ขึ้นกับสมบัติการซึมผ่านได้ของวัตถุ เช่น ในโฟมที่มีรูพรุน (open-cell foam) อากาศสามารถผ่านเข้าไปได้ง่าย จะติดไฟง่าย ตัวอย่างที่รู้จักกันดี คือ โฟมโพลียูรีเทนชนิดยืดหยุ่น (flexible polyurethane foam) จะสังเกตได้ว่าเป็นในสารประกอบที่มีไนโตรเจน เช่น เมลามีน หรือยูเรีย นั้น ไนโตรเจนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหน่วงไฟของฟอสฟอรัส ประสิทธิภาพการหน่วงไฟของฟอสฟอรัสโดยทั่วไปไม่ขึ้นกับชนิดของสารประกอบไนโตรเจน ผลของการเพิ่มประสิทธิภาพนี้เนื่องมาจากการเกิดสารประกอบที่มีพันธะ P=N ซึ่งช่วยป้องกันการสูญเสียฟอสฟอรัสในเฟสควบแน่น (condensed phase)

การเพิ่มขึ้นของการเกิดถ่าน (char) เป็นเหมือนพื้นฐานของการหน่วงไฟในโพลียูรีเทนชนิดแข็ง (rigid polyurethane) ที่มีสารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัส ในระบบเช่นนี้ฟอสฟอรัสส่วนมากจะอยู่ในถ่าน ทำให้ถ่านมีแรงยึดและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นตัวเคลือบผิว โดยทั่วไปในการศึกษาสารหน่วงไฟฟอสฟอรัสชนิดต่างๆในเทอร์โมพลาสติก โพลียูรีเทน อีลาสโตเมอร์ (thermoplastic polyurethane elastomer) พบว่าผลของการหน่วงไฟเนื่องมาจากการเกิดสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ที่เป็นโฟมถ่าน นอกจากนี้ยังมีบทบาทในเฟสแก๊สอีกด้วย อย่างไรก็ตาม

การเกิดเถ้าไม่ได้เป็นพื้นฐานการหน่วงไฟของสารประกอบฟอสฟอรัสใน flexible polyurethane foam ในพอลิเมอร์ที่ไม่มีออกซิเจน การเกิดเถ้าจะเกิดได้น้อย เช่น ในพอลิโอะเลฟิน และสไตรีน สารหน่วงไฟฟอสฟอรัส จะไม่มีผลถึงแม้ว่าจะเติมสารเติมแต่งที่ทำให้เกิดเถ้า อย่างไรก็ตามถ้าไม่มีการเกิดเถ้าก็ยังมีกลไกอื่น ได้แก่ กลไกในเฟสแก๊ส การหลอมเหลว และการเกิดปฏิกิริยาของฟอสฟอรัสกับหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจน หรือ ไม่อิ่มตัว ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของพอลิเมอร์

2) Coating Mechanisms

กลไกที่สำคัญในเฟสควบแน่น คือ การเคลือบผิวด้วยสิ่งกีดขวางที่เติมไปด้วยฟอสฟอรัส เช่น กรดโพลีฟอสฟอริก

3) Effect on Melt Viscosity

สารประกอบฟอสฟอรัสสามารถด้านไฟได้อีกทางหนึ่ง โดยเร่งปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อนของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวภายใต้ภาวะที่มีไฟ ลดความหนืด ทำให้การไหล แล้วหยดออกจากบริเวณที่มีการเผาไหม้ โบรโมแอลคิล ฟอสเฟต (bromoalkyl phosphate) ทำงานในลักษณะนี้ในพอลิสไตรีน (polystyrene)

4.) Condensed Phase Free Radical Inhibition Mechanisms

ผ่านกลไกที่มีอนุมูลอิสระ (free radical) เกี่ยวข้อง ตัวอย่างหนึ่ง คือ ข้อมูลทาง ESR บ่งชี้ว่า aryl phosphate flame retardant ทำปฏิกิริยากับ alkyl peroxy radical ที่ผิวพอลิเมอร์เกิดเป็น phenoxy radical ซึ่งว่องไวน้อยกว่า

กลไกในเฟสแก๊ส (Vapor Phase Mechanism)

1) กลไกในทางเคมี (Chemical Modes of Action)

สารประกอบฟอสฟอรัสที่ระเหยได้เมื่ออยู่ในเปลวไฟจะมีสมบัติด้านไฟได้สูง จากการศึกษาโดยใช้ mass spectroscopy แสดงให้เห็นว่าไตรฟีนิลฟอสเฟต (triphenyl phosphate) และ ไตรฟีนิลฟอสฟีนออกไซด์ (triphenyl phosphine oxide) จะแตกตัวในเปลวไฟให้โมเลกุลขนาดเล็กๆ เช่น P , PO , PO และ HPO ทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนในไฟ ซึ่งเป็นตัว

ควบคุมอัตราเร็วในการเผาไหม้ลดลง ขั้นตอนควบคุมการเผาไหม้ที่ถูกระงับยั้ง คือ ขั้นตอนแตกกิ่ง (branching step) บทบาทในเฟสแก๊ส เป็นพื้นฐานของการหน่วงไฟของไตรแอริลฟอสเฟต (triaryl phosphate) ผสมกับพอลิฟีนีลีนออกไซด์ (polyphenylene oxide) ซึ่งเป็นสารหน่วงไฟในทางการค้าใน high impact polystyrene

2) กลไกในทางกายภาพ (Physical Modes of Action)

การยับยั้งของไฟทางกายภาพขึ้นกับความจุความร้อน (heat capacity) และอาจเกี่ยวข้องกับการกระจายความร้อน การปลดปล่อยน้ำออกจากระบบใน phosphorus catalyst dehydration จะยับยั้งไฟโดยการทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงเจือจางลง

ปฏิกิริยากับสารหน่วงไฟอื่นๆ (Interaction with other Flame Retardants)

1) ปฏิกริยากับฮาโลเจนไฮโดรเจน

synergism เป็นผลของการกระทำร่วมกันระหว่างสาร 2 ชนิดหรือมากกว่าที่ช่วยเสริมการหน่วงไฟ halogen-phosphorus synergism คล้ายกับ halogen-antimony synergism แต่ halogen-phosphorus synergism ให้ผลไม่แน่นอน บางครั้งก็ให้ผลดี และบางครั้งก็ให้ผลไม่ดี โดยมากแล้วสารหน่วงไฟที่มีฮาโลเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลเดียวกันจะให้ผลดี ตัวอย่างเช่น ฟอสโฟโนแอลคิลไดโบรมอฟินอล (phosphonoalkyldibromophenol) ซึ่งใช้เป็นสารหน่วงไฟใน ABS

2) ปฏิกริยาร่วมกับแอนติโมนี

การต่อต้านของแอนติโมนีออกไซด์ (antimony oxide) และสารหน่วงไฟประเภทสารประกอบฟอสฟอรัส สามารถอธิบายบนพื้นฐานที่ว่า ฟอสฟอรัสรบกวนการเกิดหรือการระเหยของแอนติโมนีเฮไลด์ (antimony halide) และแอนติโมนีฟอสเฟต (antimony phosphate) ซึ่งปรากฏการณ์นี้ขึ้นกับอัตราส่วนของ antimony และ phosphorus

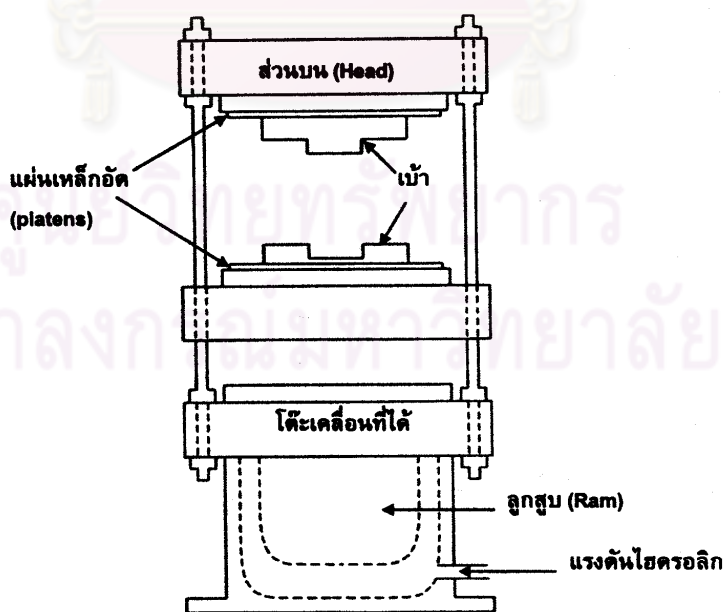
2.5 การอัด (Compression Molding) [14]

เทคนิคการอัด (Compression Molding) เป็นเทคนิคการแปรรูปพอลิเมอร์ที่เก่าแก่ที่สุดเทคนิคหนึ่ง แต่ยังมีการใช้ในรูปพลาสติกอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคนี้ในการอัดเบ้าพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซตและยาง นอกจากนี้ยังนิยมใช้เทคนิคนี้ในการแปรรูปพลาสติกเทอร์โมพลาสติกที่ทำการแปรรูปโดยเทคนิคอื่นได้ยาก เช่น การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกที่มีการผสม

ไฟเบอร์ชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว (fiber glass) และเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) เป็นต้น นอกจากนี้การแปรรูปพอลิเมอร์ในกลุ่มเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (thermoplastic elastomers) ก็นิยมใช้การอัดในการแปรรูป

การใช้เครื่องอัดในการแปรรูปพอลิเมอร์เริ่มประมาณต้นศตวรรษที่ 19 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Thomas Hancock ใช้ในการอัดเบ้ายาง กระบวนการแปรรูปพอลิเมอร์ด้วยเทคนิคการอัดจดลิขสิทธิ์ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาในปีค.ศ.1870 โดยนักวิทยาศาสตร์ 2 คน ชื่อ John Wesley Hyatt และ S. Hyatt กระบวนการแปรรูปโดยการอัดประยุกต์ใช้กับพลาสติกเป็นครั้งแรกหลังจาก Bakeland ค้นพบวิธีการสังเคราะห์เรซินฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ในปี 1908 ในปัจจุบันกระบวนการแปรรูปแบบนี้ ยังคงใช้กับการแปรรูปพลาสติก โดยเฉพาะเทอร์โมเซทอย่างกว้างขวาง

ในเทคนิคการอัดใช้เครื่องอัดเบ้าที่ไม่มี ความซับซ้อน ส่วนประกอบหลักของเครื่อง คือ แผ่นเหล็กอัด (platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ อีกแผ่นจะถูกยึดติดกับที่ ทำให้สามารถทำการเปิดและปิดเบ้าได้เนื่องจากเบ้าถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้งสองแผ่นนี้ ส่วนประกอบอื่นๆคืออุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบไฮดรอลิก และอาจจะมีอุปกรณ์หล่อเย็น ลักษณะเครื่องที่ใช้แปรรูปพลาสติกโดยการอัด แสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งมีอุปกรณ์ประกอบชนิดต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 2.6 ลักษณะของเครื่องอัด

ระบบการขับเคลื่อนเบ้า

เครื่องอัดเบ้าส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่แผ่นเหล็กอัดขึ้นลงโดยใช้แรงขับจากไฮดรอลิก แต่มีเครื่องอัดบางชนิดที่เคลื่อนที่โดยใช้แรงลม (pneumatically operation) นอกจากทำหน้าที่ให้แผ่นเหล็กอัดจะเคลื่อนที่ขึ้นลงแล้ว ระบบขับเคลื่อนจะทำหน้าที่ในการให้แรงดันในการอัด ซึ่งเครื่องขนาดเล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ จะให้แรงดันอยู่ในช่วง 5 ถึง 100 ตัน ส่วนเครื่องที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมจะให้แรงดันอยู่ในช่วง 10 ถึง 4000 ตัน ขนาดของแรงดันจะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นเหล็กอัดมีขนาดอยู่ในช่วง 8 ตารางนิ้วถึง 5 ตารางฟุต

ระบบการให้ความร้อนและหล่อเย็น

การให้ความร้อนแก่พลาสติกแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนอัดและการให้ความร้อนแก่เบ้าโดยตรงขณะทำการอัด

การให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนอัดเป็นการลดระยะเวลาในการอัดหรือวัฏจักร (cycle) ของการอัด โดยการเติมคอมปาวด์ที่เย็นลงในเบ้าโดยตรง ทำให้เสียเวลาในการทำให้คอมปาวด์มีอุณหภูมิถึงจุดที่เกิดการหลอม วิธีการให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนทำการอัดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้แผ่นโลหะร้อน การใช้รังสีอินฟราเรด การใช้ตู้อบหรือตู้อบไมโครเวฟ ใช้ตู้อบชนิดความถี่สูง การให้ความร้อนในเบ้าร้อน เมื่อนำคอมปาวด์เข้าเบ้าจะต้องให้ความร้อนต่อโดยแหล่งความร้อนที่ให้แก่เบ้าโดยตรงขณะทำการอัดขึ้นอยู่กับชนิดและรูปร่างของชิ้นงานที่ทำการแปรรูป ถ้าเป็นชิ้นงานขนาดเล็กและตี้นมักใช้ไฟฟ้าเป็นตัวให้ความร้อน ถ้าชิ้นงานมีความลึกแหล่งความร้อนของเบ้าจะเป็นแหล่งความร้อนของเบ้าจะเป็นแบบแท่งสอด หรือใช้ระบบไอน้ำ หรือระบบน้ำมันร้อน

ส่วนระบบหล่อเย็นส่วนใหญ่จะใช้น้ำเย็นไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของเบ้า หรืออาจจะใช้ระบบน้ำมันร้อนที่สามารถสลับจากการให้ความร้อนเป็นการหล่อเย็นได้

ความดันในการอัด

ความดันในการอัดเบ้าต้องใช้ให้น้อยที่สุด แต่จะต้องมากพอที่จะให้พลาสติกไหลเต็มช่องว่างของเบ้า แต่ไม่ให้สูงเกินไปจนทำให้พลาสติกรั่วไหลออกจากรอยแยกเบ้า ระดับความดันที่ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกและความหนาของชิ้นงานที่ทำการแปรรูป

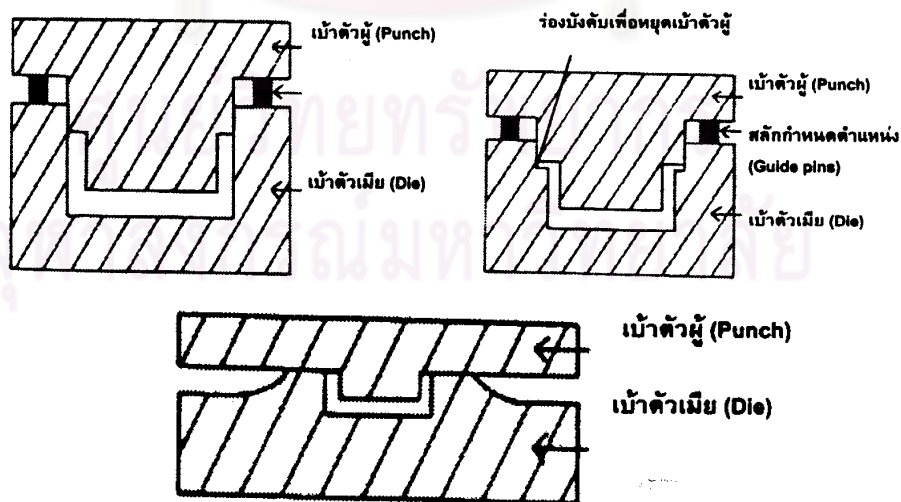
เบ้า

เบ้าที่ใช้ในการอัดแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ เบ้าแบบบวก (fully positive mold) เบ้าแบบกึ่งบวก (semi-positive mold) และเบ้าแบบบาง (flash mold)

ในการอัดเบ้าแบบบวก คอมปาวด์จะรับแรงดันทั้งหมดและไม่มีร่องให้วัสดุไหลออกจากเบ้าได้ ดังนั้นการใช้ปริมาณคอมปาวด์ที่ต่างกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาและความหนาแน่นที่ต่างกัน จึงทำให้มีความลำบากในการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานให้สม่ำเสมอเบ้าชนิดนี้จึงไม่ค่อยนิยมใช้ในงานที่ต้องการความละเอียด ลักษณะของเบ้าแบบบวก แสดงดังรูปที่ 2.7 a.

การอัดเบ้าแบบกึ่งบวกในรูปที่ 2.7 b. มีการเจาะร่องในเบ้าตัวเมียเพื่อเป็นแนวบังคับให้เบ้าตัวผู้ที่เคลื่อนที่ลงมาเพื่ออัดเบ้า ให้เคลื่อนตัวในระยะหนึ่งแล้วหยุด นอกจากนี้มีร่องให้วัสดุที่มากเกินพอไหลออกจากเบ้า ดังนั้นในการอัดด้วยเบ้าแบบนี้ต้องชั่งคอมปาวด์ให้มากเกินพอเล็กน้อยแต่ไม่ให้มากจนเกินไปจนเกิดส่วนเกินที่เรียกว่า flash มากจนเกินไป ซึ่งทำให้สูญเสียวัสดุ เบ้าชนิดนี้นิยมใช้ในการแปรรูปเทอร์โมเซตโดยการอัดมากที่สุด เนื่องจากสามารถกำหนดขนาดของชิ้นงานในการแปรรูปแต่ละครั้งให้ใกล้เคียงกันได้

สำหรับเบ้าชนิดสุดท้ายคือแบบบางในรูปที่ 2.7 c เป็นเบ้าที่มีลักษณะคล้ายเบ้าแบบกึ่งบวก กล่าวคือ มีจุดรองรับเบ้าเพื่อให้เบ้าหยุดในขณะที่ทำการอัด แต่เบ้าแบบนี้จะมีลักษณะง่ายกว่าแบบกึ่งบวกมาก กล่าวคือ ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะอัดเบ้าได้ง่ายกว่าและการออกแบบและทำเบ้าจะง่ายกว่า บางกว่า และราคาถูกกว่าเบ้าแบบกึ่งบวก



รูปที่ 2.7 แสดงเบ้าชนิดต่างๆสำหรับการอัด

เทคนิคการอัด

การแปรรูปโดยการอัด เริ่มจากการยัดเข้าติดกับแผ่นเหล็กอัด (platens) ทั้งสองแผ่น แล้วให้ความร้อน โดยเติมปริมาณของคอมปาวด์ให้เหมาะสมกับขนาดของชิ้นงาน หลังจากนั้นปิดเบ้า โดยใช้แรงอัดที่เหมาะสม เนื่องจากคอมปาวด์ร้อนขึ้นจะเกิดการอ่อนตัว และผลจากการใช้แรงอัด ทำให้วัสดุเกิดการไหลเข้าในช่องว่าง (cavities) ของเบ้า

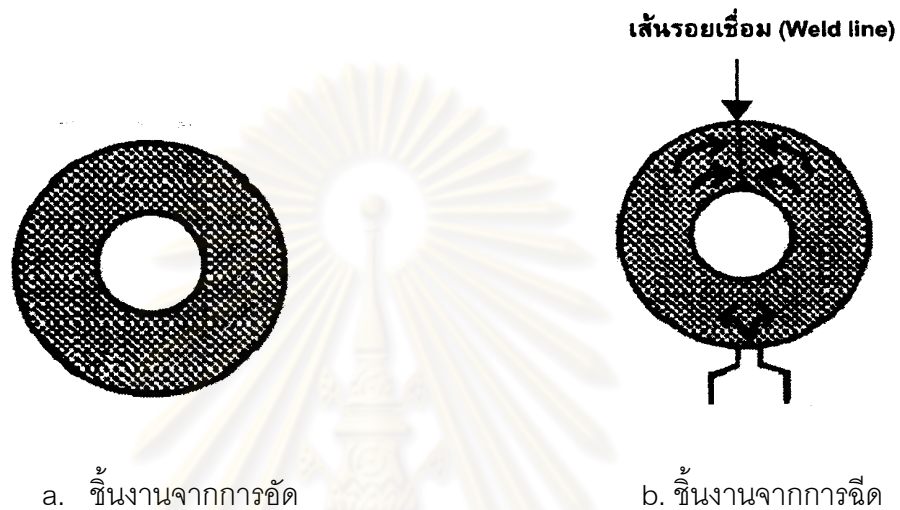
การอัดเบ้าปกติจะมีก๊าซหรือไอน้ำเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหา คือ การฝังตัวของก๊าซและไอน้ำใต้ผิวของชิ้นงาน ทำให้มีรอยบุบเกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกที่ไม่ได้ให้ความร้อนก่อนอัด เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จะต้องมีการไล่ก๊าซ (degassing stage) ซึ่งทำได้โดยการแยกเบ้าออกจากกันในขณะที่ทำการอัด จนความดันภายในเบ้าลดลงถึงความดันบรรยากาศ เมื่อก๊าซหนีออกไปหมดแล้วจึงทำการอัดเบ้าต่อจนพลาสติกแข็งตัว การไล่ก๊าซเป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยประสบการณ์

