

การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพอลิโอลีน
โดยการต่อกิ่งเพื่อเพิ่มการยึดเกาะสำหรับงานคอมโพสิต



นางสาว กนกทิพย์ กราชูย

นางสาว สลิตา ประทุมทอง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 43920
วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2545

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

**Surface Grafting of Polyolefin Fibers
to Improve Interfacial Adhesion for Composite Applications**



**Miss Kanoktip Krasui
Miss Lalita Prathoomthong**

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science**

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพอลิโอลิฟิน โดยการต่อกิ่งเพื่อเพิ่มการ
ยึดเกาะสำหรับงานคอมโพสิต

โดย

นางสาวกนกทิพย์ กราชูญ

นางสาวลลิตา ประทุมทอง

ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

ผศ.ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)


หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



(ดร. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ)

ประธานกรรมการ


(ดร. จุฑารัตน์ ปรีชญาวารการ)

กรรมการ


(ผศ.ดร. อิทธิพล แจ่มชัด)

กรรมการ


(ผศ.ดร. ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพอลิโอลิฟินโดยการต่อกิ่งเพื่อเพิ่มการยึดเกาะสำหรับงานคอมโพสิต
นักศึกษา	นางสาวกนกทิพย์ กราชูย นางสาวลลิตา ประทุมทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต ผศ.ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ปัญหาสำคัญที่เป็นข้อจำกัดการใช้งานของเส้นใยพอลิโอลิฟิน เช่น เส้นใยพอลิเอทิลีน (PE) และเส้นใยพอลิพรอพิลีน (PP) คือ ความเหนียวของพื้นผิว ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกับวัสดุอื่นต่ำ โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยพอลิโอลิฟิน โดยทำการต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์ ในที่นี้คืออะคริลาไมด์ (Acrylamide) ลงบนพื้นผิวของเส้นใยเพื่อเพิ่มความมีขี้้วให้กับพื้นผิว ทำให้ยึดเกาะกับวัสดุอื่นได้ดีขึ้น การต่อกิ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) ด้วยโพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) และขั้นการต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์อะคริลาไมด์ โดยใช้เทคนิคซีริกไอออน (Ceric ion technique) โดยทำการศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในขั้นการต่อกิ่ง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในแนวเปรียบเทียบของสมบัติเส้นใยพอลิโอลิฟินที่ผ่านและไม่ผ่านการดิ่ง ก่อนและหลังการปรับปรุงโดยการต่อกิ่ง โดยการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง การตรวจสอบพื้นผิวโดยใช้เทคนิค AFM การตรวจสอบหมู่เอไมด์ที่เกิดขึ้นโดยใช้เทคนิค ATR-IR และการดูดซับสีของเมทิลีนบลู จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างเส้นใยพอลิโอลิฟินเกิดการต่อกิ่งจริง และมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการต่อกิ่งมากขึ้น ซึ่งยืนยันจากผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM, ATR-IR, และการข้อมติดี จากผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยการทดสอบการดึงเส้นใยออก (Fiber pull-out test) พบว่า ความแข็งแรงเหนือนที่อินเตอร์เฟสมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลาการต่อกิ่งนาน 10 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงเหนือนที่อินเตอร์เฟส จะมีแนวโน้มลดลงหรือคงที่ อาจเป็นผลมาจากการเกิดการเกี่ยวพันกันของสายโซ่พอลิอะคริลาไมด์ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของเส้นใยพอลิโอลิฟิน และการต่อกิ่งเส้นใยที่ผ่านการดิ่ง 10 เท่า พบว่าการต่อกิ่งลดลง เนื่องจากความเป็นผลึกและการจัดเรียงตัวของสายโซ่ที่เพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงเหนือนที่อินเตอร์เฟสมีค่าสูงกว่า

Special Project Title	Surface Grafting of Polyolefin Fiber to Improve Interfacial Adhesion for Composite Applications
Names	Miss Kanoktip Krasui Miss Lalita Prathoomthong
Special Project Advisors	Assistant Professor Dr. Ittipol Jangchud Assistant Professor Dr. Taweechai Amornsakchai
Program	B.Sc. (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Academic Year	2001

Abstract

One of the most important drawbacks of polyolefin fibers, e.g., polyethylene (PE) and polypropylene (PP), is “inertness” of the fiber surfaces resulting in poor interfacial adhesion with other materials. This drawback limits the fiber usage and applications, such as polymer composites. This research project involved improving surface adhesion of the olefin fibers by grafting monomers, such as, acrylamide onto surfaces of the fibers in order to improve polarity and interfacial adhesion with other materials. Grafting reaction can be carried out in 2 steps. The first step is “hydroxylation” with potassium peroxydisulfate ($K_2S_2O_8$) and the second is “grafting” reaction of the monomer using ceric ion technique. Factors affecting grafting efficiency were studied including grafting time. Comparative studies of polyolefin fibers, i.e. undrawn and drawn fibers, before and after grafting were accomplished by using Atomic Force Microscopy (AFM), Attenuated Total Reflection-Infrared Spectroscopy (ATR-IR) and staining with methylene blue. It was found that polyolefin fibers can be grafted as shown in AFM, ATR-IR and staining results. Percent grafting can be increased by increasing grafting time. From single fiber pull-out test of polyolefin fibers / unsaturated polyester matrix, it was found that the interfacial shear strength (ISS) yielded an optimum at the fibers with grafting time of 10 mins. However, as the grafting time kept increasing, the ISS tended to decrease or be constant. This could be explained by chain entanglement or crosslinking effect of the polyacrylamide chains on the fiber surfaces. For the drawn fiber (10 draw ratio), the grafting was found to decrease due to the increase in % crystallinity and chain orientation. However, the ISSs of the drawn fibers were higher compared to those of the undrawn ones.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการพิเศษเรื่อง การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพอลิโพลีเอทิลีนเพื่อเพิ่มการยึดเกาะสำหรับงานคอมโพสิต สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการดำเนินการโครงการพิเศษนี้จากผู้มีพระคุณหลายๆ ท่านดังนี้

ผศ.ดร. อธิธิพล แจ่มชัด อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานด้วยดีตลอด

ผศ.ดร. ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานด้วยดีตลอด

ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร และ ดร. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ได้ตรวจสอบแก้ไขโครงการพิเศษนี้

คณาจารย์ในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ

เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก

นอกจากผู้มีรายนามข้างต้น ผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือให้กำลังใจในการทำงานเป็นอย่างสูง ที่ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กนกทิพย์ กราซุย

ลลิตา ประทุมทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	5
1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พอลิโอฟีน	6
- พอลิเอทิลีน	6
- พอลิพรอพิลีน	10
2.2 การเตรียมเส้นใย	11
2.3 การต่อกิ่งโดยวิธี Redox initiation และ วิธีทดสอบการต่อกิ่ง	15
- การทดสอบดึงเส้นใยออก (Fiber Pull-out Test)	18
- การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-IR	18
- การทดสอบการย้อมติดสี	20
- การตรวจวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเทคนิค AFM	20
2.4 คอมโพสิต	23
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	26
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การเตรียมมอนอเมอร์	27
3.4 การต่อกิ่ง	28
3.5 การทดสอบสมบัติต่างๆ	29
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	
4.1 การทดสอบการยึดติดสีหลังการต่อกิ่ง	30
4.2 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในขั้นการต่อกิ่งที่มีผลต่อ เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง	33
4.3 การตรวจสอบความแข็งแรงเหนือนที่อินเทอร์เฟสระหว่าง เส้นใยกับเมทริกซ์ด้วยเครื่อง Universal Tester ด้วยวิธีการ ทดสอบดึงเส้นใยออก (Fiber Pull-out Test)	35
4.4 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังการต่อกิ่งด้วยเทคนิค ATR-IR	36
4.5 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM	36
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวินิจฉัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
5.3 ตารางเวลาและแผนการดำเนินงาน	48
ภาคผนวก	49
เอกสารอ้างอิง	65

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเตรียมเส้นใยโดยวิธี Melt-spinning	12
รูปที่ 2.2 แสดงการเตรียมเส้นใยโดยวิธี Gel-spinning	13
รูปที่ 2.3 แผนการแสดงการดึงเส้นใยแบบ Hot Drawing Process	14
รูปที่ 2.4 แสดงผลของอัตราการดึงต่อค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัส	14
รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างที่ใช้ทดสอบการดึงเส้นใยออก	18
รูปที่ 2.6 แสดงการสะท้อนครั้งเดียวในผลึก ATR	19
รูปที่ 2.7 แสดงการสะท้อนภายในหลายครั้ง	19
รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงการทำงานของ AFM	21
รูปที่ 2.9 AFM Tip	21
รูปที่ 3.1 แสดงแท่งแก้วที่ใช้ในการพันเส้นใย	27
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีนก่อนและหลังการต่อกิ่ง ซึ่งทำการต่อกิ่ง เป็นเวลา 10, 20, 30 และ 60 นาที	31
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ก่อนและหลังการต่อกิ่ง ซึ่งทำการต่อกิ่ง เป็นเวลา 10, 20, 30 และ 60 นาที	31
รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิพรอพิลีนก่อนและหลังการต่อกิ่ง ซึ่งทำการต่อกิ่ง เป็นเวลา 10, 20, 30 และ 60 นาที	32
รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ก่อนและหลัง การต่อกิ่ง ซึ่งทำการต่อกิ่ง เป็นเวลา 10, 20, 30 และ 60 นาที	32
รูปที่ 4.5 แสดงผลของระยะเวลาที่ใช้ในขั้น Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า เส้นใยพอลิพรอพิลีน และเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า	34
รูปที่ 4.6 แสดงถึงการต่อกิ่งเมื่อใช้ระยะเวลานานขึ้น	35
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบการดึงเส้นใยออกของเส้นใยพอลิเอทิลีน และ เส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า	37
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการดึงเส้นใยออกของเส้นใยพอลิพรอพิลีน และ เส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า	38
รูปที่ 4.9 แสดง ATR สเปกตรัมของพอลิเอทิลีน	39
รูปที่ 4.10 แสดง ATR สเปกตรัมของพอลิเอทิลีนที่มีเวลาในขั้น Grafting 30 นาที	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง AFM ของเส้นใยพอลิเอทิลีนไม่ดิ่ง	41
รูปที่ 4.12 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง AFM ของเส้นใยพอลิเอทิลีนไม่ดิ่ง ที่มีเวลา ชั้น Grafting เป็นเวลา 10 นาที	42
รูปที่ 4.13 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง AFM ของเส้นใยพอลิเอทิลีนไม่ดิ่ง ที่มีเวลา ชั้น Grafting เป็นเวลา 20 นาที	43
รูปที่ 4.14 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง AFM ของเส้นใยพอลิเอทิลีนไม่ดิ่ง ที่มีเวลา ชั้น Grafting เป็นเวลา 30 นาที	44
รูปที่ 4.15 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง AFM ของเส้นใยพอลิเอทิลีนไม่ดิ่ง ที่มีเวลา ชั้น Grafting เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	45



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพบางประการของ LDPE และ HDPE	7
ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง (Ultra High Molecular Weight Polyethylene , UHMWPE) ของ THAI-ZEX 1600 J	8
ตารางที่ 5.1 แสดงเวลาและแผนดำเนินงาน	48



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง ความหนาแน่นต่ำ และน้ำหนักเบา เป็นที่ต้องการอย่างมากสำหรับการใช้งานด้านต่างๆ ทั้งทางด้านวิศวกรรม และอุตสาหกรรมต่างๆ วิธีหนึ่งที่ยอมรับในการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุ คือ การทำให้เป็นเส้นใย (Fibers) รวมทั้งการทำให้เป็นคอมโพสิต (Composites) การที่เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความแข็งแรงจำเพาะและมอดุลัสจำเพาะ (Specific strength and modulus) สูง โดยเฉพาะเส้นใยพอลิโอเลฟินชนิดแข็งแรงสูง (High-Strength Polyolefin Fibers) ซึ่งมีสมบัติเด่นคือ มีความแข็งแรงจำเพาะสูง เปรียบเสมือนการดึงยึด ณ จุดขาดสูง ความหนาแน่นต่ำจึงมีน้ำหนักเบา สามารถรับพลังงานได้มาก คูดน้ำได้น้อย และทนต่อสารเคมี อย่างไรก็ดี ยังมีข้อด้อยบางประการคือ มีอุณหภูมิการใช้งานต่ำ มีความแข็งแรงกดอัดต่ำ มีความเหนียว และความไม่มีขั้วของพื้นผิวทำให้ความสามารถในการยึดติดกับวัสดุอื่นไม่ดี จึงได้มีงานวิจัยที่มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างพื้นผิวของเส้นใยพอลิโอเลฟินกับวัสดุอื่น โดยทำการเพิ่มความมีขั้วให้กับพื้นผิวของเส้นใยพอลิโอเลฟิน แต่ยังคงรักษาสถิติฐานวิทยาของเส้นใยให้คงเดิม ซึ่งจะประโยชน์อย่างมากต่อเทคโนโลยีด้านการผลิตวัสดุคอมโพสิต

โครงการพิเศษนี้เสนอแนวทางการเพิ่มความมีขั้วและเพิ่มความสามารถในการยึดติดกับวัสดุอื่น ให้กับพื้นผิวของเส้นใยพอลิโอเลฟิน ได้แก่ เส้นใยพอลิเอทิลีน (Polyethylene , PE) และเส้นใยพอลิพรอพิลีน (Polypropylene , PP) โดยการต่อกิ่งมอนอเมอร์บางชนิด ได้แก่ พอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide) บนพื้นผิวของเส้นใยพอลิโอเลฟินด้วยวิธีรีดอกซ์ (Redox initiation) ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) ทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) บนพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ไดซัลเฟต (Potassium peroxodisulfate , $K_2S_2O_8$)

2. ขั้นการต่อกิ่ง (Grafting) ด้วยมอนอเมอร์อะคริลาไมด์ (Acrylamide monomer) โดยเทคนิคซีริกไอออน (Ceric ion technique)

ทั้งนี้จะศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการต่อกิ่งสูงสุดบนพื้นผิว ในงานวิจัยนี้จะใช้เส้นใยพอลิโอเลฟิน เช่น เส้นใยพอลิเอทิลีนหรือเส้นใยพอลิพรอพิลีน และเส้นใยพอลิเอทิลีนหรือเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ผ่านการดึง 10 เท่า เพื่อเปรียบเทียบผลของการต่อกิ่งที่มีผลต่อลักษณะ

ของพื้นผิวหลังจากการต่อกิ่งจะทำการศึกษาพื้นผิวเพื่อเป็นการยืนยันการต่อกิ่งและดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเช่น ทำการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังจากการต่อกิ่ง เป็นต้น

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เส้นใยพอลิโอลิฟิน เป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง มีความหนาแน่นต่ำทำให้มีน้ำหนักเบาทนต่อสารเคมี จึงนิยมใช้เป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตอย่าง ไรต์ติเส้นใยพอลิโอลิฟินที่ใช้ในการเตรียมวัสดุคอมโพสิตก็มีข้อจำกัดเรื่องสมบัติของพื้นผิวคือมีการยึดเกาะกับวัสดุอื่นๆ ได้ไม่ดี จึงได้มีผู้ทำการศึกษารับปรุง พื้นผิวของเส้นใยเพื่อให้เกิดการยึดติดได้ดีขึ้น

P. Chowdhury , M. Banerjee [1] ศึกษาผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์และ Ce(IV) เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา รวมทั้งค่า pH ที่มีต่อประสิทธิภาพของการต่อกิ่งมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate , MMA) ลงบนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol , PVA) ซึ่งใช้ซีริกแอมโมเนียมซัลเฟต (Ceric ammonium sulfate) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาพบว่าประสิทธิภาพของการต่อกิ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Ce (IV) เท่ากับ 3.16×10^{-3} โมลต่อลิตร และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงกว่าค่าดังกล่าว เนื่องจากการเกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่ของ PVA ทำให้เกิดปฏิกิริยาลิ้นสุดกับสายโซ่ด้วยตัวเอง และ ไอออนของ Ce^{4+} ที่มากเกินไปจะขัดขวางการแพร่ของมอนอเมอร์ที่จะเข้าไปเจอกับ Active site ของ PVA ส่วนผลของความเข้มข้นของ PVA และความเข้มข้นของ MMA จะให้ผลคล้ายกับ Ce (IV) นั่นคือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ PVA เท่ากับ 1.0 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของ PVA เท่ากับ 0.469 โมลต่อลิตร มีผลทำให้ประสิทธิภาพการต่อกิ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นและจะมีค่าลดลงถ้าเพิ่มความเข้มข้นของ PVA และความเข้มข้นของ MMA มากเกินค่าดังกล่าว ประสิทธิภาพการต่อกิ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการต่อกิ่งและจะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิเท่ากับ $45^{\circ}C$ และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากอัตราปฏิกิริยาลิ้นสุดของสายโซ่เร็วขึ้น และประสิทธิภาพการต่อกิ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการทำการต่อกิ่ง แต่เมื่อหลังจาก 4 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการต่อกิ่งจะลดลงเนื่องจากผลของความเข้มข้นของ PVA และ MMA ลดลง ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพการต่อกิ่งดีขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.188 โมลต่อลิตร

C.H. Bamford และ K.G. Al-lamee [2] ได้ศึกษาเพื่อปรับปรุงพื้นผิวของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์อะคริลาไมด์ (Acrylamide monomer) ซึ่งทำการทดลอง 2 ชั้นคือชั้นไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) ด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Peroxy compound) และชั้นการต่อกิ่ง (Grafting) โดยใช้เทคนิคซีริกไอออน (ceric ion) พบว่าแผ่นฟิล์มพอลิพรอพิลีนที่ไม่ได้ผ่านชั้นไฮดรอกซิเลชันไม่เกิดฟีกของเอไมด์ ซึ่งทำการศึกษาโดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) แสดงว่าชั้นการทำไฮดรอกซิเลชันมีผลอย่างมากต่อการต่อกิ่ง นอก

จากนี้ยังพบว่าเวลาที่ใช้ในชั้นไฮดรอกซีเลชันและชั้นการต่อกิ่ง และความเข้มข้นของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ ก็มีผลต่อการต่อกิ่งด้วย

Y. Chang Nho , J. Jin [3] ทำการศึกษาการต่อกิ่งโดยใช้การต่อกิ่งแบบ Radiation peroxide ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) จะถูกทำการต่อกิ่งด้วยด้วยกรดอะคริลิก (Acrylic acid) และกรดเมทาคริลิก (Methacrylic acid) ซึ่งจะมีสารปรับแต่ง (Additives) เช่นกรดและเกลือของโลหะ เป็นต้น พบว่าเมื่อเติมเกลือของไอออนประจุบวกและกรดในปริมาณที่เหมาะสมในสารละลายกรดอะคริลิกและกรดเมทาคริลิก มีผลส่งเสริมการต่อกิ่งแบบ Radiation grafting ในทางตรงข้ามเมื่อเติมกรดโดยไม่เติมเกลือของไอออนประจุบวกมีผลทำให้การต่อกิ่งลดลง แสดงว่า กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ในเกลือของโลหะเช่น Fe^{2+} เพื่อทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งใช้เป็นตัวริเริ่มในการต่อกิ่ง

H. Kubota , et.al. [4-6] มีความสนใจในการปรับปรุงพื้นผิวของฟิล์มพอลิเอทิลีนโดยวิธีการต่อกิ่งโดยการให้แสง (Photografting) พบว่าเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ ความหนาของฟิล์ม และระบบที่ทำปฏิกิริยา ถ้าทำในระบบที่ใช้ความดัน (Vapor phase) มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งลดลงเนื่องจากที่ความดันสูงๆ จะไม่สามารถทำให้มอนอเมอร์กลายเป็นไอได้มากพอแต่ถ้าในระบบมีน้ำอยู่ด้วย มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ H. Kubota ยังศึกษาผลของสภาวะการพอลิเมอไรเซชันที่มีต่อลักษณะพื้นผิวอีกด้วย พบว่าลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างการต่อกิ่งที่ใช้การริเริ่มด้วยความร้อน (Thermal initiation) ในระบบเฟสของเหลวจะมีลักษณะราบเรียบ โดยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ส่วนที่ใช้ Photografting ตัวอย่างที่ต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์พวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic monomers) ได้พื้นผิวที่เป็นลาย (Grain) ซึ่งสายโซ่กิ่งที่ต้องจะถูกจำกัดเพียงพื้นผิวเท่านั้น แต่ถ้าใช้มอนอเมอร์พวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic monomer) พื้นผิวที่ได้จะมีลักษณะราบเรียบ ส่วนในระบบที่มีความดันจะได้ลักษณะพื้นผิวเรียบ โดยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดมอนอเมอร์ และสายโซ่กิ่งที่ต้องจะกระจายตัวอยู่ในอย่างสม่ำเสมอตลอดความหนาของแผ่นฟิล์ม และในระบบที่มีความดันซึ่งมีน้ำปนอยู่ด้วย ถ้าใช้มอนอเมอร์ที่ชอบน้ำจะได้พื้นผิวเป็นลายโดยที่สายโซ่กิ่งที่ต้องจะถูกจำกัดที่พื้นผิวเช่นเดียวกับในระบบเฟสของเหลว แสดงให้เห็นว่าลักษณะพื้นผิวแบบลายจะเกิดขึ้นเมื่อใช้มอนอเมอร์ที่ชอบน้ำและทำในระบบเฟสของเหลวหรือระบบที่มีน้ำเกี่ยวข้องด้วย

นฤมล พระยาน้อย และ อรอนงค์ ทวีรทรงกุล [10] ทำการปรับปรุงสมบัติความมีขี้และ การยึดเกาะกับวัสดุอื่น โดยทำการต่อกิ่งพอลิอะคริลาไมด์บนพื้นผิวเส้นใยพอลิเอทิลีน แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกเป็นปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชัน โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ ไคซัลเฟตขั้นที่สองเป็นการต่อกิ่งอะคริลาไมด์โดยใช้เทคนิคซิริก ไอออนพบว่าตัวอย่างพอลิเอทิลีนเกิดการต่อกิ่งจริง และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยการเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง สถาบันวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเกิดหมู่เอไมด์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) และการดูดซับสีของเมทิลีนบลู นอกจากนี้ยังพบว่าการต่อกิ่งบนเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีการดึง 20 เท่า การต่อกิ่งจะลดลงเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่และปริมาณความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้น

นิภาพรรณ เลี้ยวเจริญ [11] ศึกษาการปรับปรุงผิวของพอลิเอทิลีนโดยการกราฟท์แบบ 2 ขั้นตอน ในขั้นแรกทำการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวของฟิล์มพอลิเอทิลีนด้วยปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน โดยการสลายตัวของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตทั้งในระบบการสลายตัวแบบปกติ และระบบที่มีการเร่งการสลายตัว เอทานอลและเอทิลอะซิเตตใช้ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการสลายตัวของระบบ ในขั้นที่สองนำฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ผ่านไฮดรอกซิเลชันไปทำการกราฟท์ด้วยมอนอเมอร์โดยเทคนิคซีริกไอออน พบว่าในระบบที่มีการสลายตัวแบบปกติปริมาณการกราฟท์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการสลายตัวของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ขณะที่ในระบบที่มีการเร่งการสลายตัวจะให้ปริมาณการกราฟท์ที่ค่อนข้างน้อย ซึ่งสามารถยืนยันปฏิกิริยาการกราฟท์ได้จากการชั่งน้ำหนักและเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ฟิล์มพอลิเอทิลีนมีสมบัติการเปียกน้ำและการยึดติดดีขึ้นเมื่อผ่านปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันทั้งในระบบปกติและเร่งการสลายตัว และสมบัติเหล่านี้จะดีขึ้นเมื่อพอลิเอทิลีนผ่านการกราฟท์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำและการยึดติดด้วยเทปกาว พอลิเอทิลีนที่ผ่านปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันในระบบที่มีการเร่งการสลายตัวจะเพิ่มสมบัติการเปียกน้ำและการยึดติดได้มากกว่าในระบบการสลายตัวปกติ ลักษณะผิวของพอลิเอทิลีนหลังการกราฟท์แบบ 2 ขั้นตอนศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าผิวพอลิเอทิลีนไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันทั้งในระบบปกติและการเร่งการสลายตัว เมื่อพอลิเอทิลีนผ่านการกราฟท์พบว่าผิวไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีปริมาณการกราฟท์ที่น้อย แต่มีลักษณะเป็นเม็ดเมื่อมีปริมาณการกราฟท์ที่มาก นอกจากนี้ยังพบว่าเทคนิคนี้สามารถใช้ได้ทั้งมอนอเมอร์ที่ละลายน้ำและมอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เพื่อศึกษาและทำการปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวเส้นใยพอลิโอะลิตีฟีน โดยการทำการต่อกิ่งมอนอเมอร์อะคริลาไมด์ (Acrylamide monomer) ซึ่งเป็นการเพิ่มความมีขั้วให้กับพื้นผิวเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดกับวัสดุอื่นๆและเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการผลิตคอมโพสิต รวมทั้งการประยุกต์การใช้งานด้านคอมโพสิตต่างๆด้วย