ข้อดีและข้อเสียของการแปรรูปพลาสติกโดยการอัด

การอัดเบ้าเป็นเทคนิคที่ใช้กันมานาน แต่ยังมีใช้ในการผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แม้ว่าจะมีการพัฒนาเทคนิคใหม่ๆ เช่น การฉีดเข้าเบ้า เข้ามาแทนที่ แต่เทคนิคการอัดยังมีความสำคัญในการแปรรูปพลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากข้อได้เปรียบจากการใช้เทคนิคการอัดหลายประการ ดังสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. เบ้าราคาถูกและผลิตง่าย
2. มีการสูญเสียวัสดุน้อยมาก กล่าวคือมีส่วนที่เป็น flash จากการอัดเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 2-5 % เท่านั้น)
3. โมเลกุลของพลาสติกเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (orientation) น้อยมาก เนื่องในระหว่างการอัด เกิดการไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีอิทธิพลต่อสมบัติของพลาสติกบางชนิดมาก
4. เครื่องอัดมีราคาถูกกว่า เครื่องแปรรูปพลาสติกชนิดอื่นๆ
5. ไม่เกิดเส้นรอยเชื่อม (weld lines) บนชิ้นงาน เช่นเดียวกับการเกิดในการแปรรูป โดยการฉีดพลาสติกเข้าเบ้า (injection molding) เส้นรอยเชื่อมเป็นจุดอ่อนที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักได้ง่าย ตัวอย่างของชิ้นงานที่แตกต่างกัน ที่ได้จากการอัด และการฉีดพลาสติกเข้าเบ้า แสดงดังรูปที่ 2.8

6. เบ้าที่ใช้ในการอัดไม่มีท่อวิ่ง (runners) ท่อนำ (sprue) และประตูเข้า (gates) จึงทำให้ไม่มีรอยตำหนิ (scars) บนชิ้นงาน ในตำแหน่งที่ต้องตัดส่วนประตูเข้า หลังจากถอดชิ้นงานออกจากเบ้า เช่นเดียวกับกรณีการฉีดเข้าเบ้า



รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการอัดและการฉีด

แม้ว่าการฉีดจะมีข้อได้เปรียบดังที่กล่าวมาแล้ว แต่เทคนิคนี้ก็มีข้อเสียเปรียบหลายประการ สรุปได้ดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ในช่องว่างของเบ้ามีลักษณะเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ดังนั้นในขณะทำการอัด ทำให้เกิดความเครียดภายในเบ้าสูงมาก จึงไม่สามารถสอดใส่วัสดุใดๆ เช่น โลหะลงในเบ้าได้ จึงทำให้ไม่สามารถทำผลิตภัณฑ์แบบหุ้มโดยใช้เทคนิคนี้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากจะทำให้โลหะที่ใส่ลงไปบิดเบี้ยว และเบ้าเกิดการเสียหายในขณะทำการอัด
2. ไม่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ ตัวอย่างชิ้นงานที่กล่าวถึง เช่น ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมยาวและมีขนาดเล็ก และแท่งทรงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อย เป็นต้น ดังนั้นเทคนิคการอัด ใช้กับการผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงง่ายเท่านั้น
3. เวลาของวัฏจักรของการผลิต (cycle time) ค่อนข้างยาว
4. การผลิตชิ้นงานที่หนา ต้องใช้เวลานาน เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีสมบัติเป็นฉนวนความร้อน จึงต้องใช้เวลาในการแปรรูปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์

5. จำเป็นต้องมีการตัด flash ที่งี่เสมอ

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กมลวรรณ บุญอารีย์ [5] ได้ทำการศึกษาการตัดแปรรูปฝ้ายจากเศษผ้า เพื่อให้เป็นสารตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.5 N ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นทำการปรับปรุงพื้นที่ผิวของสารตัวเติมฝ้ายที่ได้ เพื่อให้มีความเข้ากันได้ดีกับเนื้อพลาสติกพอลิโพรพิลีนด้วย มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีนและกรดเตียริก จากนั้นเตรียมวัสดุเชิงประกอบโดยการผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ และขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติก พบว่าเมื่อเศษผ้าฝ้ายผ่านการไฮโดรไลซิสแล้วจะมีลักษณะเป็นผงสีขาว เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) มีลักษณะเป็นเส้นยาวคล้ายเส้นใย ภายหลังจากปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีนแล้วพบว่าสามารถปรับปรุงสารตัวเติมฝ้ายให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นได้เป็นอย่างดี ทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มสูงขึ้นกว่าสารตัวเติมฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริกและผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง อีกทั้งสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบที่ได้มีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าพอลิโพรพิลีนอีกด้วย

Chuayjuljit และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาการเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเศษผ้าฝ้ายสำหรับปรับปรุงการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นยาง NR โดยการเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากการไฮโดรไลซิสเศษผ้าฝ้ายด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.5 N ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปเป็นสารตัวเติมย่อยสลายได้ในแผ่นยาง NR ในอัตรา 10-30 phr พบว่าจากผล XRD แสดงผลึกของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสเป็นแบบเซลลูโลส I และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) แสดงลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของไมโคร-คริสตัลไลน์เซลลูโลสว่าเป็นแท่งทรงกระบอกสั้น เมื่อนำไปเติมใน NR พบว่าปริมาณไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่ 10 และ 30 phr ทำให้ค่า tensile strength และ elongation at break ลดลง อาจเนื่องมาจากปัญหาการกระจายตัวที่ไม่ดีของเซลลูโลสใน NR เมื่อเติมน้อยหรือมากเกินไป ส่วนที่ 20 phr นั้นค่า tensile strength และ elongation at break ต่ำกว่า NR ที่ไม่ได้ใส่ ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสเล็กน้อย แสดงว่าการกระจายตัวของอนุภาคไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสในเมทริกซ์ NR ดีกว่า ที่ 10 และ 30 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสม ทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดี

Dana และคณะ [16] ทำการศึกษาปฏิกิริยาฟอสฟอริลเลชันของพอลิแซคคาไรด์ โดยการทำปฏิกิริยาของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและกรดฟอสฟอริกที่ 150 องศาเซลเซียส เวลาในการ

ทำปฏิกิริยาเป็น 2,4 และ 5 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของฟอสฟอริเลตเซลลูโลสที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) พบว่ามีพีคที่แสดงพันธะ P-H, P=O, P-OH และ P-O-C เกิดขึ้นมาใหม่ แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดฟอสฟอรัสและไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสขึ้น

Eucene และคณะ [17] ทำการศึกษาปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันของเซลลูโลสด้วยอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิก ได้แก่ 1-ไฮดรอกซีเอทิลลิซีน-1,1-ไดฟอสฟอนิกแอซิด , ฟีนิลฟอสฟอนิกแอซิด , คาร์บอกซีเอทิลฟอสฟอนิกแอซิด โดยนำผ้าฝ้ายผืนมาตากแห้งในสภาวะละลายกรดที่ความเข้มข้นต่างๆกันด้วยวิธีจุ่มอัด ซึ่งมียูเรียเป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชัน ส่วนไดไฮยานโดเอไมด์ทำหน้าที่ลดการเปลี่ยนสีของผ้า (discoloration) ระหว่างทำการตากแห้งด้วยอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิกที่อุณหภูมิสูง จากนั้นทำการทดสอบสมบัติการสลายตัวของผ้าฝ้ายตากแห้งด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผ้าฝ้ายตากแห้งด้วยอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอนิกกับผ้าฝ้ายก่อนตากแห้ง ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตากแห้งมีอุณหภูมิในการสลายตัวต่ำกว่าผ้าฝ้ายก่อนตากแห้ง โดยมีพีคการสลายตัวอยู่ในช่วง 324-345 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าผ้าฝ้ายก่อนตากแห้งอยู่ 20-40 องศาเซลเซียสและมีเถ้าถ่านประมาณ 28-38 % จากการที่ผ้าที่ผ่านการตากแห้งมีปริมาณการเกิดเถ้าสูงกว่าชี้ให้เห็นว่าสารอนุพันธ์กรดฟอสฟอนิกเปลี่ยนเซลลูโลสให้เกิดเป็นเถ้าถ่านในระหว่างการเผาไหม้ตนเอง

Chirico และคณะ [18] ศึกษาสมบัติการหน่วงการติดไฟของลิกนินในพอลิไพโรฟิลีนเนื่องจากพบว่าลิกนินเมื่อเกิดการสลายตัวจะมีการสร้างเถ้าที่ไม่ติดไฟ ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ และลดปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาทำให้สามารถหน่วงการติดไฟได้ ในการทดลองมีการใช้ลิกนินและสารผสมระหว่างลิกนินกับสารหน่วงการติดไฟประเภทอื่นดังนี้ เมลามีนฟอสเฟต (melamine phosphate) แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต (ammonium polyphosphate) โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (monoammonium phosphate) อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (aluminium hydroxide) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (poly(vinyl alcohol)) โดยลิกนินที่ใช้อยู่ในรูปของไฮโดรไลติกลิกนิน (hydrolytic lignin) เติมลงไปเป็นปริมาณร้อยละ 5, 10, 15, 20 ต่อน้ำหนัก เมื่อทำการตรวจสอบสมบัติการสลายตัวด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) โดยเปรียบเทียบระหว่างลิกนิน พอลิไพโรฟิลีนที่มีการเติมลิกนิน พอลิไพโรฟิลีนที่มีการเติมแอมโมเนียมฟอสเฟต/ลิกนิน และพอลิไพโรฟิลีน พบว่าปริมาณของน้ำหนักร้อยละที่เหลือน้อยสามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ลิกนิน พอลิไพโรฟิลีนที่มีการเติมลิกนิน/แอมโมเนียมฟอสเฟต พอลิไพโรฟิลีนที่มีการเติมลิกนิน และพอลิไพโรฟิลีนตามลำดับ โดยปริมาณของน้ำหนักร้อย

เหลือแสดงถึงปริมาณของเก้าที่ไม่ติดไฟ เมื่อทดสอบระยะเวลาหน่วงการติดไฟ ระยะเวลาในการเผาไหม้ ปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อย ค่าความร้อนสูงสุดที่ปลดปล่อยออกมาด้วยเครื่อง Cone calorimeter โดยเปรียบเทียบระหว่างพอลิโพรพิลีน และพอลิโพรพิลีนที่มีการเติมสารต่างๆ พบว่า ลิกนินสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหน่วงการติดไฟ แต่ในการใช้ลิกนินเพียงอย่างเดียวนั้น ความสามารถในการหน่วงการติดไฟจะมีค่าน้อยกว่าการใช้ลิกนินร่วมกับสารหน่วงการติดไฟ



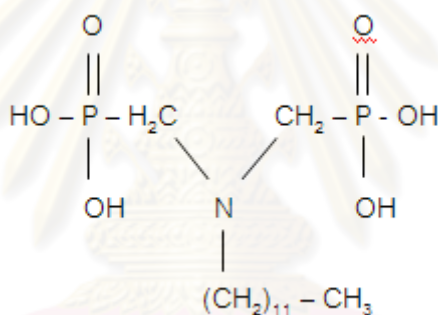
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ผ้าฝ้ายทอ 100 % ผ่านการฟอกขาวแล้ว สั่งซื้อจากบริษัท บุญช่วยอุตสาหกรรมฟอกย้อม จำกัด
2. กรดไฮโดรคลอริก (J.T Baker)
3. กรดไดเดซิลฟอสฟอนิก สั่งเคราะห์ขึ้นในห้องทดลอง โดยปฏิกิริยา Mannich ระหว่างไดเดซิลเอมีน พอร์มาลดีไฮด์ และกรดฟอสฟอรัส [19] ลักษณะทางกายภาพเป็นไขสีครีม มีสูตรโครงสร้างเคมี ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างเคมีของกรดไดเดซิลฟอสฟอนิก

4. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (J.T Baker)
5. ไดโซยาไดเอไมด์ (Ajax Finechem)
6. พอลิโพรพิลีนชนิดผง ค่าดัชนีการไหล 25.8 กรัม/10 นาที (บริษัทที่เอสแอลอุตสาหกรรม จำกัด)
7. พอลิโพรพิลีนแวกซ์ (Clariant Licocene) TP Licocene® PP 6102 (บริษัท คลาเรียนท์ เคมีคอลช (ประเทศไทย) จำกัด)
8. สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน Irganox® B 215(Ciba Inc., Switzerland)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. Thermal Gravimetric Analyzer (TGA) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA 851^o , ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. Differential Scanning Calorimeter (DSC) ยี่ห้อ Perkin Elmer PYRIS Diamond , ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) ยี่ห้อTherma scientific รุ่น Nicolet 6700 FT-IR , ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ PHILIPS รุ่น XL 30 CP, สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. X-ray Diffractometer (XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ Olympus รุ่น BX60 สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบหลอมเหลวชนิดเกลียวคู่ (Twin screw extruder) ยี่ห้อ BETOL สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. เครื่องอัดแบบ (Compression molding) ยี่ห้อ LabTech ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. Ultra sonic sonicate ยี่ห้อ CREST รุ่น 575 HT ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากผ้าฝ้าย

ทำการตัดผ้าฝ้ายผืนให้มีขนาดประมาณ 1×1 เซนติเมตร จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตัดแล้ว 40 กรัม เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 M ปริมาตร 400 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ ให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที [12] จากนั้นกรองไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่ได้แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสมีน้ำหนักคงที่

3.3.2 การตัดแปรพื้นผิวของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอนิก

นำไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่ได้จากข้อ 3.3.1 มาปรับปรุงด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอนิกในอัตราส่วนระหว่างกรดแอลคิลฟอสฟอนิก:ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส เท่ากับ 0.5:1, 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ โดยละลายกรดแอลคิลฟอสฟอนิกด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และน้ำจนละลายหมด จากนั้นชั่งไดไฮยาไดเอไมด์มา 2% โดยปริมาตรของตัวทำละลาย ละลายลงในสารละลายกรดแอลคิลฟอสฟอนิกจนเป็นเนื้อเดียวกัน ผสมกับไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส 100 กรัมกวนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปใส่ในเครื่อง Ultra sonic sonicate เป็นเวลา 30 นาที อบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสแห้ง หลังจากนั้นบดแล้วทำการอบแห้งที่ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที

3.3.3 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิไพโรฟิลีนและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส

เตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิไพโรฟิลีนและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส โดยการผสมพอลิไพโรฟิลีน พอลิไพโรฟิลีนแวกซ์ สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน และแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสในอัตราส่วนต่างๆดังแสดงในตารางที่ 3.1 ด้วยเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบ หลอมเหลวชนิดเกลียวคู่ ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งใช้อุณหภูมิของ barrel zone และ die zone เท่ากับ 220°C ความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 100 รอบต่อนาที ของผสมที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปของเม็ดพลาสติก

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสเฟต-เซลลูโลส

ปริมาณสาร (กรัม)	สูตร							
	1	2	3	4	5	6	7	8
แอลคิลฟอสเฟต เซลลูโลส	-	2	4	6	8	10	15	20
พอลิโพรพิลีนชนิด ผง	79.75	77.75	75.75	73.75	71.75	69.75	64.75	59.75
พอลิโพรพิลีนแวกซ์	20	20	20	20	20	20	20	20
สารเพิ่มเสถียรภาพ ทางความร้อน	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
รวม	100	100	100	100	100	100	100	100



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบหลอมเหลวชนิดเกลียวคู่

3.3.4 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ

นำเม็ดพลาสติกที่ได้จากการเตรียมวัสดุเชิงประกอบจากข้อ 3.3.3 มาขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยวิธีการอัดแบบด้วยเครื่องอัดแบบ (Compression molding) ดังรูปที่ 3.3 โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดแบบ

ตารางที่ 3.2 ภาวะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดแบบ (Compression molding)

	Temp (°C)	Pre- heating time (sec)	Pressing before venting (sec)	Venting (times)	Final pressing	Cooling time (sec)	Pressure (psi)
หาอุณหภูมิ	180	180	5	3	60	400	1000
	190	180	5	3	60	400	1000
	200	180	5	3	60	400	1000

	Temp (°C)	Pre- heating time (sec)	Pressing before venting (sec)	Venting (times)	Final pressing	Cooling time (sec)	Pressure (psi)
หา Preheating time	180	120	5	3	60	400	1000
	180	180	5	3	60	400	1000
	180	240	5	3	60	400	1000
หา Venting time	180	180	5	5	60	400	1000
	180	180	5	10	60	400	1000
	180	180	5	15	60	400	1000

3.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ

3.4.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ของบริษัท PHILIPS รุ่น XL 30 CP ดังรูปที่ 3.4 โดยเตรียมติดตัวอย่างทดสอบบนกาวสองหน้าที่ติดอยู่บนแท่นทดสอบ แล้วทำการฉาบผิวหน้าของตัวอย่างด้วยทอง หลังจากนั้นใช้ลำแสงอิเล็กตรอนพลังงาน 15 kV และกำลังขยายในช่วง 300 ถึง 2,500 เท่าในการตรวจสอบ



รูปที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของพื้นผิวไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer รุ่น Nicolet 6700 FT-IR ของบริษัท Thermo scientific ดังแสดงในรูป 3.5 โดยการนำสารตัวอย่างมาบดกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วนำไปอัดเป็นชิ้นทดสอบ จากนั้นนำมาหาแถบการดูดกลืนที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันต่างๆซึ่งสามารถบอกถึงโครงสร้างทางเคมีของสารได้



รูปที่ 3.5 เครื่อง FT-IR spectrometer

3.4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิล-ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)

วิเคราะห์โครงสร้างผลึกไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนต-เซลลูโลสด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer รุ่น D8 ของบริษัท Bruker ดังรูป 3.6 โดยเครื่องเริ่มทำการที่มุม 2θ ตั้งแต่ 3 องศา ถึง 40 องศา อัตราความเร็ว 1.2 องศาเซลเซียสต่อวินาที



รูปที่ 3.6 เครื่อง X-ray Diffractometer

3.4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer(TGA)

วิเคราะห์หาอุณหภูมิการสลายตัว (degradation temperature, T_d) ของไมโคร-คริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer รุ่น TOA/SDTA 851e ของบริษัท METTER ดังรูป 3.7 โดยให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสถึง 1,000 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (heating rate) เป็น 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้การไหลของแก๊ส (flow rate) 40 มิลลิลิตรต่อนาที



รูปที่ 3.7 เครื่อง Thermal Gravimetric Analyser

3.4.5 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ของบริษัท PHILIPS รุ่น XL 30 CP (รูปที่ 3.4) โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการหักชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบไนไนโตรเจนเหลว แล้วนำส่วนของพื้นผิวที่แตกหักติดตัวอย่างทดสอบบนกาวสองหน้าที่ติดอยู่บนแท่นทดสอบแล้วทำการฉาบผิวหน้าบริเวณที่แตกหักของตัวอย่างด้วยทอง หลังจากนั้นใช้ลำแสงอิเล็กตรอนพลังงาน 15 kV และกำลังขยายในช่วง 300 ถึง 2,000 เท่าในการตรวจสอบ

3.4.6 การตรวจสอบลักษณะภายนอกของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

ศึกษาลักษณะภายนอกของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส โดยใช้กล้อง Optical microscope ของบริษัท Olympus รุ่น BX60 ที่กำลังขยายเท่ากับ 100 เท่า และ 200 เท่า และถ่ายภาพด้วย Moticam 2200 ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กล้อง Optical microscope

3.4.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส

3.4.7.1 Thermal gravimetric analyser (TGA)

ศึกษาสมบัติเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิค TGA โดยใช้เครื่อง Thermal Gravimetric Analyser (TGA) ของบริษัท METTER รุ่น TOA/SDTA 851e (รูป 3.6) โดยนำชิ้นทดสอบซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม ใส่ในครุชีเบลที่เป็นอะลูมินาโดยใช้สภาวะในการทดสอบเริ่มจากอุณหภูมิ 50 - 1000 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

3.4.7.2 Differential scanning calorimeter (DSC)

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิค DSC โดยใช้เครื่อง Differential scanning calorimeter ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น PYRIS Diamond ดังแสดงในรูป 3.8 โดยการหาอุณหภูมิกลาสทรานสิชันและอุณหภูมิหลอมเหลว สภาวะในการทดสอบ 50-220 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส/นาที แล้วทำให้เย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการทำให้เย็น

10 องศาเซลเซียส/นาทีก่อนหน้านั้นให้ความร้อนถึง 220 องศาเซลเซียส อัตราการทำให้เย็น 10 องศาเซลเซียส/นาทีกี่ครั้ง



รูปที่ 3.9 เครื่อง Differential scanning calorimeter

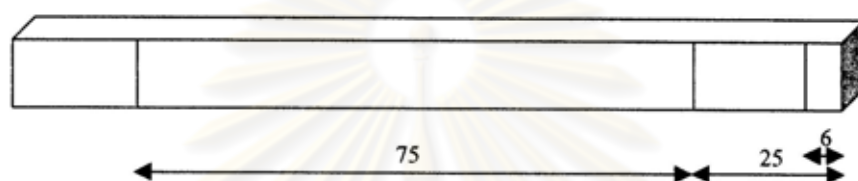
3.4.8 การทดสอบการติดไฟในแนวนอนตามมาตรฐาน UL-94 แบบ HB ของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส

เป็นการทดสอบการติดไฟของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส โดยตัดชิ้นงานทดสอบขนาด 130x13.5 มิลลิเมตร หน้าประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.9 โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

1. ชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นถูกนำมาขีดเส้นกำหนดตำแหน่งจากปลายด้านหนึ่งที่ระยะ 6 มิลลิเมตร ระยะ 25 มิลลิเมตร และระยะ 100 มิลลิเมตร
2. จับยึดชิ้นงานที่ระยะ 25 มิลลิเมตรและเอียงชิ้นงานทดสอบ 45 องศาตามแนวจับยึดแผ่นตะแกรงด้านล่างชิ้นงานห่างประมาณ 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.10
3. ปลดปล่อยแก๊สมีเทนที่อัตราการไหล 0.105 ลิตร/นาทีก ความดันกลับ (back pressure) ไม่เกิน 0.39 นิ้วปรอท ปรับแต่งความสูงของเปลวไฟให้มีความสูงประมาณ 20 มิลลิเมตร เปลวไฟเป็นสีน้ำเงิน
4. จากนั้นเลื่อนเปลวไฟเข้าใกล้ชิ้นงานให้ขอบซ้ายของเปลวไฟชิดกับระยะ 6

มิลลิเมตรที่ขีดไว้ จับเวลา 30 วินาที หรือจนกว่าขอบซ้ายของเปลวไฟถึงระยะ 25 มิลลิเมตรที่ขีดไว้ (ถ้าระยะเวลา 30 วินาที เปลวไฟยังไม่ถึงขีด 25 มิลลิเมตรให้รอจนกว่าเปลวไฟลามถึงระยะ 25 มิลลิเมตร จึงเลื่อนตะเกียงออกพร้อมกับจับเวลา)

5. จับเวลาที่เปลวไฟลามต่อไปจากระยะ 25 มิลลิเมตรจนถึงระยะ 100 มิลลิเมตร บันทึกผลที่ได้



รูปที่ 3.10 ชิ้นงานตัวอย่าง



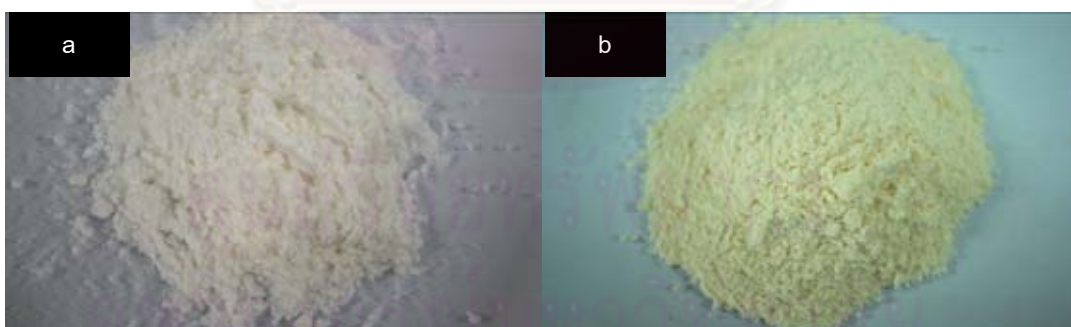
รูปที่ 3.11 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบการติดไฟในแนวนอนตามมาตรฐาน UL-94 แบบ HB

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและอัลคิลฟอสฟอเนต-เซลลูโลสด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

การเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากผ้าฝ้ายโดยใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจางนั้น ทำให้เส้นใยเซลลูโลสเปลี่ยนแปลงทางกายภาพไปอย่างมากจากที่เป็นเส้นใยยาวเมื่อผ่านการไฮโดรไลซิสแล้วเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะมีลักษณะเป็นผงสีขาว ดังรูปที่ 4.1 เมื่อนำผงฝ้ายที่ได้มาศึกษาด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 350 เท่า และที่กำลังขยาย 2500 เท่า พบว่าลักษณะเส้นใยของเซลลูโลสนั้นมีลักษณะเป็นปล้อง (rod) ขนาดเล็กและสั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (a) และรูปที่ 4.43 (a) เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสจะประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นโครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous) และส่วนที่เป็นโครงสร้างแบบผลึก (crystalline) การไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจางนั้นกรดจะเข้าไปทำลายส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) ของเส้นใยเซลลูโลสอย่างรวดเร็ว ส่วนที่มีโครงสร้างผลึกนั้นจะถูกทำปฏิกิริยาจากกรดในอัตราที่ช้ามาก เมื่อปฏิกิริยาดำเนินผ่านไปพบว่าส่วนที่เป็นอสัณฐานลดลงเรื่อยๆ ภายหลังจากปฏิกิริยาเสร็จสิ้นแล้วจึงเหลือแต่ส่วนที่เป็นโครงสร้างแบบผลึก ซึ่งมีลักษณะเป็นผงนั่นเอง

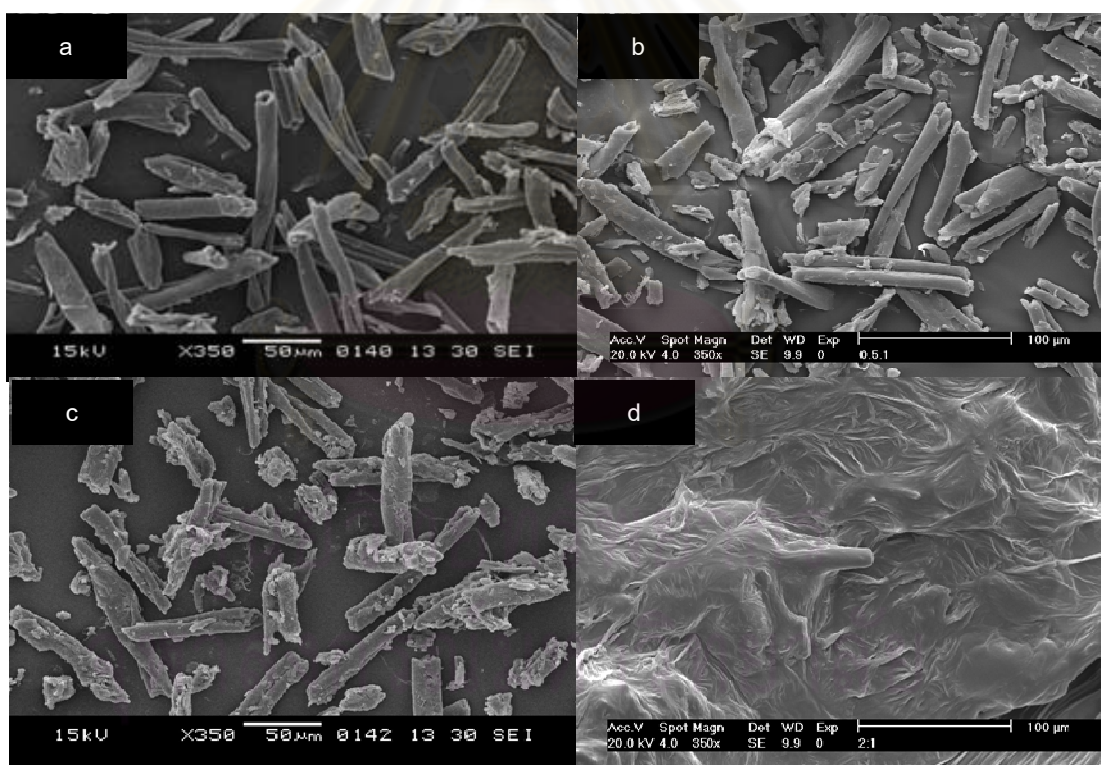


รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของ a) ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส b) แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเตรียมด้วยอัตราส่วนกรดแอลคิลฟอสฟอนิก:ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส เป็น 1:1

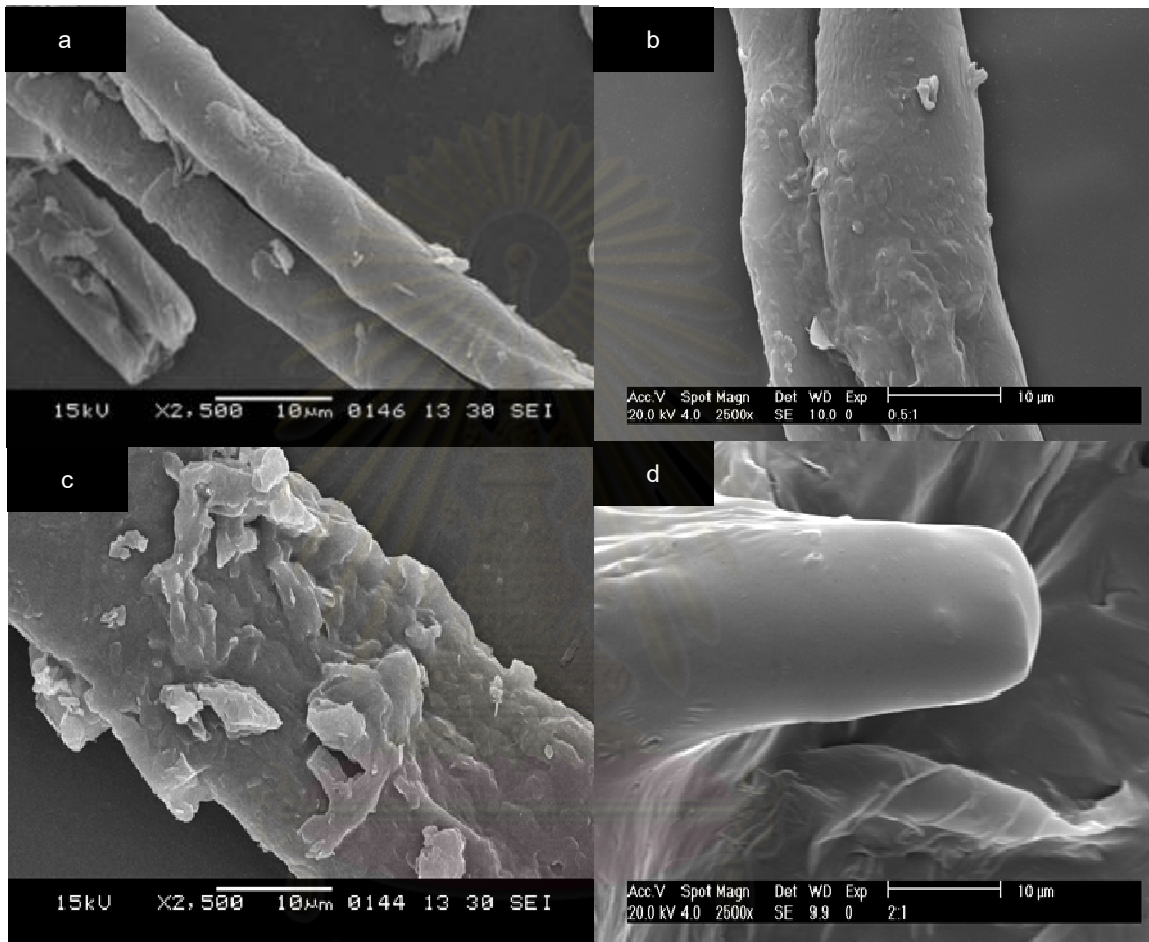
เมื่อทำการตรวจสอบพื้นผิวของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 350 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (b),(c) และ(d) พบว่าบริเวณพื้นผิวของไมโครคริสตัลไลน์ที่ดัดแปรด้วยกรดอัลคิลฟอสฟอนิกมีลักษณะขรุขระ เนื่องจากมีการเกาะติดของกรดแอลคิล-

ฟอสฟอริกบนพื้นผิวไมโครคริสตัลลีนเมื่อเปรียบเทียบกับไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร โดยลักษณะดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อกำลังขยายเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3

ภาพถ่าย SEM ของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่ดัดแปรด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอริกที่อัตราส่วนของกรดแอลคิลฟอสฟอริกต่อไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสเท่ากับ 0.5:1, 1:1 และ 2:1 แสดงในรูปที่ 4.2 (b.), (c.), และ (d.) ตามลำดับ พบว่าเมื่อปริมาณของกรดแอลคิลฟอสฟอริกมากขึ้นปริมาณของกรดแอลคิลฟอสฟอริกบนผิวไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสก็มากขึ้นตามไปด้วย จากรูป 4.2(b) (อัตราส่วน 0.5:1) พบการเกาะติดของกรดแอลคิลฟอสฟอริกเพียงเล็กน้อย รูป 4.2 (c) (อัตราส่วน 1:1) พบการเกาะติดที่มากขึ้นแต่ยังไม่ปกคลุมผิวไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสอย่างสมบูรณ์ รูป 4.2 (d) (อัตราส่วน 2:1) พบการเกาะติดมากที่สุด โดยมีลักษณะคล้ายคาราเมลปกคลุมผิวของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสอย่างสมบูรณ์



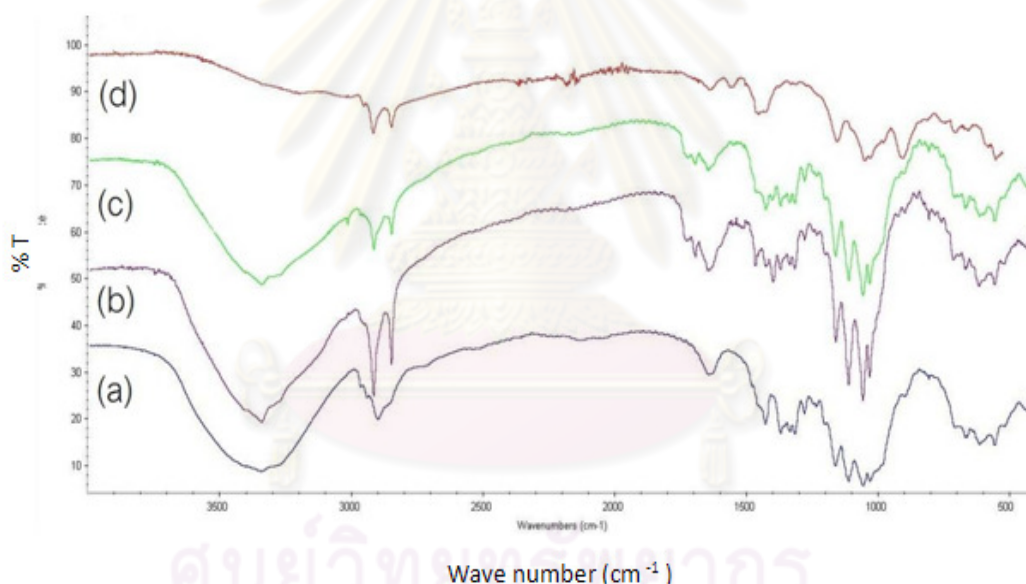
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 350 เท่าของ a.) ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอริก : ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสเป็น b.) 0.5:1, c.) 1:1, และ d.) 2:1



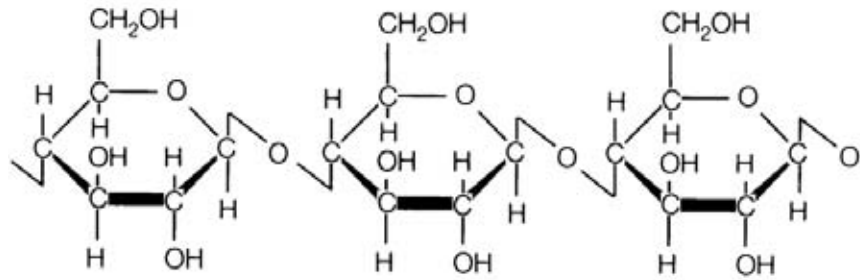
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2500 เท่าของ a.) ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสและแอลคิลฟอสเฟเนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสเป็น b.) 0.5:1, c.) 1:1, และ d.) 2:1

4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนต-เซลลูโลสด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีของไมโครคริสตัลลิน-เซลลูโลส รูปที่ 4.4 (a) พบว่าไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส ปรากฏพีกการดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่สำคัญ ได้แก่ พีกการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่น $3400-3500\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ไฮดรอกซิล ที่ช่วงความยาวคลื่น $2800 - 2900\text{ cm}^{-1}$ แสดงเอกลักษณ์ของหมู่เมทิลและหมู่เมทิลีน (CH_2) ที่ตำแหน่ง 1160 และ 1120 แสดงเอกลักษณ์ของ พันธะอีเทอร์ (C-O-C) ในหน่วยไกลโคซิดิกของเซลลูโลส ซึ่งพีกที่ปรากฏเหล่านี้เป็นลักษณะที่พบได้ในกาวิเคราะห์เซลลูโลสด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ลักษณะโครงสร้างเซลลูโลสแสดงในรูปที่ 4.5

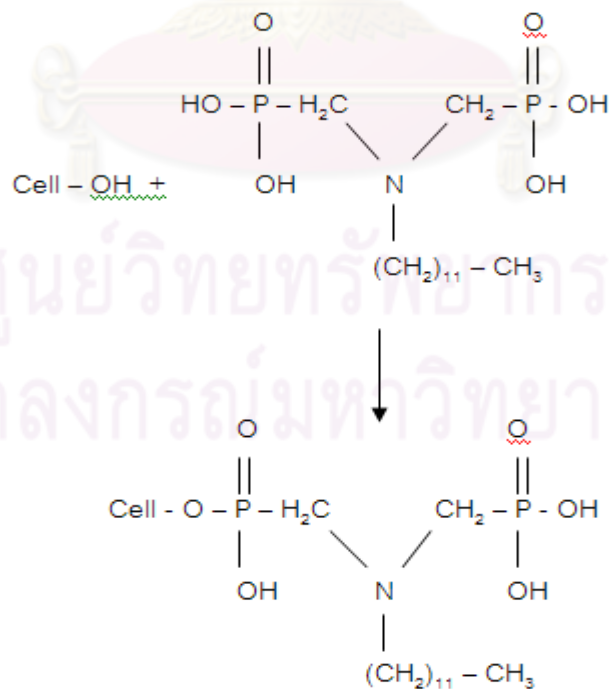


รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของ a.) ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนต-เซลลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอริก : ไมโครคริสตัลลิน-เซลลูโลสเป็น b.) 0.5:1, c.) 1:1, และ d.) 2:1



รูปที่ 4.5 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

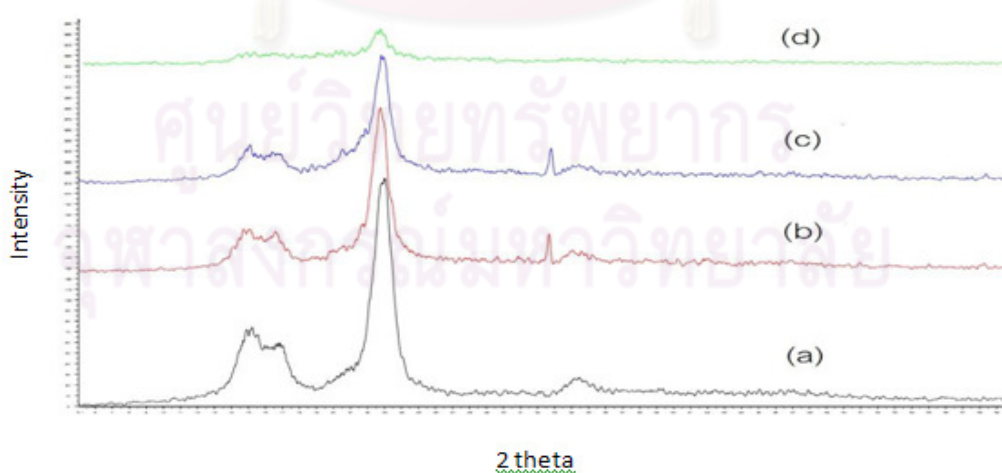
รูปที่ 4.4 (b), (c) และ (d) แสดงพีการดูดกลืนรังสีของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส พบพีการดูดกลืนที่ช่วง $1300 - 1140 \text{ cm}^{-1}$ แสดงเอกลักษณ์ของพันธะ $\text{P} = \text{O}$ ที่ช่วง $920 - 1000 \text{ cm}^{-1}$ แสดงเอกลักษณ์ของหมู่ $\text{P} - \text{OH}$ ที่ตำแหน่ง 2919 cm^{-1} แสดงเอกลักษณ์การสั่นของหมู่เมทิลลีน ($-\text{CH}_2-$ asymmetric stretching) ที่ตำแหน่ง 810 cm^{-1} แสดงเอกลักษณ์ของพันธะ $\text{P} - \text{O} - \text{C}$ ซึ่งพีที่ปรากฏเพิ่มขึ้นมาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดแอลคิลฟอสฟอนิกกับไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสขึ้น ดังสมการในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ปฏิกิริยาระหว่างไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสกับกรดแอลคิลฟอสฟอนิก

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนต-เซลลูโลสด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)

เมื่อวิเคราะห์ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิค XRD ได้ผลดังรูปที่ 4.7 พบว่าดิฟแฟรกโทแกรมของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสปรากฏพีก ณ ตำแหน่ง $2\theta = 15^\circ$, 16.5° และ 28° และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับพีกในดิฟแฟรกโทแกรมของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส สังเกตเห็นว่าพีกที่ตำแหน่ง $2\theta = 16.5^\circ$ ในดิฟแฟรกโทแกรมของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสมีความเข้มของพีกลดลง และลดลงอย่างเห็นได้ชัดในดิฟแฟรกโทแกรมของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ดัดแปรโดยใช้อัตราส่วนของกรดแอลคิลฟอสฟอนิกสูงสุดที่ 2:1 แสดงว่ากรดแอลคิลฟอสฟอนิกสามารถสอดแทรกเข้าไปในโครงสร้างของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส จนทำให้ความเป็นระเบียบของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสลดลง นอกจากนี้ยังพบพีกใหม่ปรากฏในดิฟแฟรกโทแกรมของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ตำแหน่ง $2\theta = 32.7^\circ$ ซึ่งยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นพีกของอะไร แต่เป็นพีกที่เกิดขึ้นจากการทำการดัดแปรไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอนิก หลักฐานที่ได้จึงนำมาเป็นข้อสนับสนุนในการสรุปว่าการดัดแปรไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอนิก ได้ผลผลิตคือแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสตรงบริเวณผิว และทำให้ได้แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีความเป็นระเบียบลดลงเมื่อเทียบกับไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส



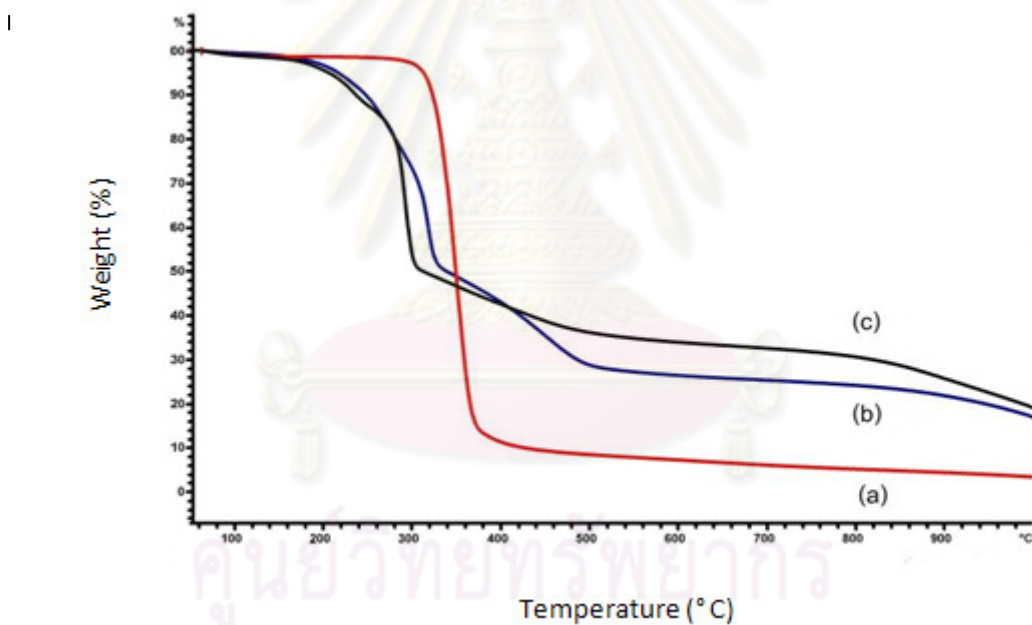
รูปที่ 4.7 แสดงดิฟแฟรกโทแกรมเปรียบเทียบโครงสร้างของ a.) ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสเป็น b.) 0.5:1, c.) 1:1, และ d.) 2:1

4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA)

รูปที่ 4.8 แสดง TG เทอร์โมแกรมของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรก (onset degradation temperature) ของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสนั้นเป็น 326.80 องศาเซลเซียส ส่วนไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอนิกในอัตราส่วนต่างๆนั้นจะมีการสลายตัวของช่วง โดยที่อัตราส่วน 0.5 : 1 ในช่วงแรกจะมีอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรกเป็น 288.22 องศาเซลเซียสและ 417.79 องศาเซลเซียส ส่วนที่อัตราส่วน 1 : 1 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวเป็นสองช่วงอุณหภูมิเช่นเดียวกัน คือ 276.15 และ 300.45 องศาเซลเซียส เนื่องจากช่วงการสลายตัวครั้งแรกเป็นช่วงอุณหภูมิของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่เกิดปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันกับกรดฟอสฟอนิกเกิดการสลายตัว ส่วนช่วงที่สองเป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของซาร์จากการสลายตัวครั้งแรก ส่วนที่อัตราส่วน 2 : 1 นั้นไม่สามารถทำการตรวจสอบได้เนื่องจากขณะทำการทดลองเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสที่อัตราส่วนนี้จะเกิดการฟูตัวขึ้นจนดันครุชึเปิดออกจากที่วางตัวอย่างทดสอบ สาเหตุเนื่องจากคาดว่าแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสของสูตรนี้ยังคงมีเกลือแอมโมเนียมตกค้างอยู่ในช่วงของการวิเคราะห์เกลือแอมโมเนียมแปรสภาพเป็นแก๊สแอมโมเนียที่เป็นสาเหตุทำให้ขึ้นตัวอย่างเกิดการฟูเกิดขึ้น ดังนั้นสูตรอัตราส่วน 2:1 จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นตัวเติมสำหรับวัสดุเชิงประกอบ เพราะคาดว่าจะทำให้ชิ้นงานมีฟองอากาศและไม่สามารถขึ้นรูปได้ เมื่อพิจารณาช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสพบว่ามีความโน้มการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและมีการสลายตัวที่ช้าลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณกรดแอลคิลฟอสฟอนิกมากขึ้นเสถียรภาพทางความร้อนของแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสลดต่ำลง ทั้งนี้เพราะว่าแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสเกิดปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันและแปรสภาพไปเป็นซาร์ (ตารางที่ 4.1) ซาร์ที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่หน่วงการสลายตัวของแอลคิลฟอสโฟเนตที่เหลืออยู่ ซึ่งเห็นได้จากอัตราการสลายของแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสจะค่อยเป็นค่อยไป นอกจากนี้คาดว่าซาร์ที่เกิดจะไปทำหน้าที่หน่วงการติดไฟให้พอลิโพรพิลีนได้

จากการตรวจสอบคุณสมบัติและลักษณะของแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิคต่างๆ พบว่ากรดแอลคิลฟอสฟอนิกนี้สามารถดัดแปรพื้นผิวของไมโครคริสตัลไลน์ได้โดยมีข้อสนับสนุนจากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยเทคนิค SEM และการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR อีกทั้งภายหลังการปรับปรุงกรดฟอสฟอนิกยังสามารถแทรกตัวเข้า

ไปในโครงสร้างของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสได้ซึ่งยืนยันได้ด้วยเทคนิค XRD และยังทำให้เสถียรภาพทางความร้อนลดต่ำลงจากไมโครคริสตัลไลน์ที่ไม่ได้ดัดแปรอีกด้วย โดยอัตราส่วนกรดแอลคิล-ฟอสฟอนิกต่อไมโครคริสตัลไลน์ที่เหมาะสมในการนำไปเตรียมเป็นวัสดุเชิงประกอบต่อไปนั้นก็คือที่อัตราส่วน 1 : 1 เนื่องจากมีผลการทดสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆที่ดี เช่น ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจะมีกรดแอลคิลฟอสฟอนิกมาเกาะติดอยู่มากกว่าสูตร 0.5 : 1 หมู่ฟังก์ชันที่พบก็เป็นตัวที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันขึ้น โครงสร้างผลึกของเซลลูโลสก็มีการแทรกตัวเข้าไปของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก และสมบัติทางความร้อนก็ลดต่ำลงจากไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่ไม่ได้ดัดแปร ซึ่งในอัตราส่วนที่ 2 : 1 นั้นไม่สามารถทดสอบสมบัติทางความร้อนได้ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น



รูปที่ 4.8 TGA เทอร์โมแกรมของ a.) ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส b.) 0.5:1, และ c.) 1:1

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสและแอลคิล-ฟอสฟอเนตเซลลูโลส

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)		ร้อยละของเถ้าที่เหลือที่ 600 (°C)
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	
ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส	323.60	-	7.13
MCC- APP 0.5:1	288.22	417.79	26.28
MCC-APP 1:1	276.15	300.45	33.78

4.5 ผลของการหาภาวการณ์ขึ้นรูปของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่องอัดแบบ

ได้ทำการทดลองเพื่อหาโปรไฟล์การขึ้นรูปชิ้นงาน พบว่าที่อุณหภูมิระหว่าง 180-200 องศาเซลเซียสเม็ดคอมพอสิตสามารถหลอมเหลวได้ดี แต่พบว่ามีปัญหาสำคัญของการขึ้นรูปคือมีฟองอากาศภายในชิ้นงาน ปัญหาของการเกิดฟองแปรผันตามอุณหภูมิและปริมาณของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสเม็ดคอมพอสิตหลอมเหลวได้ดีแต่เกิดฟองขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วทั้งแผ่น เมื่อปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้นสีของชิ้นงานมีความเข้มมากขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ชิ้นงานมีฟองอากาศขนาดใหญ่ และมีจำนวนมาก สีของชิ้นงานที่ได้เป็นสีน้ำตาลเข้ม และสีเข้มมากเมื่อเพิ่มปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส ปัญหาฟองอากาศนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของหมู่แอลคิลฟอสฟอเนตที่ปลดปล่อยน้ำออกมา น้ำที่กักขังอยู่ในชิ้นงานจึงไปดันชิ้นงานให้เกิดเป็นฟองอากาศเกิดขึ้น ดังนั้นที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสพบปัญหานี้น้อยที่สุด และสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 180 องศาเซลเซียส

จากผลการขึ้นรูปในช่วงหา Preheating time พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปเป็น 180 องศาเซลเซียส เวลาในการให้ความร้อนครั้งแรกเป็น 120 วินาที เม็ดคอมพอสิตยังหลอมเหลวไม่

สมบูรณปรากฏเห็นรอยต่อระหว่างเม็ดได้อย่างชัดเจน ที่เวลา 180 วินาทีเม็ดคอมพอสิตมีการหลอมเหลวและไหลดีขึ้น ส่วนที่เวลา 240 วินาที เม็ดพลาสติกมีการหลอมเหลวและไหลตัวดี แต่จะเกิดฟองในชิ้นงานมากเนื่องจากเวลาใช้นานขึ้น จากลักษณะของชิ้นงานที่เวลาในการให้ความร้อนครั้งแรกในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เวลาในการให้ความร้อนครั้งแรกเป็น 180 วินาที

จากผลการขึ้นรูปในช่วงหา Venting time ที่ 5 ครั้งพบว่าฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีจำนวนน้อยลง ที่ 10 ครั้ง พบว่าชิ้นงานมีฟองอากาศน้อยกว่าที่ 5 ครั้ง ส่วนที่ 15 ครั้ง พบว่าฟองอากาศยังพบฟองอากาศกระจายอยู่ทั่วชิ้นงาน การจำนวนครั้งในการไล่อากาศออกจากชิ้นงานถ้าจำนวนครั้งมากก็น่าจะสามารถไล่อากาศออกไปได้ดีขึ้น แต่เมื่อจำนวนครั้งมากขึ้นเวลาที่ใช้ก็จะมากขึ้นตามไปด้วยชิ้นงานจึงสัมผัสกับความร้อนนานอาจทำให้ชิ้นงานเดือดได้ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Venting time เป็น 10 ครั้ง

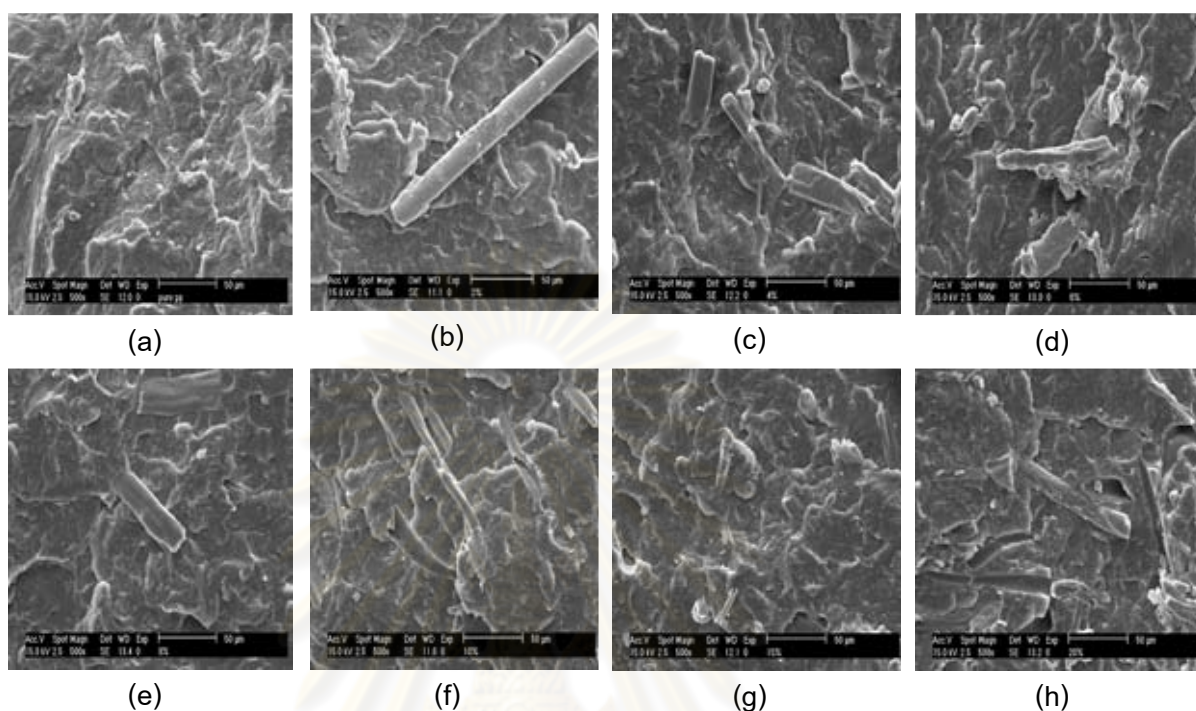
ตารางที่ 4.2 ลักษณะชิ้นงานที่ได้เมื่อใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส Preheating time 180 วินาที และ Venting time เป็น 10 ครั้ง

วัสดุเชิงประกอบ	ลักษณะชิ้นงาน	ชิ้นงานที่ได้
PP	ชิ้นงานที่ได้เป็นสีขาวขุ่น	
ร้อยละ2	ชิ้นงานที่ได้เป็นสีน้ำตาลอ่อน ไม่มีฟองอากาศ	
ร้อยละ4	ชิ้นงานที่ได้เป็นสีน้ำตาลอ่อน ไม่มีฟองอากาศ	
ร้อยละ6	ชิ้นงานที่ได้เริ่มเป็นสีน้ำตาลเข้ม ไม่มีฟองอากาศ	

ร้อยละ8	ชิ้นงานที่ได้เป็นสีน้ำตาลอ่อน มีฟองอากาศ	
ร้อยละ10	ชิ้นงานที่ได้เป็นสีน้ำตาลเข้ม มีฟองอากาศ	
ร้อยละ15	ชิ้นงานที่ได้เป็นสีน้ำตาลเข้ม มีฟองอากาศ	
ร้อยละ20	ชิ้นงานที่ได้เป็นสีน้ำตาลเข้ม มี ฟองอากาศมาก	

4.6 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรไพลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

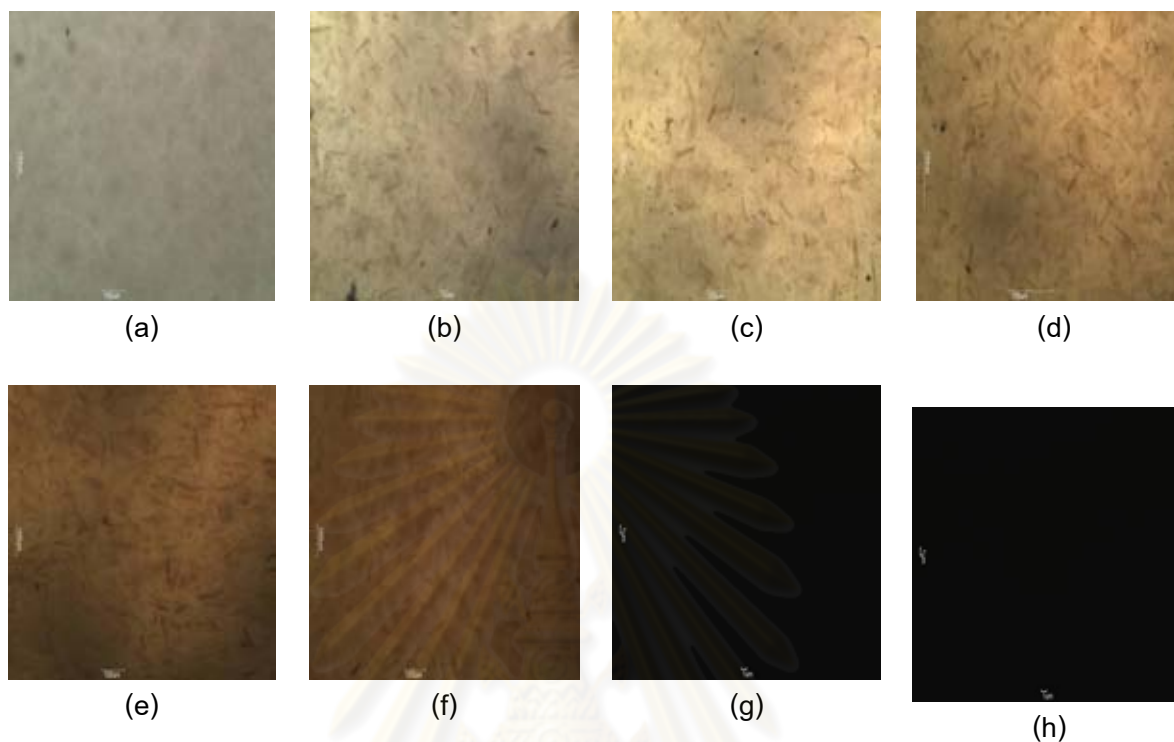
ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของรอยแตกหักของพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรไพลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิค SEM พบการฝังตัวของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสอยู่ในพอลิโพรไพลีน เมื่อปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตมากขึ้นก็จะสังเกตเห็นจำนวนของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเพิ่มขึ้นตามไปด้วย การฝังตัวของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสอยู่ในเนื้อของพอลิโพรไพลีนแสดงว่าแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสสามารถแทรกตัวอยู่ในเนื้อพอลิโพรไพลีนได้ค่อนข้างดี เนื่องจากผิวแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสมีสภาพคล้ายกับพอลิโพรไพลีน จากภาพ SEM ทำให้ยืนยันได้ว่าไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่ผ่านการดัดแปรแล้วมีความสามารถเข้ากันได้กับพอลิโพรไพลีน



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่าของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสต่างกัน a.) PP, b.) ร้อยละ 2 , c.) ร้อยละ 4 , d.) ร้อยละ 6 , e.) ร้อยละ 8 , f.) ร้อยละ 10, g.) ร้อยละ 15 และ h.) ร้อยละ 20

4.7 การตรวจสอบลักษณะภายนอกของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (optical microscope)

ผลการศึกษาวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง พบว่าที่กำลังขยาย 100 เท่า ชิ้นงานพอลิโพรพิลีนมีลักษณะใส แสงสามารถส่องผ่านได้ เมื่อเพิ่มปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็น ร้อยละ 2 , 4 , 6 , 8 ,10 สีของชิ้นงานจะมีความเข้มเพิ่มขึ้นและเมื่อแสงส่องผ่านชิ้นงานพบไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสกระจายอยู่ทั่วไปภายในชิ้นงาน โดยปริมาณไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสของวัสดุเชิงประกอบ ส่วนที่ 15% และ 20 % นั้น ชิ้นงานมีความเข้มของสีมาก ทำให้แสงจากกล้องจุลทรรศน์ไม่สามารถส่องผ่านชิ้นงานได้ ภาพที่ได้ออกมาจึงเป็นสีดำ

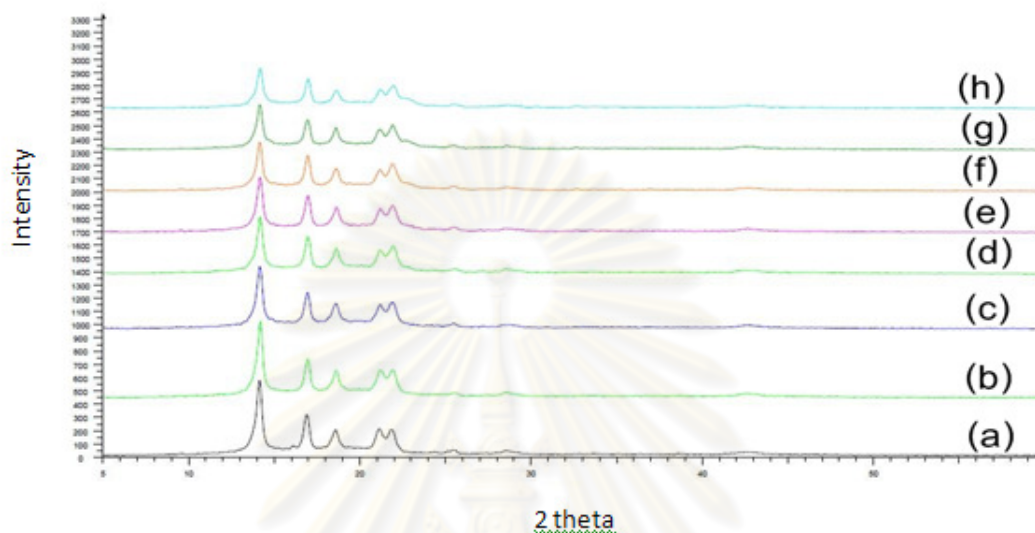


รูปที่ 4.10 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่าของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอคทิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอคทิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสต่างกัน a.) PP, b.) ร้อยละ 2 , c.) ร้อยละ 4 , d.) ร้อยละ 6 , e.) ร้อยละ 8 , f.) ร้อยละ 10, g.) ร้อยละ 15 และ h.) ร้อยละ 20

4.8 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอคทิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)

รูปที่ 4.11 แสดง XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมเปรียบเทียบโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอคทิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดแอคทิลฟอสฟอนิกต่อไม่โครคริสตัลลีนเซลลูโลสเป็น ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10, 15, และ 20 ตามลำดับ พบว่าดิฟแฟร็กโทแกรมของพอลิโพรพิลีนปรากฏพีก ณ ตำแหน่ง $2\theta = 14.2^\circ$, 17.1° , 18.7° , 21.4° และ 21.9° และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับพีกในดิฟแฟร็กโทแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอคทิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก สังเกตเห็นว่าพีกที่ตำแหน่ง $2\theta = 14.2^\circ$ ในดิฟแฟร็กโทแกรมของวัสดุเชิงประกอบมีความเข้มของพีกลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งถือว่าไม่แตกต่าง

กัน แสดงให้เห็นว่าการเติมแอลคิลฟอสฟอเนตลงไปในพอลิไพโรฟิลีนไม่ได้ทำให้โครงสร้างผลึกของพอลิไพโรฟิลีนเปลี่ยนแปลงไป