1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

โครงการพิเศษที่ทำการศึกษามีขอบเขตดังนี้

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงหลังการต่อกิ่งของเส้นใยพอลิโอะลิตีฟีนคือเส้นใยพอลิเอทิลีนและเส้นใยพอลิพรอพิลีน
2. มอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกิ่งคืออะคริลาไมด์ ซึ่งทำการต่อกิ่งแบบ 2 ขั้นตอนได้แก่ขั้นไฮดรอกซิเลชันและขั้นการต่อกิ่ง
3. เรซินที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบคือ เส้นใยออกคือ Unsaturated polyester resin

ปัจจัยต่างๆ ที่จะศึกษา คือ

1. ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งที่มีต่อแนวโน้มของการต่อกิ่งและการยึดเกาะกับเมตริกซ์
2. ผลของการดึงเส้นใยที่มีต่อการต่อกิ่งและผลของชนิดเส้นใยพอลิโอะลิตีฟีน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของพอลิโอะลิตีฟีนให้มีการยึดติดกับวัสดุอื่นได้ดีขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการผลิตคอมโพสิต รวมทั้งการประยุกต์การใช้งานด้านคอมโพสิตต่างๆ
2. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปรับปรุงเส้นใยชนิดอื่นๆ เพื่อเป็นประโยชน์ต่องานด้านการผลิตคอมโพสิตอื่นๆ

บทที่ 2

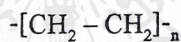
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิโอเลฟิน (Polyolefin) [9,10]

พอลิโอเลฟิน หมายถึง พอลิเมอร์ที่ได้จากอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่อยู่ 1 คู่ ใน 1 โมเลกุล พอลิโอเลฟิน ที่พบในทางการค้าปัจจุบัน ได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene) และ พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) เป็นต้น

1. พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)

เป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งโดยไม่เสียสภาพ PE มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ



พอลิเอทิลีน เป็น พอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ดี และราคาถูก ตั้งแต่ราคาที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนมอนอเมอร์ มีตั้งแต่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีลักษณะเป็นไข จนถึง น้ำหนักโมเลกุลสูง มาตรฐาน ASTM แบ่งพอลิเอทิลีนเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE)
3. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

พอลิเอทิลีนแบ่งตามความหนาแน่นได้ดังนี้

1. LDPE โครงสร้างมีโซกิ่งสาขายาว มีความหนาแน่นต่ำ 0.910 - 0.925 g/cm³
2. MDPE มีความหนาแน่นปานกลาง 0.926 - 0.940 g/cm³
3. HDPE ทำให้มีโซกิ่งสาขาน้อย มีความหนาแน่นสูง 0.941 - 0.965 g/cm³
4. LLDPE มีโซกิ่ง แต่น้อยและสั้น ๆ ความหนาแน่น 0.916 - 0.930 g/cm³
5. UHMWPE (Ultra High Molecular Weight PE) น้ำหนักโมเลกุลสูงมากจึงมักเกิดลักษณะเกาะเกี่ยวพัน

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพบางประการของ LDPE และ HDPE [9]

คุณสมบัติ Properties	หน่วย Unit	LDPE	HDPE
ความเป็นผลึก Crystallinity	%	50-70	80-95
อุณหภูมิหลอมเหลว Melt temperature	°C	98-120	127-135
ความแข็งแรงดึง Tensile strength	MPa	4.1-16	21-38
มอดุลัสดึง Tensile modulus	GPa	0.10-0.26	0.41-1.24
ความยืดที่จุดขาด Elongation-to-break	%	90-800	20-130
ความแข็งแรงกระแทก Izod impact strength	J/m	No break	27-1,068
อุณหภูมิการเสียสภาพทางความร้อน Heat-deflection temperature	°C	38-49	60-88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง (Ultra High Molecular Weight Polyethylene , UHMWPE) ของ THAI-ZEX 1600 J [9]

คุณสมบัติ properties	หน่วย Unit	วิธีทดสอบ Test method	ค่าที่ได้จากการทดสอบ Typical value
ครรชนีการไหล Melt flow index	g/10min	ASTM D 1238	18
ความหนาแน่น Density	g/cm ³	ASTM D 1505	0.958
ความแข็งแรงดึงยืด Tensile strength at yield	kg/cm ²	ASTM D 638	280
ความแข็งแรงดึงขาด Tensile strength at break	kg/cm ²	ASTM D 638	200
ความยืดที่จุดขาด Elongation at break	%	ASTM D 638	>500
ความสามารถในการทรงรูป Stiffness	kg/cm	ASTM D 638	10,000
ความต้านแรงกระแทก Izod impact strength	kg.cm/cm	ASTM D 256	2
ความแข็ง Hardness	D Scale	ASTM D 2240	65
ความต้านแรงเค้นจากสภาพแวดล้อม Environmental stress cracking resistance	hour	ASTM D 1693	2
จุดหลอมเหลว Melting point	°C	ASTM D 2117	131
จุดอ่อนตัว Softening point	°C	ASTM D 1525	122

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติโดยทั่วไปของพอลิเอทิลีน

1. มีอุณหภูมิอ่อนตัวประมาณ 80-120 °C
2. มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) -130 ถึง 60 °C ทำให้มีลักษณะทั้งยืดหยุ่นและแข็งที่สภาวะปกติ
3. มีอุณหภูมิหลอมตัวผลึก (Tm) 108 ถึง 132 °C
4. มีความต้านทานตัวทำละลาย เนื่องจากมีความเป็นผลึกสูง ณ อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 °C ขึ้นไป มันจะเริ่มพอง และละลายได้ ในตัวทำละลายพวก Toluene , Xylene และ Trichloroethylene เป็นต้น
5. มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า, ต้านทานความชื้น และ ทนทานต่อสารเคมี
6. ไม่ทนสภาพดินฟ้าอากาศ
7. แฉกหัก ยากที่จะเชื่อมต่อ
8. ติดไฟได้
9. พวกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมาก แต่จะขุ่นขึ้นเมื่อความหนาแน่นสูงขึ้น
10. ราคาสูง

สมบัติของเส้นใยพอลิเอทิลีน

1. มีความแข็งแรงดึงจำเพาะสูงเมื่อเทียบกับเส้นใยอื่นๆ
2. ทนต่อสารเคมี
3. น้ำหนักเบา ความหนาแน่นจำเพาะต่ำ
4. ค่าการดูดซึมน้ำต่ำ
5. มีสมบัติทนแรงกระแทกสูง
6. มี Vibration damping สูง ทำให้มีสมบัติการรับแรงและกระจายแรงดี
7. ทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ประโยชน์และการนำไปใช้งานของพอลิเอทิลีน

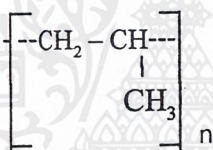
1. ใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในคอมโพสิต เนื่องจากมีความแข็งแรงจำเพาะสูง น้ำหนักเบา และมีสมบัติการรับแรงที่ดี
2. ใช้ทำอุปกรณ์เครื่องบิน
3. ใช้ทำอุปกรณ์รถยนต์
4. ใช้ทำอุปกรณ์ป้องกัน เช่น หมวกกันน็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้ในอุตสาหกรรมทำท่อ, รางน้ำ และ เส้นใย
6. ใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า
7. ใช้ทำอุปกรณ์ค้ำน้ำ เบ็ดตกปลา
8. ใช้ทางการแพทย์ เช่น ทำหลอดเลือดเทียม เอ็นเทียม โด๊สผ่าตัด
9. ใช้ทางด้านการทหาร เช่น สลักถูกระเบิด ที่เก็บชีพनावุธ
10. ใช้ทำอุปกรณ์กีฬา
11. ใช้ทำแผ่นฟิล์ม
12. ใช้ทำขวด ภาชนะบรรจุอาหาร
13. ใช้ทำวัสดุเคลือบผิว
14. ใช้ทำของเล่นเด็ก เครื่องใช้ในบ้าน

2. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene , PP)

เป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ



สมบัติโดยทั่วไปของพอลิพรอพิลีน

1. น้ำหนักเบา
2. มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) -20 °C
3. มีอุณหภูมิหลอมตัวผลึก (Tm) 164 ถึง 170 °C
4. มีความหนาแน่น 0.9 - 0.91 g/cm³
5. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ
6. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
7. ทนต่อความชื้น , ทนต่อแรงเค้น และ ทนทานต่อสารเคมี
8. เลื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป
9. มีความโค้งงอดีเยี่ยม
10. สลายตัวต่อรังสีอัลตราไวโอเลต
11. ไม่ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ
12. ติดไฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายใดๆ ทั้งสิ้น ณ อุณหภูมิห้อง แต่ละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C
14. ยากต่อการเชื่อมต่อ

ประโยชน์และการนำไปใช้งานของพอลิพรอพิลีน

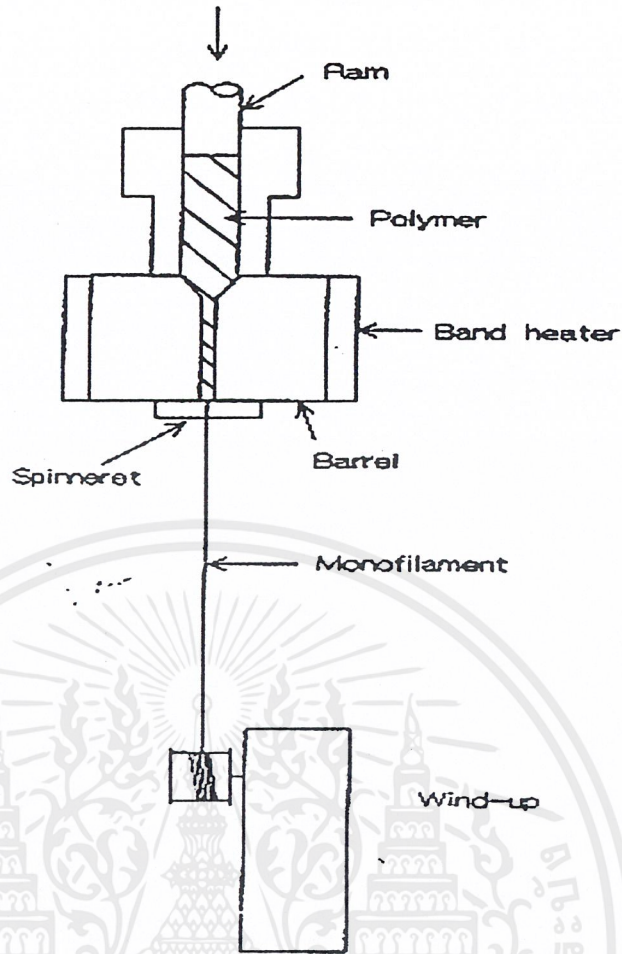
1. ใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในคอมโพสิต
2. ใช้ทำวัสดุของใช้ในครัว
3. ใช้ทำแผ่นฟิล์ม สำหรับห่อ
4. ใช้ทำถุงพลาสติกใส่ของร้อน
5. ใช้ทำเชือกปอพลาสติก
6. ใช้ทำกล่องเบตเตอร์
7. ใช้ทำกระเป๋
8. ใช้ทำท่อน้ำและเส้นใย
9. ใช้ทำถังขยะ
10. ใช้ทำชิ้นส่วนตู้เย็น
11. ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องบิน

2.2 การเตรียมเส้นใย [10]

เส้นใยนิยมใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในคอมโพสิต เส้นใยพอลิโอเลฟิน เช่น PE และ PP เป็นต้น เป็นเส้นใยหนึ่งที่นิยมนำมาทำเส้นใยเสริมแรง เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง มีน้ำหนักเบา

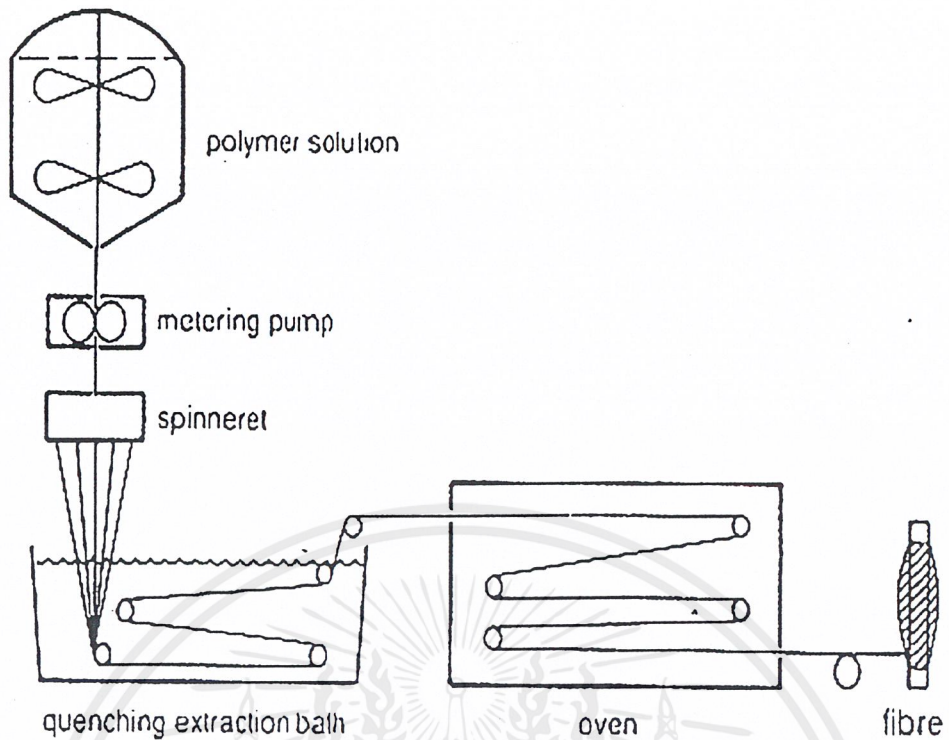
2.2.1 การเตรียมเส้นใย ทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. Melt-spinning เป็นการเตรียมเส้นใยโดยทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวแล้วไหลผ่านหัวฉีด หรือ สปินเนอร์เรต (Spinnerate) โดยอาศัยน้ำหนักกด วิธีนี้ใช้กับพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมาก



รูปที่ 2.1 แสดงการเตรียมเส้นใยโดยวิธี Melt-spinning [10]

2. Gel spinning ใช้ตัวทำละลายทำให้เกิดพอลิเมอร์มีสถานะคล้ายเจล จากนั้นทำการดึงผ่านหัวฉีดแล้วนำเข้าไปอบเพื่อระเหยตัวทำละลายออก เส้นใยที่ได้จากวิธีนี้จะมีมอดูลัสสูง ใช้กับพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก



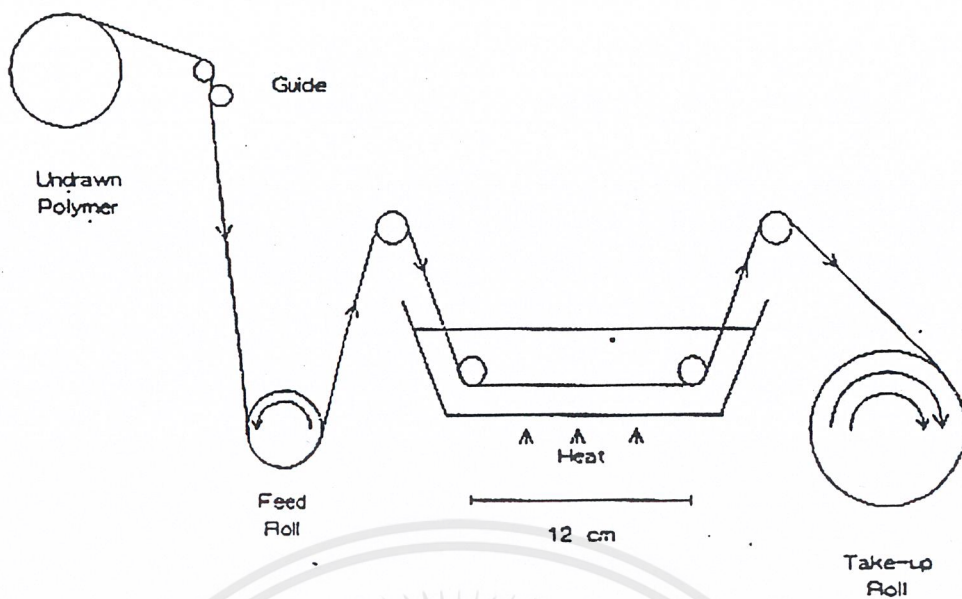
รูปที่ 2.2 แสดงการเตรียมเส้นใยโดยวิธี Gel-spinning [10]

2.2.2 การดึงเส้นใย

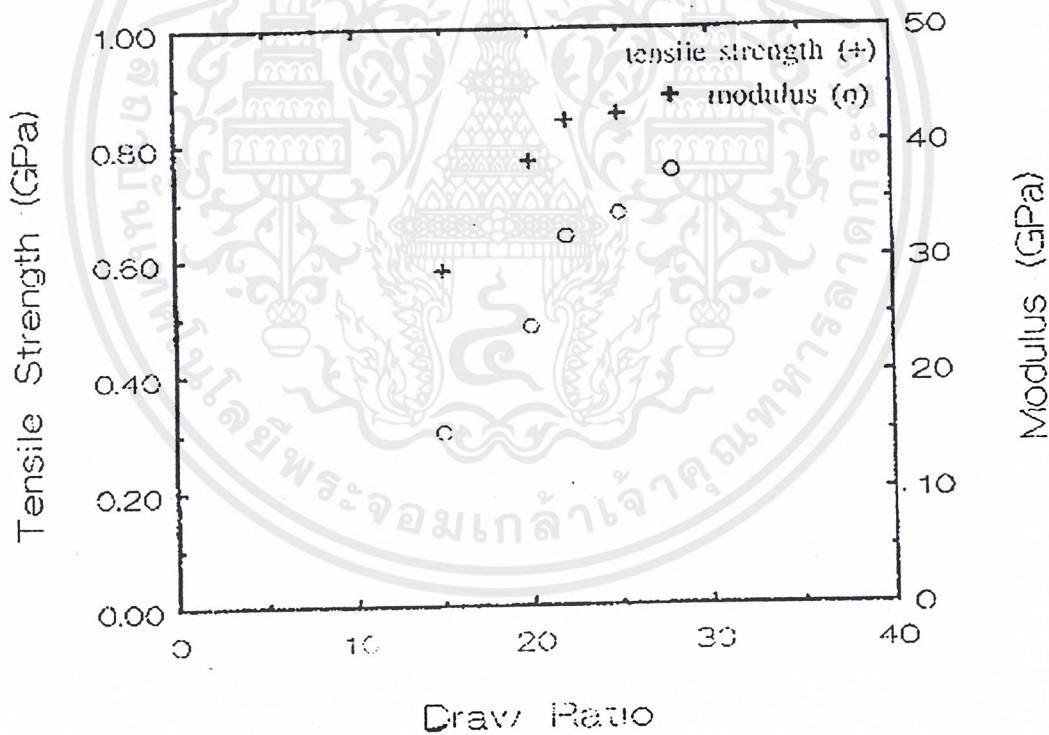
การดึงเส้นใยทำให้ผลึกและสายโซ่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกับเส้นใยมากขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น ทำได้โดย

Hot Drawing Process

โดยนำเส้นใยมาดึงผ่านอ่างน้ำร้อน ผ่านลูกกลิ้ง 2 ลูกที่หมุนด้วยอัตราเร็วต่างกัน โดยลูกกลิ้งลูกหลังหมุนเร็วกว่าลูกกลิ้งลูกแรก 10 เท่า อัตราการดึง (Draw ratio) เป็นอัตราส่วนของความยาวเส้นใยหลังการดึงส่วนความยาวเส้นใยเริ่มต้น กำหนดโดยอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งทั้งสอง



รูปที่ 2.3 แผนการแสดงการดึงเส้นใยแบบ Hot Drawing Process [10]



รูปที่ 2.4 แสดงผลของอัตราการดึงต่อค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัส [10]

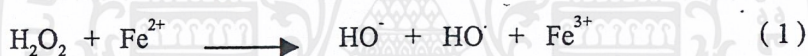
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การตอ่กั้งโดยวิธี Redox Initiation [10]

วิธีการตอ่กั้งโดยวิธี Redox initiation เป็นวิธีการตอ่กั้งที่พื้นผิวที่ง่ายและประหยัด เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ยุ่งยาก ปฏิกิริยา Oxidation – Reduction ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radicals) ซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน การริเริ่มแบบนี้เรียกว่า Redox initiation , Redox catalysis หรือ Redox activation ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถเกิดอนุมูลอิสระได้ที่ช่วงอุณหภูมิกว้าง สามารถริเริ่มให้เกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิ 0 ถึง 50 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่า โดยวิธีนี้สามารถเลือกอุณหภูมิพอลิเมอไรเซชันได้อย่างอิสระกว่าริเริ่มด้วยความร้อน ใช้ได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ระบบ Redox บางระบบจะเกิดการโยกย้ายอิเล็กตรอนโดยตรงระหว่าง Reductant และ Oxidant ในขณะที่บางระบบจะเกิดการสร้างสารมัธยันต์ (Intermediate) ของสารประกอบเชิงซ้อน ระหว่าง Reductant – Oxidant และในบางกรณีเกิด สารประกอบเชิงซ้อนที่แลกเปลี่ยนประจุ (Charge-transfer complex)

ชนิดของ Redox Initiators

1. Peroxide ผสมอยู่กับตัวริเริ่ม เป็นแหล่งของอนุมูลอิสระ เช่น ไอออนของเหล็ก (Fe^{2+}) โครเมียม (Cr^{2+}) , วานาเดียม (V^{2+}) , ทิทาเนียม (Ti^{3+}) , โคบอลต์ (Co^{2+}) และ ทองแดง (Cu^{2+}) เป็นต้น ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยาของ Hydrogen peroxide กับ Ferrous ion



2. ตัวริเริ่มที่ผสมระหว่างตัวริเริ่มอินทรีย์และตัวออกซิไดซ์ ดังตัวอย่าง



3. Organic-Inorganic redox pairs ตัวอย่างเช่น การทำ Oxidation ของ แอลกอฮอล์โดย Ce^{4+}



4. ระบบที่เกิดการริเริ่มโดยตัวมอนอเมอร์เอง

การตอ่กั้งด้วยวิธี Redox Initiation ในการทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

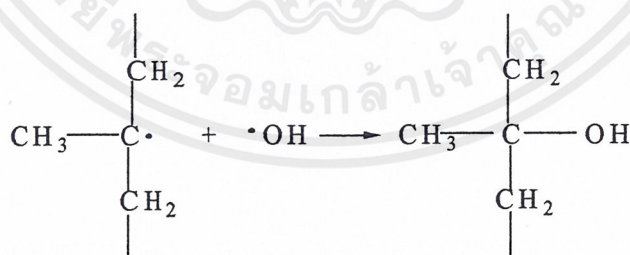
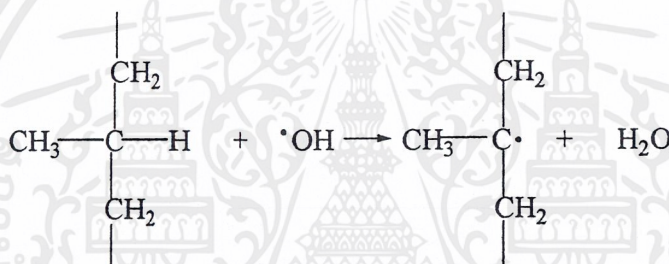
1. ขั้น Hydroxylation โดยใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์ อาจเป็น Peroxydisulfate หรือ Peroxymonosulfate
2. ขั้น การตอ่กั้งของ Vinyl monomer โดยใช้ Ceric ion

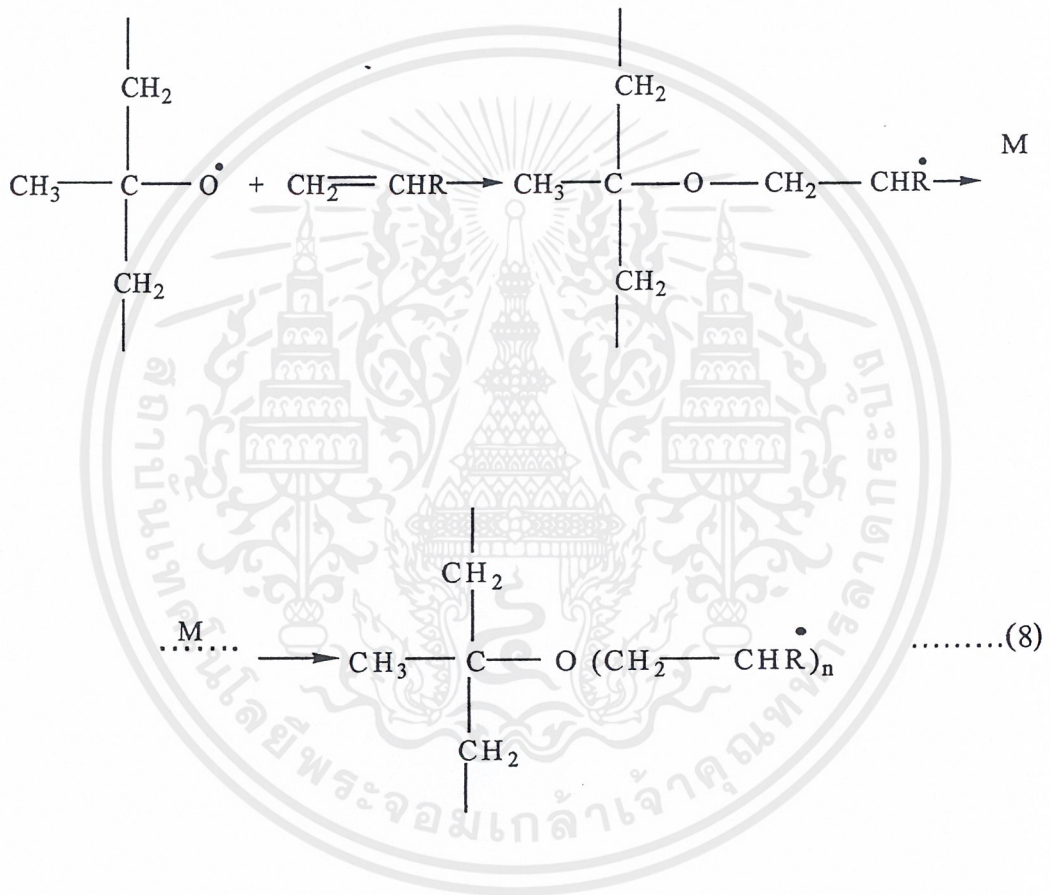
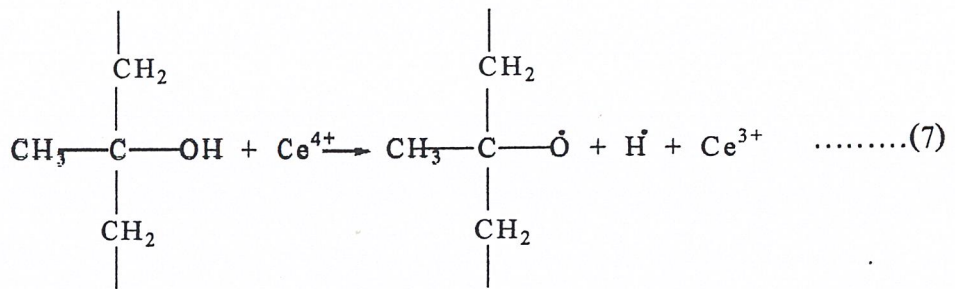
Peroxydisulfate หรือ Peroxymonosulfate เป็นแหล่งของอนุมูลอิสระอยู่ในสารละลาย การสลายตัวด้วยความร้อนของ Potassium peroxydisulfate ในสารละลาย pH 8 อุณหภูมิ 80 °C กลไกการสลายตัวจะเกิด ดังนี้



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ที่พอลิเมอร์ถูกดิงไฮโดรเจน โดยไฮดรอกซี ตามด้วยการรวมของ Macroradical กับ Second hydroxy radicals พอลิเมอร์ที่เป็น Hydroxylate ที่เกิดขึ้นจะถูกต่อกิ่ง โดย Ceric ion

ดังนั้น กระบวนการนี้จะเกิดการต่อกิ่ง 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ ขั้น Hydroxylation และ Grafting ดังปฏิกิริยาที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

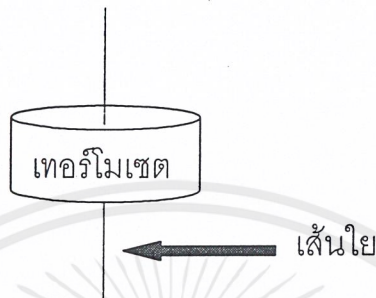




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการต่อกิ่งด้วยวิธี Redox Initiation แล้ว จะทราบได้อย่างไรว่าเส้นใยเกิดการต่อกิ่ง จะมีวิธีทดสอบได้ดังนี้

1. การทดสอบดึงเส้นใยออก (Fiber Pull-out Test)



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างที่ใช้ทดสอบการดึงเส้นใยออก

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะเป็นดังรูปที่ 2.5 โดยเส้นใยจะถูกฝังอยู่ในเมตริกซ์ที่ต้องการทดสอบความแข็งแรงเฉือนที่อินเตอร์เฟส โดยเมตริกซ์ที่ใช้จะเป็นเทอร์โมเซต อาทิเช่น Epoxy resin, Unsaturated polyester resin และ Acrylic acid resin เป็นต้น ซึ่งแรงดึงเส้นใยให้หลุดออกจากเมตริกซ์จะสัมพันธ์กับความแข็งแรงเฉือนที่อินเตอร์เฟส โดยค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบการยึดเกาะนี้สามารถคำนวณได้ดังนี้ [9]

$$\text{Interfacial shear strength, } \tau = \frac{\text{Maximum load}}{\text{Original interfacial area}}$$

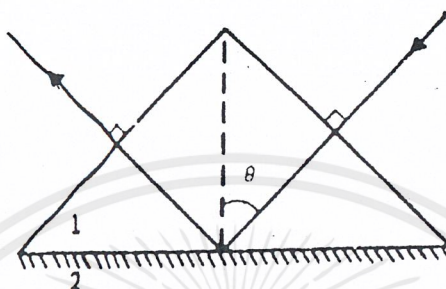
$$\text{Original interfacial area} = 2 \pi r l ; r : \text{radius of fiber} \\ l : \text{thickness of resin}$$

2. ATR (Attenuated Total Reflection) [12]

เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งคล้ายกับ FTIR แต่แตกต่างกันที่หลักการและวิธีการเตรียมตัวอย่าง

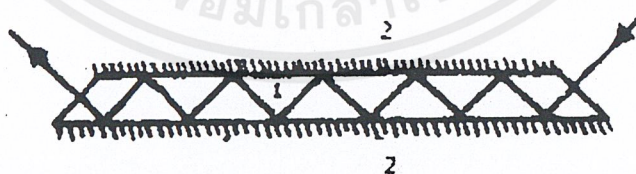
เมื่อลำแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูงกว่า (คือมีดัชนีหักเหสูงกว่า) ไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า (คือมีดัชนีหักเหต่ำกว่า) และมุมตกกระทบโตกว่ามุมวิกฤต (Critical angle) ลำแสงนั้นจะไม่หักเหแต่จะสะท้อนกลับหมด ที่ผิวต่อระหว่างตัวกลางทั้งสองนั้น ในกรณีนี้ การสะท้อนของลำแสงจะต่างจากการสะท้อนที่ผิวโลหะ กล่าวคือ ลำแสงจะทะลุผิวต่อระหว่างตัวกลางและเข้าไปในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเป็นระยะที่พอๆ กับความยาวคลื่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแสงนั้น ระยะทางนี้จะขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหของตัวกลางและมุมตกกระทบของลำแสงต่อตัวกลางนั้นด้วย จากนั้นลำแสงจะสะท้อนกลับและเคลื่อนที่ต่อไป เมื่อลำแสงทะลุเข้าไปในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่ำ หากตัวกลางนั้นดูดกลืนลำแสงได้ ก็จะดูดลำแสงไว้ส่วนหนึ่ง เนื่องจากลำแสงที่สะท้อนออกมามีความเข้มลดลงการสะท้อนกลับหมดนี้จึงเรียกว่า Attenuated Total Reflection (ATR)



รูปที่ 2.6 การสะท้อนครั้งเดียวในผลึก ATR

ในรูปที่ 2.6 ลำรังสีตกกระทบในระนาบตั้งฉากกับตัวกลาง 1 ซึ่งมีดัชนีหักเหสูงกว่า จะสะท้อนกลับที่ผิวต่อกับตัวกลาง 2 เนื่องจากดัชนีหักเหที่ต่างกันและมุมตกกระทบ (θ) บนตัวกลาง 2 มีค่ามากกว่ามุมวิกฤต ลำรังสีจึงสะท้อนขึ้นและออกจากตัวกลาง 1 โดยทำมุมฉากที่ผิว เนื่องจากลำรังสีทะลุเข้าไปในเนื้อตัวกลาง 2 เป็นระยะทางพอๆ กับความยาวคลื่นของรังสี IR ระยะทางที่ลำแสงผ่านตัวกลางนี้จึงสั้น (เพียงไม่กี่ไมโครเมตร) การดูดกลืนลำรังสีจึงเกิดขึ้นได้น้อย แต่สามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยเพิ่มจำนวนการสะท้อน ตามรูปที่ 2.7 และเรียกว่า การสะท้อนภายในหลายครั้ง (Multiple Internal Reflection, MIR)



รูปที่ 2.7 การสะท้อนภายในหลายครั้ง

ตามรูปนี้แสดงถึงเส้นทางของลำรังสีลำเดียวเท่านั้นที่ผ่านตัวกลางที่ 1 จำนวนการสะท้อนนี้เปลี่ยนแปลงได้โดยเปลี่ยนมุมตกกระทบ

เป็นที่น่าสังเกตว่าทั้งในเทคนิค ATR และเทคนิคธรรมดา (ซึ่งเรียกว่า Transmission technique) ลำรังสีจากสารตัวอย่างจะมีความเข้มน้อยกว่าลำรังสีตกกระทบเนื่องจากสารตัวอย่างดูดกลืนรังสี แต่ในกรณีแรกเป็นการดูดกลืนที่เกิดขึ้นเมื่อการสะท้อนของลำรังสี ส่วนในกรณีหลังนั้น ไม่มีปรากฏการณ์สะท้อนเกิดขึ้นแต่อย่างใด สเปคตรัมที่ได้จากทั้งสองเทคนิคนี้ อาจมีบางส่วนที่คล้ายคลึง แต่ลักษณะ โดยทั่วไปแล้วจะแตกต่างกัน

วัสดุที่ใช้ทำหน้าต่างในเทคนิค ATR (ตัวกลางที่ 1) ควรมีสมบัติดังนี้คือ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง ไม่ดูดกลืนแสงเลขทงงานได้ดีพอสมควร ฝนได้ง่าย และอัตราดัชนีหักเหของวัสดุนี้ต่อดัชนีหักเหของสารตัวอย่างจะต้องมีค่ามากกว่า 1 มิฉะนั้นก็จะไม่มีการสะท้อนเลย แต่ก็ไม่ควรมีค่าสูงเกินไป เพราะการลดความเข้มของลำรังสี (Attenuation) สารที่ใช้เป็นวัสดุ ATR คือ ZnSe

ATR มีข้อดีเหนือกว่าเทคนิคธรรมดาที่เรียกว่า Transmission technique โดยเฉพาะวัสดุทึบแสง จึงใช้ได้กับพอลิเมอร์ วัสดุเคลือบ สิ่งทอ สีทา วัสดุเหลวและคล้ายแข็งเปื่อยก หน้งเนื้อเยื่อ และวัสดุอื่นๆ อีกหลายชนิด นอกจากนี้ การเตรียมสารเพื่อวัดสเปคตรัมก็นับว่าง่ายกว่าของเทคนิคธรรมดา วัสดุใดที่ติดกับแผ่น ATR ได้ดีก็นับว่าใช้ได้ ถ้าแบนด์ที่ได้มีความเข้มสูงเกินไป ก็อาจลดพื้นที่ที่สารตัวอย่างติดกับแผ่น ATR เพื่อให้ได้สเปคตรัมที่ดีขึ้น สำหรับวัสดุที่เป็นผงและหยาบจะให้ผลไม่ดี เนื่องจากติดกับแผ่น ATR ได้ไม่ดี

3. การทดสอบการย้อมติดสี

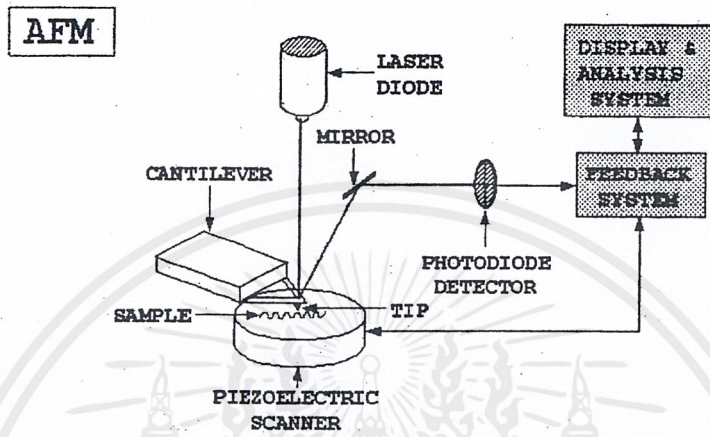
โดยการนำเส้นใยที่ตอกลงและเส้นใยที่ยังไม่เกิดการตอกลง มาแช่ในสารละลาย Methylene blue ซึ่งถ้าลักษณะของสีเปลี่ยนไป แสดงให้เห็นว่าเกิดการตอกลง

4. AFM (Atomic Force Microscopy) [7]

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาพื้นผิวของแข็งได้ทุกประเภททั้งที่นำไฟฟ้าและไม่นำไฟฟ้า เป็นเทคนิคที่มีกำลังขยายสูงมาก ใช้แท่งปลายแหลมวัด “แรง” ที่กระทำระหว่าง Tip กับ ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างจะถูกวางอยู่บนแผ่นวางตัวอย่าง (Sample holder disk) จัควางอยู่บน Scanner ซึ่งเป็นวัสดุพิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) สามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อให้กระแสไฟฟ้า ตัวอย่างจะถูกสแกนโดย Tip มีลักษณะคล้ายปิรามิด ทำจาก Silicon nitride (Si_3N_4) ปลายแหลมติดอยู่ที่ Cantilever เมื่อเริ่มทำการตรวจวิเคราะห์ Tip จะถูกวางบนตัวอย่างด้วยแรงค่าหนึ่งในช่วงนาโนนิวตัน (10^{-9}N) Scanner จะทำให้ตัวอย่างเคลื่อนที่ตามแนว x-y ทำให้ Tip สแกนบนผิวตัวอย่างและเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ตามลักษณะของพื้นผิว ซึ่งสามารถบันทึกได้โดยใช้ลำแสงเลเซอร์ ต่อกที่ด้านหลัง Cantilever แล้วสะท้อนกลับไปที่กระจก และ Photodiode detector ตามลำดับ ทำให้เกิดสัญญาณขึ้นเมื่อ Tip เคลื่อนที่ขึ้นลง เป็นผลให้สัญญาณที่ detector เปลี่ยนไป เมื่อทำการบันทึกค่าแล้ว เครื่องจะทำการชดเชยสัญญาณ (Feedback loop) ทำให้ Scanner เคลื่อนที่ขึ้น-ลงเป็นผลให้แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทำระหว่าง Tip กับตัวอย่างมีค่าคงที่ จากข้อมูล x , y จาก Scanner และ z จากสัญญาณที่ Detector แต่ละจุด จะทำให้สามารถสร้างรูปสองมิติ และสามมิติของพื้นผิวตัวอย่างได้



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงการทำงานของ AFM [7]



รูปที่ 2.7 AFM Tip [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของ AFM

- เป็นการวิเคราะห์ตรวจสอบพื้นผิวในช่วงกว้าง มีกำลังขยายสูงถึงสูงมาก ในช่วง 100 ไมครอน ถึง อังสตรอม สามารถเห็นอะตอมบนพื้นผิวได้
- สามารถใช้ได้กับตัวอย่างทุกชนิดทั้งนำไฟฟ้าและไม่นำไฟฟ้า ทำให้มีการประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น พอลิเมอร์, โลหะ, เซรามิกส์, วัสดุกึ่งตัวนำ, เซลล์มีชีวิต ฯลฯ
- การเตรียมตัวอย่างง่าย ไม่ต้องการการเตรียมตัวอย่างพิเศษเหมือน SEM หรือ TEM เช่น การเคลือบผิว (Coating) การตัดบาง (Microtoming) ฯลฯ เครื่องบางรุ่นสามารถใช้กับตัวอย่างขนาดใหญ่ หรือ วางเครื่อง AFM ในสายการผลิต
- เนื่องจากใช้แรงในการตรวจสอบน้อย (ในช่วงนาโนนิวตัน) จัดเป็นการตรวจวิเคราะห์พื้นผิวแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-destructive testing)
- สามารถใช้ตรวจวิเคราะห์พื้นผิวดังกล่าวในหลายสถานะ เช่น ในน้ำ ของเหลว ก๊าซ ฯลฯ เป็นประโยชน์กับตัวอย่างที่ไม่เสถียรในอากาศ เช่น เซลล์, แบคทีเรีย, DNA ฯลฯ
- ให้ข้อมูลดิจิทัล (Digitized data) หลายประเภท และง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น ข้อมูลพื้นผิวสองมิติและสามมิติ, รูปแสงเงา (Shaded images), ความสูงหรือขนาด, ค่าความขรุขระ (Roughness), พื้นที่ผิว (Surface area), Fractal dimension ฯลฯ
- สามารถเลือกวัดแรงได้หลายประเภท เช่น แรงดึงดูดระยะไกล (Long-range attractive forces), แรงผลักระยะใกล้ (Short-range repulsive forces), แรงเสียดทานด้านข้าง (Frictional force or Lateral force) ฯลฯ ให้ข้อมูลหลายประเภท เช่น
 - Force – Distance curve กดตัวอย่างด้วย Tip แล้ววัดแรงเทียบกับระยะทาง ให้ข้อมูลสมบัติเชิงกลของตัวอย่างได้แก่ Elasticity, Modulus ฯลฯ
 - Adhesion mapping วัดแรงยึดเกาะของ Tip กับตัวอย่างแต่ละจุด แล้วสร้างเป็นแผนที่หรือภาพแสดงความสามารถในการยึดติดของตัวอย่าง
 - Lateral force imaging สร้างภาพแรงเสียดทานบนพื้นผิวดังกล่าว เป็นประโยชน์สำหรับวัสดุบางประเภท เช่น พอลิเมอร์ผสม (Polymer blends) ทำให้เห็นความแตกต่างของแต่ละวัสดุภาคได้
- ราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับ เทคนิคอื่นๆ เช่น SEM, TEM เป็นต้น

ข้อเสียของ AFM

- ลักษณะพื้นผิวที่ได้ขึ้นกับ ลักษณะของ Tip บางครั้งอาจเกิดภาพเพี้ยนหรือลักษณะที่ไม่จริง (Artifacts) ถ้าทำการทดสอบโดยไม่รอบคอบ

เมื่อเส้นใยมีการปรับปรุงพื้นผิว โดยการต่อกิ่งด้วยวิธี Redox Initiation แล้ว สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง อาทิเช่น สามารถใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในคอมโพสิต เป็นต้น

ในโครงการพิเศษนี้จะใช้เส้นใยที่ได้เป็นวัสดุเสริมแรงในคอมโพสิต ซึ่งคอมโพสิตนี้เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างมากในปัจจุบัน

2.4 คอมโพสิต (Composites) [10]

คอมโพสิต คือ วัสดุที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วน (หรือมากกว่า) ที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดอยู่ด้วยกัน องค์ประกอบสองส่วนหลักของคอมโพสิตคือ

1. ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) คือ ส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมโพสิต วัสดุที่เป็นส่วนเสริมแรงจะมีความแข็งแรงและมอดูลัสสูง ตัวอย่างของส่วนเสริมแรงที่สำคัญ ได้แก่ เส้นใย (Fibers) ชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นใยเคฟลาร์หรือเส้นใยอะรามิด เส้นใยโบรอน และเส้นใยพอลิโอฟีน เป็นต้น อาจเป็นเส้นใยเดี่ยวยาว หรือเส้นใยสั้น หรือ อาจเป็นเส้นใยพันกันหรือทอ ให้มีโครงสร้างแบบต่างๆ และมีการจัดเรียงของส่วนเสริมแรงแบบต่างๆ ส่วนเสริมแรงจะเป็นส่วนรับแรงหลักของวัสดุคอมโพสิต

2. เมทริกซ์ (Matrix) เป็นวัสดุที่มีทำหน้าที่ 1) ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ให้อยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนด อีกทั้งยังเป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ ไปยังเส้นใยเสริมแรง และถ่ายเทระหว่างเส้นใย 2) ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกัน กับ สภาวะแวดล้อมใดๆ และ 3) ทำหน้าที่ป้องกันเส้นใยจากการขีดถูกละเอียด เมทริกซ์จะทำหน้าที่เพียงเล็กน้อยในการรับแรง เทียบกับ เส้นใยเสริมแรง แต่เมทริกซ์ที่ดีจะมีความแข็งแรงในการยึดเกาะกับเส้นใย ช่วยป้องกันการเสียหายของคอมโพสิตจากแรงเฉือนที่รอยต่อของเส้นใยกับเมทริกซ์หรืออินเทอร์เฟซ (Interface) หรือเสียหายเนื่องจากเส้นใยข่น เนื่องจากถูกแรงกดอัด อันตรกิริยาระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์มีความสำคัญมาก เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อสมบัติของคอมโพสิต นอกจากนี้ความสามารถในการขึ้นรูปและรอยตำหนิของคอมโพสิตยังขึ้นกับสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของเมทริกซ์ เช่น ความหนืด จุดหลอมเหลวผลึก และอุณหภูมิเชื่อมโยง เป็นต้น

วัสดุเมทริกซ์ที่ใช้ในการผลิตวัสดุคอมโพสิตมีมากมายหลายชนิดและมีสมบัติหลากหลาย สามารถแบ่งชนิดของวัสดุเมทริกซ์ได้ 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. พอลิเมอร์ เรียกคอมโพสิตว่า Polymer Matrix Composites , PMC สามารถใช้ได้ทั้งพอลิเมอร์ประเภท

- เทอร์โมเซตเรซิน (Thermosetting resins) เป็นเมทริกซ์ที่นิยมใช้ที่สุดสำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่สำคัญได้แก่ อีพอกซี (Epoxy resins) ไวนิลเอสเทอร์ (Vinyl esters) พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resins) ฟีนอลิก (Phenolics) และ พอลิอิมิด (Polyimide) เป็นต้น นิยมเนื่องจากใช้สารตั้งต้นน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีความหนืดต่ำ สามารถผสมกับเส้นใยส่วนเสริมแรงขึ้นรูปเป็นคอมโพสิตได้ง่าย โดยจะใช้สารเชื่อมโยงเกิดพันธะเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งทำให้วัสดุมีความแข็งแรง มีสมบัติเชิงกลที่ดี ทนทานต่อตัวทำละลาย มีเสถียรภาพต่อ

การออกซิเดชันและทนอุณหภูมิสูง

- เทอร์โมพลาสติกเรซิน (Thermoplastic resins) เช่น พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) พอลิเอไมด์หรือไนลอน (Polyamide, Nylon) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC) พอลิฟีนิลีน ซัลไฟด์ (Polyphenylene sulfide, PPS) พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน (Poly ether ether ketone, PEEK) และ พอลิอีเทอร์คีโตน (Poly ether ketone, PEK) เป็นต้น แต่นิยมใช้เป็นเมทริกซ์สำหรับคอมโพสิตน้อยกว่า แม้ว่าจะมีแนวโน้มการประยุกต์ใช้เป็นคอมโพสิตมากขึ้น เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่า ทนอุณหภูมิที่ต่ำกว่า แต่สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้ง

2. โลหะ เรียกคอมโพสิตว่า Metal Matrix Composite, MMC นิยมใช้กับเส้นใยโลหะเป็นส่วนเสริมแรง ซึ่งมีความแข็งแรงสูงแต่มีข้อจำกัดคือน้ำหนักของวัสดุ เมทริกซ์โลหะนิยมใช้ได้แก่ อะลูมิเนียม (Aluminium) ไททาเนียม (Titanium) แมกนีเซียม (Magnesium) และทองแดง (Copper) เป็นต้น ใช้งานที่อุณหภูมิสูง ทนต่อการกัดกร่อน และ ทนต่อสารเคมี แต่มีราคาแพงมาก