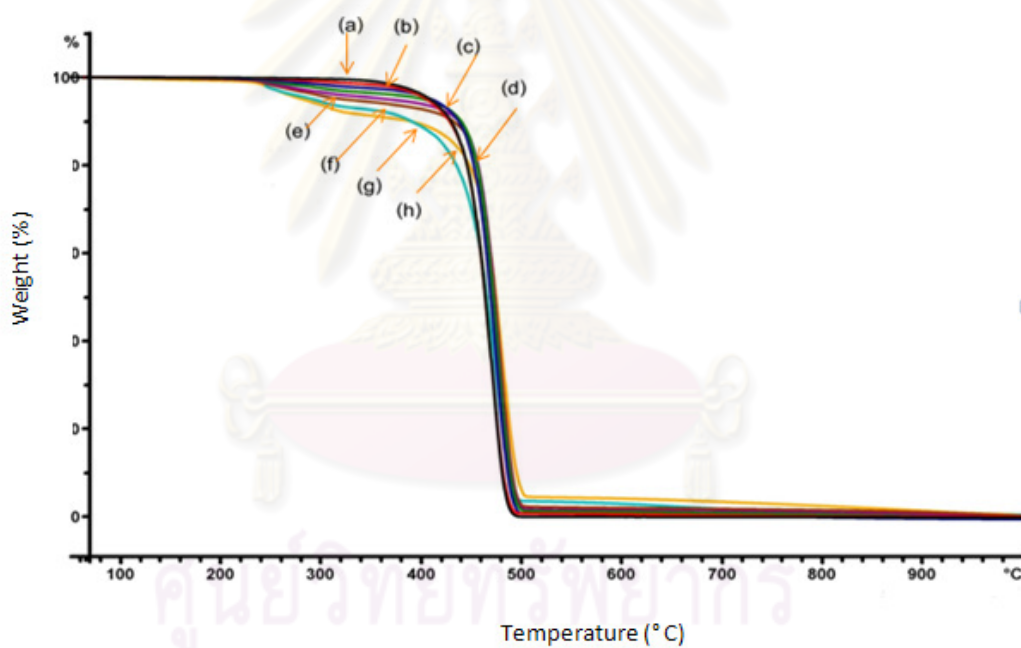


รูปที่ 4.11 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของพอลิไพโรฟิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสต่างกัน a.) PP, b.) ร้อยละ 2 , c.) ร้อยละ 4 , d.) ร้อยละ 6 , e.) ร้อยละ 8 , f.) ร้อยละ 10, g.) ร้อยละ 15 และ h.) ร้อยละ 20

4.9 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA)

ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิไพโรฟิลีนเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสแสดงใน TG และ DTG เทอร์โมแกรมในรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.2 พบว่าที่อุณหภูมิ 435.60 องศาเซลเซียส พอลิไพโรฟิลีนเริ่มมีการสลายตัว เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส พบว่ามีค่าสูงกว่าพอลิไพโรฟิลีน ดังนี้ $T_d = 440.80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ร้อยละ 2), $484.80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ร้อยละ 4), $451.64\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ร้อยละ 6), แต่ปริมาณในช่วง ร้อยละ 8-20 จะมีการสลายตัว 2 ช่วง โดยในช่วงแรกมีอุณหภูมิเริ่มสลายตัวเป็น $227.17\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ร้อยละ 8), $230.22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ร้อยละ 10), $240.44\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ร้อยละ 15) และ $232.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ร้อยละ 20) เป็นการสลายตัวของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสภายในโมเลกุลแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสสลายตัวเกิดเป็นชาร์ขึ้น และอุณหภูมิการสลายตัวครั้งที่ 2 มีอุณหภูมิ

เริ่มสลายตัวเป็น 453.73 °C (ร้อยละ 8), 456.07 °C (ร้อยละ 10), 444.98 °C (ร้อยละ 15) และ 455.99 °C (ร้อยละ 20) ซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของซาร์ที่เกิดขึ้นจากช่วงแรก เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบที่ได้นั้นจึงเกิดพบว่าเมื่อเติมแอลคิลฟอสฟอเนตลงไปมากขึ้น อุณหภูมิการสลายตัวจะลดต่ำลงและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปเรื่อยๆพอลิโพรพิลีนจะสลายตัวจนไม่เหลือเค้าถ่านให้ปรากฏ ในขณะที่วัสดุเชิงประกอบจะมีซาร์หลงเหลืออยู่และมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เนื่องจากกรดแอลคิลฟอสฟอเนตเป็นสารช่วยลดอุณหภูมิการสลายตัวให้กับพอลิโพรพิลีน โดยกลไกการปลดปล่อยน้ำออกมาในขณะที่ได้รับความร้อนจึงช่วยลดค่าเสถียรภาพทางความร้อนให้ต่ำลงให้กับพอลิโพรพิลีนได้ [20]



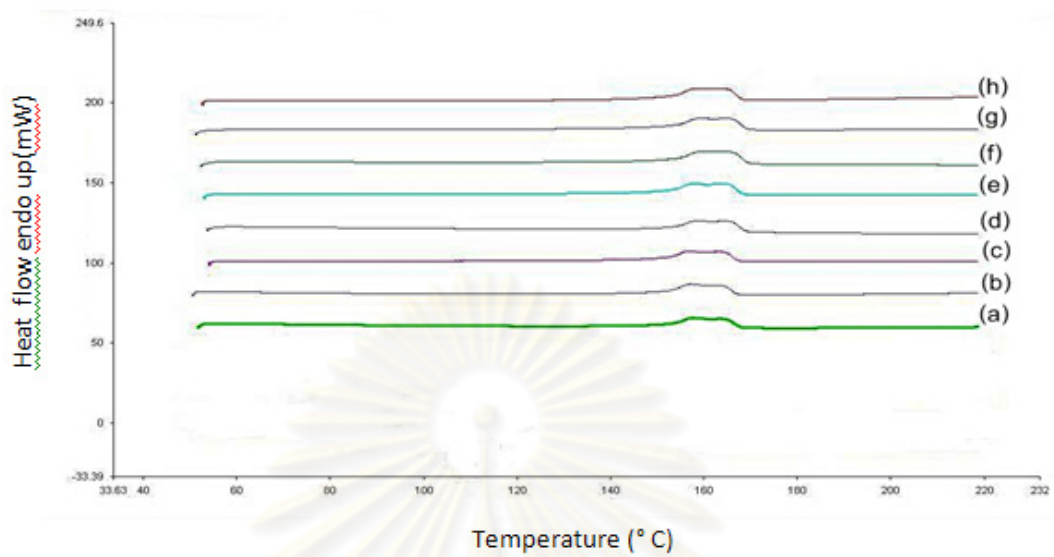
รูปที่ 4.12 TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 50-1000 °C ของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสต่างกัน a.) PP, b.) ร้อยละ 2 , c.) ร้อยละ 4 , d.) ร้อยละ 6 , e.) ร้อยละ 8 , f.) ร้อยละ 10, g.) ร้อยละ 15 และ h.) ร้อยละ 20

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิล-ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิค TGA

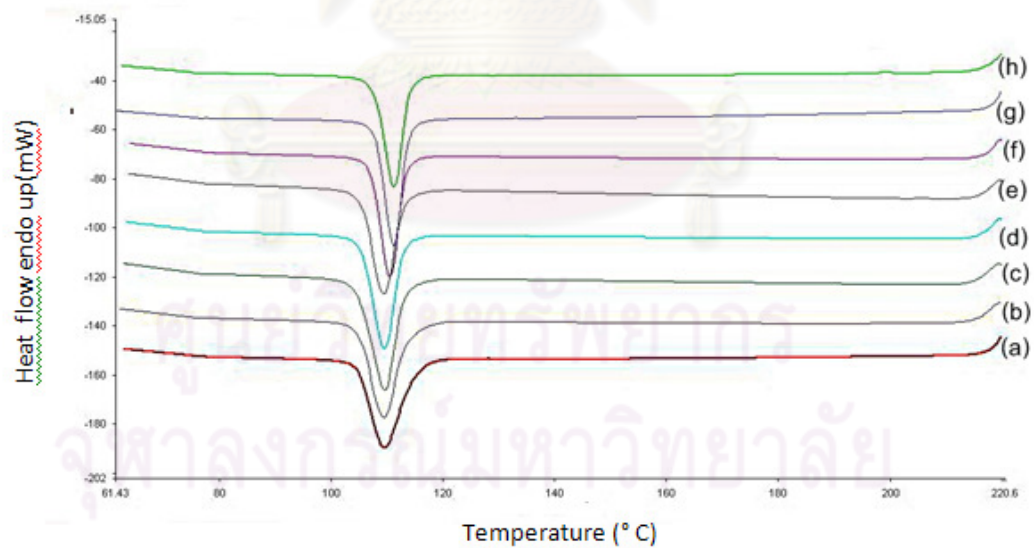
ชิ้นงาน คอมพอสิต	อุณหภูมิเริ่มสลายตัว ช่วงที่ 1 (T_{onset} , °C)	อุณหภูมิเริ่มสลายตัวช่วง ที่ 2 (T_{onset} , °C)	ร้อยละเถ้าที่เหลือ ที่อุณหภูมิ 600 °C
PP	435.60	-	-
ร้อยละ 2	440.80	-	0.43
ร้อยละ 4	447.76	-	0.37
ร้อยละ 6	451.64	-	0.98
ร้อยละ 8	227.17	453.73	1.31
ร้อยละ 10	230.22	456.07	1.89
ร้อยละ 15	240.44	444.98	2.83
ร้อยละ 20	232.72	455.99	4.01

4.10 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิล-ฟอสฟอเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิค DSC ดังแสดงในรูปที่ 4.13, 4.14 และตารางที่ 4.3 พบว่าการเติมแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสส่งผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบเพียงเล็กน้อยและจาก DSC เทอร์โมแกรมในรูปที่ 4.14 พบว่าการเติมแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสสามารถทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการเติมแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสลงในพอลิโพรพิลีนนั้นไม่ทำให้อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการเกิดผลึกเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.13 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสต่างกัน a.) PP, b.) ร้อยละ 2 , c.) ร้อยละ 4 , d.) ร้อยละ 6 , e.) ร้อยละ 8 , f.) ร้อยละ 10, g.) ร้อยละ 15 และ h.) ร้อยละ 20



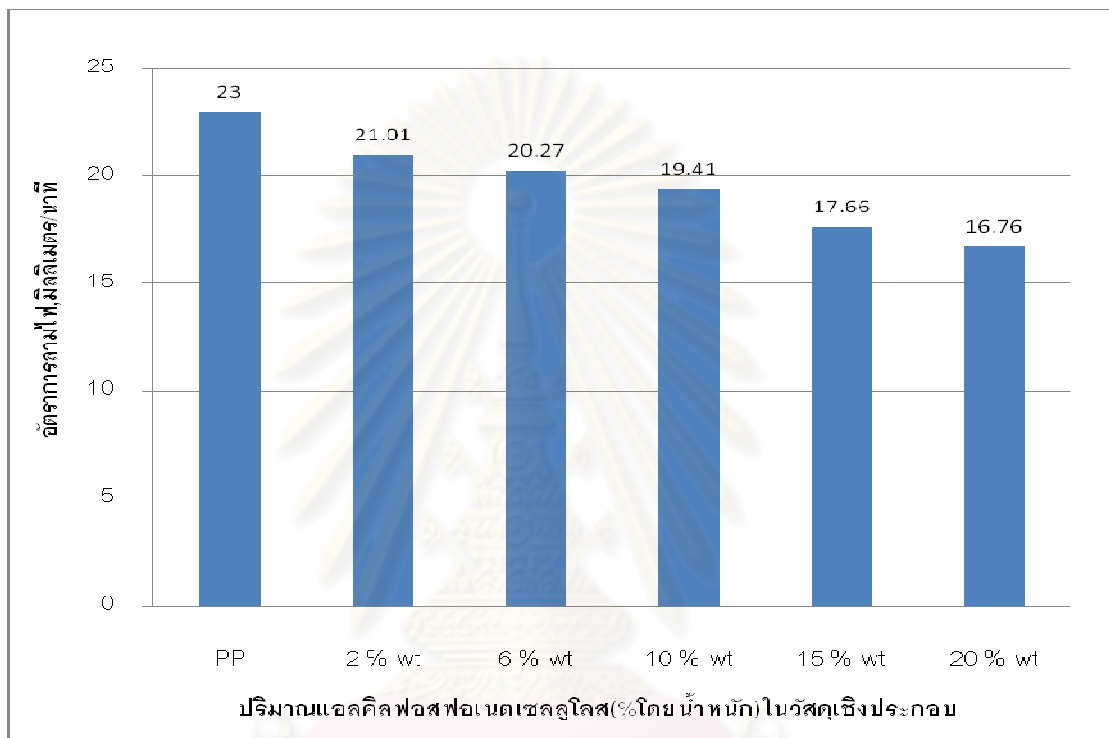
รูปที่ 4.14 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสต่างกัน a.) PP, b.) ร้อยละ 2 , c.) ร้อยละ 4 , d.) ร้อยละ 6 , e.) ร้อยละ 8 , f.) ร้อยละ 10, g.) ร้อยละ 15 และ h.) ร้อยละ 20

ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีต่อสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส

ชิ้นงานคอมพอสิต	T _c (Peak) (°C)	T _c (Onset) (°C)	T _m (Peak) (°C)	T _m (Onset) (°C)	ΔH _f (J/g)	Degree of crystallinity
PP	109.54	115.22	158.57	152.52	39.46	23.67
ร้อยละ 2	109.46	113.63	159.36	152.80	69.10	42.52
ร้อยละ 4	109.54	113.34	164.75	152.77	90.90	57.41
ร้อยละ 6	109.59	112.92	164.11	151.76	77.79	50.46
ร้อยละ 8	109.30	113.08	164.64	152.09	76.11	50.75
ร้อยละ 10	110.32	113.38	156.79	151.72	63.57	43.61
ร้อยละ 15	111.09	113.85	157.16	152.32	19.42	14.35
ร้อยละ 20	111.16	114.07	157.72	152.62	21.04	16.85

4.11 การทดสอบการติดไฟในแนวนอนตามมาตรฐาน UL-94 ของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส



















จากการทดสอบสมบัติการติดไฟของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส ดังรูปที่ 4.14 และ ตารางที่ 4.3 พบว่าอัตราการลามไฟของพอลิโพรพิลีนเป็น 23 มิลลิเมตรต่อวินาทีในขณะที่เมื่อเติมแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสในปริมาณต่างทำให้อัตราการลามไฟลดลงมาเป็นลำดับ ดังนี้ 21.1 (ร้อยละ 2), 20.27 (ร้อยละ 6), 19.41 (ร้อยละ 10), 17.66 (ร้อยละ 15) และ 16.76 (ร้อยละ 20) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสมีผลทำให้การหน่วงไฟในพอลิโพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบด้วยเทคนิค TGA ของวัสดุเชิงประกอบ ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบก็ลดต่ำลงด้วยเช่นกันเมื่อปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดขึ้นชาร์และการปลดปล่อยน้ำของกรดแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเมื่อเกิดการสลายตัวจึงทำให้การติดไฟของวัสดุเชิงประกอบทำได้ยากขึ้น อัตราการลามไฟจึงลดลง เมื่อปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.15 แสดงอัตราการลามไฟของของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/ แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 แสดงการติดไฟของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่
เวลาต่างๆ

	60 s	120 s	180 s
PP			
ร้อยละ 2			
ร้อยละ 6			
ร้อยละ 10			
ร้อยละ 15			
ร้อยละ 20			

ตารางที่ 4.5 ตารางอธิบายลักษณะการติดไฟของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอ-
เนตเซลลูโลส

วัสดุเชิงประกอบ	ลักษณะการติดไฟ
พอลิโพรพิลีน	มีการลุกติดไฟและหลอมหยดอย่างรุนแรงขนาดของเปลวไฟ
ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตร้อยละ 2	มีการลุกติดไฟขนาดของเปลวไฟเล็กน้อย การหลอมหยดลดลง
ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตร้อยละ 6	มีการลุกติดไฟขนาดของเปลวไฟเล็กน้อย การหลอมหยดลดลง
ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตร้อยละ 10	มีการลุกติดไฟขนาดของเปลวไฟเล็กน้อย การหลอมหยดลดลง
ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตร้อยละ 15	มีการลุกติดไฟขนาดของเปลวไฟเล็กน้อย การหลอมหยดลดลง
ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตร้อยละ 20	มีการลุกติดไฟขนาดของเปลวไฟใหญ่ขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากฟองอากาศภายในชิ้นงานการหลอมหยดลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การแปรสภาพเส้นใยเซลลูโลสด้วยกรดไฮโดรคลอริกได้ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว และเมื่อนำไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสไปทำการตัดแปรด้วยกรดแอลคิลฟอสฟอนิกได้แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน โดยพบว่าแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส ที่เตรียมจากสูตรอัตราส่วนระหว่างกรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส 1 : 1 เป็นแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบ เนื่องจากพบว่ากรดแอลคิลฟอสฟอนิกเกาะอยู่ทั่วไปบนพื้นผิวของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส เมื่อเทียบกับสูตรอัตราส่วน 0.5 : 1

5.1.2 อุณหภูมิของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสจะทำให้การสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบมีอัตราการสลายตัวที่ลดลง เนื่องจากแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสสลายตัวเกิดเป็นขารขึ้นแล้วไปหน่วงการติดไฟของพอลิโพรพิลีนขึ้น

5.1.3 จากการทดสอบอัตราการลามไฟ พบว่าการเติมแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสลงในพอลิโพรพิลีนทำให้อัตราการลามไฟของวัสดุเชิงประกอบลดลง โดยอัตราการลามไฟลดลงเมื่อปริมาณของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น โดยอัตราการลามไฟลดลงต่ำที่สุดพบที่เมื่อเติมแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ร้อยละ 20 แต่เนื่องจากการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบในสูตรนี้ขึ้นงานพบปัญหาว่าขึ้นงานมีฟองอากาศเป็นจำนวนมาก ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมในการขึ้นรูปหน่วงไฟ คือ สูตรที่เติมแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่ร้อยละ 10 และ 15

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ เนื่องจากการนำ แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสมาผสมกับพอลิโพรพิลีนเกิดฟองอากาศขึ้นในระหว่างการขึ้นรูป เนื่องจากแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเมื่อได้รับความร้อนสามารถปลดปล่อยน้ำออกมาซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ชิ้นงานเกิดฟองอากาศ ทำให้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลมีความผิดพลาดและไม่สามารถอธิบายผลได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] ปรีชา พหลเทพ. พอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2547.
- [2] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน. สงขลา : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2527.
- [3] นิตศน์ จิระอรุณ. วัสดุพอลิเมอร์. เชียงใหม่ : หน่วยพิมพ์เอกสารและตำรา ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
- [4] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [5] กมลวรรณ บุญอารีย์. การดัดแปรฝ้ายจากเศษผ้าเพื่อใช้เป็นตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [6] อรุณี คงดี. เส้นใยธรรมชาติ: สานฝันลดโลกร้อน [Online]. Available from: http://www.ap.mju.ac.th/data_silo/jarya/4556pdf, 2551.
- [7] รังสิณี ไสธรวิทย์. เคมีและจุลชีววิทยาเบื้องต้นของอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- [8] นิธิยา รัตนานพนธ์. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2549.
- [9] วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุลและคณะ. การผลิตอนุภาค microcrystalline cellulose จากเส้นใยฝ้ายเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ. โครงการวิจัยร่วมภาครัฐ-เอกชน, 2546.
- [10] ศิริวรรณ สุขุทัย. การใช้เซลลูโลสแบบผลึกระดับจุลภาคที่เตรียมจากเศษผ้าฝ้ายเป็นสารตัวเติมในฟิล์มพีวีซี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [11] Hakansson, H., Ahlgren, P. Acid hydrolysis of some industrial pulps: effect of hydrolysis conditions and raw material. Cellulose. 12 (2005): 177-183.
- [12] อรวรรณ จักเดชาไชย, เสาวลักษณ์ เฉลียวเลิศอำพล. การสังเคราะห์สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัสอินทรีย์สำหรับพอลิเมอร์. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์, สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

- [13] สุรสิทธิ์ เงินเป็ย, สมาน ธิรพิเชษฐวงศ์. การเตรียมและปรับสมบัติพอลิเมอร์หนังไฟ. โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์, สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2551.
- [14] เจริญ นาคะสรรค์. กระบวนการแปรรูปพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์นิติธรรม, 2542.
- [15] Chuayjuljit, S., Su-Uthai, S., Tunwattanaseree, C. and Charuchinda, S. Preparation of microcrystalline cellulose from waste-cotton fabric for biodegradability enhance of natural rubber sheet. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 28 (2009): 1245-1254.
- [16] Gupta, V. B., and Kothari V. K. Phosphorylation of polysaccharides : New results on synthesis and characterization of phosphorylated cellulose. Reactive & Functional polymers. 66 (2006): 1240-1249.
- [17] Eugene J. Blanchard., Elena E. Graves. Phosphorylation of cellulose with some Phosphonic acid derivatives. Textile Research Journal. 73 (2003): 22-26.
- [18] A. De Chirico., M. Armanini., P. Chini., G. Cioccolo. Flame retardants for polypropylene base on lignin. Polymer Degradation and Stability 79 (2003): 139-145.
- [19] Punyachoenon, P., Charuchinda, S., and Sirkulkit, K. Grafting and Phosphonic Acid Functionalization of Hyperbranched Polyamidoamine Polymer onto Ultrafine Silica. Journal of Applied Polymer Science 110(6) (2008): 3336-3347.
- [20] สาริศ ถนอมชาติ. การเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดแยกชั้นแผ่นและประยุกต์เป็นนาโนฟิลเลอร์ในเส้นใยพอลิโพรพิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