3. เซรามิกส์ เรียกคอมโพสิตว่า Ceramic Matrix Composite, CMC ใช้งานที่อุณหภูมิสูง ทนต่อการกัดกร่อน และ ทนต่อสารเคมี

ข้อดีของวัสดุคอมโพสิต

1. มีสมบัติคือน้ำหนักหรือความหนาแน่นสูง เช่น ความแข็งแรงจำเพาะ มอดุลัสจำเพาะ และความเหนียวจำเพาะ เป็นต้น เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา
2. ช่วยลดน้ำหนักของวัสดุ
3. มีสมบัติหลากหลาย สามารถสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น จัดให้เส้นใย (ส่วนเสริมแรง) เรียงตัวตามแนวรับแรง
4. มีอายุการใช้งานยาวนาน มักมีสมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อนดี
5. มีสมบัติการรับแรงและเคมปี้ง (Damping) ดี
6. ความทนทานต่อการล้าดี
7. มีเสถียรภาพของรูปร่างสูง เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เช่น โลหะ

ข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต

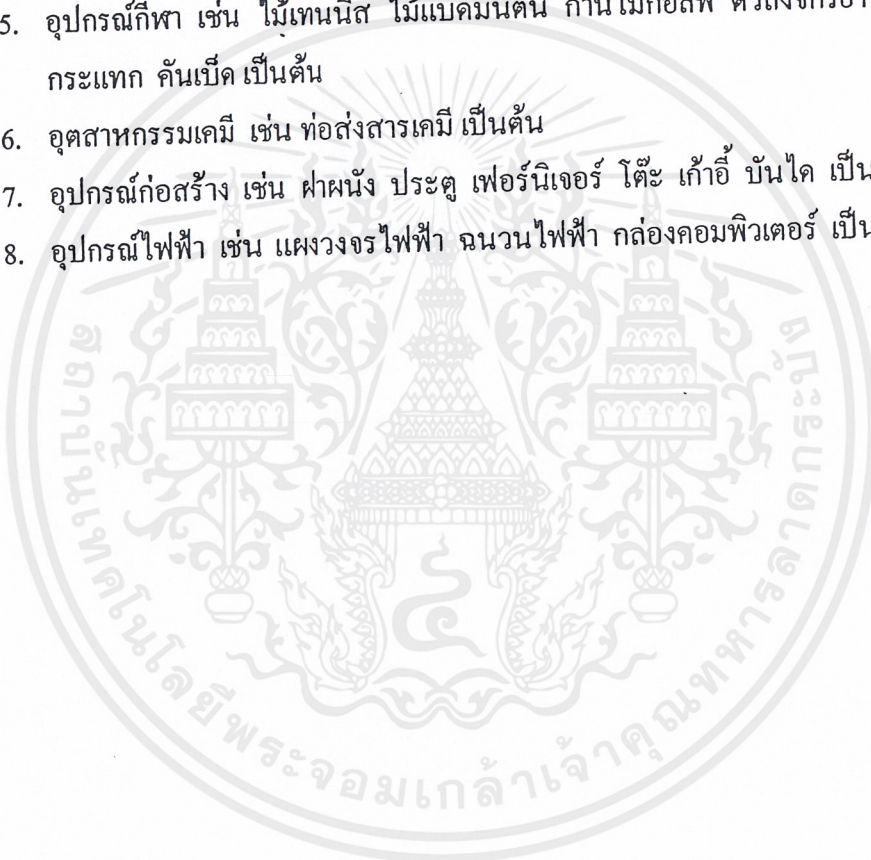
1. ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือการขึ้นรูปคอมโพสิต
2. มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน หรือ มีสมบัติแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) เนื่องจากมีการจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรง เป็นสาเหตุให้คอมโพสิตไม่แข็งแรงในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ยากในการต่อหรือเชื่อมติดกับวัสดุอื่น
4. ยากในการตรวจวิเคราะห์สมบัติของคอมโพสิต
5. ยากในการทำลายและนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle)

การประยุกต์ใช้งานคอมโพสิต

1. อุตสาหกรรมเครื่องบิน เช่น ประตู ปีก ใบพัด หางเสือ และตัวเครื่อง เป็นต้น
2. อุตสาหกรรมยานอวกาศ เช่น กระจกอวกาศ สถานีอวกาศ เป็นต้น
3. อุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น ตัวถัง ส่วนประกอบเครื่องยนต์ กันชน เป็นต้น
4. อุตสาหกรรมเรือ เช่น ตัวถังเรือ คาค้ำ เป็นต้น
5. อุปกรณ์กีฬา เช่น ไม้เทนนิส ไม้เบดมินตัน ก้านไม้กอล์ฟ ตัวถังจักรยาน หมวกกันกระแทก คันเบ็ด เป็นต้น
6. อุตสาหกรรมเคมี เช่น ท่อส่งสารเคมี เป็นต้น
7. อุปกรณ์ก่อสร้าง เช่น ฝ้าผนัง ประตู เฟอร์นิเจอร์ โต๊ะ เก้าอี้ บันได เป็นต้น
8. อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น แผงวงจรไฟฟ้า ฉนวนไฟฟ้า ก่อตั้งคอมพิวเตอร์ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินการ

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เส้นใยพอลิโอฟีน

- เส้นใยพอลิเอทิลีน : PRO-FAX 6531 ของ HMC polymer CO.,LTD

MFI 4

Spin 190 220 225 230 °C

เครื่อง microtruder : Randcastle

screw speed 5 rpm

อัตราการดึง 10 เท่า ดึงใน infrared oven ที่ 140 °C

- เส้นใยพอลิพรอพิลีน : grade 6200 B ของ บางกอกพอลิเอทิลีน

MFI 0.3

Spin 160 180 190 195 °C

Screw speed 5 rpm

อัตราการดึง 10 เท่า ดึงใน infrared oven ที่ ~ 100 °C

2. ไวนิลมอนอเมอร์ คือ Acrylamide : BDH Laboratory Supplies
3. โพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) : Merck
4. ซิริกแอมโมเนียมไนเตรด : CARLO ERBA
5. กรดไนตริก 0.4 N : Lab Scan
6. เมทิลีนบลู (Methylene blue)
7. ก๊าซไนโตรเจน
8. เรซิน คือ Unsaturated Polyester Resin : CHEM-ONE

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาดใหญ่และจุกยาง
2. แท่งแก้วพันเส้นใย
3. บีกเกอร์
4. ขวดวัดปริมาตร 100 ml
5. ปิเปตขนาด 1 ml , 10 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กระบอกตวงขนาด 50 ml
7. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. เครื่องชั่งแบบละเอียด
10. แท่งแก้วคน
11. ซ้อนตักสาร
12. หลอดหยด
13. ถูมือยาง
14. ไม้หนีบหลอดทดลอง
15. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
16. ชุดเครื่องมือแบบชอกเลต
17. ขวดกักเก็บขนาด 250 ml
18. Heating mantle
19. เครื่อง Attenuate Total Reflection - Infrared Spectrophotometer (ATR-IR)
20. เครื่อง Universal Tester : LLOYD รุ่น LR30K
21. เครื่อง Atomic Force Microscope (AFM) : TopoMetrix รุ่น Explorer TMX-2010

รูปที่ 3.1 แสดงแท่งแก้วที่ใช้ในการพันเส้นใย

3.3 การเตรียมมอนอเมอร์

1. ชั่ง Acrylamide 7.108 g ละลายด้วยน้ำกลั่น
2. ชั่ง Ceric Ammoniumnitrate 0.1096 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปิเปตกรดไนตริก 0.4 N 10 ml ลงใน Ceric Ammoniumnitrate คนให้ละลาย
4. เติลงในขวดวัดปริมาตร 100 ml
5. เติสารละลายของ Acrylamide
6. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml ด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมอนอเมอร์ที่มีความเข้มข้น 1 โมล/ลิตร

3.4 การต่อกิ่ง

- ขั้น Hydroxylation

1. นำเส้นใยที่พ่นแล้ว (รูปที่ 3.1) จุ่มในสารละลายของ $K_2S_2O_8$ 10 % W/V
2. พ่นก๊าซไนโตรเจน ปิดจุกยาง
3. แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ $90^\circ C$
4. เหย้าให้ $K_2S_2O_8$ ละลาย
5. แช่ตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง
6. นำตัวอย่างออกล้างด้วยน้ำอุ่น
7. ทำให้แห้งในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน

- ขั้น Grafting

1. เติสารละลายมอนอเมอร์ 30 ml ลงในหลอดทดลอง
2. นำตัวอย่างที่ทำการ Hydroxylation แล้ว แช่ในสารละลายมอนอเมอร์
3. พ่นก๊าซไนโตรเจน
4. แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ $50^\circ C$
5. แช่ตัวอย่างแต่ละชุดทิ้งไว้ 10, 20, 30 นาที และ 1 ชั่วโมง
6. นำตัวอย่างที่ทำการต่อกิ่งแล้วมารีฟลักซ์ (Reflux) 24 ชั่วโมง ด้วยน้ำกลั่น เพื่อกำจัดไฮโดรพอลิเมอร์

7. นำมาอบให้แห้ง

8. ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง จาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง} = [(W_g - W_o) / W_o] \times 100$$

เมื่อ W_g คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์หลังการต่อกิ่ง

W_o คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์ก่อนการต่อกิ่ง

3.6 การทดสอบสมบัติต่างๆ

1. สมบัติการยึดติดดี
 - ทำการแช่ตัวอย่างในสารละลาย Methylene blue เข้มข้น 0.01 % W/V นาน 2 ชั่วโมง
2. ตรวจสอบหมู่เอไมด์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง ATR-IR
 - ตัดเส้นใยยาว 1 cm จัดวางเรียงไว้บนที่วางตัวอย่าง (Crystal) ซึ่งทำด้วย ZnSe ให้ได้ความกว้าง 5 mm ปิดทับด้วยฟอยล์อะลูมิเนียม (Al foil) ทำการตรวจวิเคราะห์
3. ตรวจสอบการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ด้วยเครื่อง Universal Tester
 - เตรียมตัวอย่างคั่งรูปที่ 2.5 โดยนำเส้นใยเดี่ยวจึงให้ตรงบนฐานรองเรซิน มีความหนาประมาณ 5.5 mm จากนั้นเทเรซินลงบนฐานให้พอดีกับขอบ เรซินที่เตรียมประกอบด้วย เรซิน (unsaturated polyester), hardener (Methyl Butyl Ketone, MBK) และ cobalt naphthanate ทิ้งให้เรซินแข็งตัว นำไปวัดหาค่าความแข็งแรงยึดเกาะที่อินเตอร์เฟสด้วยเครื่อง Universal Tester ทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยและความหนาของเรซิน นำค่าที่ได้ไป คำนวณหาค่า Interfacial shear strength, τ จากสมการหน้าที่ 18
4. วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วย AFM
 - นำเส้นใยมาติดไว้บนที่วางตัวอย่างด้วยกาวไซยาโนอะคริเลต จากนั้นนำตัวอย่างวางบน Scanner ตัวอย่างจะถูกสแกนด้วย Scan rate 2 Hz โดยใช้แรงในการสแกนคงที่ ซึ่ง Tip ที่ใช้สแกนเป็นรูปปิระมิดมาตรฐาน (Standard Pyramidal Tip) มี Resolution 300 x 300 ข้อมูล/รูป ขนาดรูปสแกนที่ทำการศึกษามีขนาด 2 μm , 5 μm , 10 μm และ 20 μm

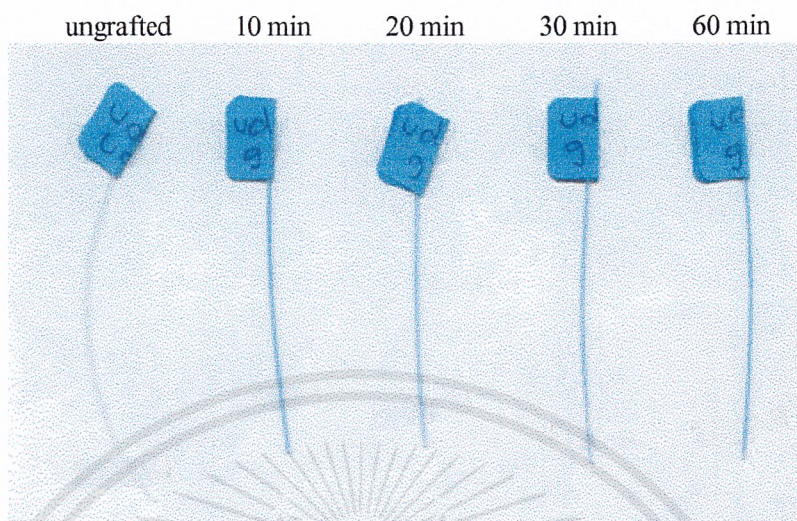
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

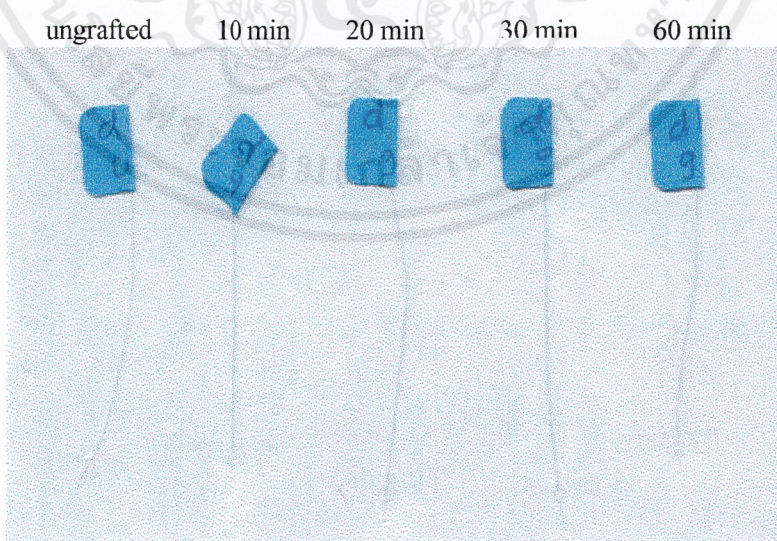
จากการทดลองทำการต่อกิ่งอะครีลาไมด์ลงบนพื้นผิวพอลิโอลิฟิน ตัวอย่างที่ใช้คือ เส้นใยพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิพรอพิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า และเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า โดยใช้อุณหภูมิในขั้น Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาที่ใช้ในขั้น Grafting เป็นเวลา 10 , 20 , 30 และ 60 นาที ณ อุณหภูมิ 50 °C ได้ทำการศึกษาค้างนี้

4.1 การทดสอบการย้อมติดสีหลังการต่อกิ่ง

จากการทดลองการย้อมติดสีของเส้นใยพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า เส้นใยพอลิพรอพิลีน และเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า หลังการต่อกิ่ง โดยการแช่ในสารละลาย Methylene blue เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง แสดงดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 จะเห็นได้ว่า หลังการต่อกิ่งอะครีลาไมด์ลงบนสายโซ่โมเลกุลพอลิโอลิฟินจะทำให้เกิดสีของสารละลาย Methylene blue ซึ่งเป็นสีฟ้า แสดงให้เห็นว่าเกิดการต่อกิ่งด้วยอะครีลาไมด์จริง ทำให้พอลิโอลิฟินซึ่งปกติพื้นผิวมีความเรียบและความไม่มีขั้ว หลังการต่อกิ่งแล้วจึงเกิดหมู่ที่มีขั้ว (หมู่เอไมด์) ของอะครีลาไมด์ ทำให้สามารถย้อมติดสีได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยโอลิฟินที่ไม่ทำการดึง และ เส้นใยโอลิฟินที่มีอัตราการดึง 10 เท่า พบว่า สีที่เกิดขึ้นบนเส้นใยโอลิฟินที่ไม่ทำการดึงมีความเข้มของสีมากกว่า เนื่องจากบนเส้นใยที่ไม่ผ่านการดึงมีส่วนที่เป็นอสัณฐานมากกว่าเส้นใยที่ถูกดึงยืด ทำให้มอนอเมอร์ของอะครีลาไมด์สามารถเข้าไปเกิดการต่อกิ่งบนเส้นใยได้มากกว่า เมื่อทำการดึงยืด จะทำให้สายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์เกิดการเรียงตัว (Orientation) ตามแนวแรงหรือแนวเส้นใย (Fiber direction) เป็นผลให้องศาความเป็นผลึก (% crystallinity) เพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous phase) ลดน้อยลง ทำให้เกิดการต่อกิ่ง/ติดสีน้อยลง ส่วนที่เป็นอสัณฐานมีความหนาแน่นน้อยกว่าส่วนที่เป็นผลึก เพราะมีปริมาตรอิสระ (Free volume) มากกว่า จึงเกิดการต่อกิ่งได้ดีกว่า ทำให้ติดสีฟ้าของ Methylene blue ได้มากกว่า

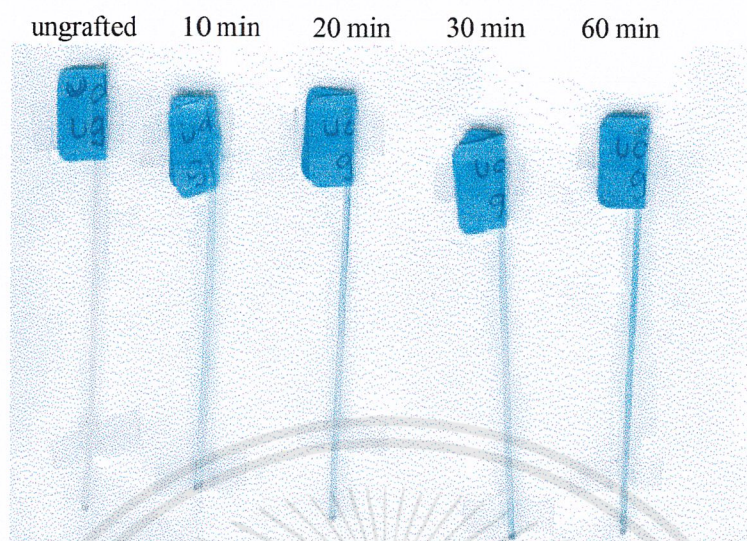


รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีนก่อนและหลังการต่อกิ่ง ซึ่งทำการต่อกิ่ง เป็นเวลา 10 , 20 , 30 และ 60 นาที

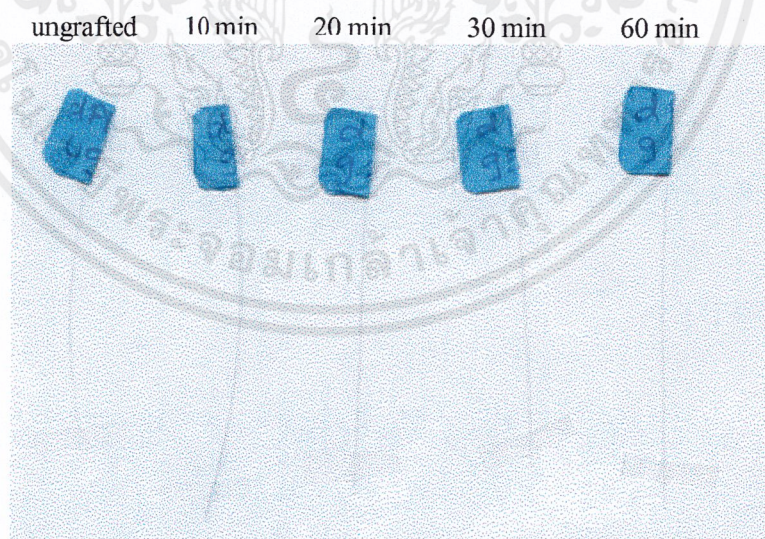


รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ก่อนและหลังการต่อกิ่ง ซึ่งทำการต่อกิ่ง เป็นเวลา 10 , 20 , 30 และ 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยโพลีพรอพิลีน ก่อนและหลังการต่อกิ่ง ซึ่งทำการต่อกิ่ง เป็นเวลา 10 , 20 , 30 และ 60 นาที



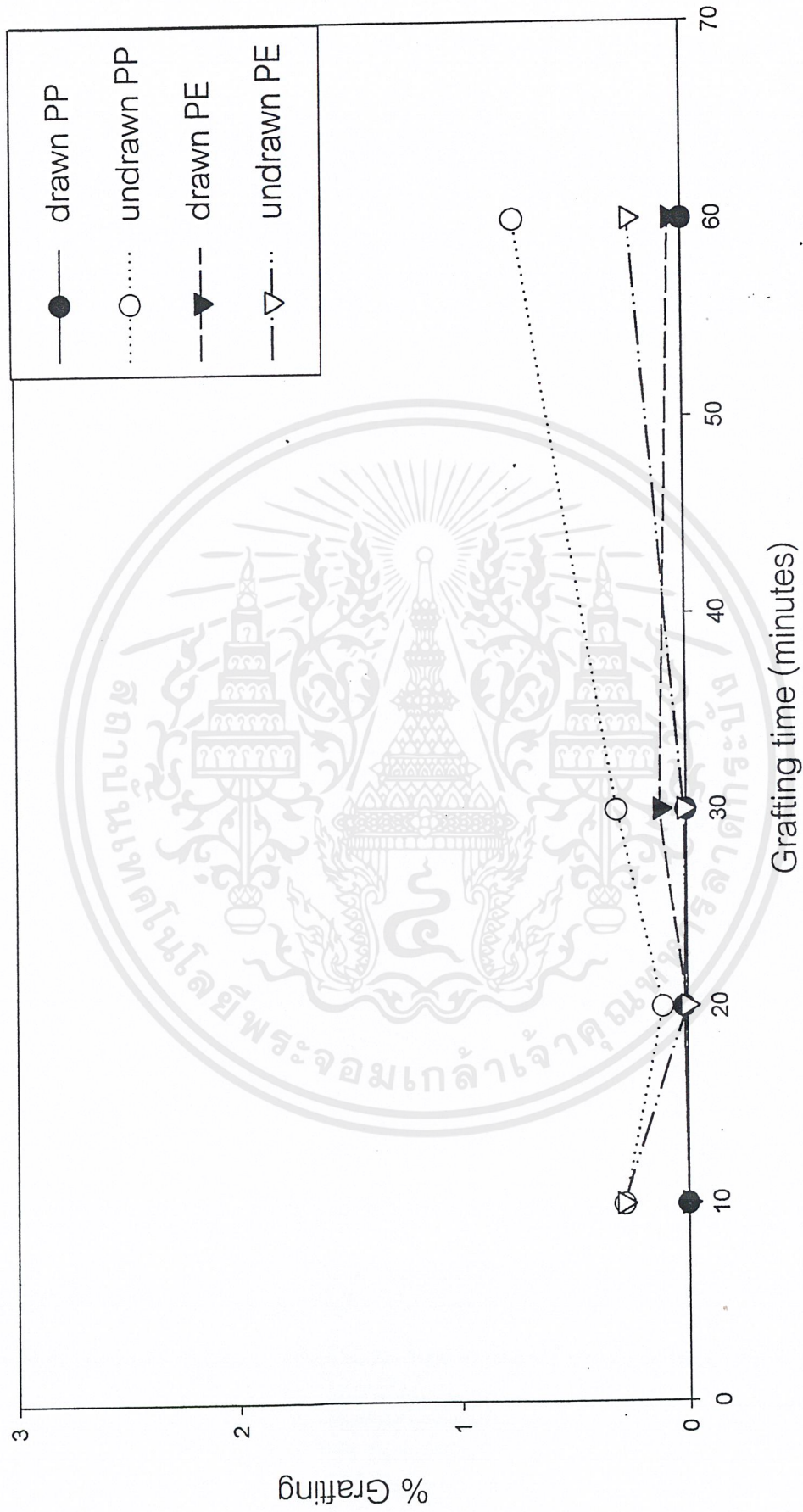
รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยโพลีพรอพิลีน ที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ก่อนและหลังการต่อกิ่ง ซึ่งทำ การต่อกิ่ง เป็นเวลา 10 , 20 , 30 และ 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการต่อกิ่งที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง

การต่อกิ่งของพอลิอะคริลาไมด์ลงบนเส้นใยพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการคืบ 10 เท่า เส้นใยพอลิพรอพิลีน และเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการคืบ 10 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการต่อกิ่ง ที่อุณหภูมิ Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในขั้น Grafting เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเวลาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้สายโซ่ของพอลิอะคริลาไมด์มีจำนวนมากขึ้น