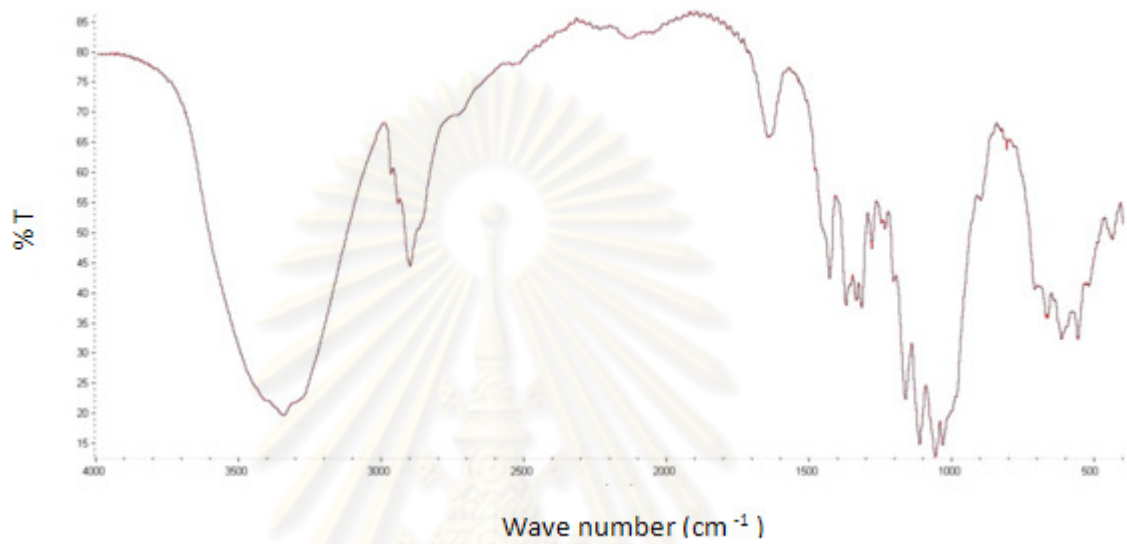


ภาคผนวก

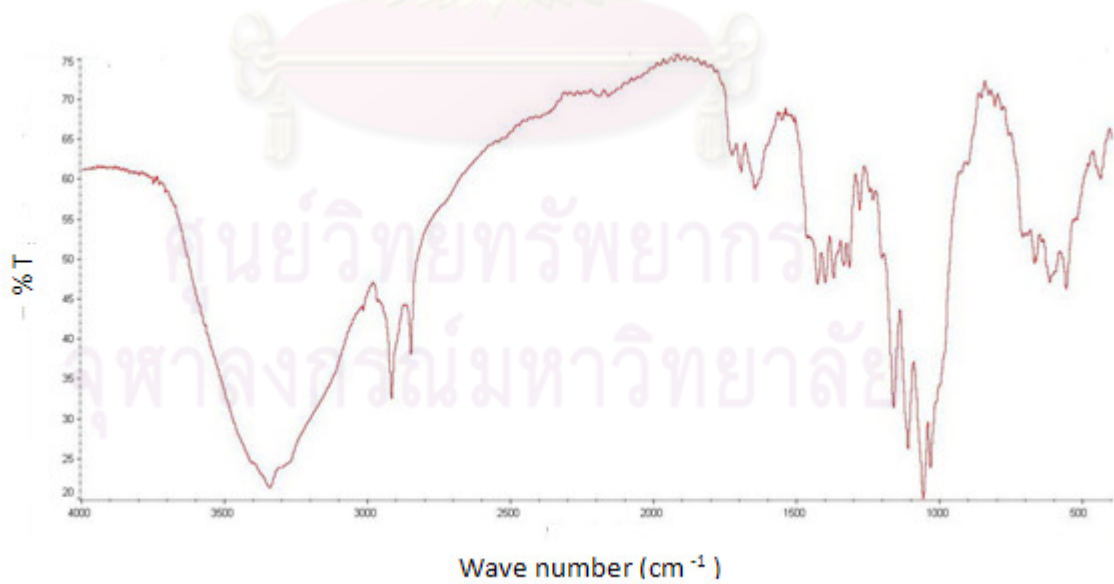
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

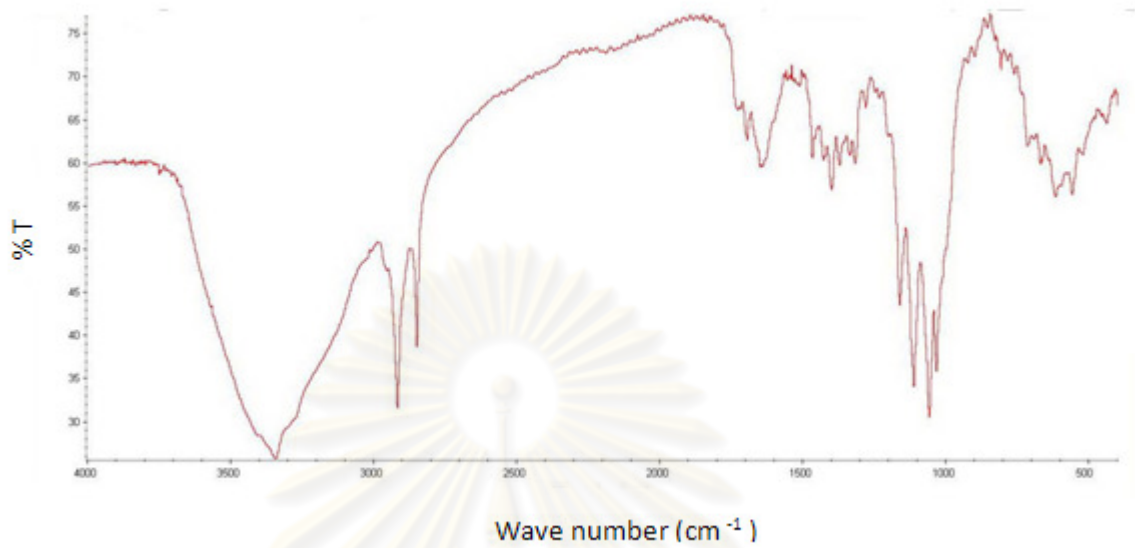
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR



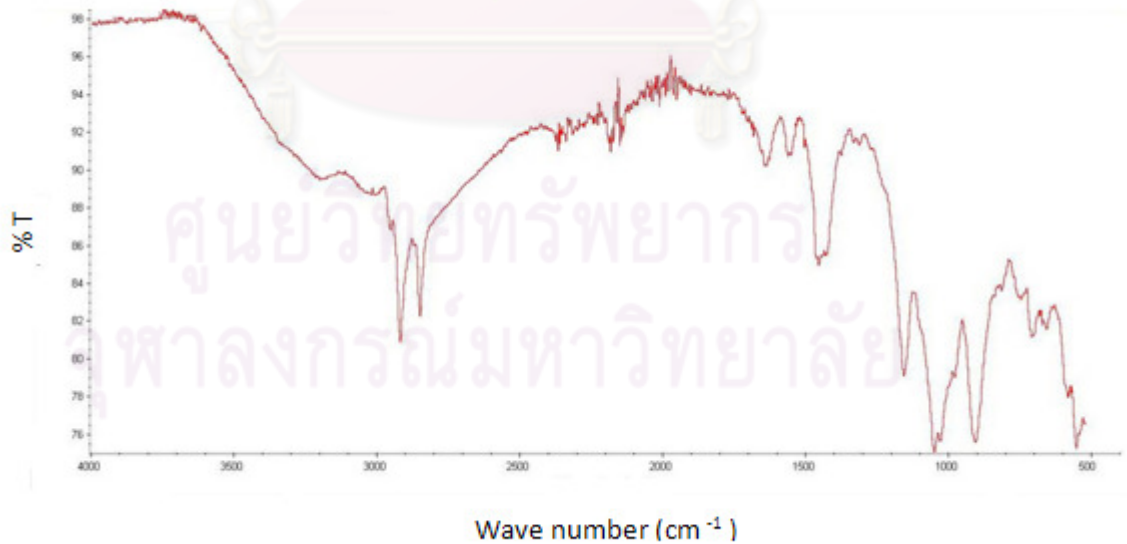
รูปที่ ก-1 อินฟราเรดสเปกตรัมของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส



รูปที่ ก-2 อินฟราเรดสเปกตรัมของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสเป็น 0.5:1



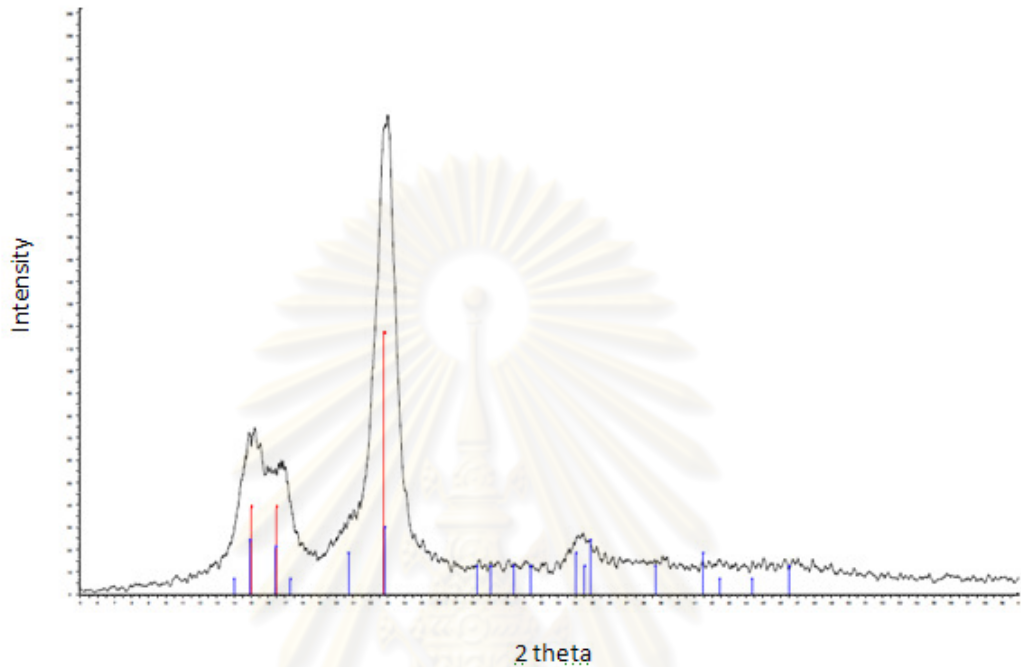
รูปที่ ก-3 อินฟราเรดสเปกตรัมของแอลคิลฟอสเฟตเซลล์ลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ
กรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลไลน์เซลล์ลูโลสเป็น 1:1



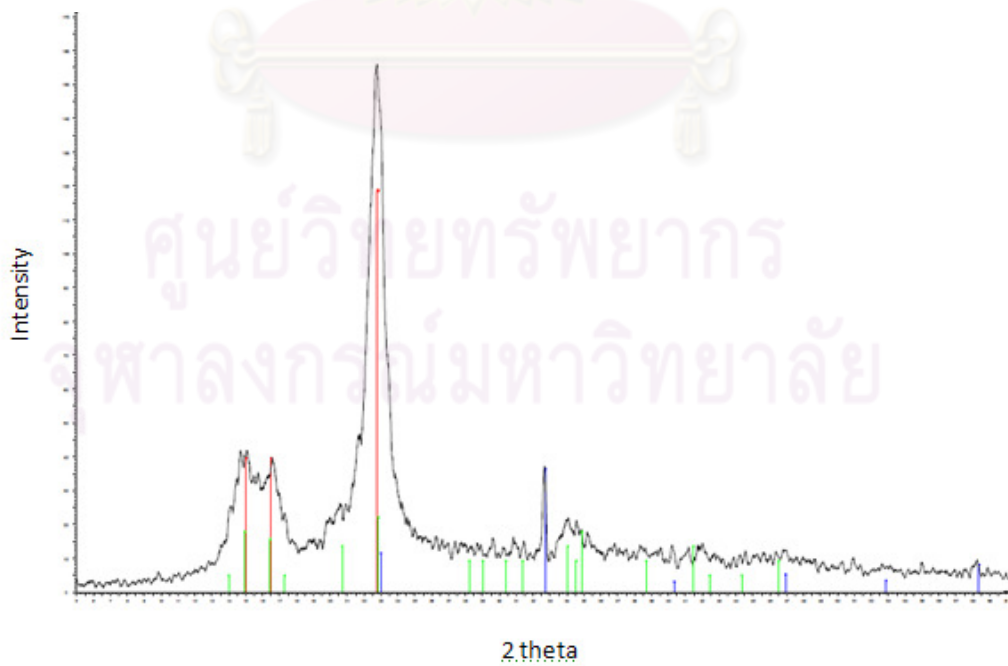
รูปที่ ก-4 อินฟราเรดสเปกตรัมของแอลคิลฟอสเฟตเซลล์ลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ
กรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลไลน์เซลล์ลูโลสเป็น 2:1

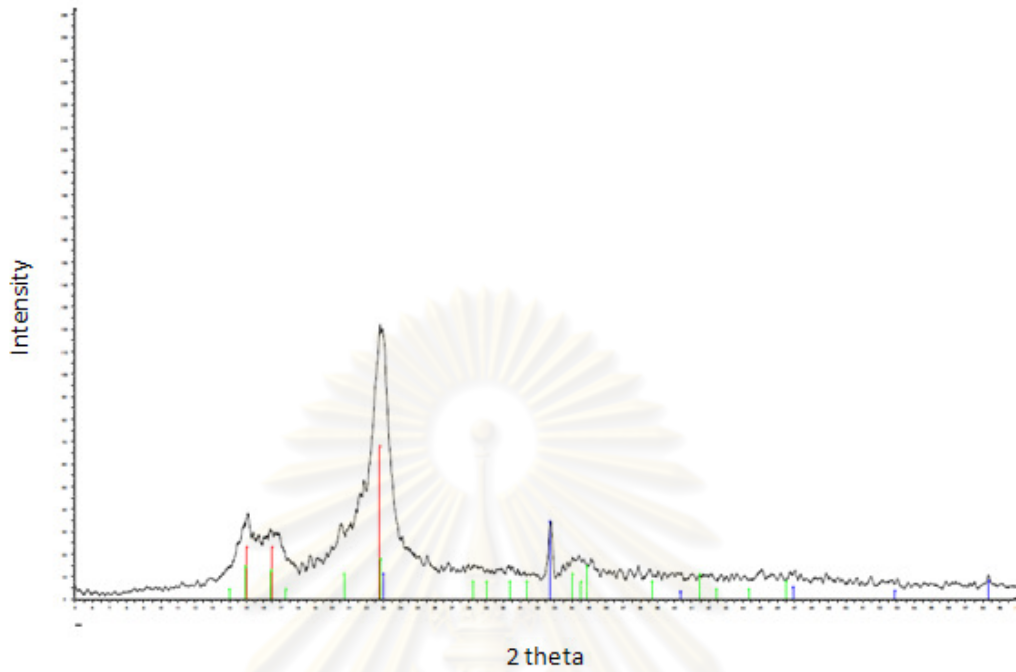
ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

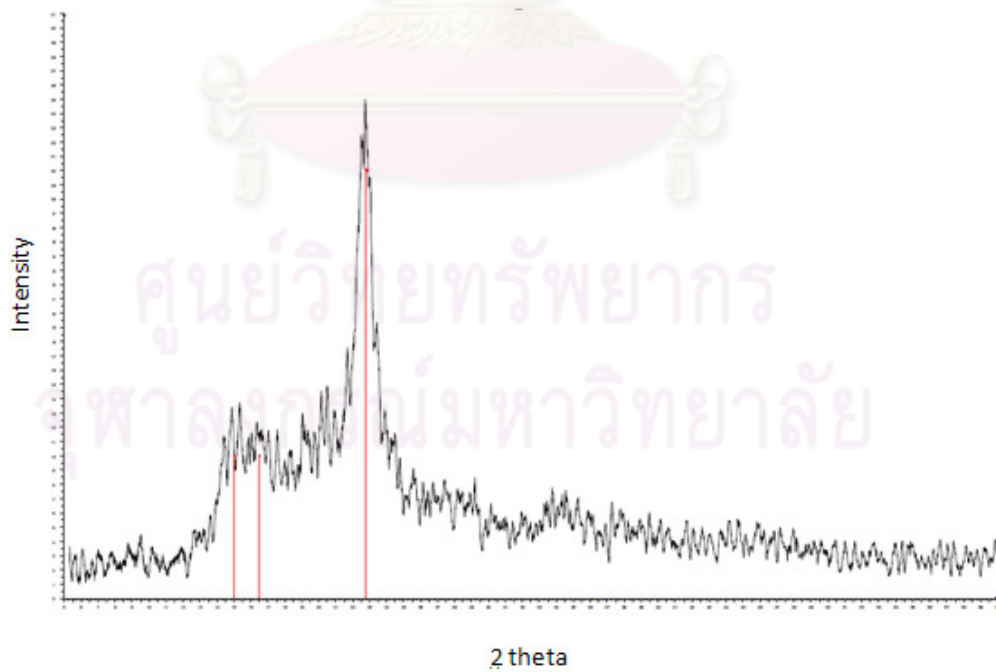


รูปที่ ข-1 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร

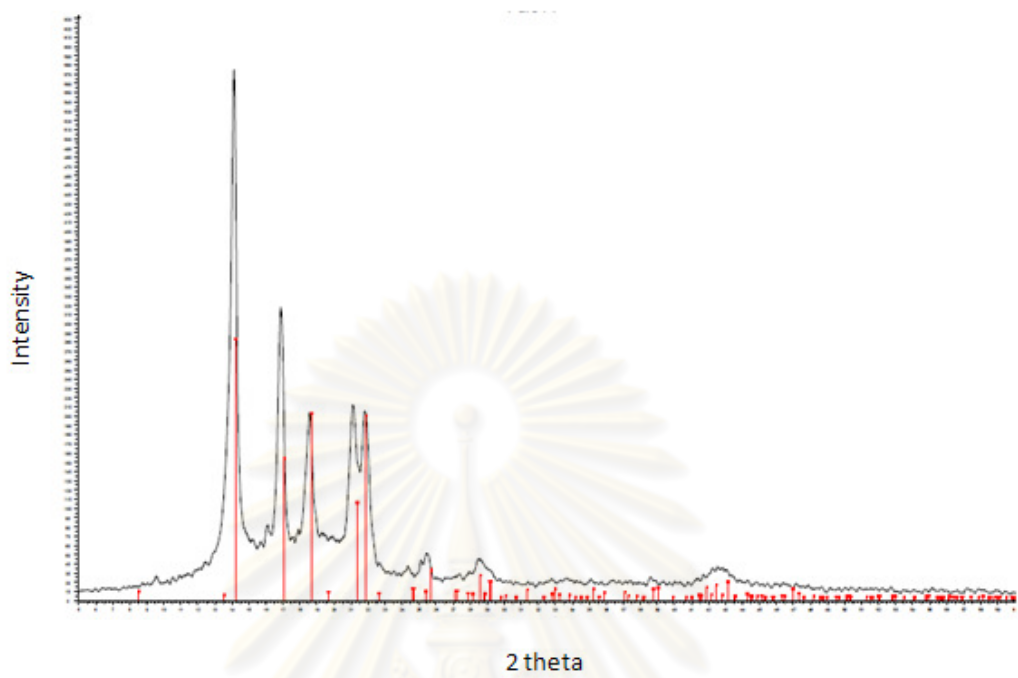
รูปที่ ข-2 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วนโดย
น้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส เป็น 0.5:1



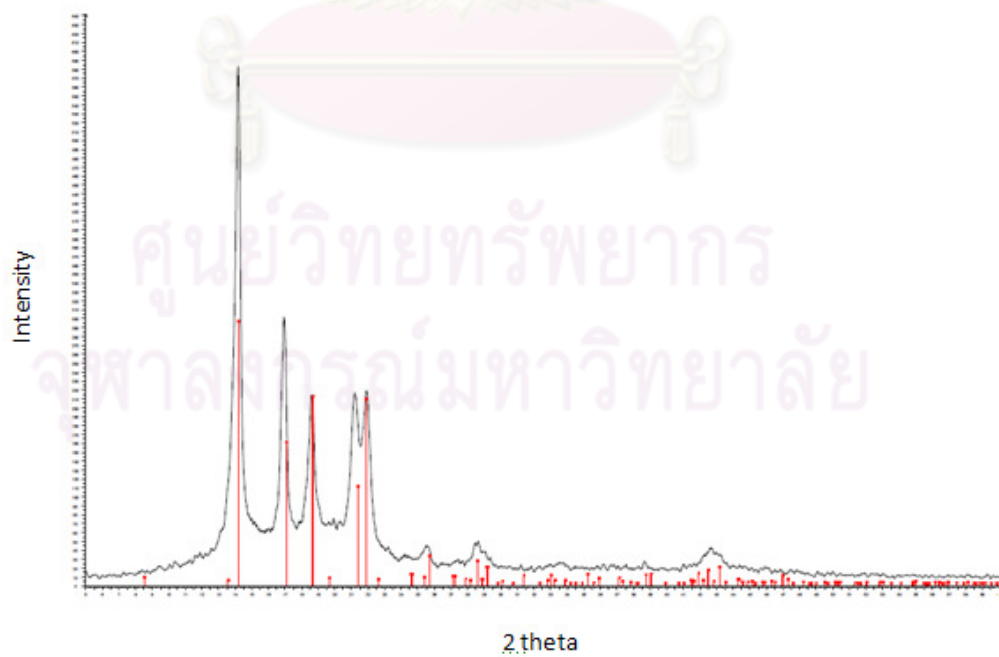
รูปที่ ข-3 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของแอลคิลฟอสฟอนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วน
โดยน้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเป็น 1:1