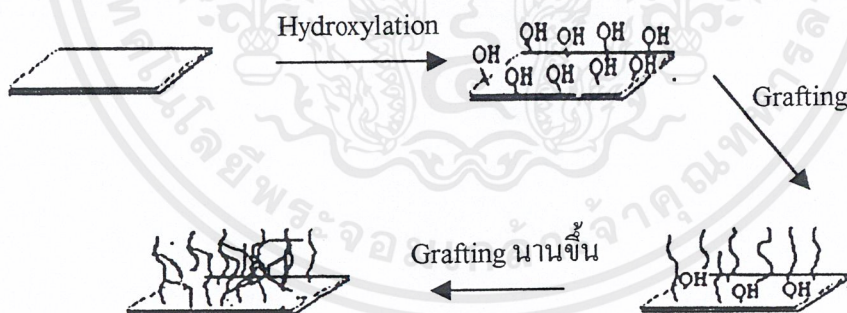
รูปที่ 4.5 แสดงผลของระยะเวลาที่ใช้ในขั้น Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การตอกของเส้น โยพลีโอทีลีน เส้น โยพลีโอทีลีน ที่มีอัตราการดึง 10 เท่า เส้น โยพลีโอทีลีน และเส้น โยพลีโอทีลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การตรวจสอบความแข็งแรงเฉือนที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ด้วยเครื่อง Universal Tester ด้วยวิธีการทดสอบดึงเส้นใยออก (Fiber Pull-out Test)

จากผลการตรวจสอบความแข็งแรงเฉือนที่อินเทอร์เฟซ (Interfacial shear strength) ระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ก่อนและหลังการตอกของเส้นใยพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า เส้นใยพอลิพรอพิลีน และเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า โดยการหล่อเส้นใยเกี่ยวกับก้อนพอลิเมอร์เมทริกซ์ คือ พอลิเมอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester) แล้วทำการดึงออกด้วยเครื่อง Universal Tester ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.7 ถึง 4.8 พบว่าเส้นใยที่ผ่านขั้นตอนการตอกมีแนวโน้มความแข็งแรงเฉือนที่อินเทอร์เฟซเพิ่มขึ้น เนื่องจากขั้นตอนการตอกเป็นการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันซึ่งคือหมู่เอไมด์บนพื้นผิวของเส้นใยทำให้เกิดความมีขั้วบนพื้นผิวของเส้นใยมากขึ้น

ส่วนเมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตอก พบว่าเวลาที่ใช้ในการตอก 10 นาที มีแนวโน้มความแข็งแรงเฉือนที่อินเทอร์เฟซเพิ่มขึ้น แล้วมีแนวโน้มที่ลดลงหรือคงที่ในเวลาต่อมา เนื่องจากในช่วงแรกจะเกิดสายโซ่จำนวนหนึ่งซึ่งไม่มากพอที่จะเกิดการเกี่ยวพันกันเองระหว่างสายโซ่ซึ่งเป็นลักษณะที่มีผลในการเพิ่มการยึดเกาะให้กับพื้นผิวของเส้นใย แต่เมื่อใช้ระยะเวลาในการตอกเพิ่มมากขึ้นจะมีผลทำให้จำนวนสายโซ่เพิ่มมากขึ้นและหนาแน่นขึ้นจึงอาจเกิดการเกี่ยวพันกันได้ ซึ่งการเกี่ยวพันกันเองของสายโซ่จะมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนบนพื้นผิวแทนที่จะมีลักษณะเป็นสายโซ่ที่เป็นเชิงเส้นอย่างในระยะแรก จึงมีผลทำให้ความแข็งแรงเฉือนที่อินเทอร์เฟซลดลง



รูปที่ 4.6 แสดงถึงการตอกเมื่อใช้ระยะเวลานานขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยที่ไม่ผ่านการดึง กับ เส้นใยที่มีอัตราการดึง 10 เท่า พบว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการดึง มีแนวโน้มความแข็งแรงเฉือนที่อินเทอร์เฟซน้อยกว่าเส้นใยที่มีอัตราการดึง 10 เท่า อาจเนื่องจากเส้นใยที่ไม่ผ่านการดึงมีส่วนที่เป็นอสัณฐานมากกว่าเส้นใยที่ผ่านการดึง จึงทำให้เกิดการตอกมากกว่า ซึ่งมีจำนวนเส้นใยบนพื้นผิวมากกว่าและหนาแน่นกว่า จึงมีผลทำให้เกิดการเกี่ยวพันกันได้ง่าย

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยที่ทำขึ้น Hydroxylation เพียงชั้นตอนเดียวกับเส้นใยที่ทำทั้งสองชั้นตอน คือ ชั้น Hydroxylation และ ชั้น Grafting พบว่าเส้นใยที่ทำขึ้น Hydroxylation เพียงชั้นตอนเดียวมีความแข็งแรงเหนียวที่อินเทอร์เฟสน้อยกว่าเส้นใยที่ทำทั้งสองชั้นตอนเนื่องจากการทำชั้น Hydroxylation เพียงชั้นตอนเดียวนั้น เป็นการทำให้เกิดเพียงหมู่ไฮดรอกซิลที่มีลักษณะเป็นหมู่ฟังก์ชันขนาดเล็กบนพื้นผิวของเส้นใย แตกต่างจากการทำทั้งสองชั้นตอนซึ่งจะทำให้เกิดการต่อกิ่งโดยพอลิอะคริลาไมด์ที่มีลักษณะเป็นสายโซ่โมเลกุล

4.4 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังการต่อกิ่งด้วยเทคนิค ATR-IR

จากผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังการต่อกิ่งของพอลิโอลิฟิน และ พอลิโอลิฟิน ที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ด้วยเทคนิค ATR-IR แสดงดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.10 พบว่า สเปกตรัมมีการเปลี่ยนแปลงพีคที่เลขคลื่น (Wave number) ดังนี้

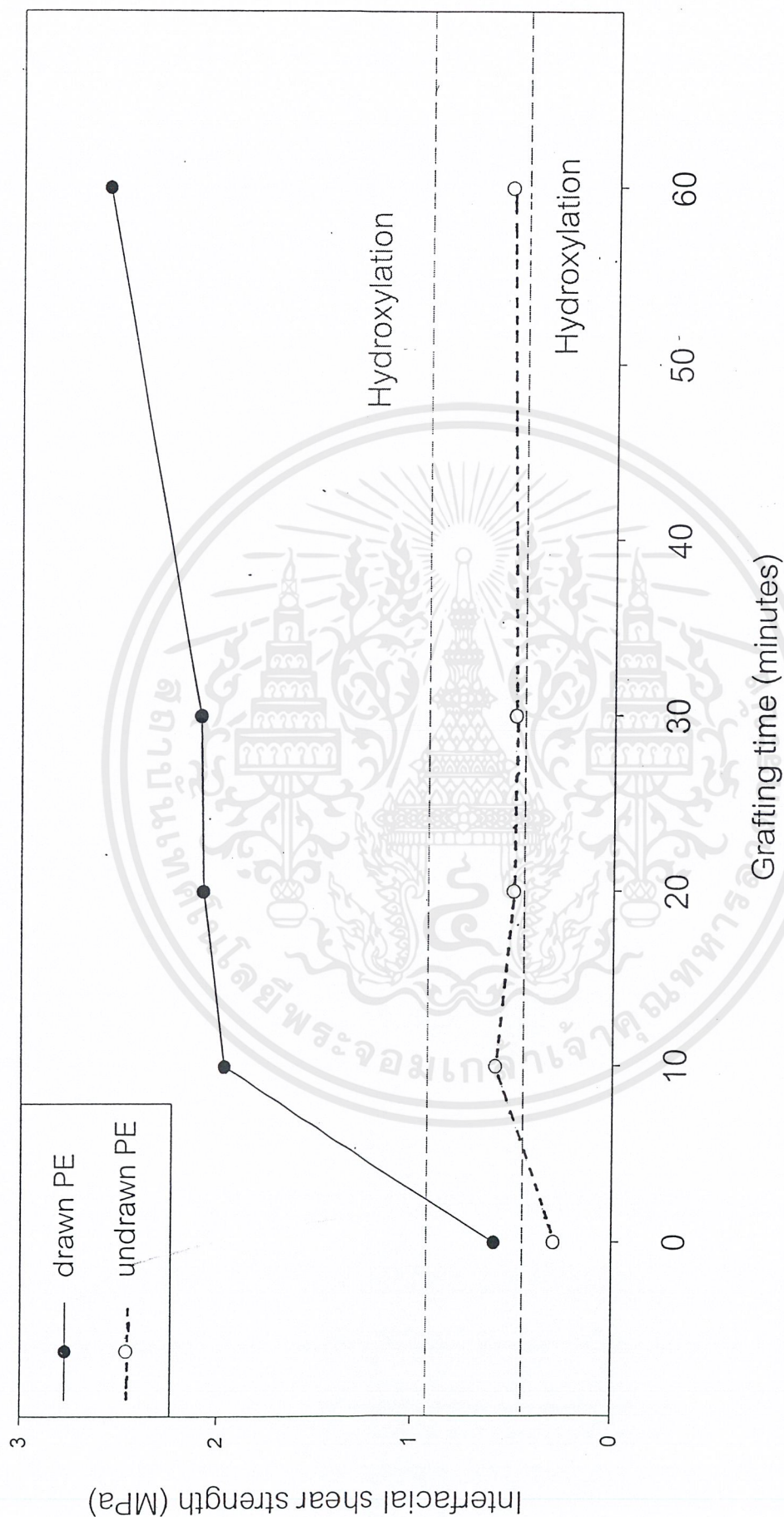
C = O stretching (Amide) ที่ Wave number $1700 - 1600 \text{ cm}^{-1}$

N - H stretching (Amide) ที่ Wave number $3400 - 3300 \text{ cm}^{-1}$

แสดงให้เห็นว่า เกิดการต่อกิ่งขึ้นจริง เมื่อทำการต่อกิ่งเส้นใยด้วยพอลิอะคริลาไมด์ ทำให้เกิดสายโซ่โมเลกุลซึ่งมีหมู่เอไมด์อยู่ในสายโซ่ดังกล่าว

4.5 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM

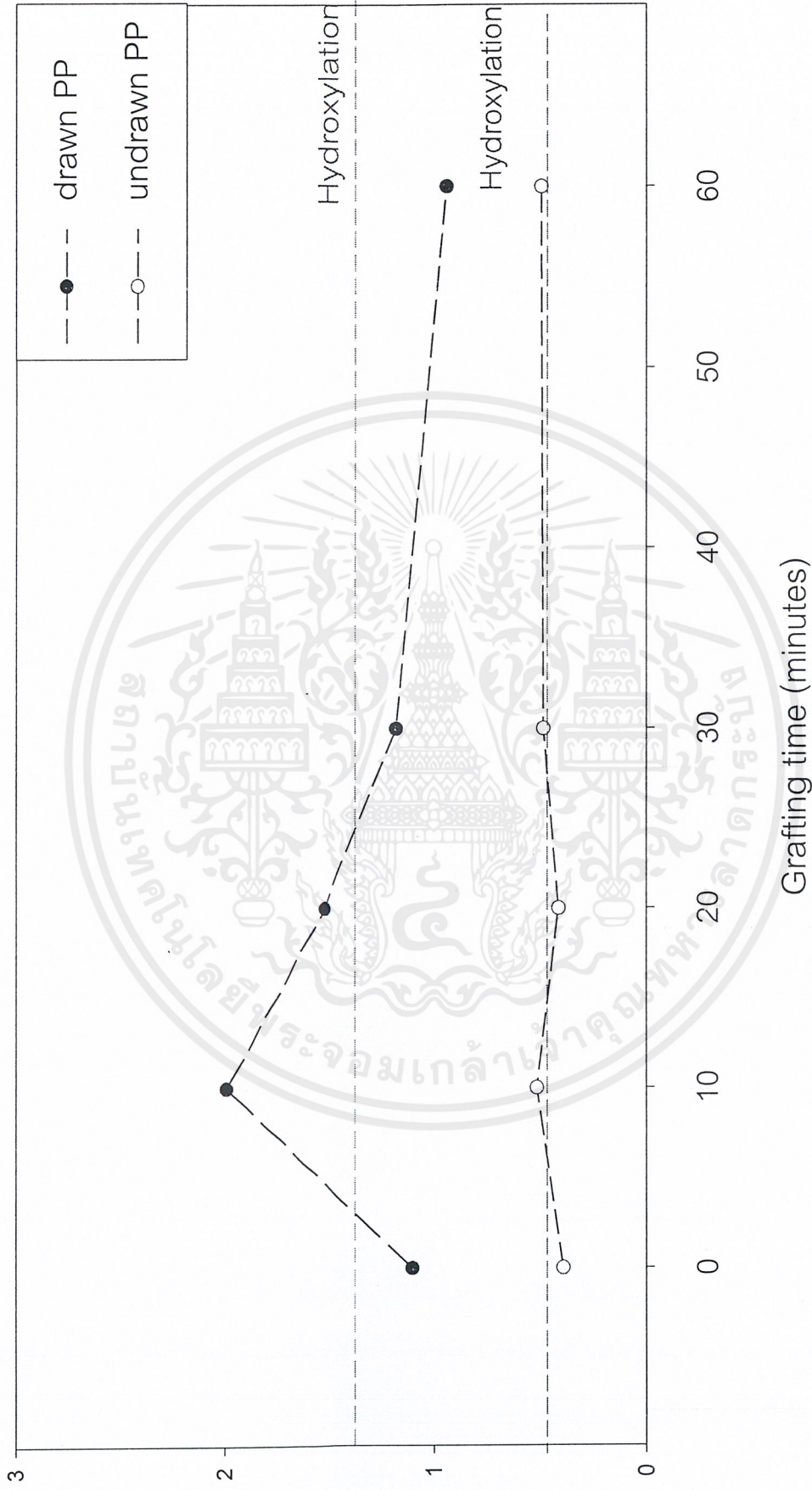
จากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเส้นใยพอลิโอลิฟินก่อนและหลังการต่อกิ่งด้วยเครื่อง AFM ดังรูปที่ 4.11 ถึง 4.15 พบว่า เส้นใยพอลิโอลิฟินหลังการต่อกิ่งมีลักษณะพื้นผิวแตกต่างจากเดิม คือ ก่อนการต่อกิ่งด้วยพอลิอะคริลาไมด์ภาพสแกนที่เกิดขึ้นจะสังเกตเห็นริ้วรอยที่เกิดจากการอัดรีดเส้นใยหรือ Extrusion mark แต่หลังทำการต่อกิ่งภาพสแกนที่เกิดขึ้นจะเห็นสิ่งปกคลุมบนเส้นใยซึ่งทำให้ริ้วรอยที่เกิดขึ้นบนภาพสแกนหายไป ซึ่งแสดงว่าเกิดการต่อกิ่งบนพื้นผิวเส้นใยจริง



รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบดึงเส้นใยของเส้นใยพอลิเอทิลีน และ เส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และขึ้น Grafting ที่ 50 °C ที่ระยะเวลาต่างกัน

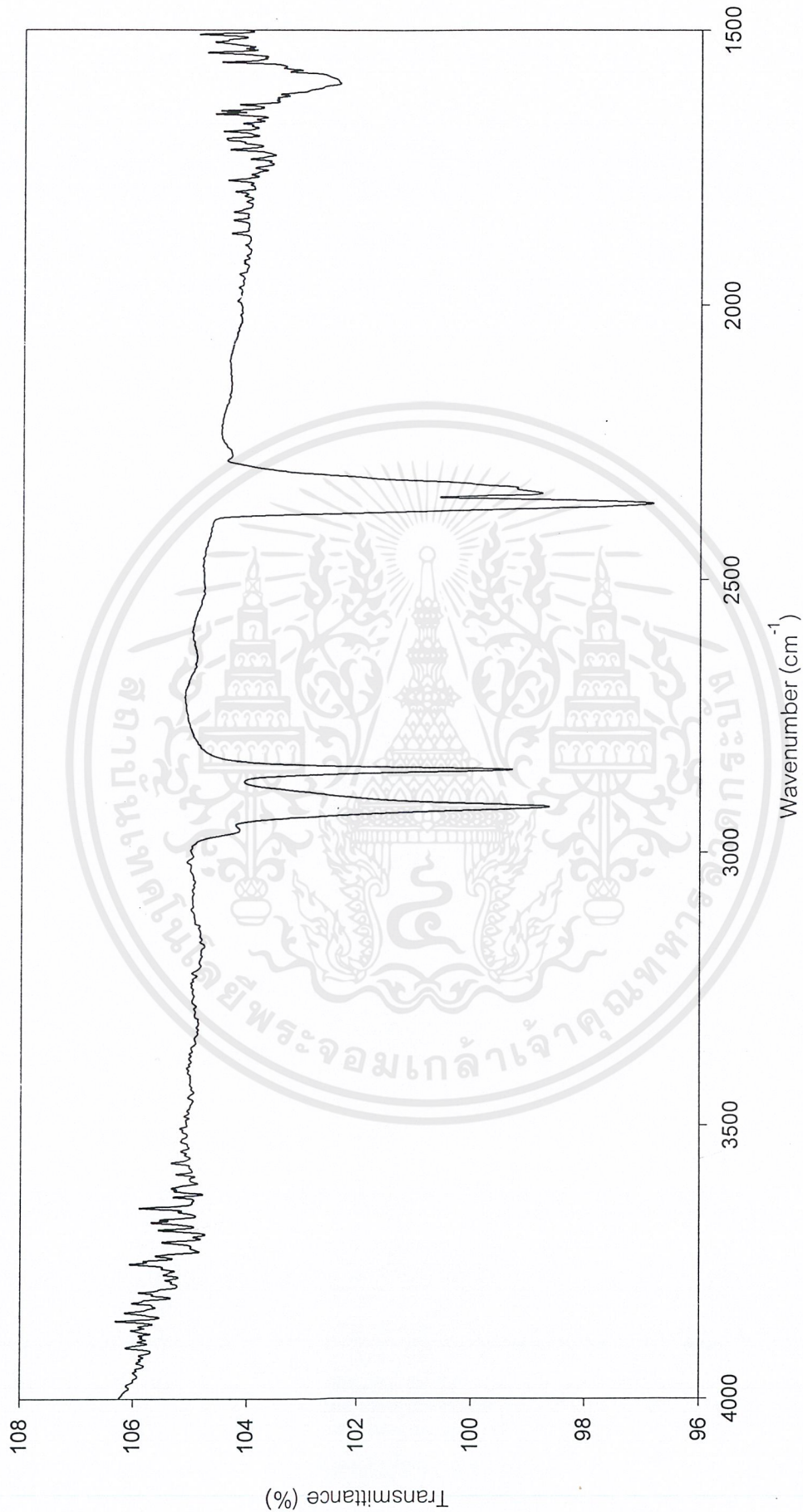
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



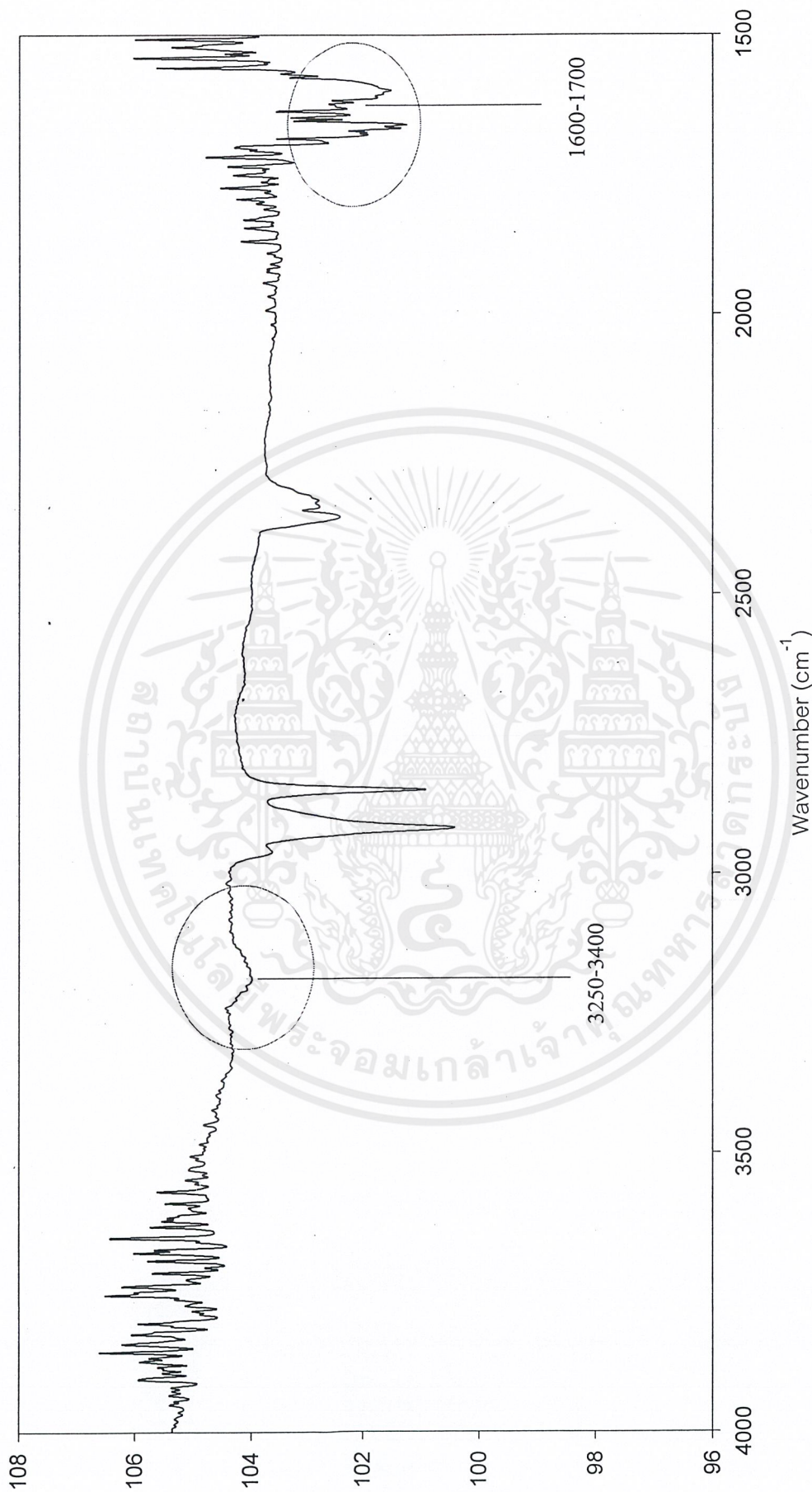
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบดึงเส้นใยออกของเส้นใยพอลิพรอพิลีน และ เส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า โดยทำปฏิกิริยา

Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และขึ้น Grafting ที่ 50 °C ที่ระยะเวลาต่างกัน



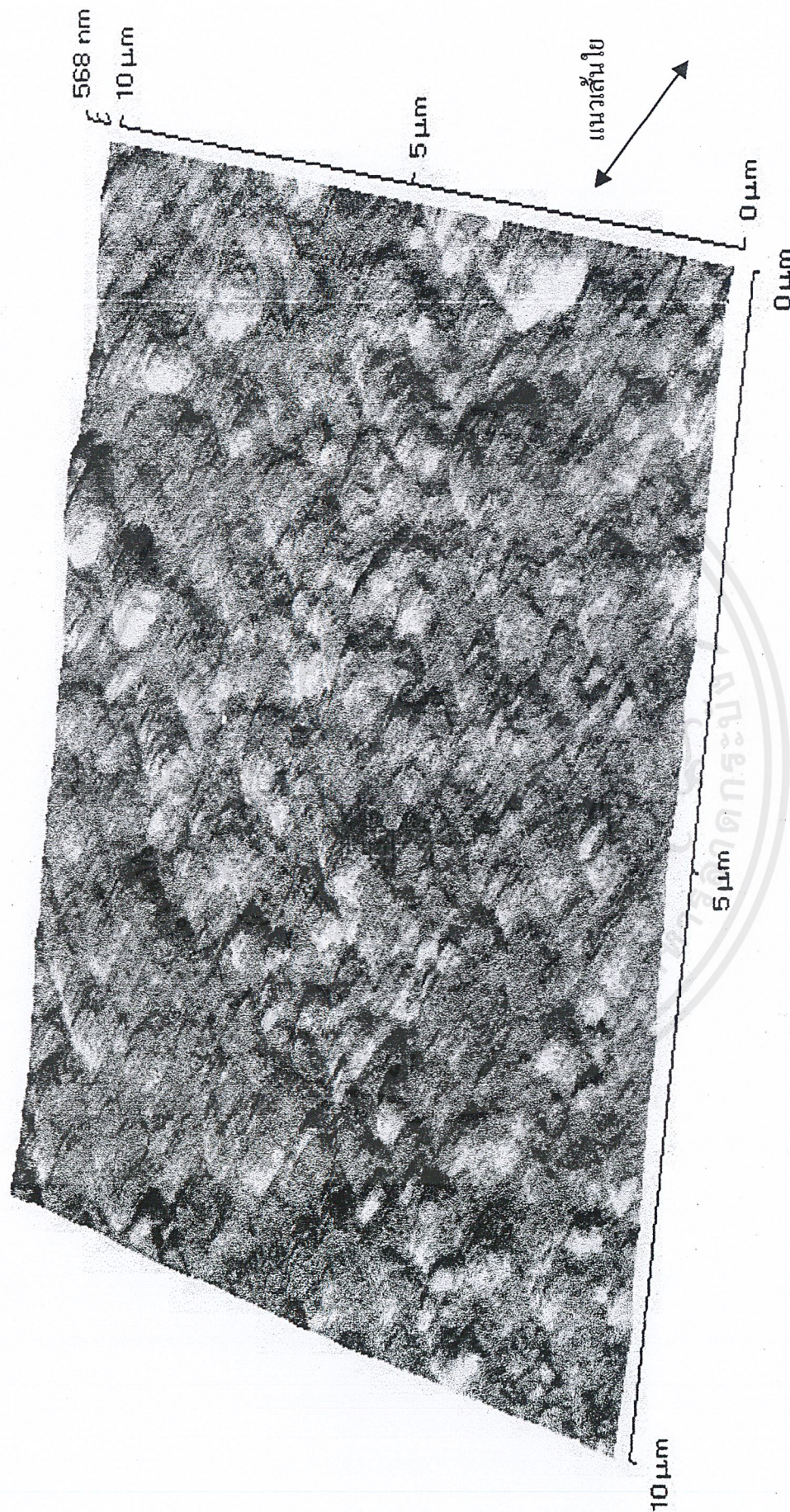
รูปที่ 4.9 แสดง ATR สเปกตรัมของพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



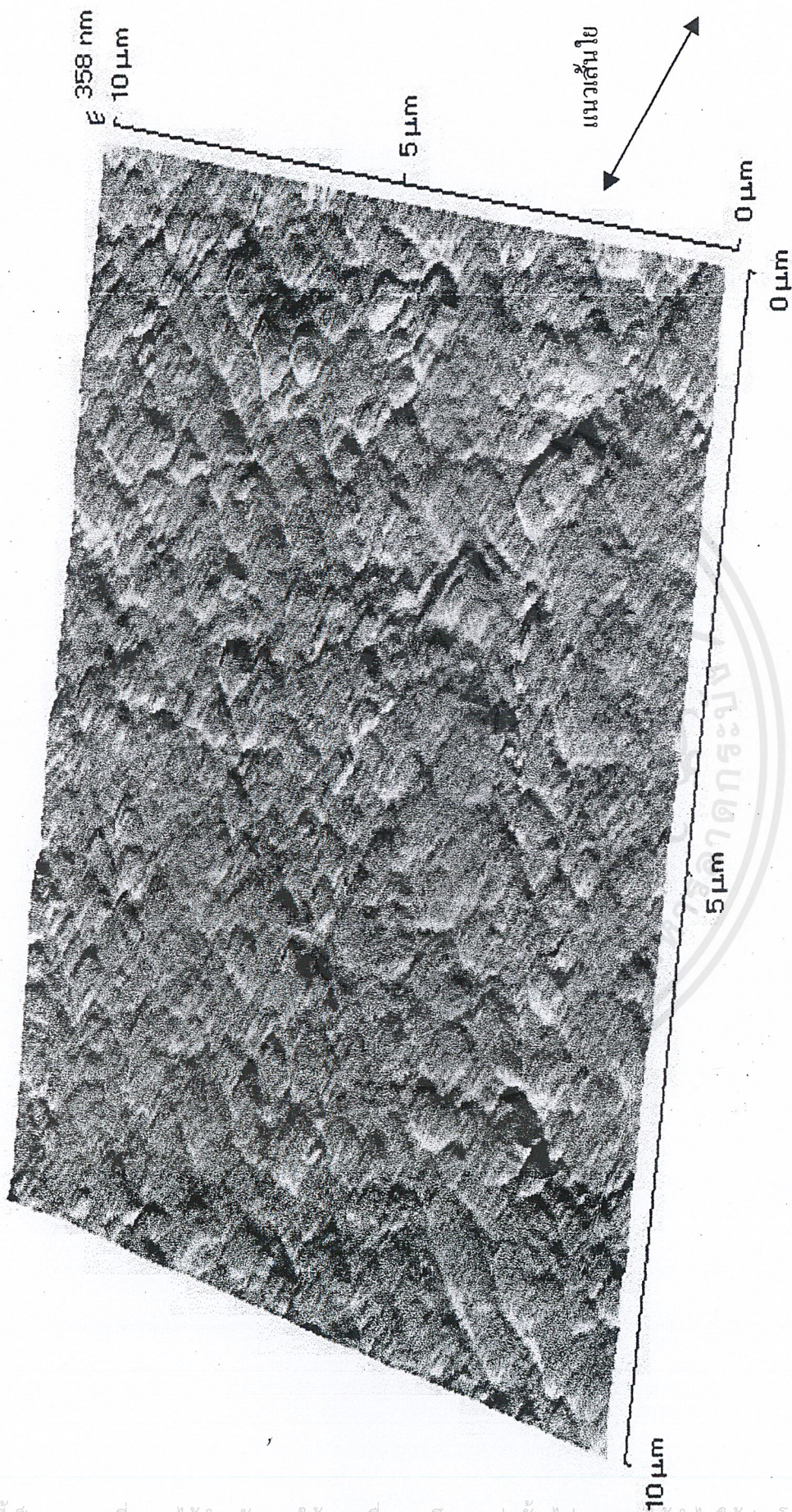
รูปที่ 4.10 แสดง ATR สเปกตรัมของพอลิเอทิลีน โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในชั้น Grafting 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



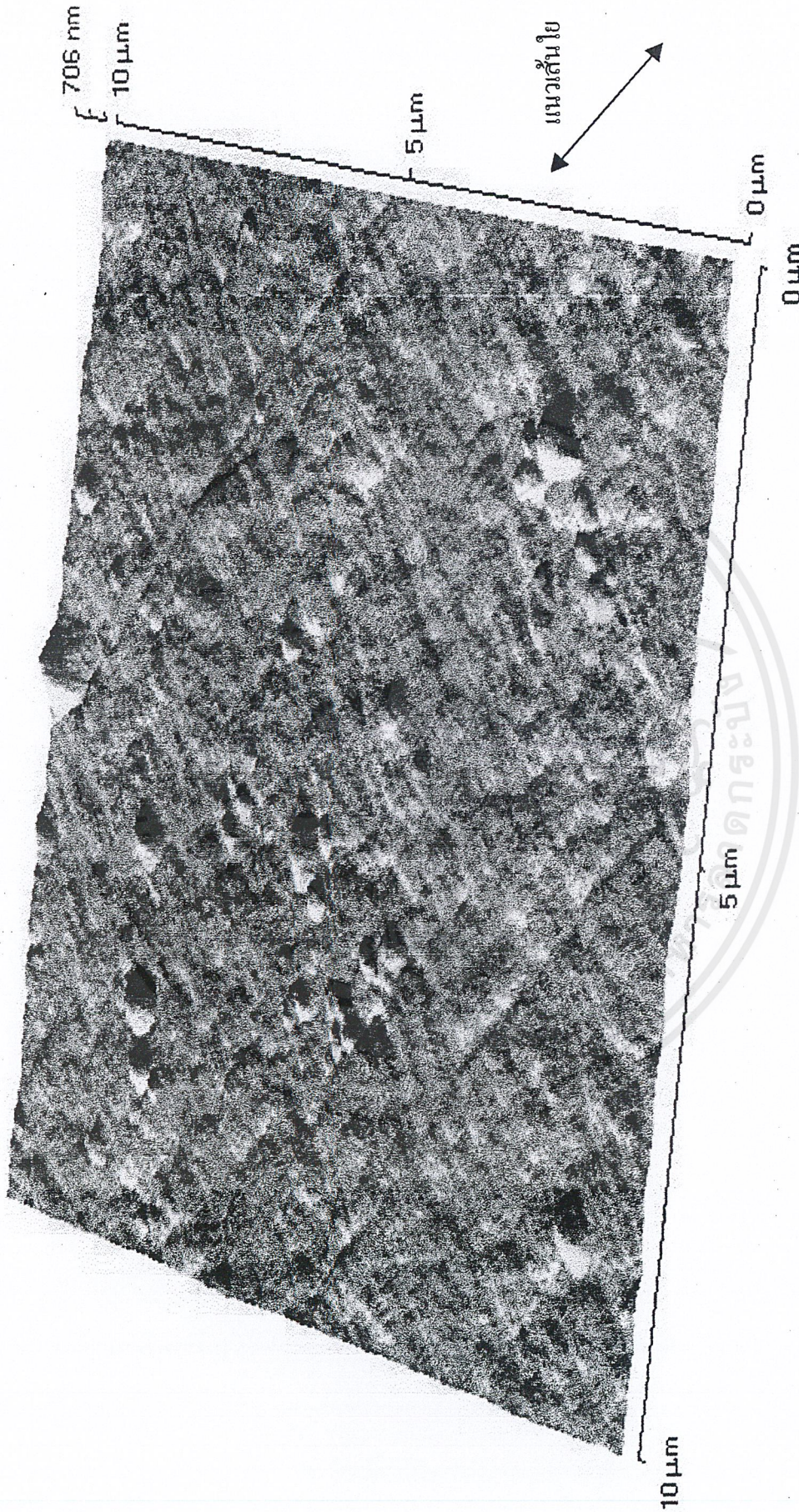
รูปที่ 4.12 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิเอทิลีนไม่คง ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการดองเป็นเวลา 10 นาที โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



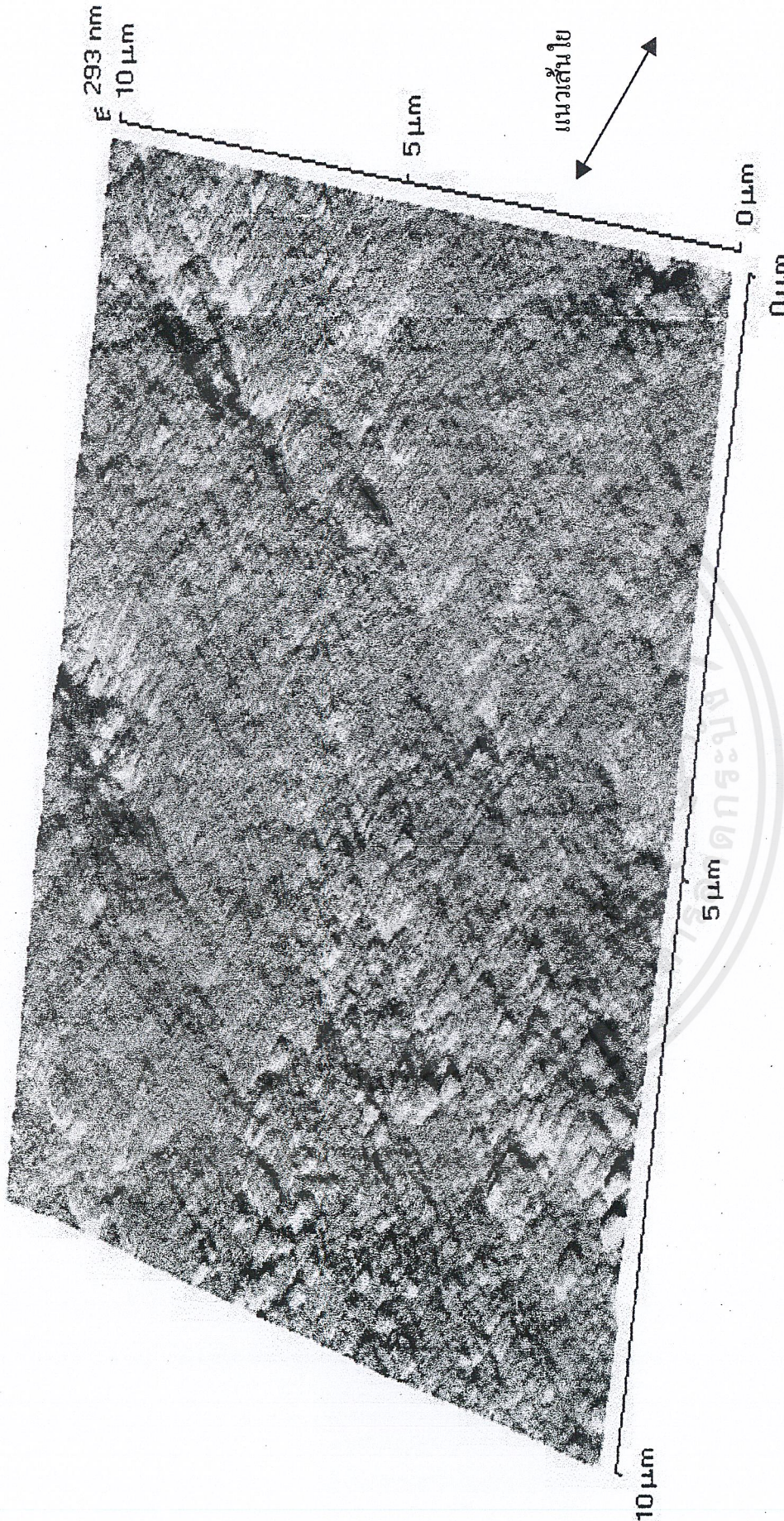
รูปที่ 4.13 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิเอทิลีนไม่คง ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการดองทิ้งเป็นเวลา 20 นาที โดยปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิเอทิลีนไมดิง ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการต่อถึงเป็นเวลา 30 นาที โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิเอทิลีน ไมดีง ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการต่อกิ่งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในขั้นการต่อกิ่ง (Grafting) พอลิอะคริลาไมด์ลงบนพื้นผิวของเส้นใยพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการคั่ง 10 เท่า เส้นใยพอลิพรอพิลีนและเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการคั่ง 10 เท่า โดยการศึกษาสัณฐานวิทยา การย้อมติดสีของสารละลาย Methylene blue การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังการต่อกิ่ง และการทดสอบดึงเส้นใยออกสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เกิดการต่อกิ่งของพอลิอะคริลาไมด์บนพื้นผิวของเส้นใยจริง โดยวิเคราะห์ด้วย
 - 1.1 การย้อมติดสีของสารละลาย Methylene blue พบว่า เส้นใยเกิดการย้อมติดสี ซึ่งเป็นสีฟ้าของสารละลาย Methylene blue
 - 1.2 เทคนิค ATR พบพีกของหมู่เอไมด์ที่ Wave number $1700 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ และ $3400 - 3300 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสอดคล้องกับ C = O stretching (Amide) และ N-H stretching (Amide)
 - 1.3 เทคนิค AFM พบว่า ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไป คือไม่สามารถเห็นริ้วรอยที่เกิดจากการอัดรีดเส้นใยได้ แต่สามารถสังเกตเห็นได้จากเส้นใยที่ไม่ได้ทำการต่อกิ่ง นั่นคือ หลังการต่อกิ่งเกิดพอลิอะคริลาไมด์ปกคลุมพื้นผิวเส้นใยจริง แต่สำหรับการวิเคราะห์เส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ไม่ผ่านการคั่งยังสรุปผลไม่ได้ เนื่องจากเครื่องที่ใช้งานเกิดการขัดข้องทำให้ไม่มีผลการทดลอง ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ต่อไป เพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น
 - 1.4 การทดสอบการดึงเส้นใยออก (Fiber Pull-out Test) พบว่า หลังจากการต่อกิ่งความแข็งแรงเหนือนที่อินเตอร์เฟสของเส้นใยมีค่าสูงขึ้น
2. การเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น
3. จากการทดสอบการดึงเส้นใยออก พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 10 นาที) สามารถทำให้ค่าความแข็งแรงเหนือนที่อินเตอร์เฟสมีค่าสูงได้ แต่เมื่อใช้ระยะเวลาการต่อกิ่งนานขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงเหนือนที่อินเตอร์เฟสมีแนวโน้มลดลงหรือคงที่ เนื่องจากเมื่อใช้ระยะเวลาในการต่อกิ่งมากขึ้นทำให้มีจำนวนสายโซ่โมเลกุลของพอลิอะคริลาไมด์มากและหนาแน่นขึ้น จนสามารถเกิดการเกี่ยวพันกันเองได้จึงมีลักษณะ

เป็นกลุ่มก้อนอยู่บนพื้นผิวแทนที่จะเป็นสายโซ่โมเลกุลที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น ซึ่งช่วยในการยึดเกาะกับเมตริกซ์ได้ดีกว่า

4. จากการทดลองพบว่า ปริมาณการตอ่กิ่งพอลิอะคริลาไมด์บนพื้นผิวของเส้นใยพอลิโอฟีนที่ไม่ผ่านการดิ่งมีค่ามากกว่าเส้นใยพอลิโอฟีนที่ผ่านการดิ่ง เนื่องจากเส้นใยที่ไม่ผ่านการดิ่งมีส่วนที่เป็นอสัณฐานมากกว่าเส้นใยที่ผ่านการดิ่ง จึงทำให้เกิดการตอ่กิ่งมากกว่า แต่ความแข็งแรงเหมือนที่อินเทอร์เฟซของเส้นใยพอลิโอฟีนที่ไม่ผ่านการดิ่งมีค่าน้อยกว่าเส้นใยพอลิโอฟีนที่ผ่านการดิ่งเนื่องจากหลังการตอ่กิ่งเส้นใยที่ไม่ผ่านการดิ่งจะมีจำนวนเส้นใยบนพื้นผิวมากกว่าและหนาแน่นกว่า จึงมีผลทำให้เกิดการเกี่ยวพันกันได้ง่ายซึ่งการเกี่ยวพันกันเองของสายโซ่จะมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนบนพื้นผิวแทนที่จะมีลักษณะเป็นสายโซ่ที่เป็นเชิงเส้น จึงมีผลทำให้ความแข็งแรงเหมือนที่อินเทอร์เฟซลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทำการทดลองควรแบ่งระยะเวลาในขั้นการตอ่กิ่งให้มีช่วงเวลาที่ละเอียดมากขึ้น เพื่อศึกษาในช่วงการเปลี่ยนแปลงในระยะแรกของการตอ่กิ่ง
2. ควรมีการทดลองเปลี่ยนความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการตอ่กิ่งซึ่งมีผลต่อความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ที่เกิดจากการตอ่กิ่งว่าจะมีผลอย่างไรต่อการยึดเกาะกับเมตริกซ์
3. ควรมีการศึกษาผลของชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการตอ่กิ่ง เช่น กรดอะคริลิก (Polyacrylic acid) และเมตริกซ์ เช่น อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) ที่ใช้ในการหล่อตัวอย่างซึ่งใช้ในการทำการทดสอบดึงเส้นใยออก เพื่อศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชันอื่นๆที่มีผลต่อการยึดเกาะ
4. ควรมีการผลิตคอมโพสิตจริง เพื่อให้เห็นภาพรวมได้ดีขึ้นและเป็นการยืนยันการนำไปใช้ได้จริง

5.3 ตารางเวลาและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 5.1 แสดงเวลาและแผนการดำเนินงาน

การศึกษา	เดือน									
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
1. ศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■	■								
2. เตรียมสารเคมีและอุปกรณ์		■								
3. ทำการต่อกิ่งลงบนเส้นใย			■	■	■	■	■	■		
4. ทดสอบการย้อมติดสีของ Methylene blue				■	■	■	■	■		
5. ทดสอบการดึงเส้นใยออก Fiber Pull-out Test						■	■	■	■	■
6. ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย เครื่อง AFM						■	■	■	■	
7. ศึกษาการเกิดหมู่เอไมด์ที่ เกิด ด้วยเทคนิค ATR										■
8. สรุปผลการทดลอง										■
9.เขียนรายงาน										■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ที่ใช้ เวลาทำปฏิกิริยาต่างๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เวลาที่ใช้ขึ้น Grafting (นาที)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	%Grafting
10	4.1164	4.1164	0
20	4.634	4.634	0
30	4.3238	4.3289	0.118
60	4.5461	4.5486	0.055

ตารางที่ ก2 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่างๆ โดย ทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เวลาที่ใช้ขึ้น Grafting (นาที)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	%Grafting
10	4.0678	4.0796	0.2901
20	4.3891	4.3891	0
30	4.1214	4.1218	0.0097
60	4.6527	4.6639	0.2407

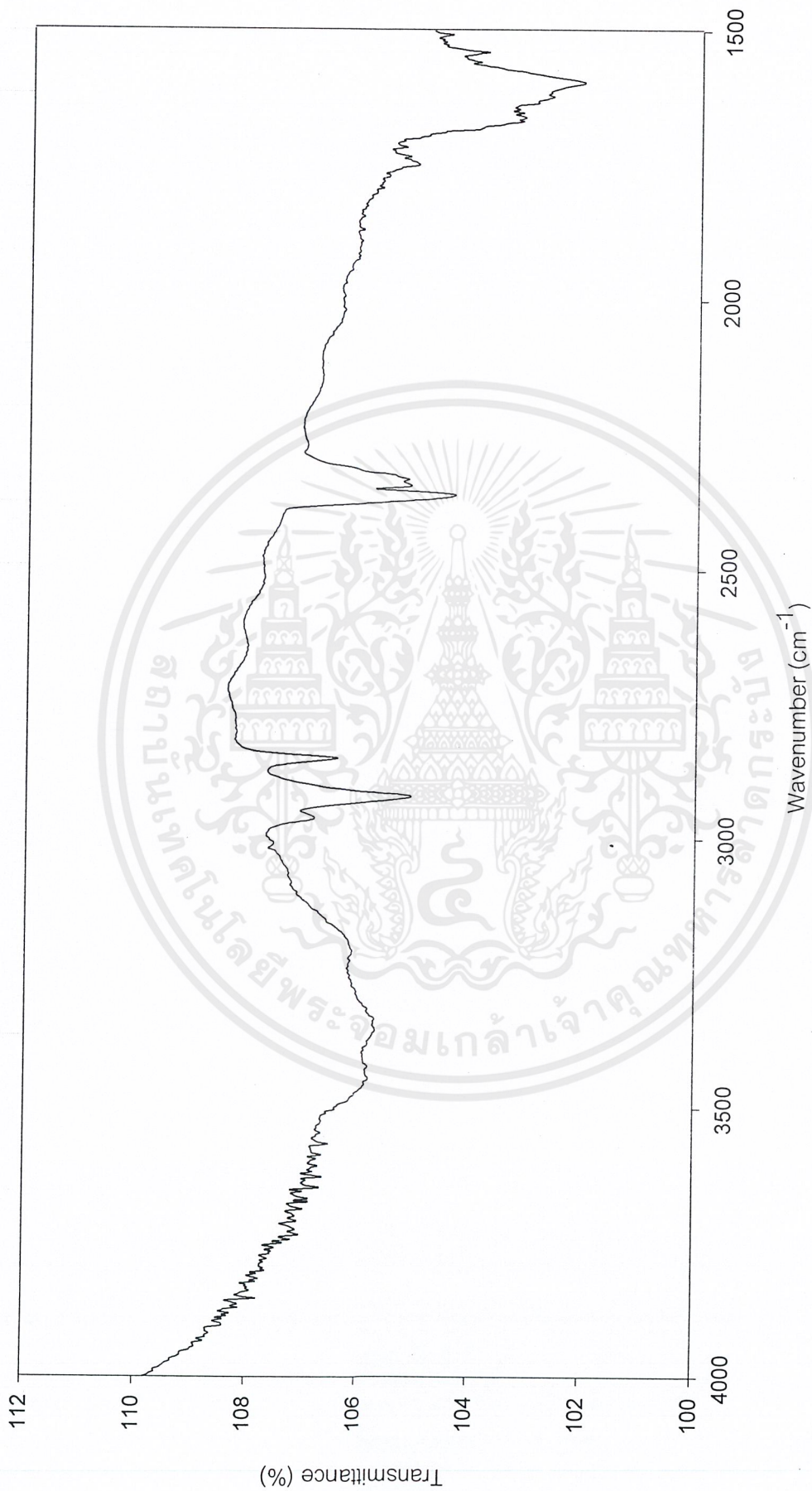
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่างๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เวลาที่ใช้ขึ้น Grafting (นาที)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	%Grafting
10	4.0842	4.0958	0.284
20	4.0553	4.0597	0.1085
30	4.0632	4.0758	0.3101
60	3.7763	3.8045	0.7468