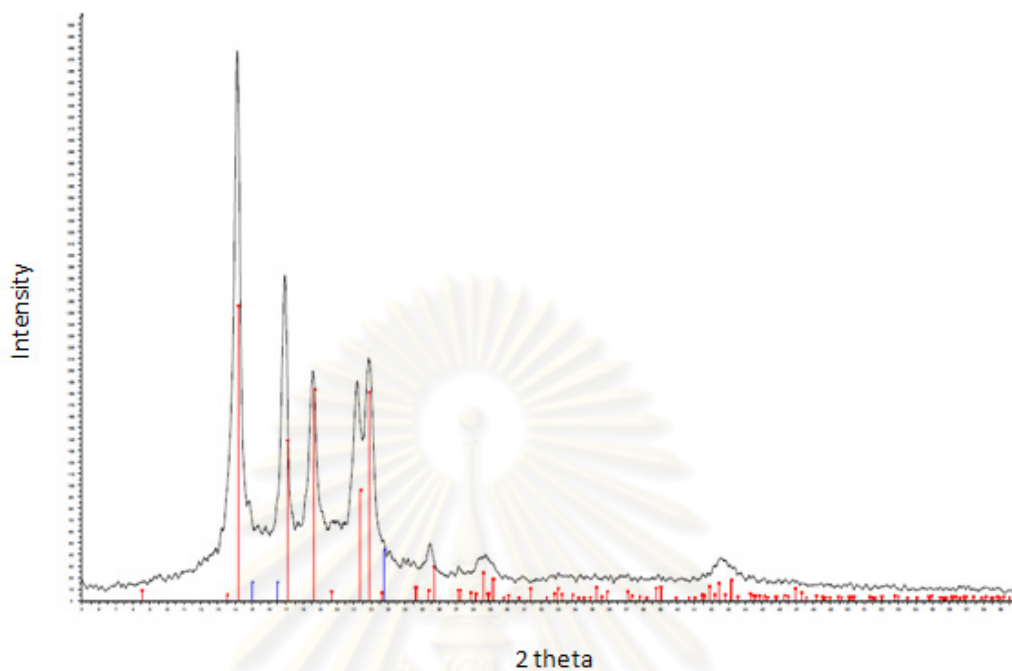
รูปที่ ข-4 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของแอลคิลฟอสฟอนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วน
โดยน้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส เป็น 2:1



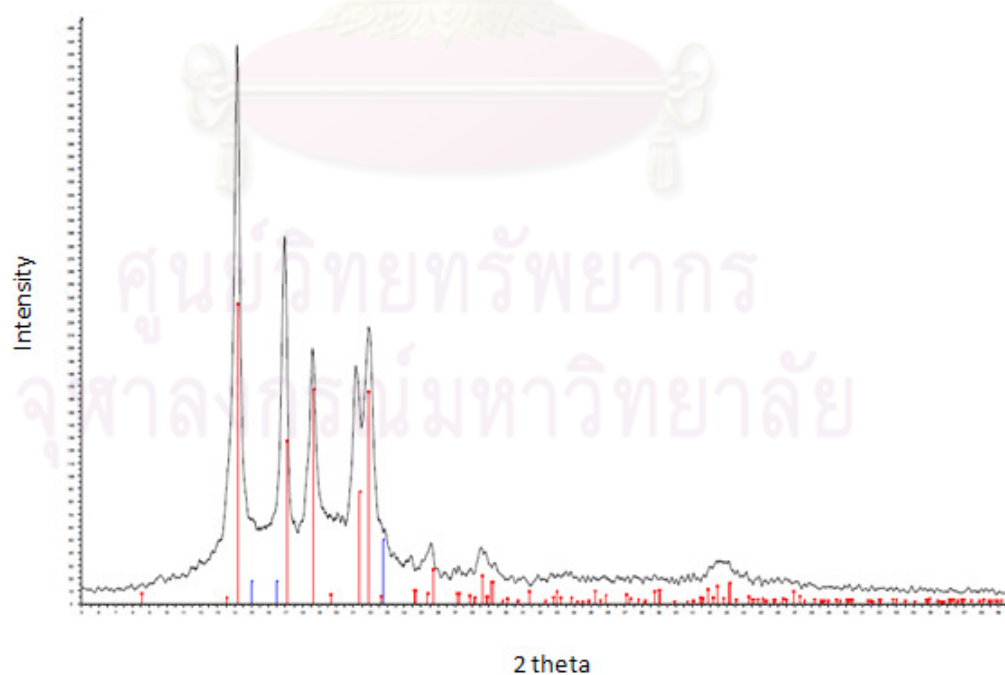
รูปที่ ข-5 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิโพรพิลีน



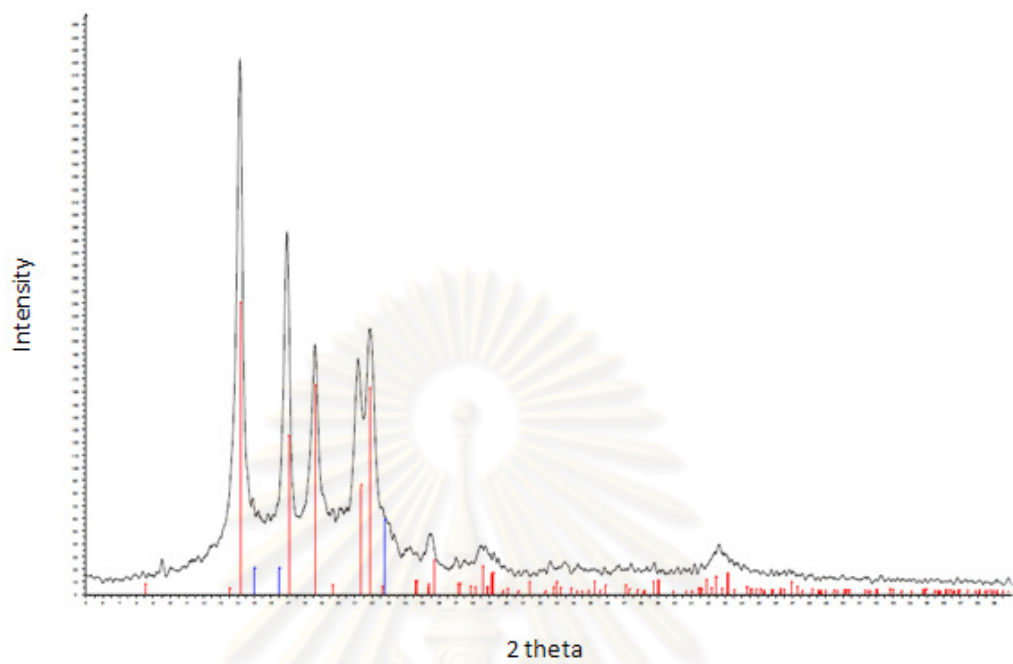
รูปที่ ข-6 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสเฟเนตเซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสเฟเนตเซลลูโลสเป็นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก



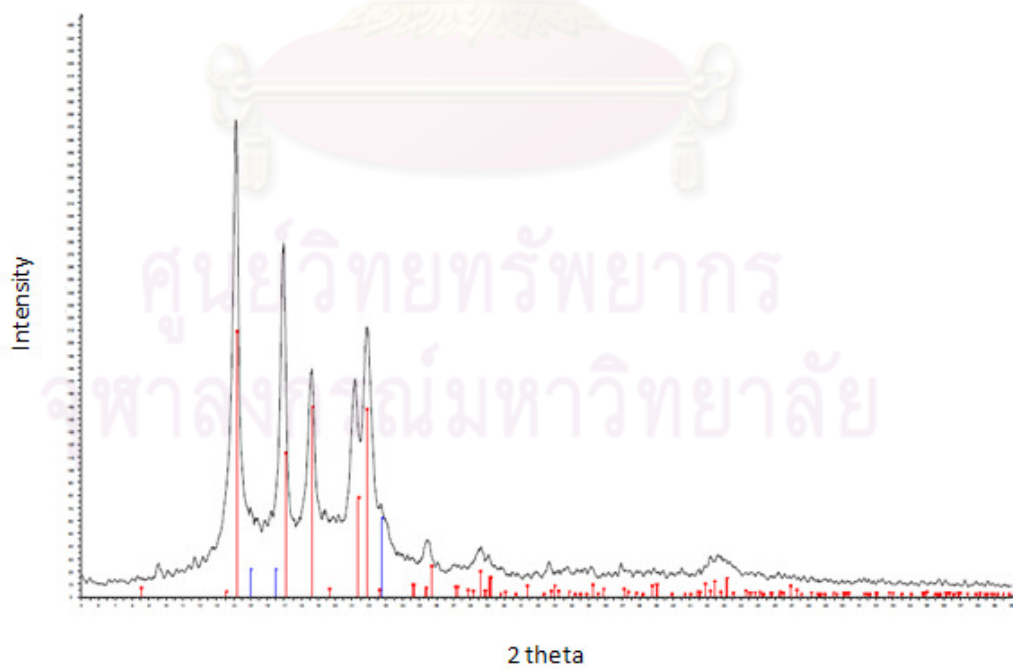
รูปที่ ข-7 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์โรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต เซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก



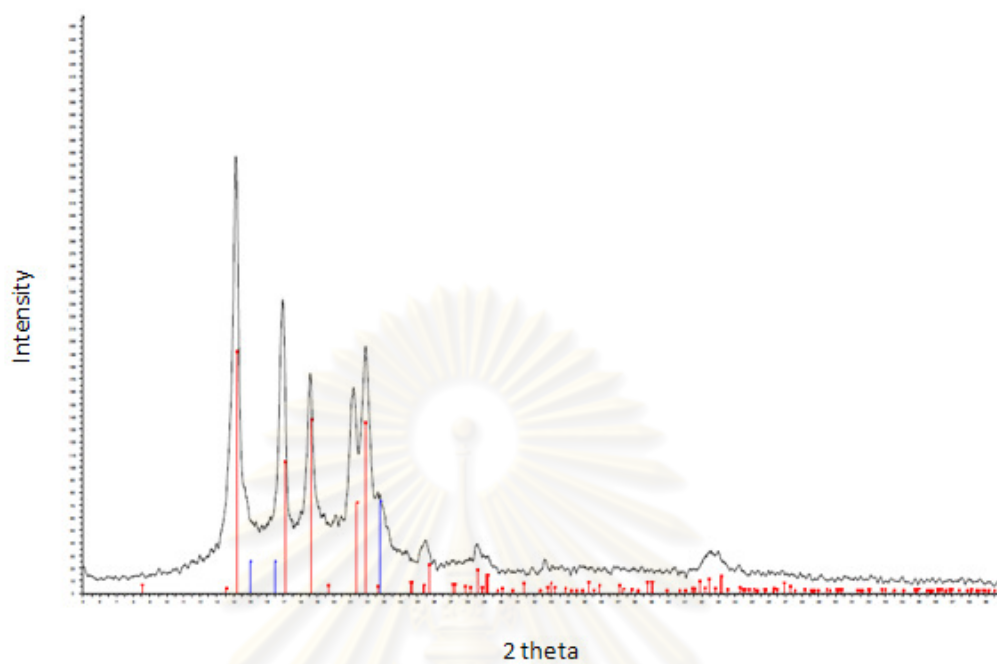
รูปที่ ข-8 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์โรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส ที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก



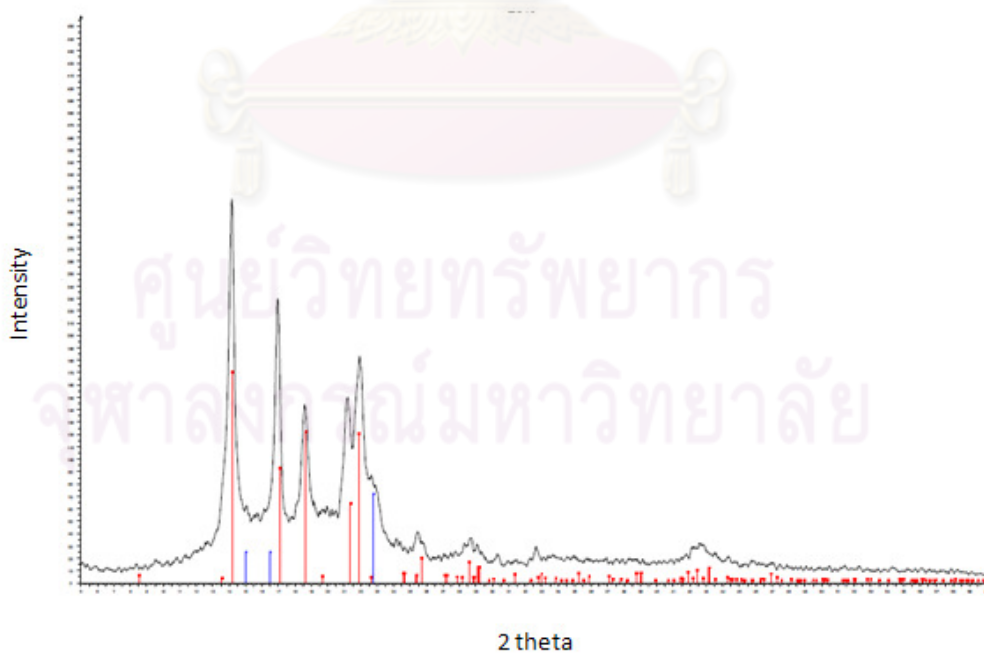
รูปที่ ข-9 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์โรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต เซลลูโลส ที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็น ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก



รูปที่ ข-10 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์โรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต เซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็น ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก



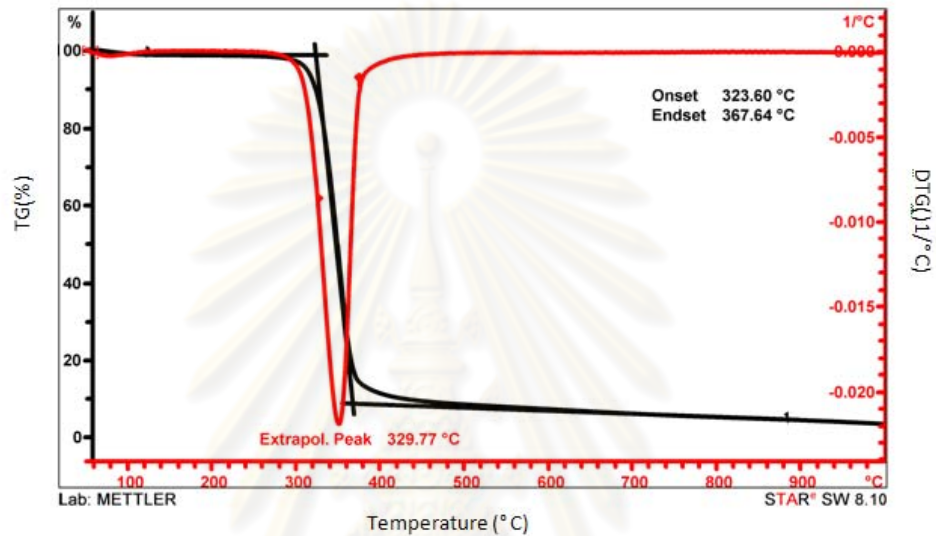
รูปที่ ข-11 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์โรลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต เซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็น ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก



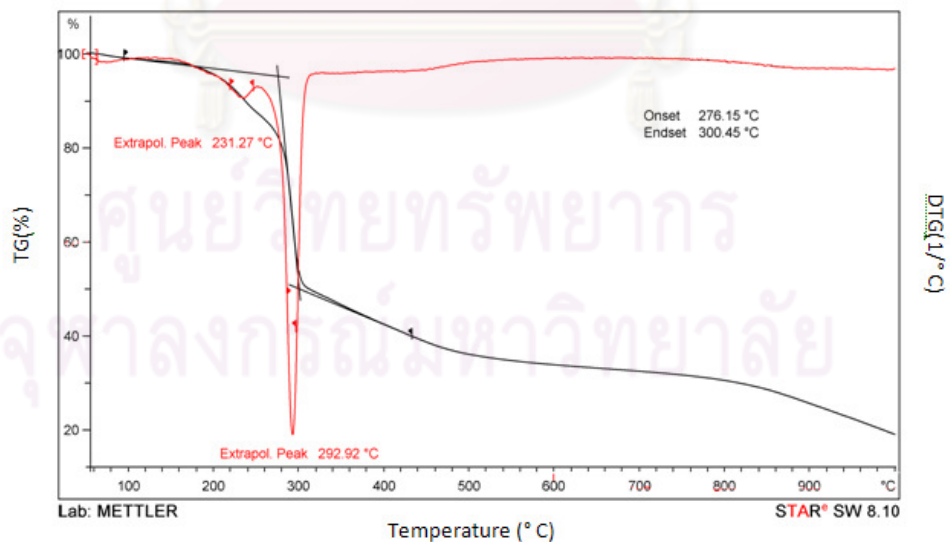
รูปที่ ข-12 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์โรลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต เซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็น ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

ภาคผนวก ค

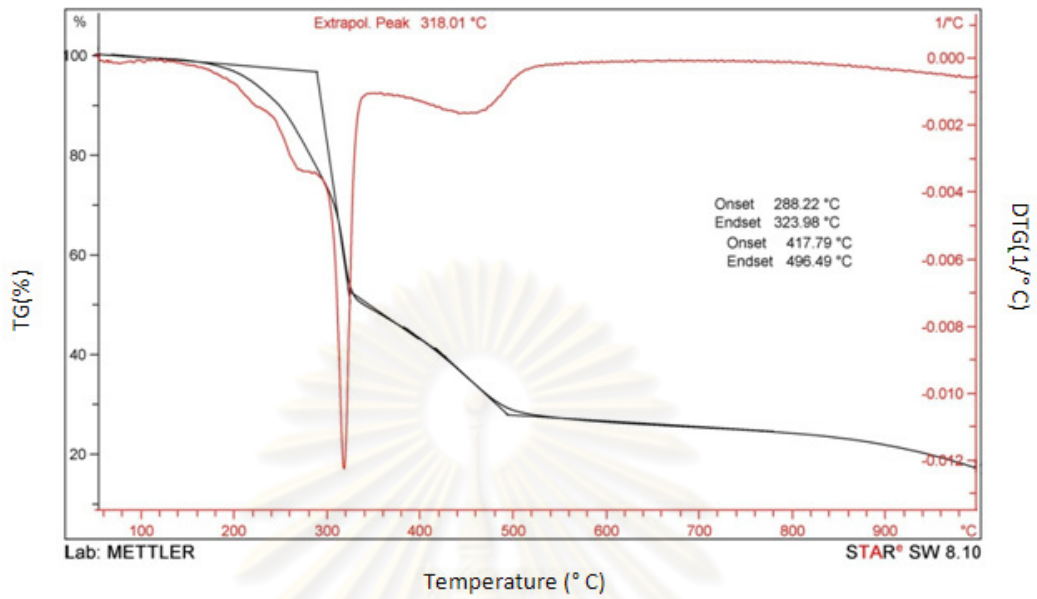
ภาคผนวก ค-1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส แอลคิล-ฟอสโฟเนตเซลลูโลสและวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสด้วยเทคนิค TGA และ DSC



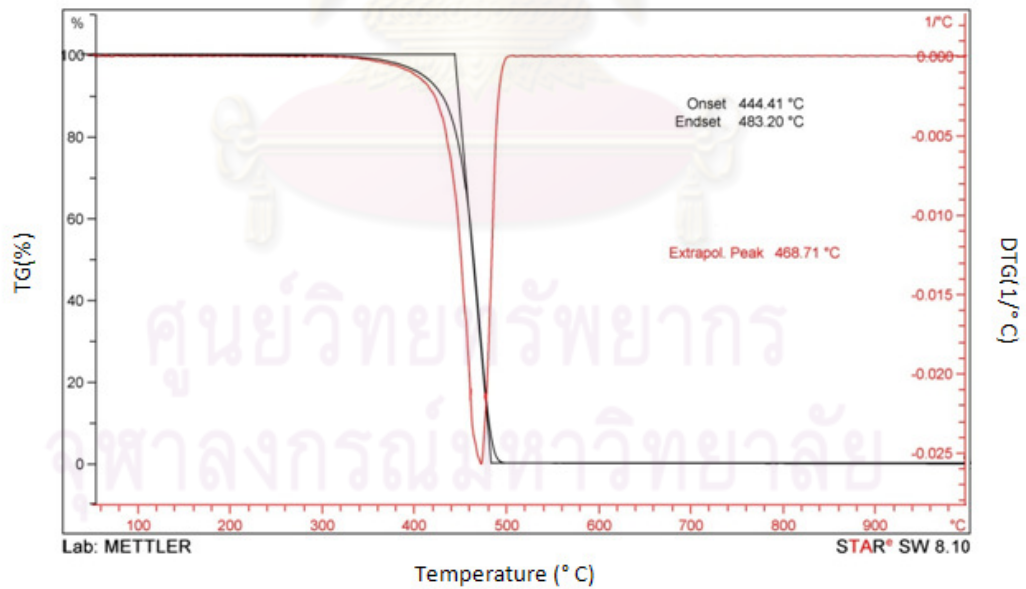
รูปที่ ค-1 TG เทอร์โมแกรมของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส