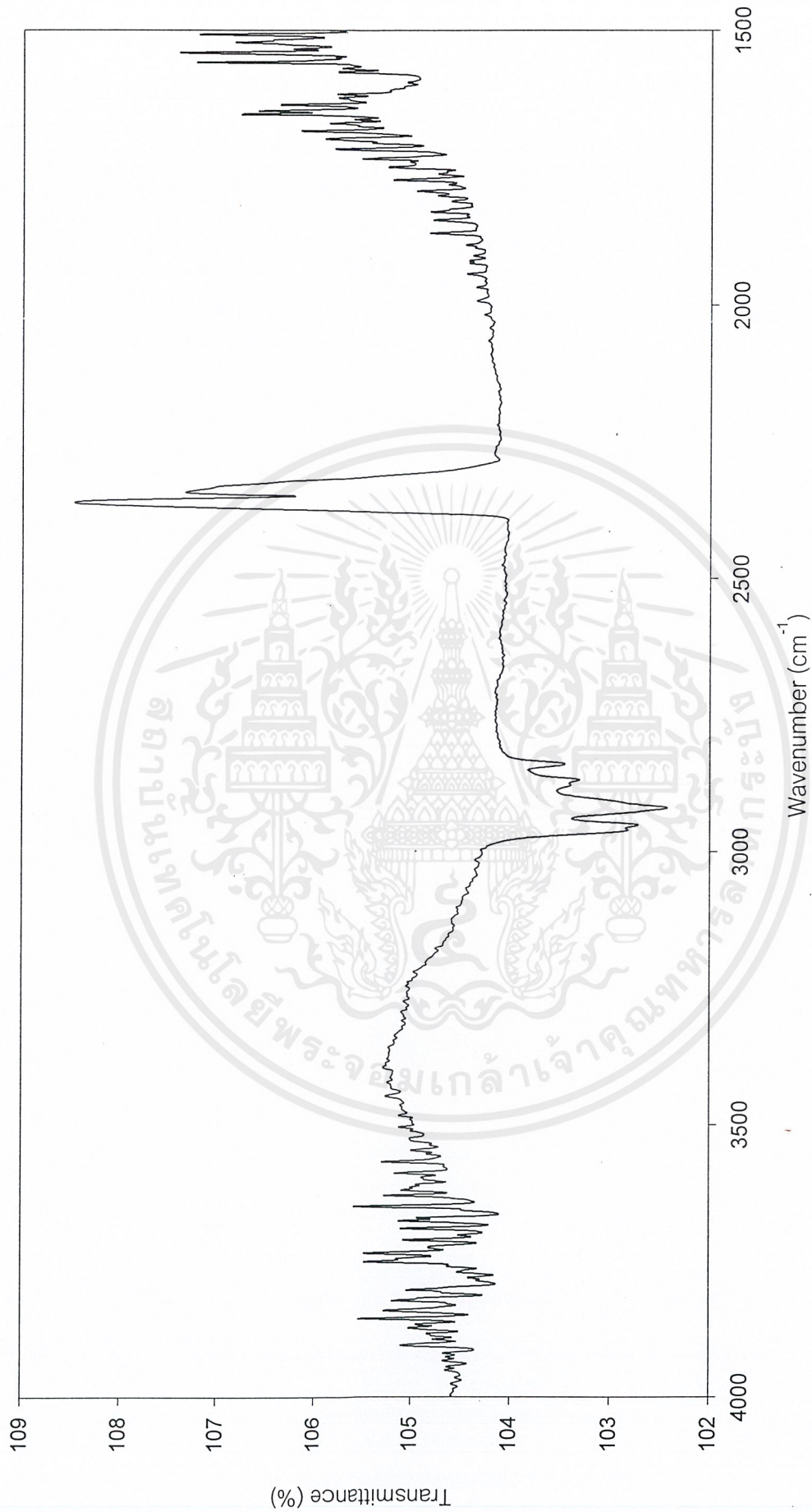
ตารางที่ ก4 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่าที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่างๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เวลาที่ใช้ขึ้น Grafting (นาที)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	%Grafting
10	4.5127	4.5127	0
20	4.4322	4.4328	0.0135
30	3.9713	3.9713	0
60	4.1808	4.1808	0



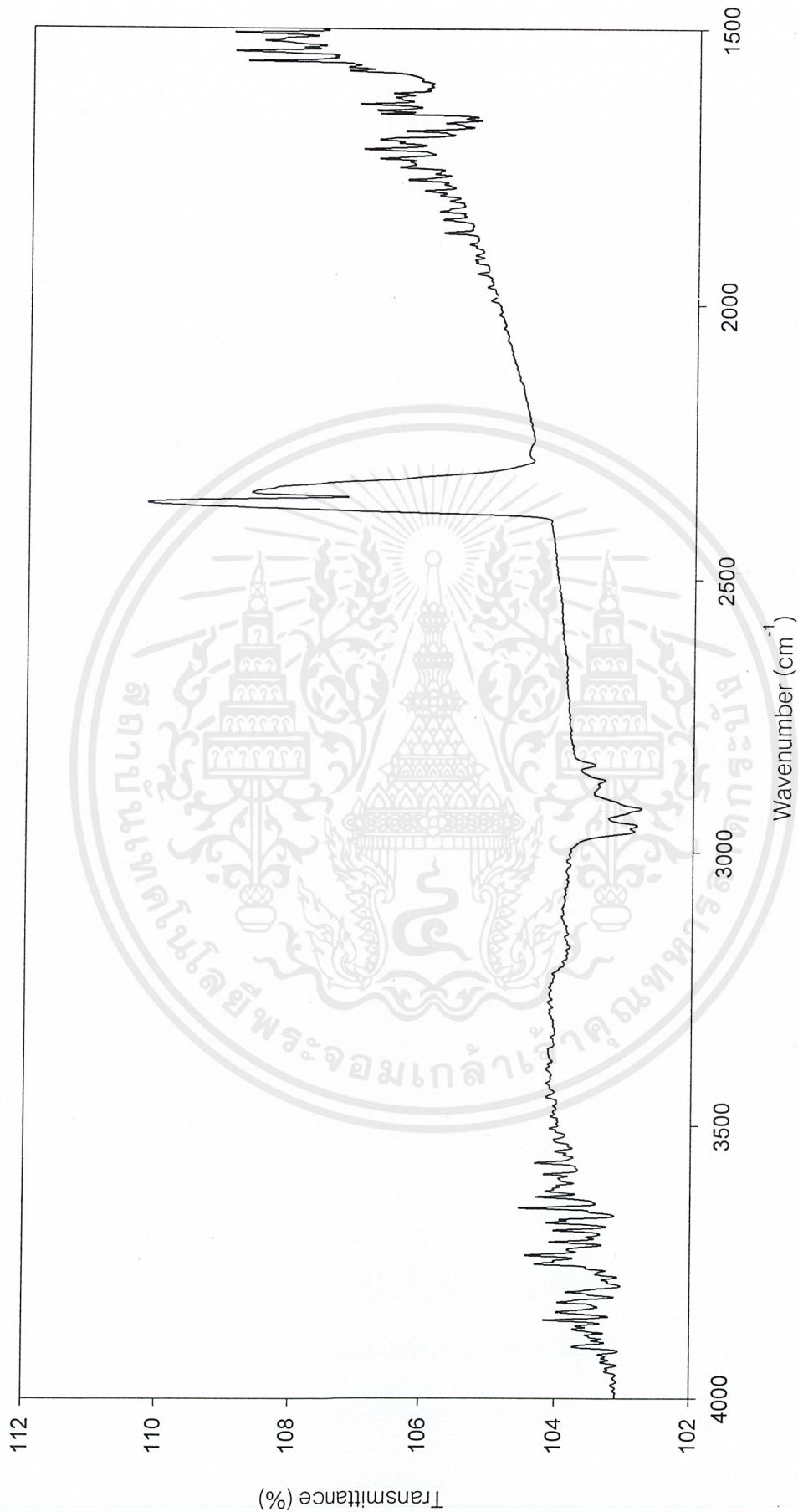
รูปที่ ข1 แสดง ATR สเปกตรัมของพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการจัด 10 เท่า โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



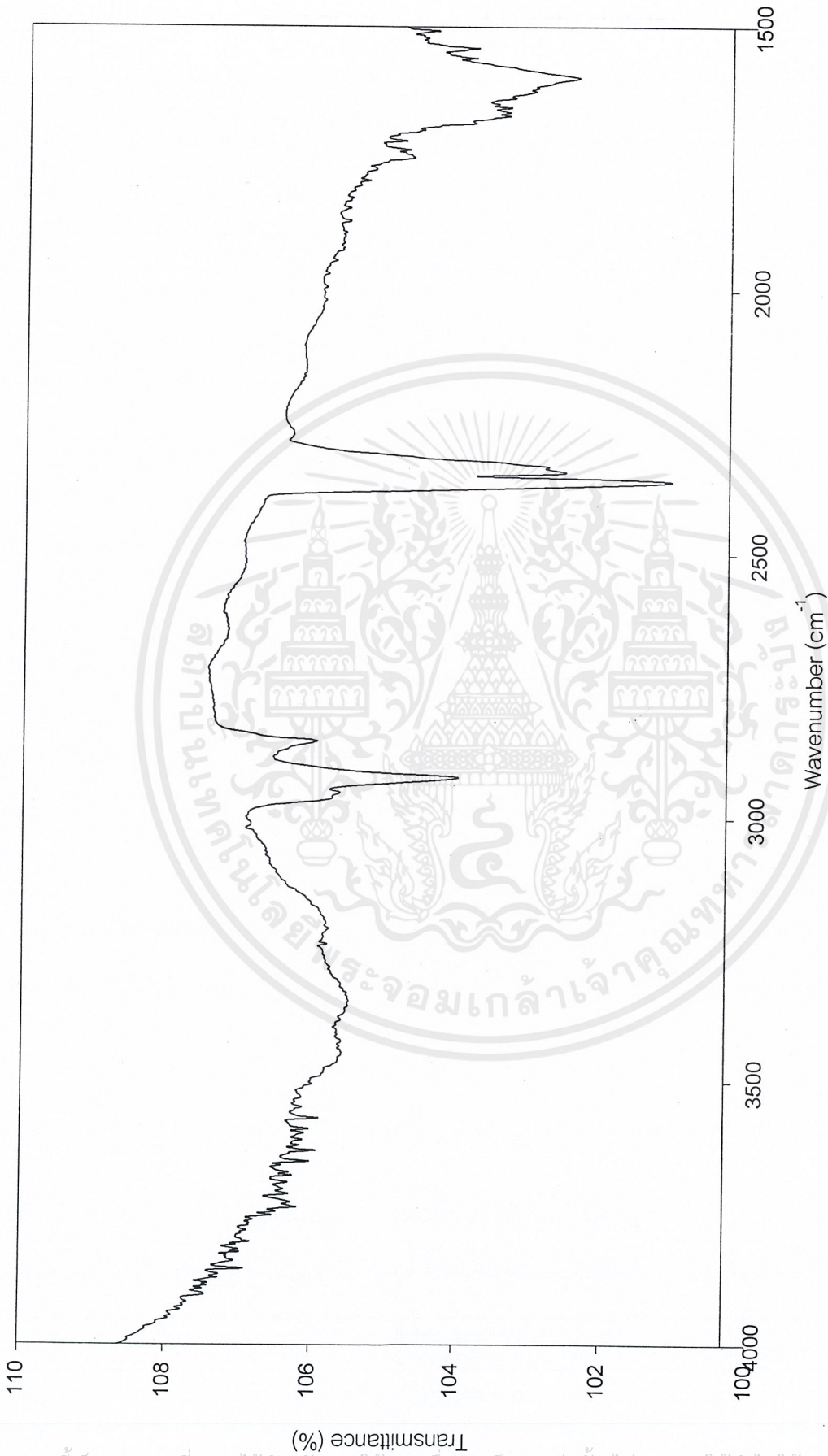
รูปที่ ๒ แสดง ATR สเปกตรัมของพอลิพรอพิลีน โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



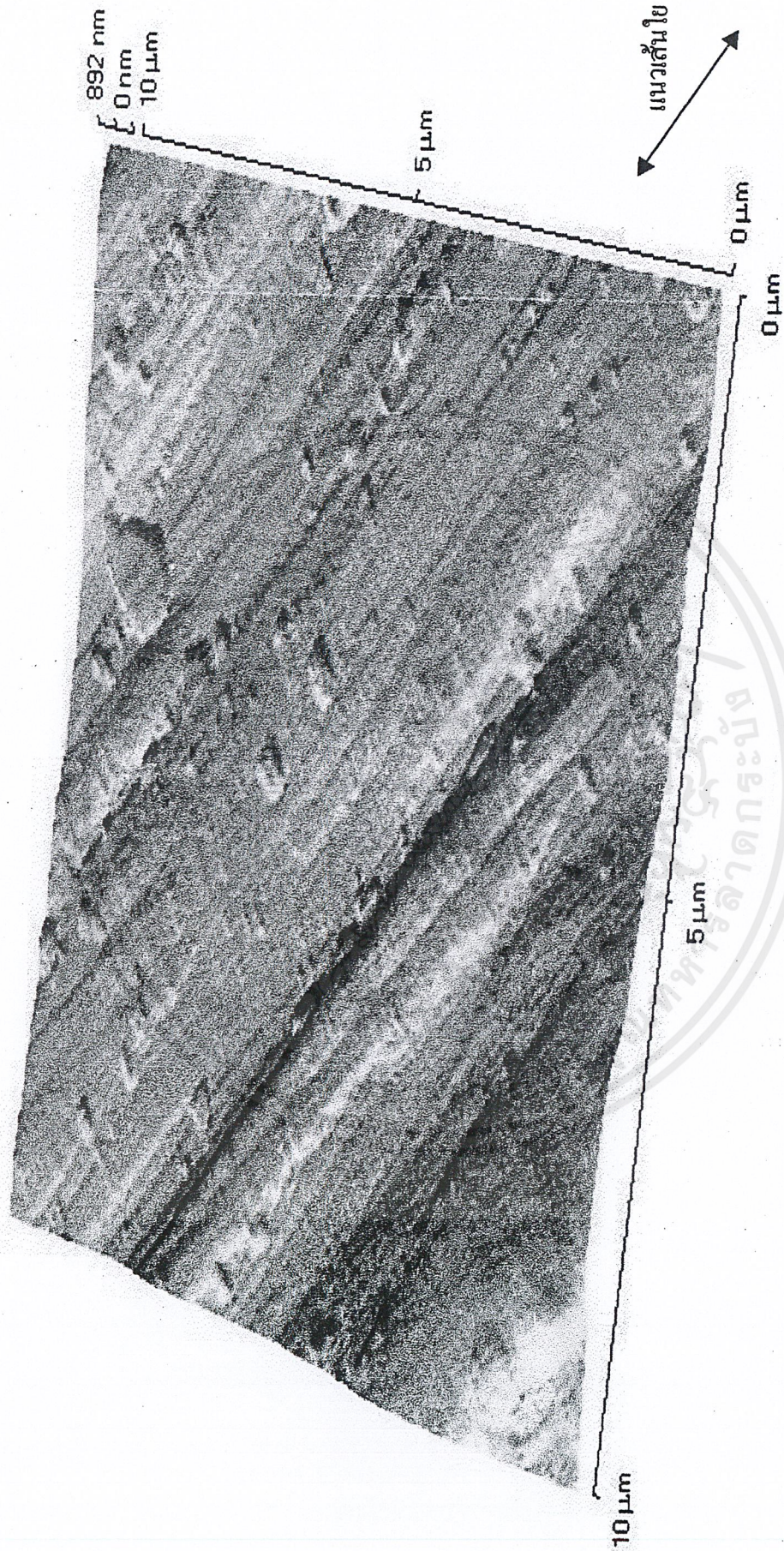
รูปที่ ข3 แสดง ATR สเปกตรัมของพอลิพรอพิลีน โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



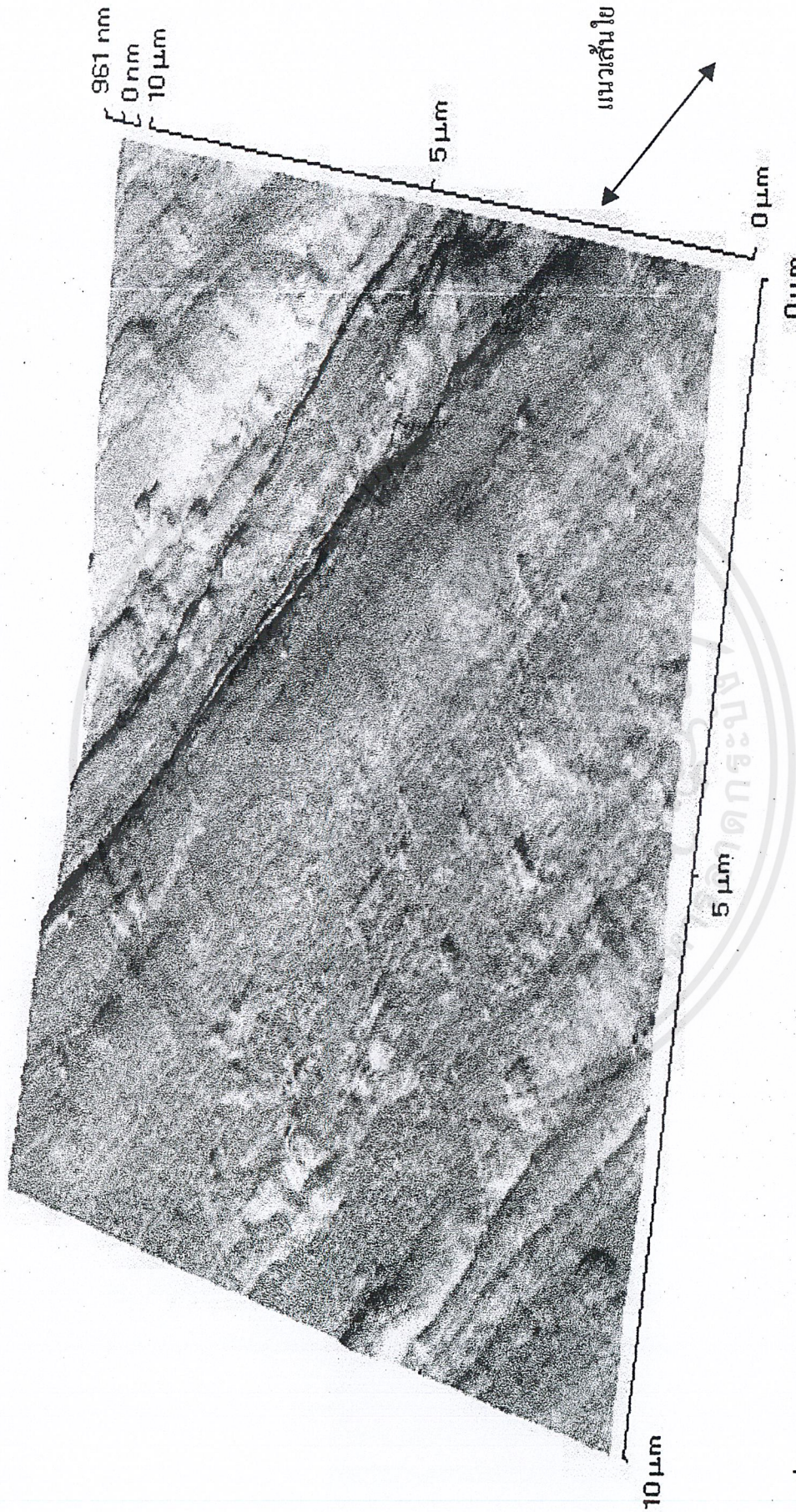
รูปที่ ข4 แสดง ATR สเปกตรัมของพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



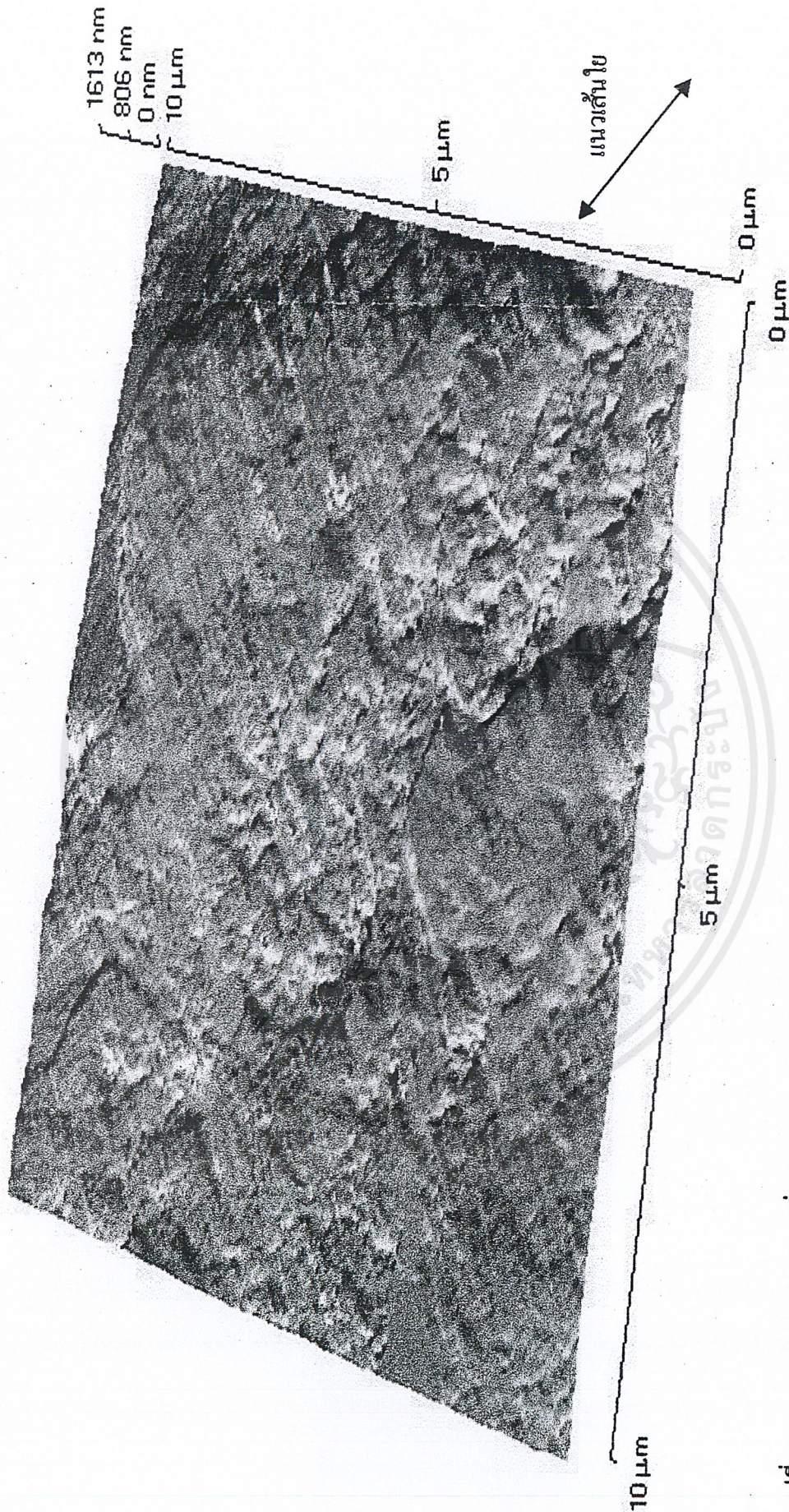
รูปที่ ค1 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการดักกิ่งเป็นเวลา 10 นาที โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



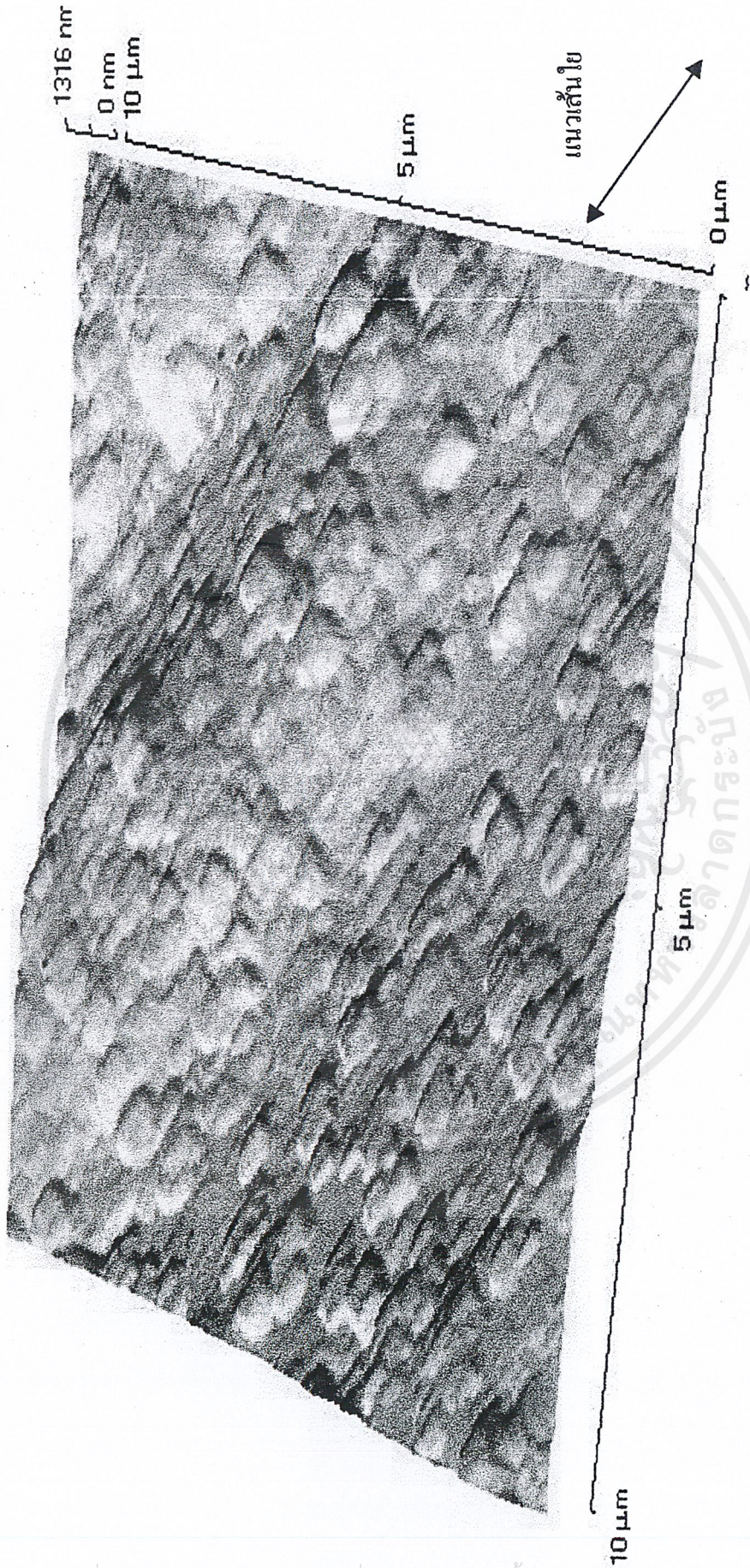
รูปที่ ค2 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการต่อกิ่งเป็นเวลา 20 นาที โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



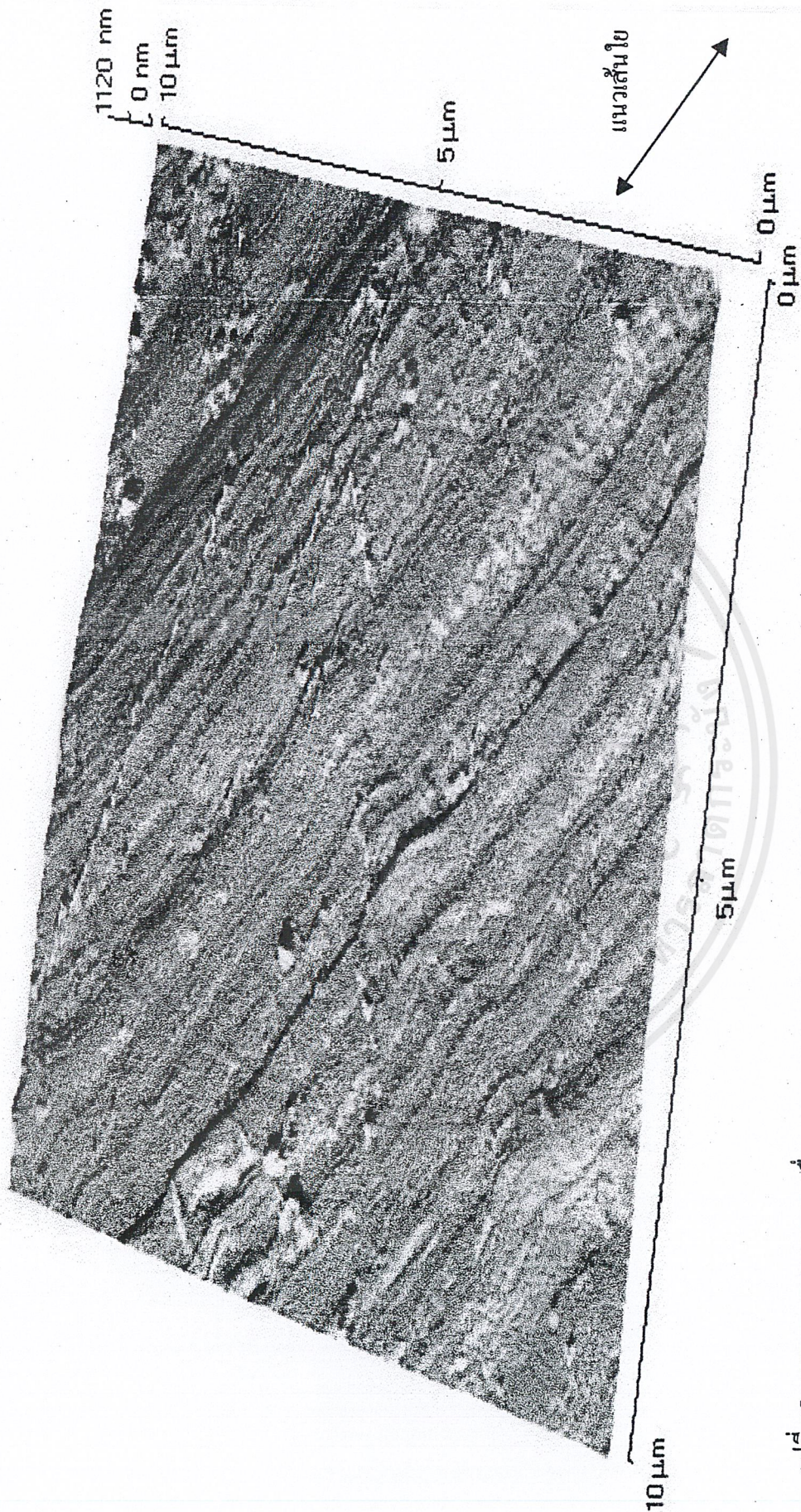
รูปที่ ค3 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการดอกลึงเป็นเวลา 30 นาที โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



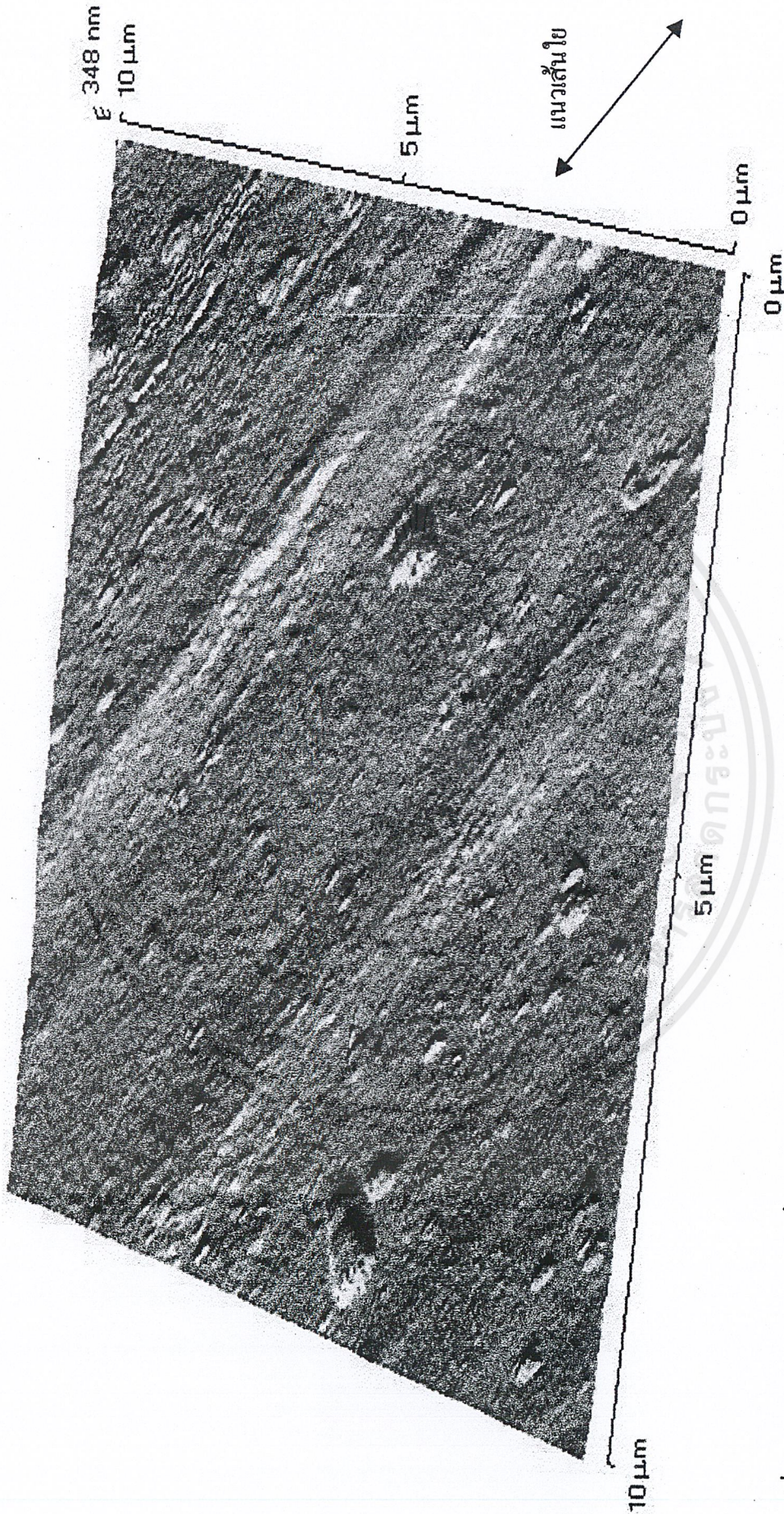
รูปที่ ค4 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการต่อถึงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



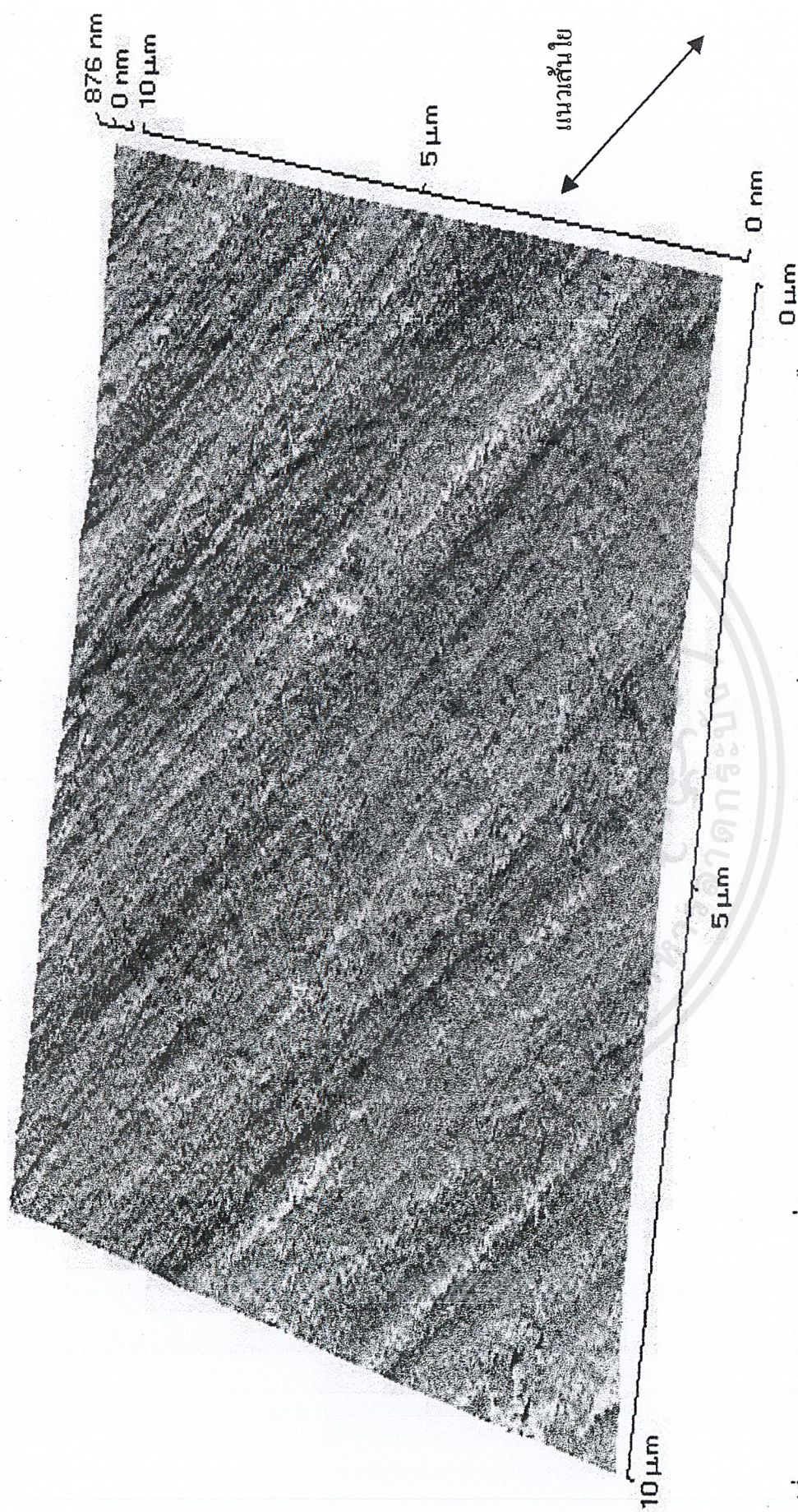
รูปที่ ค5 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



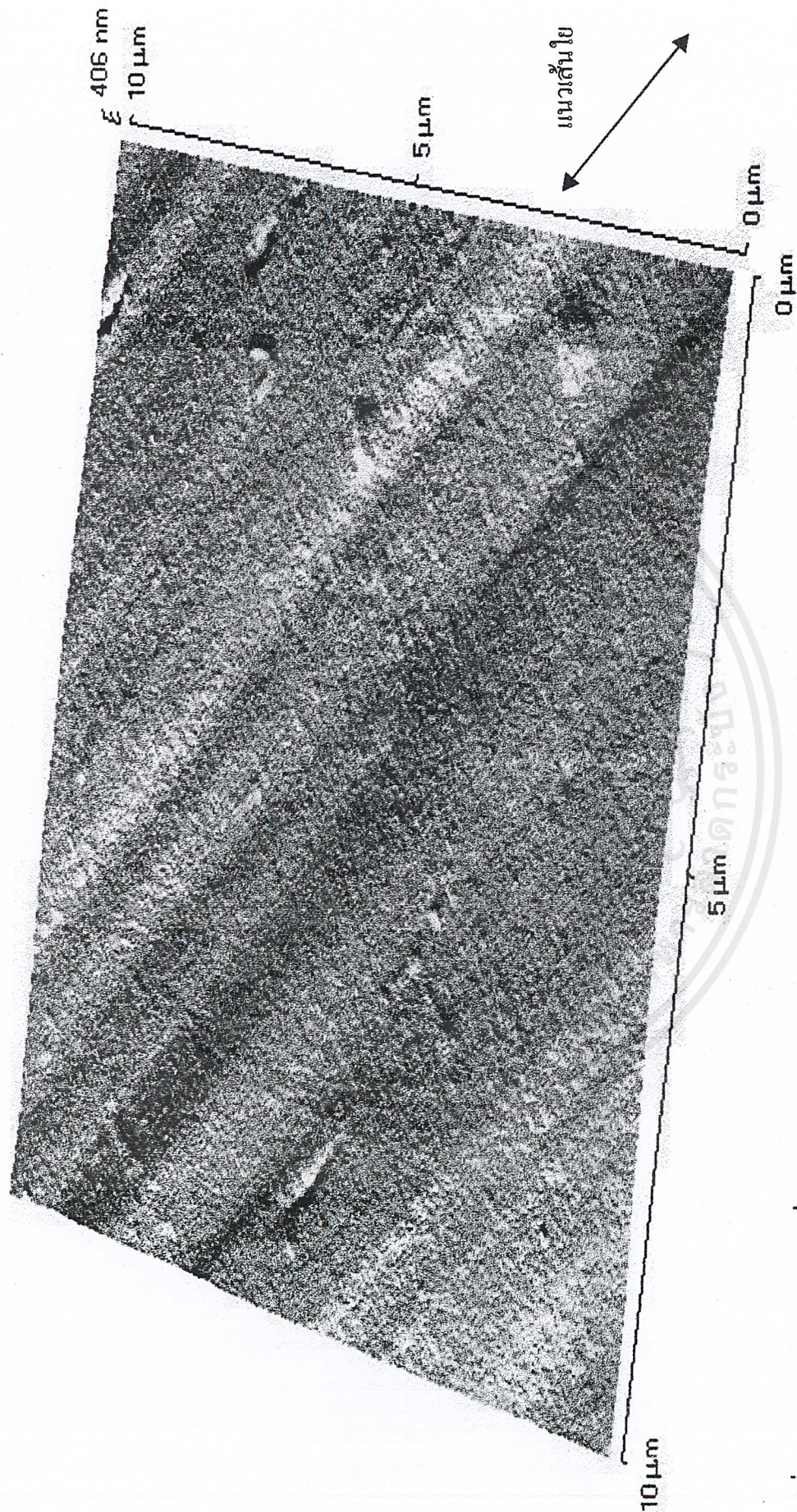
รูปที่ 6 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการต่อกิ่งเป็นเวลา 10 นาที โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



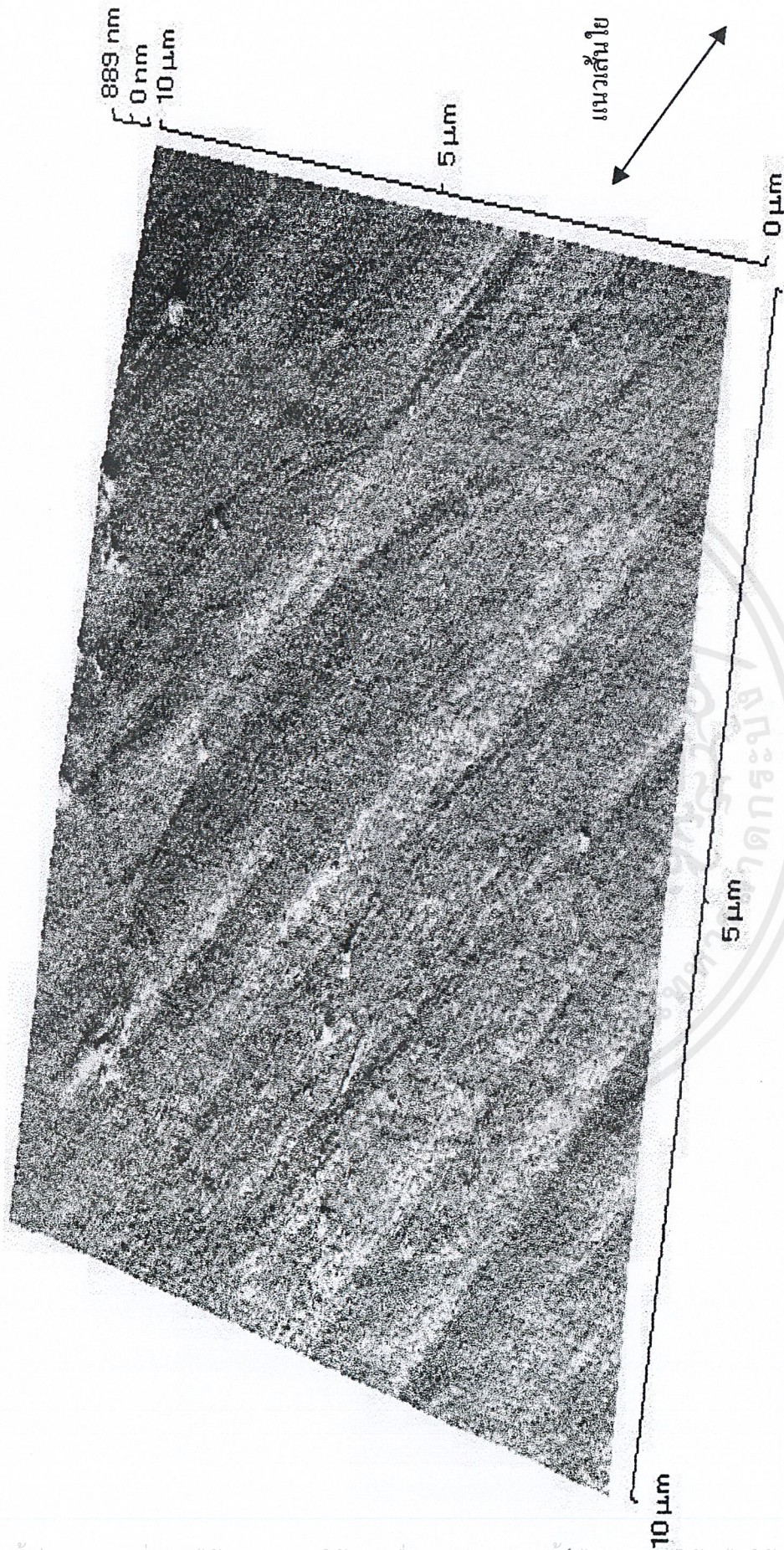
รูปที่ ค7 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการต่อถึงเป็นเวลา 20 นาที โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค8 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการต่อกิ่งเป็นเวลา 30 นาที โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค9 แสดงภาพสแกนจากเครื่อง Atomic Force Microscope ของเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่มีอัตราการดึง 10 เท่า ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการดักกิ่งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. P. Chowdhury and M. Banerjee "Graft polymerization of methel methacrylate onto polyvinyl alcohol using Ce^{4+} initiator" *J. Appl. Polym. Sci.* (1997) : 523-527.
2. C.H. Bamford and K.G. Al-Lamee "Studies in polymer surface functionalization and grafting for biomedical and other applications" *J. Polym. Sci.* 35 (1994) : 2844-2852.
3. Y. Chang Nho, J. Jin "Graft polymerization of acrylic acid and methacrylic acid onto radiation-peroxidized polyethylene film in presence of metallic salt and sulfuric acid" *J. Appl. Polym. Sci.* (1996) : 1101-1106.
4. H. Kubota and Y. Hata "Factor affecting vapor-phase photografting of methacrylic acid on low-density polyethylele film" *J. Macromol. Sci. Pure Appl. Chem.* 32 (1995) : 1263-1272.
5. H. Kubota and Y. Ogiwara "Effect of water in vapor-phase photografting of vinyl monomers On polymer films" *J. Appl. Polm. Sci.* 43 (1991) : 1001-1005.
6. Y. Ogiwara , N. Koike , H. kubota and Y. Hata "Factors affecting photografting of methacrylic acid on polyethylene film in liquid phase system" *J. Appl. Polym. Sci.* 35 (1988) : 1473-1481.
7. Dr. Ittipol Jangchud "Atomic Force Microscopy" *J. Sci. Ladkrabang* 9 No. 2 (1999) : 5-8.
8. F. R. Jones "Handbook of Polymer-fibre Composites", *Longman Group UK, LTD* (1994) : 240.
9. ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ "เคมีพอลิเมอร์" โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่ 2 (2541) :252-257
10. นฤมล พระยาน้อย และ อรอนงค์ ทวีรรวงกุล "การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีมอดุลัสสูงโดยการต่อกิ่ง" โครงการงานพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2540) : 6-19
11. นิภาพรณ เลี้ยวเจริญ "การเร่งการสลายตัวของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตสำหรับการปรับปรุงผิวพอลิโอลิฟิน" วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (2544)
12. วิชัย รั้วตระกูล "การประยุกต์สเปคโตรสโคปีในเคมีอินทรีย์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พิมพ์ครั้งที่ 2 (2527) : 116-118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้