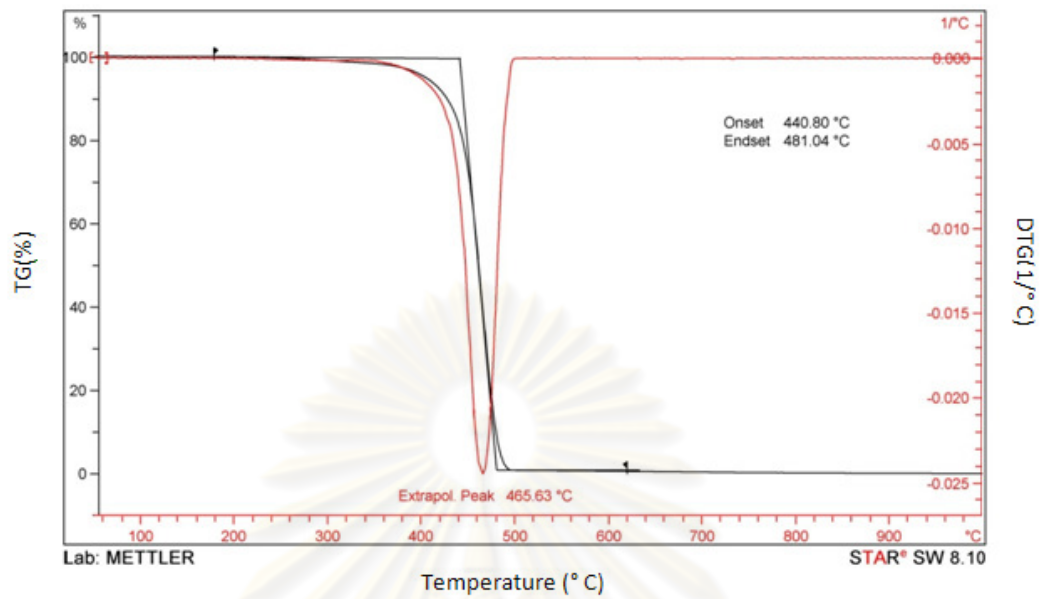
รูปที่ ค-2 TG เทอร์โมแกรมของแอลคิลฟอสโฟเนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส เป็น 0.5:1



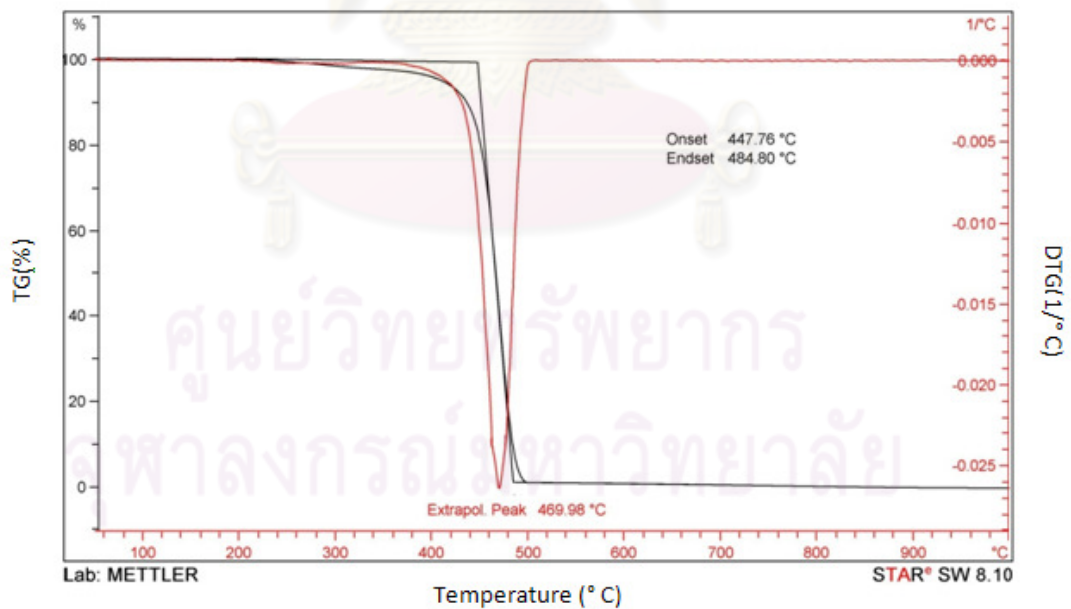
รูปที่ ค-3 TG เทอร์โมแกรมของแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดแอลคิลฟอสฟอนิก : ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส เป็น 1:1



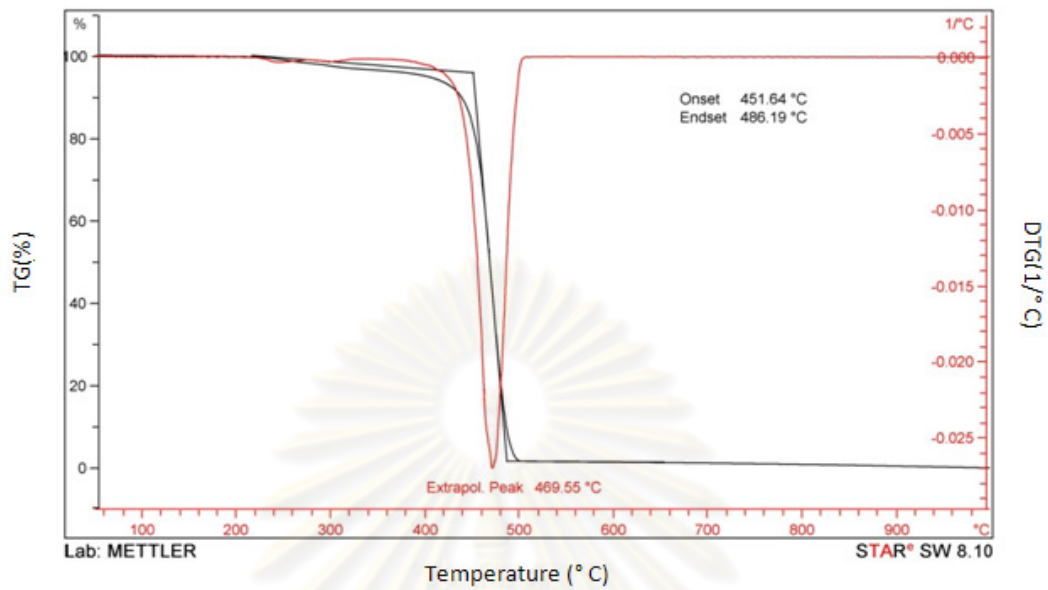
รูปที่ ค-4 TG เทอร์โมแกรมของพอลิไพโรฟิไลน์



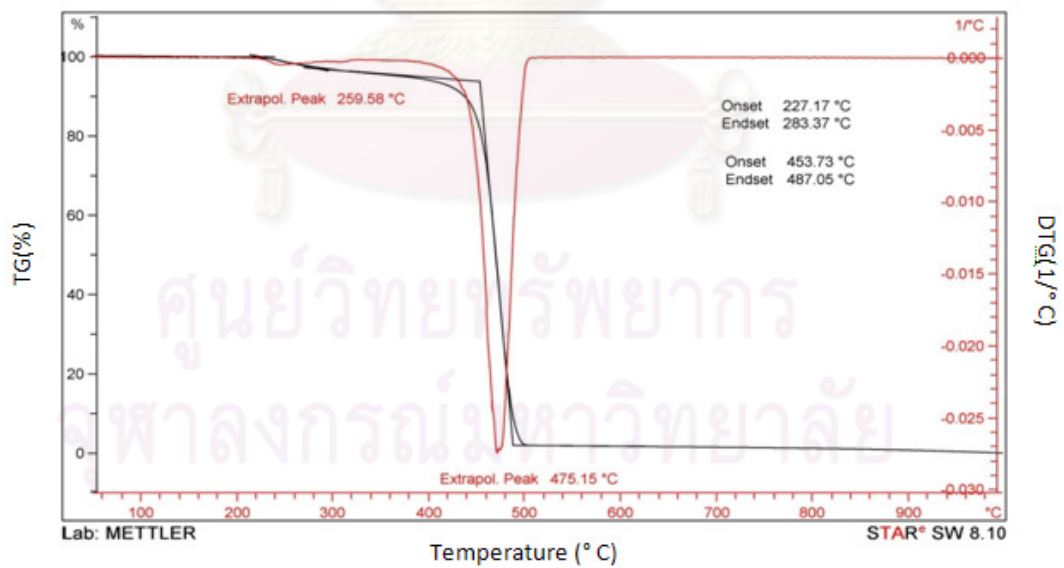
รูปที่ ค-5 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์ฟอสฟอรัส/แอคซิลฟอสฟอเนต
เซลลูโลสที่ปริมาณแอคซิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็น ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก



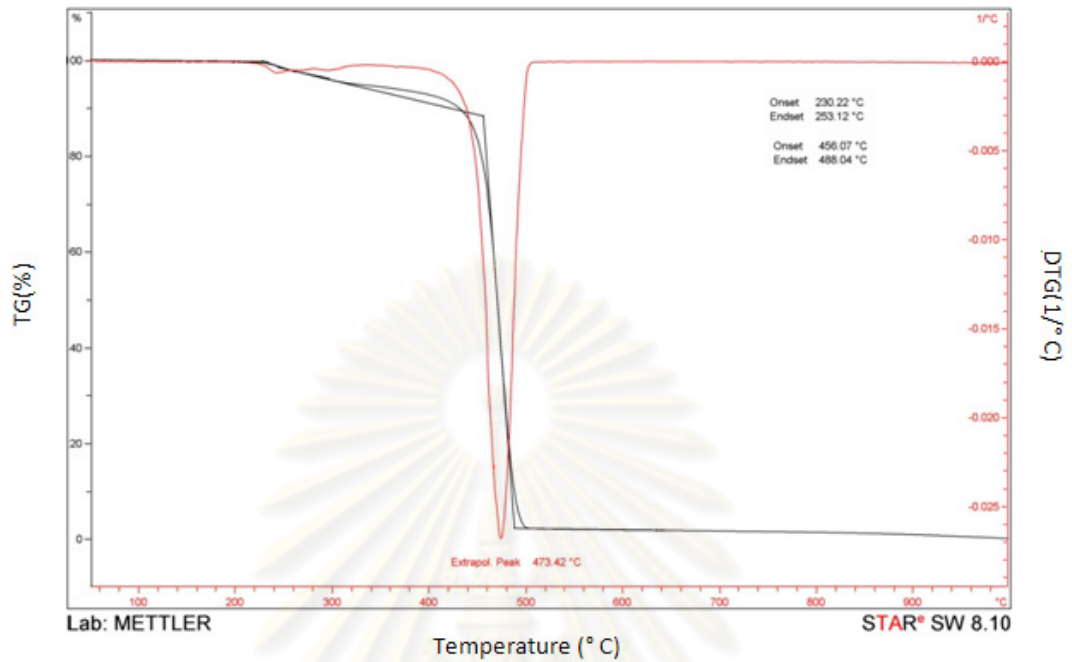
รูปที่ ค-6 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพร์ฟอสฟอรัส/แอคซิลฟอสฟอเนต
เซลลูโลสที่ปริมาณแอคซิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็น ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก



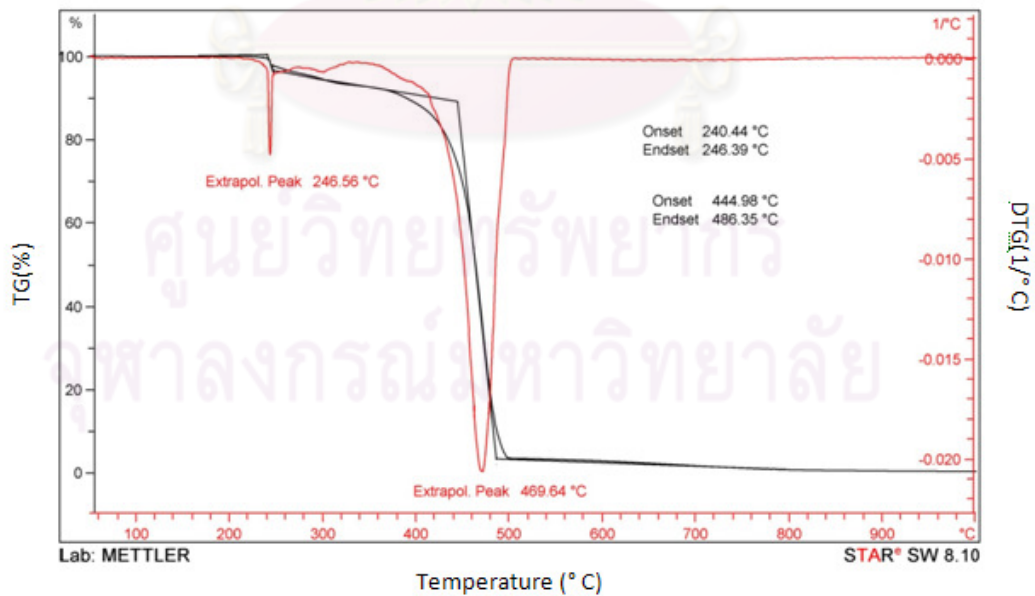
รูปที่ ค-7 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต
เซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก



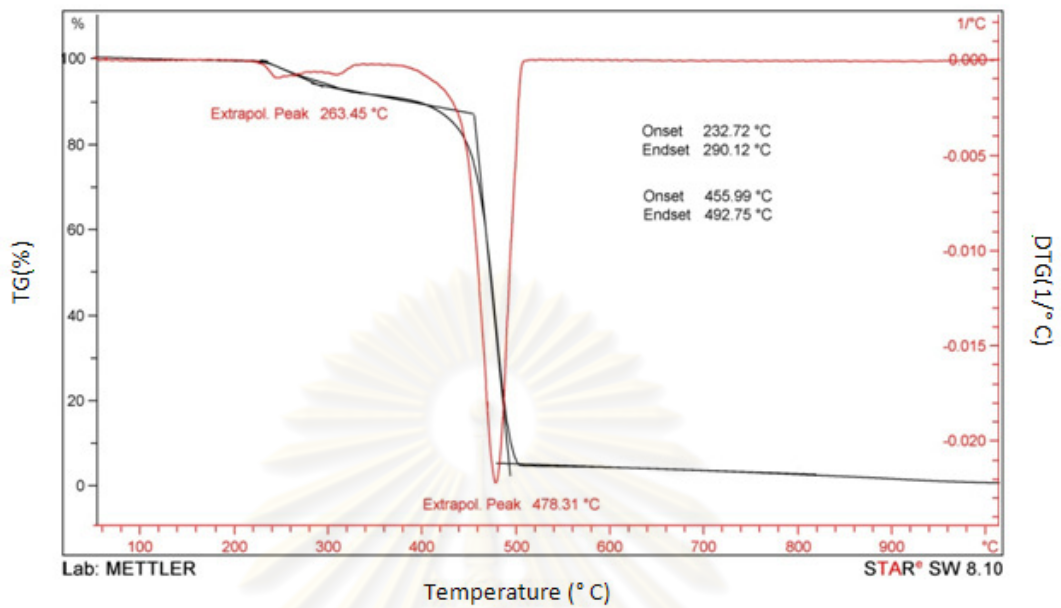
รูปที่ ค-8 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรฟิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต
เซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก



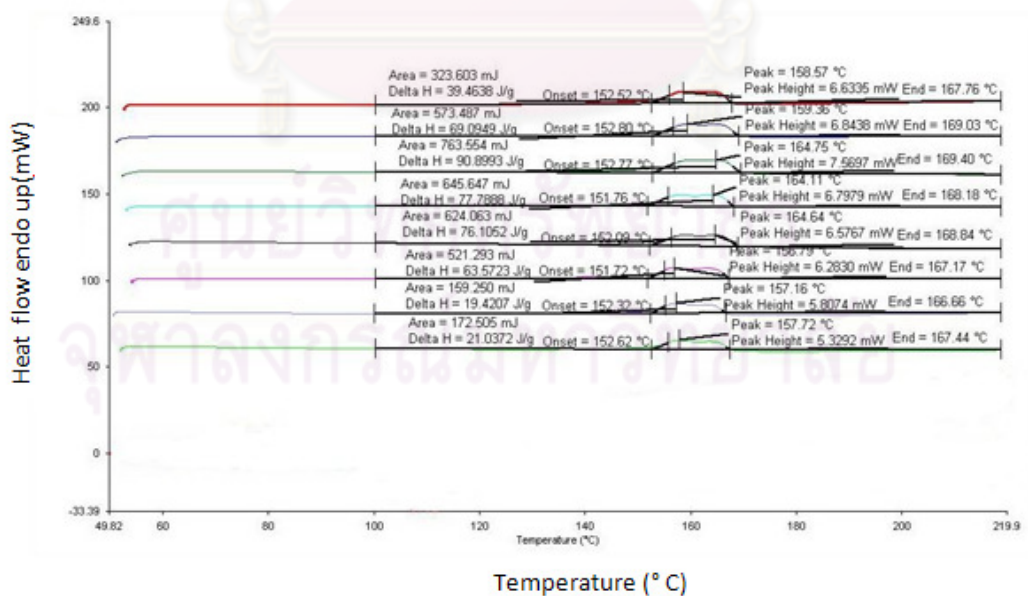
รูปที่ ค-9 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต เซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก



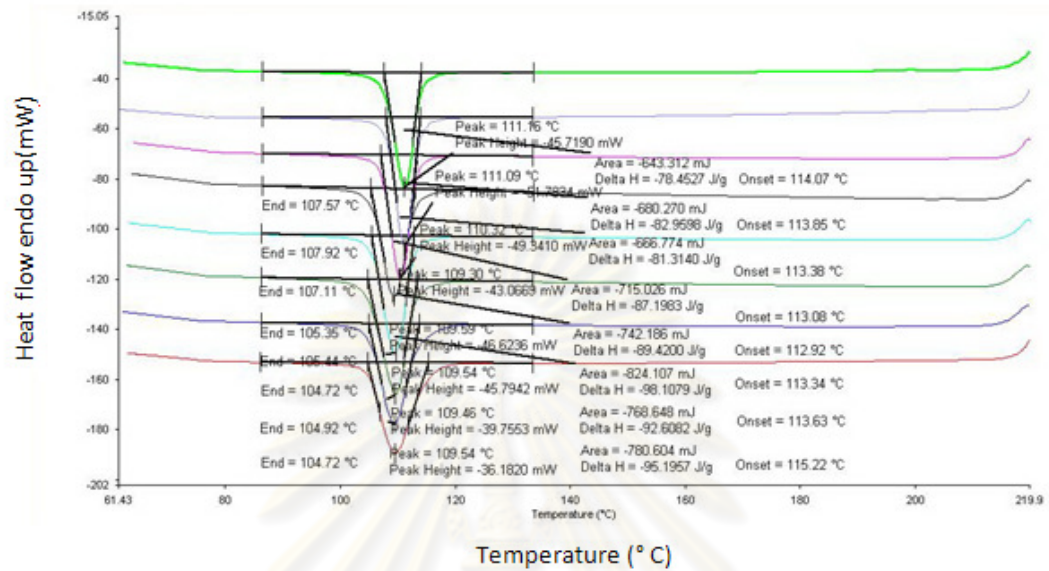
รูปที่ ค-10 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต เซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก



รูปที่ ค-11 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต เซลลูโลสที่ปริมาณแอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลสเป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก



รูปที่ ค-12 กราฟ DSC วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส



รูปที่ ค-13 กราฟDSCวัดดูเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสเฟตเซลลูโลส

ภาคผนวก ค.2 การคำนวณหาค่าปริมาณความเป็นผลึกของ (Degree of crystallinity)

พอลิโพรพิลีนนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค DSC

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\text{Enthalpy of crystallization}_{\text{DSC}} \times 100}{\text{Enthalpy of 100 percent crystallinity}} \times \frac{1}{\text{weight fraction of PP}}$$

เมื่อ $\Delta H (100\% \text{ crystallinity})_{\text{PP}} \sim 209 \text{ J/g}$.

ตัวอย่าง วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนตเซลลูโลส ร้อยละ 2 ของแอลคิล

ฟอสฟอเนต-เซลลูโลส $\Delta H_m = 69.10 \text{ J/g}$. ปริมาณพอลิโพรพิลีนเท่ากับ 233.25 กรัมในปริมาณสารทั้งหมด 100 กรัม

$$\begin{aligned} \text{Degree of crystallinity} &= \frac{69.10 \times 100}{209} \times \frac{1}{(77.75/100)} \\ &= 42.52 \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง.1 การหาค่าอัตราการลามไฟของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/แอลคิลฟอสฟอเนต เซลลูโลส

	อัตราการลามไฟ ชั้นงานที่ 1	อัตราการลามไฟ ชั้นงานที่ 2	อัตราการลามไฟ ชั้นงานที่ 3	ค่าเฉลี่ย
PP	22.87	22.05	24.08	23.0
ร้อยละ 2	17.73	22.79	22.52	21.01
ร้อยละ 6	24.35	18.61	17.85	20.27
ร้อยละ 10	21.12	18.56	18.56	19.41
ร้อยละ 15	17.90	17.56	17.52	17.66
ร้อยละ 20	16.78	16.81	16.70	16.76

การคำนวณอัตราการลามไฟ

อัตราการลามไฟในระยะ 100 มิลลิเมตร (มิลลิเมตร/นาที)

$$V = \frac{60L}{t} = \frac{4500}{t}$$

โดย L คือระยะที่ไฟเผา (mm.) , t คือ ระยะเวลาที่ไฟเผา (sec) โดยทั่วไป L = 75 mm.

การคำนวณค่าเฉลี่ยอัตราการลามไฟ

ค่าเฉลี่ยอัตราการลามไฟ = $\frac{\text{อัตราการลามไฟของชั้นที่1} + \text{ชั้นที่2} + \text{ลามไฟของชั้นที่ 3}}{3}$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว สุภาภรณ์ พรหมสุรินทร์ เกิดวันที่ 8 มิถุนายน 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีวิเคราะห์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ในปีการศึกษา พ.ศ. 2548 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2551 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นปีการศึกษา 2553



ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย