สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีมอดูลัสสูงโดยการต่อกิ่ง

นางสาวนฤมล พระยาน้อย
นางสาวอรอนงค์ ทวีรรยงกุล

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

ปพ.
ท 276 ก
2540

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 32009
วัน, เดือน, ปี - 8 ก.พ. 2542

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study on Surface Modification of High Modulus Polyethylene fibers by Grafting

Miss Naruemon Prayanoi

Miss Onanong Taweeyanyongkul

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

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	**การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีมอดูลัสสูง โดยการต่อกิ่ง**
โดย	**นางสาวนฤมล พระยาน้อย**
	นางสาวอรอนงค์ ทวีรรยงกุล
ภาควิชา	**เคมี**
อาจารย์ที่ปรึกษา	**ดร.อิทธิพล แจ้งชัด**
	ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

หัวหน้าภาควิชาเคมี

(ผศ.นงนุช เภตรานุวัฒน์)

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

ประธานกรรมการ

(ดร.ต้องจิตต์ ดิดชอบ)

กรรมการ

(ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์)

กรรมการ

(ดร.อิทธิพล แจ้งชัด)

กรรมการ

(ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีมอดูลัสสูงโดยการต่อกิ่ง
นักศึกษา	นางสาวนฤมล พระยาน้อย
	นางสาวอรอนงค์ ทวีรรยงกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อิทธิพล แจ้งชัด
	ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย
ภาควิชา	เคมี

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการต่อกิ่งพอลิอะคริลาไมด์บนพื้นผิวเส้นใยพอลิเอทิลีน เพื่อปรับปรุงสมบัติความมีขั้วและการยึดเกาะกับวัสดุอื่น ปฏิกิริยาการต่อกิ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกเป็นปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ออกโซไดซัลเฟต ขั้นที่สองเป็นการต่อกิ่งอะคริลาไมด์โดยใช้เทคนิคซิริกไอออน โดยทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการต่อกิ่ง ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาที่ทำปฏิกิริยาในขั้นแรก และเวลาที่ทำปฏิกิริยาในขั้นต่อกิ่ง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในแนวเปรียบเทียบของสมบัติแผ่นฟิล์มและเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ผ่านและไม่ผ่านการดึง ก่อนและหลังการปรับปรุง โดยการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด และการเกิดหมู่เอไมด์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) และการดูดซับสีของเมทิลีนบลู จากการทดลองพบว่าตัวอย่างพอลิเอทิลีนสามารถเกิดการต่อกิ่งจริง และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่า ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่ต่อกิ่งมีลักษณะเป็นลาย (Grain) จากผล FTIR และการย้อมติดสียืนยันการติดของพอลิอะคริลาไมด์บนผิวพอลิเอทิลีน พบว่าการต่อกิ่งบนเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีการดึง 20 เท่า การต่อกิ่งลดลง อันเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่และปริมาณความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	A Study on Surface Modification of High Modulus Polyethylene Fibers by Grafting
Name	Miss Naruemon Prayanoi
	Miss Onanong Taweeyanyongkul
Special Project Advisors	Dr. Ittipol Jangchud
	Dr. Taweechai Amornsakchai
Department	Chemistry
Academic Year	1997

Abstract

This special project involved a study of polyacrylamide grafting on surfaces of polyethylene (PE) fibers in order to improve surface polar property and interfacial adhesion with other materials. Grafting reaction can be devided into two steps. The first step was hydroxylation by potassium peroxodisulfate ($K_2S_2O_8$) and the second was grafting of acrylamide by ceric ion techniqes. The studied factors were temperature, first and second reaction times. The comparative study of PE samples, i.e. films, undrawn fibers, and drawn fibers, before and after grafting were carried out by using Scanning Electron Microscope (SEM), Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) ,and staining by methylene blue. It was found that all PE samples can be grafted successfully and % grafting can be increased by increasing reaction temperature and time. From SEM result, it revealed grain surfaces of the grafted samples. FTIR and staining results also confirmed the existing of polyacrylamide on PE surfaces. It was seen that % grafting on drawn fibers was decreased compared to undrawn fibers due to an increase of chain orientation and crystallinity of the fibers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานพิเศษเรื่อง การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีมอดูลัสสูงโดยการต่อกิ่ง สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการดำเนินการโครงงานพิเศษนี้จากผู้มีพระคุณหลาย ๆ ท่าน ดังนี้

ดร.อิทธิพล แจ้งชัด อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานด้วยดีตลอดมา

ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานด้วยดีตลอดมา

ดร.ต้องจิตต์ คิดชอบ และ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบทานแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้

คณาจารย์ในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ

เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก

นอกจากผู้มีรายนามข้างต้น ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือให้กำลังใจในการทำงานเป็นอย่างสูง ที่ทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นฤมล พระยาน้อย
อรอนงค์ ทวีรรยงกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	4
1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พอลิเอทิลีน	5
2.2 การต่อกิ่งโดยวิธี Redox initiation	13
2.3 การย้อมติดสีของเมทิลีนบลู (Methylene blue)	15
บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	16
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	16
3.3 การเตรียมเส้นใย PE	17
3.4 การเตรียมมอนอเมอร์	17
3.5 การเตรียมตัวอย่าง	18
3.6 การต่อกิ่ง	18
3.7 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	
4.1 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาขั้นต่าง ๆ ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง	20
4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง	26
4.3 การทดสอบการย้อมติดสีหลังการต่อกิ่ง	31
4.4 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังการต่อกิ่งด้วยเครื่อง FTIR	35
4.5 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวหลังการต่อกิ่งด้วยเครื่อง SEM	38
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
ภาคผนวก	46
เอกสารอ้างอิง	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงเวลาและแผนดำเนินงาน 5

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของพอลิเอทิลีน 6

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง
(Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) ของ
THAI- ZEX 1600J 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการเตรียมเส้นใยโดยวิธี Melt-spinning 7
รูปที่ 2.2 แสดงการเตรียมเส้นใยโดยวิธี Gel-spinning 8
รูปที่ 2.3 Diagram การดึงเส้นใยแบบ Hot Drawing Process 9
รูปที่ 2.4 แสดงผลของอัตราการดึงต่อความแข็งแรงดึงและมอดูลัส 9
รูปที่ 2.5 แสดงค่าความแข็งจำเพาะกับค่ามอดูลัสเฉพาะ 10
รูปที่ 2.6 แสดงความทนต่อสารเคมีที่ช่วง pH 1 ถึง 14 10
รูปที่ 2.7 แสดงสมบัติความต่อแรงกระแทก 11
รูปที่ 2.8 Damping Charecteristics of Material 11
รูปที่ 2.9 แสดงความต้านทานต่อแสง 12
รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Methylene blue 15
รูปที่ 2.11 แสดงกลไกการย้อมติดสีระหว่าง Methylene blue กับอะคริลาไมด์ที่ต่อกิ่งบนพอลิเอทิลีน 15
รูปที่ 3.1 แสดงแท่งแก้วพันเส้นใย 17
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน ที่ทำปฏิกิริยาในขั้น Hydroxylation ที่ 70 °C 20
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน ที่ทำปฏิกิริยาในขั้น Hydroxylation ที่ 80 °C 21
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน ที่ทำปฏิกิริยาในขั้น Hydroxylation ที่ 90 °C 21
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่ทำปฏิกิริยาในขั้น Hydroxylation ที่ 80 °C 22
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่ทำปฏิกิริยาในขั้น Hydroxylation ที่ 90 °C 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่ทำปฏิกิริยาในขั้น Hydroxylation ที่ 100 °C 23

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ที่ทำปฏิกิริยาในขั้น Hydroxylation ที่ 80 °C 23

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ที่ทำปฏิกิริยาในขั้น Hydroxylation ที่ 90 °C 24

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ที่ทำปฏิกิริยาในขั้น Hydroxylation ที่ 100 °C 24

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน 26

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1.5 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน 27

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 2 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน 27

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน 28

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1.5 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน 28

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 2 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน 29

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า 29

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1.5 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 2 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า 30
รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของฟิล์มพอลิเอทิลีนก่อนและหลังการต่อกิ่ง 32
รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของฟิล์มพอลิเอทิลีนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งที่ต่างกัน 32
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีนก่อนและหลังการต่อกิ่ง 33
รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งที่ต่างกัน 33
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ก่อนและหลังการต่อกิ่ง 34
รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งที่ต่างกัน 34
รูปที่ 4.25 แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนก่อนการต่อกิ่ง 36
รูปที่ 4.26 แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง 37
รูปที่ 4.27 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนก่อนการต่อกิ่ง 38
รูปที่ 4.28 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง 39
รูปที่ 4.29 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง 39
รูปที่ 4.30 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง 40
รูปที่ 4.31 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนก่อนการต่อกิ่ง 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.32 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง 41

รูปที่ 4.33 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง 41

รูปที่ 4.34 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง 42

รูปที่ 4.35 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง 42

รูปที่ 4.36 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง 43

รูปที่ 4.37 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบัน ความต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมีเพิ่มมากขึ้น วิธีหนึ่งในการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุ คือ การแปรรูปให้เป็นเส้นใย รวมทั้งการทำเป็นวัสดุประกอบ (Composite) ในปัจจุบันเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง (High performance fibers) เหล่านี้ ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจาก ความแข็งแรงต่อหน่วยน้ำหนักของเส้นใยเหล่านี้สูงมากเมื่อเทียบกับวัสดุดั้งเดิม (Conventional materials)

เส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีมอดูลัสสูง (Ultrahigh modulus polyethylene fibers ,UHMPE fibers) เป็นเส้นใยที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากสามารถผลิตจากพลาสติกที่หาได้ง่าย ราคาถูก รวมทั้งเทคโนโลยีในการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อนเหมือนเส้นใยชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้เส้นใยพอลิเอทิลีนยังมีความแข็งแรงจำเพาะดีเยี่ยม มีความหนาแน่นต่ำ และทนต่อสารเคมี จึงนิยมนำมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุคอมพอสิต แต่เส้นใยพอลิเอทิลีนนี้มีข้อด้อยบางประการคือ มีอุณหภูมิการใช้งานต่ำ มีความเฉื่อยและความไม่มีขั้วของพื้นผิว ทำให้การยึดติดกับวัสดุอื่นไม่ดี จึงได้มีงานวิจัยเพื่อสามารถเพิ่มความมีขั้วให้กับพื้นผิวของเส้นใยพอลิเอทิลีนได้ โดยยังรักษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยให้คงเดิม จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อเทคโนโลยีการผลิตวัสดุคอมพอสิต

โครงงานพิเศษนี้ เสนอแนวทางการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยพอลิเอทิลีน โดยทำการต่อกิ่งพอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide) ลงบนพื้นผิวของพอลิเอทิลีนด้วยวิธีรีดอกซ์ (Redox initiation) ซึ่งทำ 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ

ขั้นที่ 1 เป็นขั้นไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) ทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกไซด์บนพื้นผิว โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ออกโซไดซัลเฟต (Potassium peroxodisulfate , $K_2S_2O_8$)

ขั้นที่ 2 เป็นขั้นของการต่อกิ่ง (Grafting) มอนอเมอร์อะคริลาไมด์ (Acrylamide monomer) โดยใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ผ่านไอออนซีริก (Ceric ion)

ทั้งนี้จะทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในแต่ละช่วงปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดการต่อกิ่งสูงสุดบนพื้นผิว ในงานวิจัยนี้ จะใช้ตัวอย่าง 3 ประเภท คือ แผ่นฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน (เป็นแบบจำลองเปรียบเทียบ) เส้นใยพอลิเอทิลีน และเส้นใยพอลิเอทิลีนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านการดึง 20 เท่า เพื่อเปรียบเทียบผลของการต่อกิ่งที่มีต่อลักษณะของพื้นผิว หลังจากการต่อกิ่งที่สภาวะต่าง ๆ จะทำการศึกษาพื้นผิวเพื่อเป็นการยืนยันการต่อกิ่งและดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังการต่อกิ่ง เป็นต้น

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีมอดูลัสสูงเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงจำเพาะสูง มีความหนาแน่นต่ำ ทนต่อสารเคมี จึงนำมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุคอมพอสิต อย่างไรก็ดีการใช้เส้นใยพอลิเอทิลีนในการเตรียมคอมพอสิตมีข้อจำกัดที่สมบัติของพื้นผิว คือ มีการยึดเกาะกับวัสดุอื่นไม่ดี ได้มีผู้ทำการศึกษาปรับปรุงพื้นผิวพอลิเมอร์มากขึ้น

C.H.Bamford และ K.G. Al-lamee[1] ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงพื้นผิวของพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ โดยการต่อกิ่งด้วยอะคริลาไมด์ ในการทดลองแบ่งเป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นแรกเป็นการทำไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) ด้วยสารประกอบเปอร์ออกซี (Peroxy compound) จากนั้นทำการต่อกิ่งมอนอเมอร์โดยอาศัยเทคนิคซิริกไอออน (Ceric ion) จากการศึกษาด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) พบว่าแผ่นฟิล์มพอลิพรอพิลีนที่ไม่ได้ทำ Hydroxylation ไม่เกิดพีกของเอไมด์ แสดงว่าขั้นการทำ Hydroxylation มีผลอย่างมากต่อการต่อกิ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาที่ใช้ในการทำ Hydroxylation และ Grafting ความเข้มข้นของ Peroxy Disulfate มีผลต่อการต่อกิ่งด้วย

A.S.Sarac, *et. al*.[2] ศึกษาผลของความเข้มข้นของ Ce (IV) , เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่มีต่อน้ำหนักโมเลกุล และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight distribution, MWD) ของพอลิคริลาไมด์ที่เกิดจาก Redox Polymerization ซึ่งใช้ Ce(IV)-Methionine เป็น Redox initiator ตรวจสอบผลโดยใช้เทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าเมื่อ Ce(IV) มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้พอลิอะคริลาไมด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมีปริมาณลดลง เมื่อเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีปริมาณลดลง ส่วนผลเนื่องจากอุณหภูมิให้ผลตรงข้ามกัน คือ เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น จะได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มขึ้น แต่พอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงมีปริมาณลดลง ผลการศึกษาที่สภาวะต่างๆ สามารถหาสภาวะที่เหมาะสม ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ก็คือ มีความเข้มข้นของ Ce(IV) 1.25×10^{-3} โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของอะคริลาไมด์ 10% โดยน้ำหนัก อุณหภูมิที่ใช้ 55 $^{\circ}$C และ เวลาที่ใช้ 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานของ H. Kubota, *et. al.*[3-8] ซึ่งมีความสนใจในการปรับปรุงสมบัติทางพื้นผิวของฟิล์มพอลิเอทิลีนโดยวิธีการต่อกิ่งด้วยการใช้แสง (Photografting) พบว่า เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง (% Grafting) ขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของมอนอเมอร์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ความหนาของแผ่นฟิล์ม และระบบที่ทำปฏิกิริยา ถ้าทำในระบบ Vapor phase จะมีผลเนื่องจากความดันมาเกี่ยวข้องด้วย โดยที่ความดันสูง ๆ จะไม่สามารถทำให้มอนอเมอร์กลายเป็นไอได้มากพอ จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งลดลง แต่ถ้าระบบมีน้ำอยู่ด้วยจะทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น H. Kubota ยังศึกษาผลของสภาวะในการพอลิเมอไรซ์ที่มีต่อลักษณะพื้นผิว (Surface structure) อีกด้วย พบว่า Surface structure ของตัวอย่างที่ต่อกิ่ง (Graft samples) ที่ใช้การริเริ่มด้วยความร้อน (Thermal initiation) ในระบบ Liquid phase จะมีลักษณะราบเรียบ โดยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ ส่วน Photografting ตัวอย่างที่ต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์พวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic monomers) จะได้พื้นผิวเป็นลาย (Grain) โดยสายโซ่กิ่งที่ต่อจะถูกจำกัดเพียงพื้นผิวเท่านั้น แต่ถ้าใช้มอนอเมอร์พวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic monomer) จะมีพื้นผิวราบเรียบส่วนในระบบ Vapor phase จะได้ลักษณะพื้นผิวเรียบ โดยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ และสายโซ่กิ่งที่ต่อสามารถกระจายอยู่ภายในฟิล์มอย่างสม่ำเสมอตลอดความหนา ในระบบ Vapor phase มีน้ำปนอยู่ด้วยถ้าใช้ Hydrophilic monomer จะมีพื้นผิวเป็นลาย โดยที่สายโซ่กิ่งที่ต่อจะถูกจำกัดที่พื้นผิวเช่นเดียวกับในระบบ Liquid phase แสดงให้เห็นว่า ลักษณะพื้นผิวแบบลาย จะเกิดได้ขึ้นอยู่กับ Hydrophilic monomer และทำในระบบ Liquid phase หรือ ระบบที่มีน้ำมาเกี่ยวข้อง

T. Amornsakchai และ H. Kubota[9] ได้ศึกษาการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของเส้นใยพอลิเอทิลีนด้วยวิธี Photografting พบว่า เมื่อตัวอย่างถูกดึงมากขึ้น การเกิดปฏิกิริยาต่อกิ่งจะลดน้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าต่อกิ่งเกิดภายในเส้นใยด้วย ได้มีการเสนอแบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาแข่งขันระหว่างไอมอนอเมอร์ที่อยู่ในบรรยากาศ และที่ละลายอยู่ในตัวอย่าง การละลายของมอนอเมอร์ในเส้นใยที่มีความเป็นผลึกสูงนี้ไม่เป็นเรื่องที่ประหลาดนัก ได้มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม และมีข้อสรุปว่า ไอของสารอินทรีย์สามารถละลายได้ในส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) ของพอลิเอทิลีนที่ผ่านการดึงมาแล้ว หรือพอลิเอทิลีนที่มีการเรียงตัวของโมเลกุลเป็นระเบียบมาก (Drawn or highly oriented polyethylene)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

เพื่อศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางพื้นผิวของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีมอดูลัสสูง โดยการต่อกิ่งพอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide) ลงบนพื้นผิวของเส้นใย เพื่อเพิ่มสมบัติความมีขั้วให้กับเส้นใยและเพิ่มการยึดติดกับวัสดุอื่นได้ดีขึ้น

1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

โครงงานพิเศษนี้จะทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยก่อนและหลังทำการต่อกิ่งด้วยอะคริลาไมด์(Acrylamide) ดังนี้

1. การหาเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง
2. ศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยก่อนและหลังทำการต่อกิ่ง
3. ศึกษาการเกิดหมู่เอไมด์ที่เกิดหลังทำการต่อกิ่ง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีมอดูลัสสูงให้มีสมบัติการยึดติดกับวัสดุอื่นได้ดีขึ้น

2. สามารถใช้ความรู้ที่ได้รับ เป็นแนวทางในการปรับปรุงสมบัติเส้นใยเสริมแรงในวัสดุคอมพอสิตอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งโดยไม่เสียสภาพ PE มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ

$$+CH_2 - CH_2+_n$$

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ดีและราคาถูก สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนมอนอเมอร์ พอลิเอทิลีนมีลักษณะคล้าย Wax มาตรฐาน ASTM แบ่งพอลิเอทิลีนเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของพอลิเอทิลีน

ชนิด	ความหนาแน่น (g/cm^3)
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	0.910-0.925
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE)	0.926-0.940
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	0.941-0.965

สมบัติโดยทั่วไปของพอลิเอทิลีน

1. มีอุณหภูมิอ่อนตัวประมาณ 80-120° C
2. มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) -60 ถึง 120 °C
3. มีอุณหภูมิหลอมตัวผลึก (Tm) 108 ถึง 132 °C
4. มีความต้านทานตัวทำละลาย เนื่องจากมีความเป็นผลึกสูง
5. มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า และต้านทานความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง (Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) ของ THAI -ZEX 1600J

คุณสมบัติ Properties	หน่วย Unit	วิธีทดสอบ Test method	ค่าที่ได้จากการทดสอบ Typical value
ดรรชนีการไหล Melt flow index	g/10min	ASTM D 1238	18
ความหนาแน่น Density	g/cm	ASTM D 1505	0.958
ความต้านแรงดึงยืด Tensile strength at yield	kg/cm^2	ASTM D 638	280
ความต้านแรงดึงขาด 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	10000
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	$^{\circ}C$	ASTM D 2117	131
จุดอ่อนตัว Softening point	$^{\circ}C$	ASTM D 1525	122

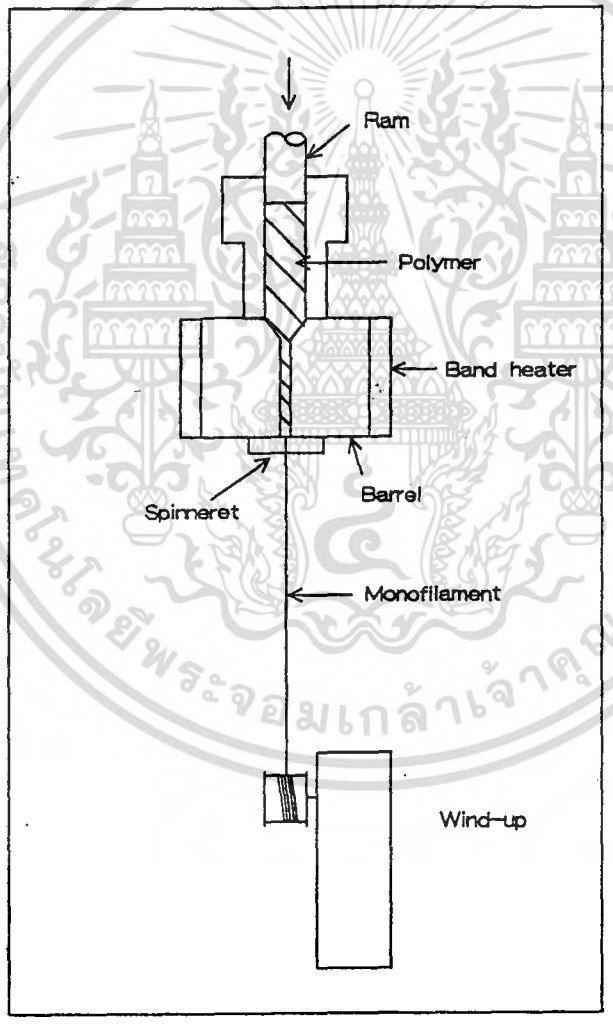
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยพอลิเอทิลีน

เส้นใยนิยมใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในคอมพอสิต เส้นใยพอลิเอทิลีนเป็นเส้นใยหนึ่งที่นิยมนำมาทำเส้นใยเสริมแรง เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง มีน้ำหนักเบา โดยมีความหนาแน่นจำเพาะเพียง 0.97 ทำให้มีความแข็งแรงต่อหน่วยน้ำหนักสูง

การเตรียมเส้นใย ทำได้ 2 วิธีดังนี้

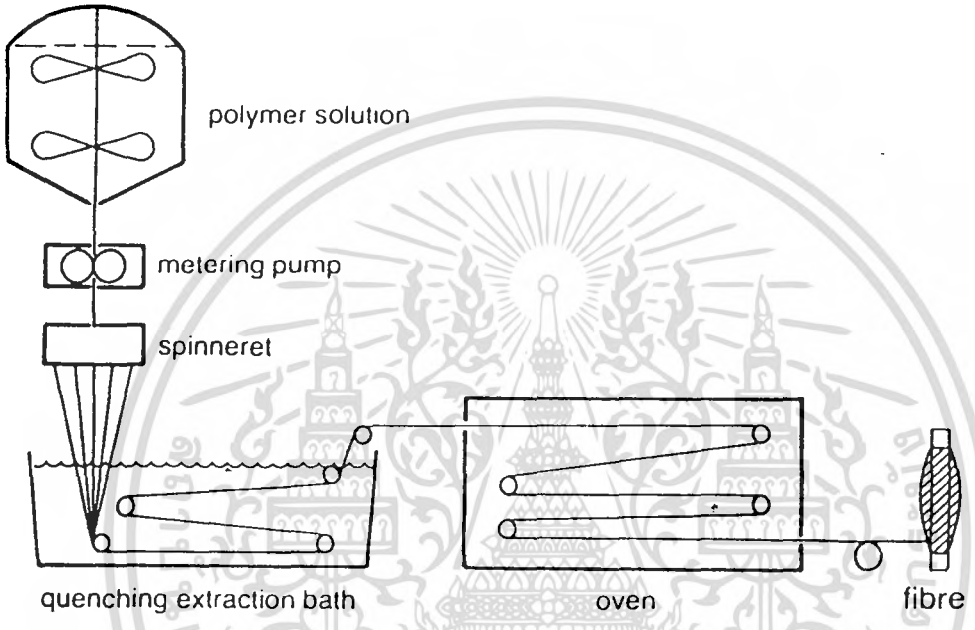
1. Melt-spinning เป็นการเตรียมเส้นใยโดยทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวแล้วไหลผ่านหัวฉีด (spinnerate) โดยอาศัยน้ำหนักกด วิธีนี้ใช้กับพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมาก



รูปที่ 2.1 แสดงการเตรียมเส้นใยโดยวิธี Melt-spinning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Gel spinning ใช้ตัวทำละลายทำให้เกิดพอลิเมอร์มีสถานะคล้ายเจล จากนั้นทำการดึงผ่านหัวฉีดแล้วนำเข้าเตาอบเพื่อระเหยตัวทำละลายออก เส้นใยที่ได้จากวิธีนี้จะมีมอดูลัสสูง ใช้กับพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก



รูปที่ 2.2 แสดงการเตรียมเส้นใยโดยวิธี Gel spinning

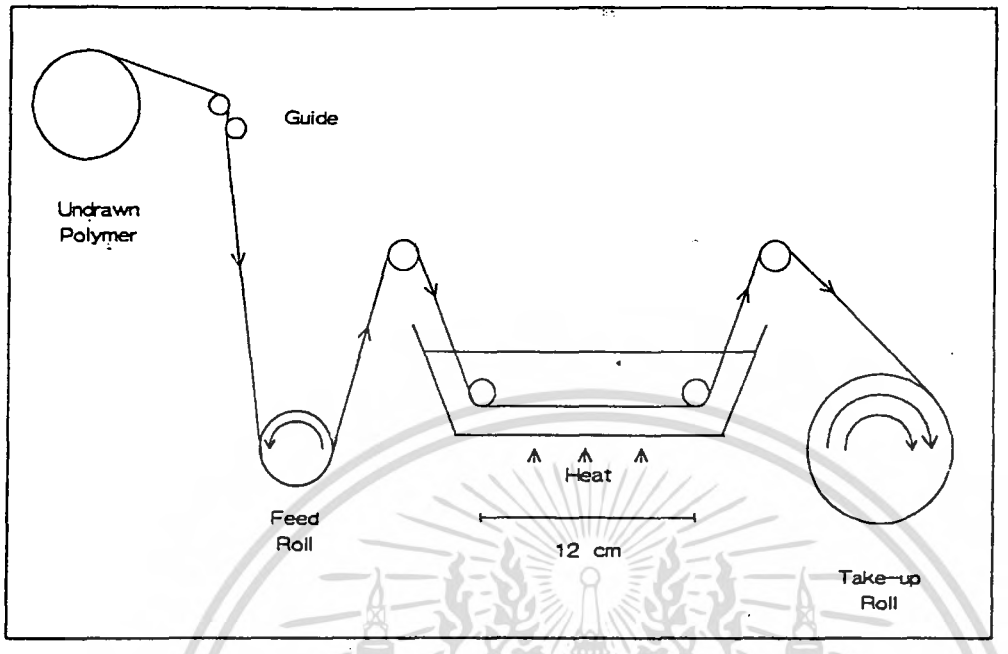
การดึงเส้นใย

การดึงเส้นใยทำให้ผลึกและสายโซ่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกับเส้นใยมากขึ้น ทำให้มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น ทำโดยวิธี

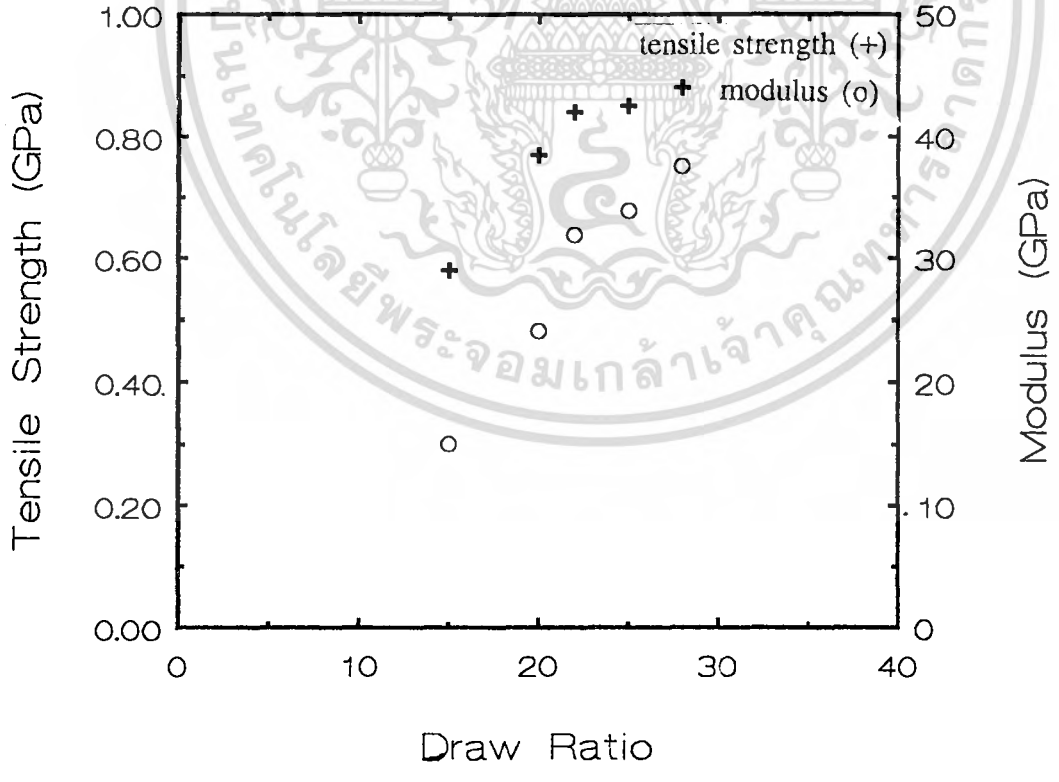
1.Hot Drawing Process

โดยนำเส้นใยมาดึงผ่านอ่างน้ำมันร้อน ผ่านลูกกลิ้ง 2 ลูกที่หมุนด้วยอัตราเร็วต่างกัน โดยลูกกลิ้งลูกหลังหมุนเร็วกว่าลูกกลิ้งลูกแรก 10 เท่า อัตราการดึง (Draw ratio) เป็นอัตราส่วนของความยาวเส้นใยหลังการดึงส่วนด้วยความยาวเส้นใยเริ่มต้น กำหนดโดยอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 Diagram การดึงเส้นใยแบบ Hot Drawing Process

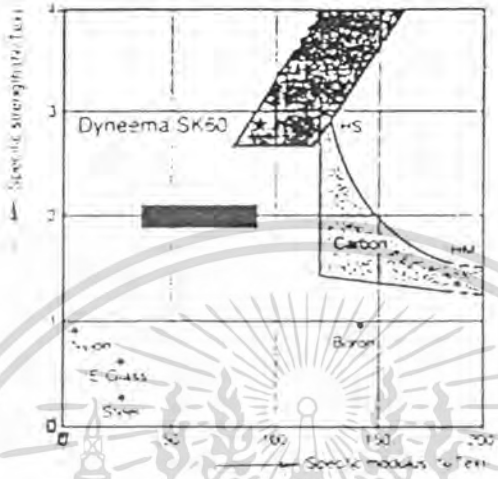


รูปที่ 2.4 แสดงผลของอัตราการดึงต่อค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

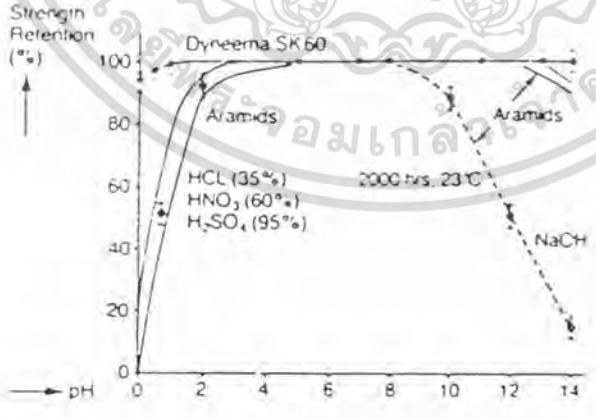
สมบัติของเส้นใยพอลิเอทิลีน

1. มีความแข็งแรงดึงจำเพาะสูงเมื่อเทียบกับเส้นใยอื่น ๆ



รูปที่ 2.5 แสดงค่าความแข็งจำเพาะกับค่ามอดูลัสเฉพาะ

2. ทนต่อสารเคมี



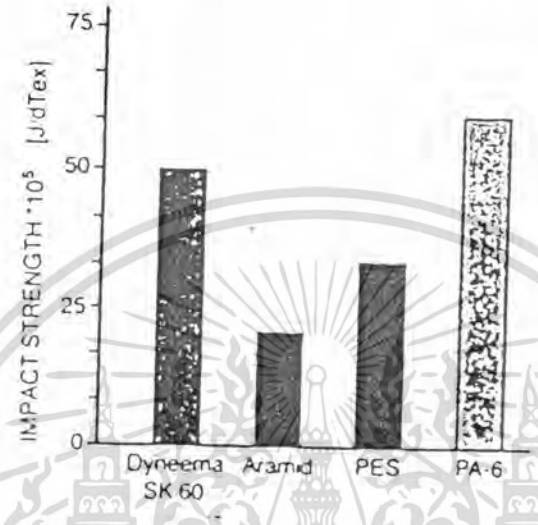
รูปที่ 2.6 แสดงความทนต่อสารเคมีที่ช่วง pH 1 ถึง 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. น้ำหนักเบา ความหนาแน่นจำเพาะต่ำ

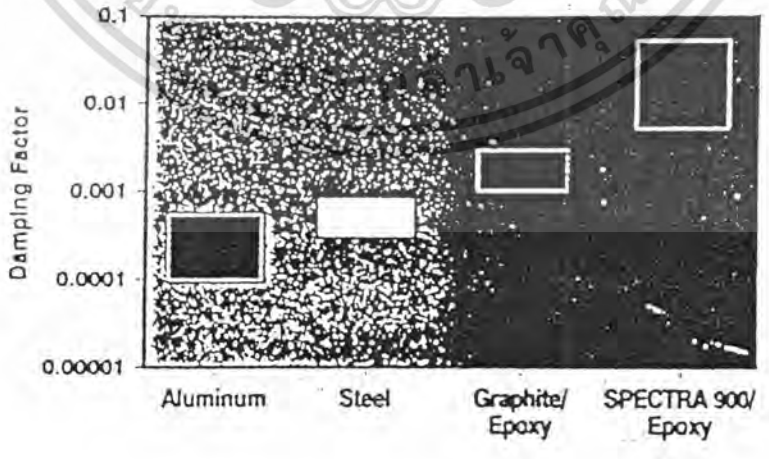
4. ค่าการดูดซึมน้ำต่ำ

5. มีสมบัติทนแรงกระแทกสูง



รูปที่ 2.7 แสดงสมบัติความทนต่อแรงกระแทก

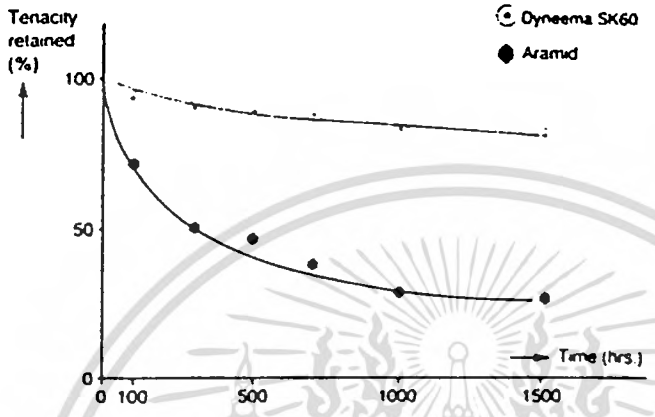
6.มี Vibration damping สูง ทำให้มีสมบัติการรับแรงและกระจายแรงดี



รูปที่ 2.8 Damping Characteristics of Materials

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทนต่อรังสี อัลตราไวโอเลต



รูปที่ 2.9 แสดงความต้านทานต่อแสง

ประโยชน์และการนำไปใช้งาน

1.ใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในคอมพอสิตเนื่องจากมีความแข็งแรงจำเพาะสูง น้ำหนักเบา และมีสมบัติการรับแรงที่ดี

2. ใช้ทำอุปกรณ์เครื่องบิน

3. ใช้ทำอุปกรณ์เครื่องยนต์

4. ใช้ทำอุปกรณ์ป้องกัน เช่น หมวกกันน็อค

5. ใช้ในอุตสาหกรรมทำท่อและเส้นใย

6. ใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า

7. ใช้ทำอุปกรณ์ดำน้ำ เบ็ดตกปลา

8. ใช้ทางด้านการแพทย์ เช่น ทำหลอดเลือดเทียม เอ็นเทียม โต๊ะผ่าตัด

9. ใช้ทางด้านทหาร เช่น สลักลูกระเบิด ที่เก็บขีปนาวุธ

10. ใช้ทำอุปกรณ์กีฬา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การต่อกิ่งโดยวิธี Redox Initiation

วิธีการต่อกิ่งโดยวิธี Redox initiation เป็นวิธีการต่อกิ่งที่พื้นผิวที่ง่ายและประหยัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ยุ่งยาก ปฏิกิริยา Oxidation-reduction ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radicals) ซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน การริเริ่มแบบนี้เรียกว่า Redox initiation ,Redox catalysis หรือ Redox activation ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถเกิดอนุมูลอิสระได้ที่ช่วงอุณหภูมิกว้าง สามารถริเริ่มให้เกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิ 0 ถึง 50 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า โดยวิธีนี้สามารถเลือกอุณหภูมิพอลิเมอไรเซชันได้อย่างอิสระกว่าวิธีริเริ่มด้วยความร้อน ใช้ได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ระบบ Redox บางระบบจะเกิดการโยกย้ายอิเล็กตรอนโดยตรงระหว่าง Reductant และ Oxidant ในขณะที่บางระบบจะเกิดการสร้างสารมัธยันต์ (Intermediate) ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง Reductant-oxidant และในบางกรณีเกิด สารประกอบเชิงซ้อนที่แลกเปลี่ยนประจุ (Charge-transfer complex)

ชนิดของ Redox Initiators

1. Peroxide ตัว reducing agent เป็นแหล่งของอนุมูลอิสระ ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยาของ Hydrogenperoxide กับ Ferrous ion

$$H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow HO^- + HO^{\bullet} + Fe^{3-} \quad (1)$$

2. การรวมของ Inorganic reductant และ inorganic oxidants ดังตัวอย่าง

$$^-O_3S-O-O-SO_3^- + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + SO_4^{2-} + SO_4^{\bullet-} \quad (2)$$

$$^-O_3S-O-O-SO_3^- + S_2O_3^{2-} \rightarrow SO_4^{2-} + SO_4^{\bullet-} + \cdot S_2O_3^- \quad (3)$$

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

$$R-CH_2-OH + Ce^{4+} \xrightarrow{k_d} Ce^{3+} + H^+ + R-\dot{C}H-OH \quad (4)$$

4. ระบบที่เกิดการริเริ่มโดยตัวมอนอเมอร์เอง

การต่อกิ่งด้วยวิธี Redox Initiation ในการทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้น Hydroxylation โดยสารประกอบเปอร์ออกไซด์ ซึ่งอาจเป็น Peroxydisulfate หรือ Peroxymonosulfate

2. ขั้น การต่อกิ่งของ Vinyl monomer โดยใช้ Ceric ion

Peroxydisulfate หรือ Peroxomonosulfate เป็นแหล่งของอนุมูลอิสระอยู่ในสารละลาย การสลายตัวด้วยความร้อนของ Potassium peroxydisulfate ในสารละลาย pH 8 อุณหภูมิ 80 °C กลไกการสลายตัวจะเกิดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$^{-}O_3SO\text{-}OSO_3^{-} \text{ -----> } 2SO_4^{\cdot -} \quad (5)$$

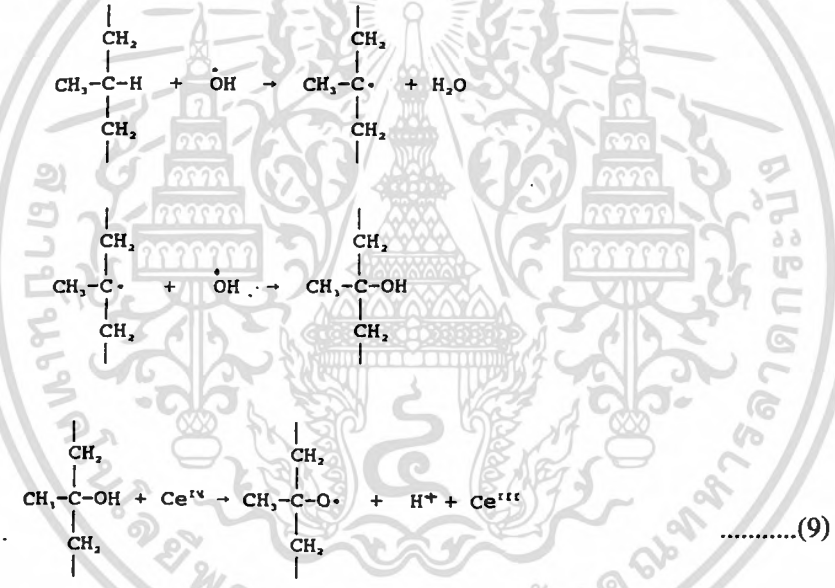
$$SO_4^{\cdot -} + H_2O \text{ -----> } HSO_4^{-} + {}^{\cdot}OH \quad (6)$$

$$2{}^{\cdot}OH \text{ -----> } H_2O + 1/2\ O_2 \quad (7)$$

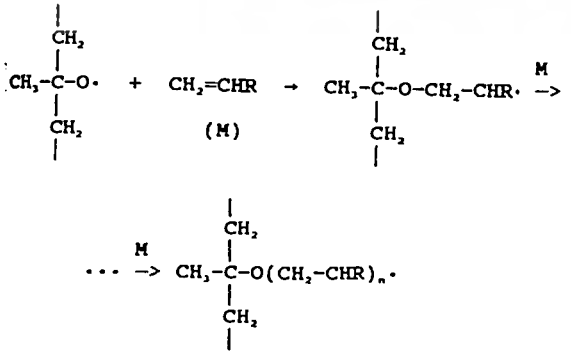
$$SO_4^{\cdot -} + CH_3OH \text{ -----> } HSO_4^{-} + CH_2OH \quad (8)$$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ที่พอลิเมอร์ถูกดึงไฮโดรเจนโดยไฮดรอกซี ตามด้วยการรวมของ Macroradical กับ Second hydroxy radicals (ปฏิกิริยาที่ 9) พอลิเมอร์ที่เป็น Hydroxylate ที่เกิดขึ้นจะถูกต่อกิ่งโดย Ceric ion

ดังนั้นกระบวนการนี้จะเกิดการต่อกิ่ง 2 ขั้นตอนด้วยกันคือขั้น Hydroxylation และ Grafting ดังปฏิกิริยาที่ 9 และ 10 ตามลำดับ



.....(9)



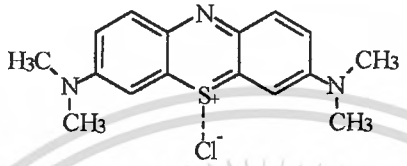
.....(10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การย้อมติดสีของเมทิลีนบลู (Methylene blue)

ข้อมูลเกี่ยวกับ Methylene blue

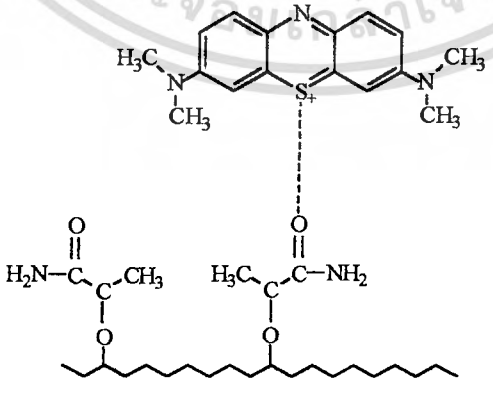
- ชื่อทางเคมี คือ 3,7 - Bis (dimethylamino) phenazathionium chloride
- สูตรทางเคมี คือ $C_{16}H_{18}ClN_3S.2H_2O$
- สูตรโครงสร้าง แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Methylene blue

- น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 319 g/mol
- จุดหลอมเหลว เท่ากับ 180 °C
- ละลายน้ำที่อุณหภูมิ 200 °C ได้ 50 g/l
- มีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่า 180 °C

โดยปกติพื้นผิวของพอลิเอทิลีนมีความเฉื่อยและไม่มีขั้ว เมื่อทำการต่อกิ่งด้วยอะคริลาไมด์ ทำให้เกิดหมู่เอไมด์ของอะคริลาไมด์บนสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีน เมื่อนำพอลิเอทิลีนที่ต่อกิ่งด้วยอะคริลาไมด์ไปแช่ในสารละลาย Methylene blue ทำให้สามารถย้อมติดสีฟ้าของ Methylene blue ได้ ทั้งนี้เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุของขั้วลบของหมู่เอไมด์กับขั้วบวกของ Methylene blue แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงกลไกการติดสีระหว่าง Methylene blue กับอะคริลาไมด์ที่ต่อกิ่งบนพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิจัยและดำเนินการ

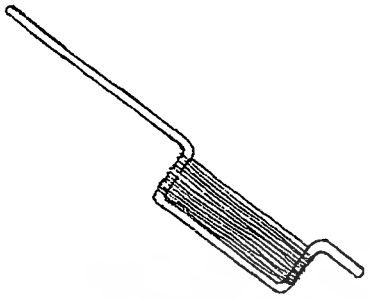
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)
   MFI = 18 g/ 10 min 1600 J Injection grade : บริษัท บางกอกพอลิเอทิลีน จำกัด
2. ฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)
3. ไวนิลมอนอเมอร์ คือ Acrylamide : BDH Laboratory Supplies
4. โพแทสเซียมเปอร์ออกโซไดซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) : Merck
5. ซิริกแอมโมเนียมไนเตรต : CARLO ERBA
6. กรดไนตริก 0.4 N : Lab Scan
7. เมทิลีนบลู (Methylene blue)
8. ก๊าซไนโตรเจน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. แท่งแก้วพันเส้นใย แสดงดังรูปที่ 3.1
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
4. บีกเกอร์
5. ขวดวัดปริมาตร 100 ml
6. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)
7. กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบกวาด (Scanning Electron Microscope , SEM)
8. เครื่องชั่งละเอียด
9. เครื่องเตรียมเส้นใยพอลิเอทิลีน
10. เครื่องดึงเส้นใยพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงแท่งแก้วพันเส้นใย

3.3 การเตรียมเส้นใย PE

3.3.1 การเตรียมเส้นใย PE ปกติ

1. ตั้งอุณหภูมิในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติก 200 °C
2. เทเม็ดพลาสติกลงในเครื่องเตรียมเส้นใย รอให้เม็ดพลาสติกหลอม ใช้เวลาประมาณ 5 นาที
3. ใช้น้ำหนักกด 15 กิโลกรัม กดให้พลาสติกที่หลอมผ่านหัวฉีด
4. นำเส้นใยที่ได้พันรอบแกนพลาสติกที่ต่อกับเครื่องหมุนด้วยความเร็ว 40 รอบต่อนาที

3.3.2 การเตรียมเส้นใย PE ที่มีอัตราการดึง 20 เท่า

1. ตั้งอุณหภูมิอ่างน้ำมัน 70 °C
2. นำเส้นใยที่ได้จากข้อ 1. มาดึงผ่านอ่างน้ำมันร้อนผ่านลูกกลิ้งสอง ลูกที่หมุนด้วยอัตราเร็วต่างกัน 10 เท่า อัตราการดึงกำหนดจาก อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งทั้งสอง จะได้เส้นใยที่มีอัตราการดึง 20 เท่า

3.4 การเตรียมมอนอเมอร์

1. ชั่ง Acrylamide 7.108 g ละลายด้วยน้ำกลั่น
2. ชั่ง Ceric Ammoniumnitrate 0.1096 g
3. ปิเปตกรดไนตริก 0.4 N 10 ml ลงใน Ceric Ammonium nitrate คนให้ละลาย
4. เทลงในขวดวัดปริมาตร 100 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32009

5. เทสารละลายของ Acrylamide

6. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml. ด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมอนอเมอร์ที่มีความเข้มข้น 1 โมล/ ลิตร

3.5 การเตรียมตัวอย่าง

3.5.1 แผ่นฟิล์ม

- ตัดแผ่น film ขนาด 5 x 10 เซนติเมตร

3.5.2 เส้นใย

-ชั่งน้ำหนักเส้นใย PE ที่มีความยาว 2 เมตร และ 6 เมตร สำหรับเส้นใย PE ที่ถูกดึง นำเส้นใยมาพันกับแท่งแก้ว

3.6 การต่อกิ่ง

3.6.1 ขั้น Hydroxylation

1. นำเส้นใยที่พันแล้วจุ่มในสารละลายของ $K_2S_2O_8$ 10% w/v
2. พ่นก๊าซไนโตรเจน
3. แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °C
4. เขย่าให้ $K_2S_2O_8$ ละลาย
5. แช่ตัวอย่างแต่ละชุด ทิ้งไว้ที่เวลา 1 , 1.5 , และ 2 ชั่วโมง
6. นำตัวอย่างออกล้างด้วยน้ำอุ่น
7. ทำให้แห้งในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน
8. ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 1-7 แต่ใช้อุณหภูมิเป็น 70 กับ 90 °C สำหรับฟิล์มและ 90 และ 100 °C สำหรับเส้นใย

3.6.2 ขั้นGrafting

1. เทสารละลายมอนอเมอร์ 30 ml ลงในหลอดทดลอง
2. นำตัวอย่างที่ทำการ Hydroxylate แล้ว แช่ในสารละลายมอนอเมอร์
3. พ่นก๊าซไนโตรเจน
4. แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 50 °C
5. แช่ตัวอย่างแต่ละชุดทิ้งไว้ 3 , 4 และ 5 ชั่วโมง
6. นำตัวอย่างที่ทำการต่อกิ่งแล้วมารีฟลักซ์ (Reflux) 24 ชั่วโมง ด้วยน้ำกลั่น เพื่อกำจัดโฮโมพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำมาอบให้แห้ง

8. ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง จาก

เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง = [(Wg-Wo)/Wo] x 100

เมื่อ Wg คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์หลังการต่อกิ่ง

Wo คือ น้ำหนักของพอลิเอทิลีนก่อนการต่อกิ่ง

3.7 <u>ทดสอบสมบัติต่างๆ</u> ได้แก่

3.7.1 สมบัติการย้อมติดสี

ทำการแช่ตัวอย่างในสารละลาย Methylene blue เข้มข้น 0.01% w/v นาน 2 ชั่วโมง

3.7.2 ตรวจสอบหมู่เอไมด์ที่เกิดด้วยเครื่อง FTIR

3.7.3 ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วย SEM

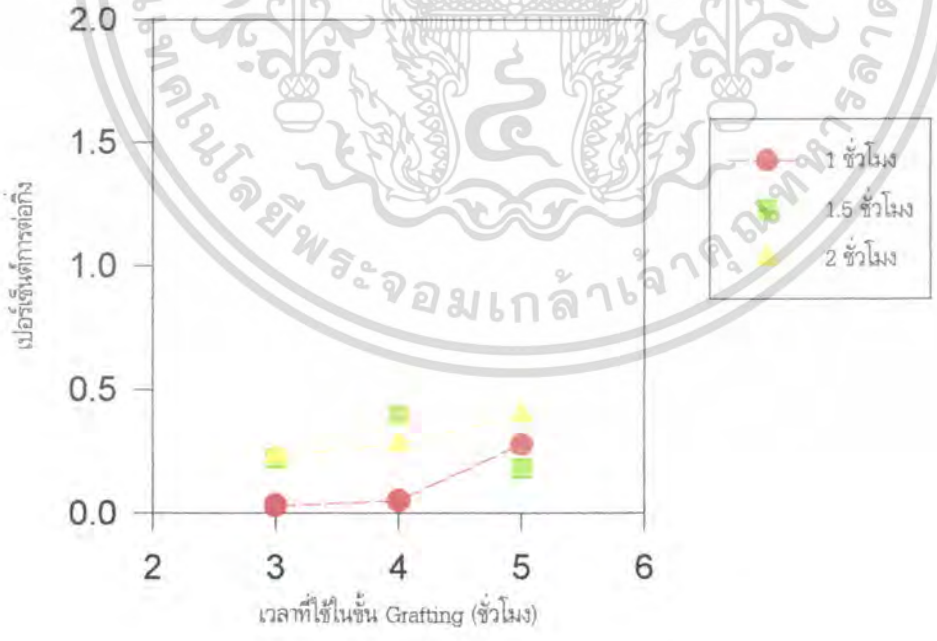
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากการทดลองทำการต่อกิ่งอะคริลาไมด์ลงบนพื้นผิวพอลิเอทิลีน โดยใช้ตัวอย่าง 3 ประเภท คือ แผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีนปกติ และเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ถูกดึง 20 เท่า สำหรับฟิล์มใช้อุณหภูมิในขั้น Hydroxylation ที่ 70 , 80 และ 90 °C ส่วนเส้นใยใช้อุณหภูมิในขั้น Hydroxylation ที่ 80 , 90 และ 100 °C เวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation เป็น 1 , 1.5 และ 2 ชั่วโมง และเวลาที่ใช้ในขั้น Grafting เป็น 3 , 4 และ 5 ชั่วโมง ได้ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

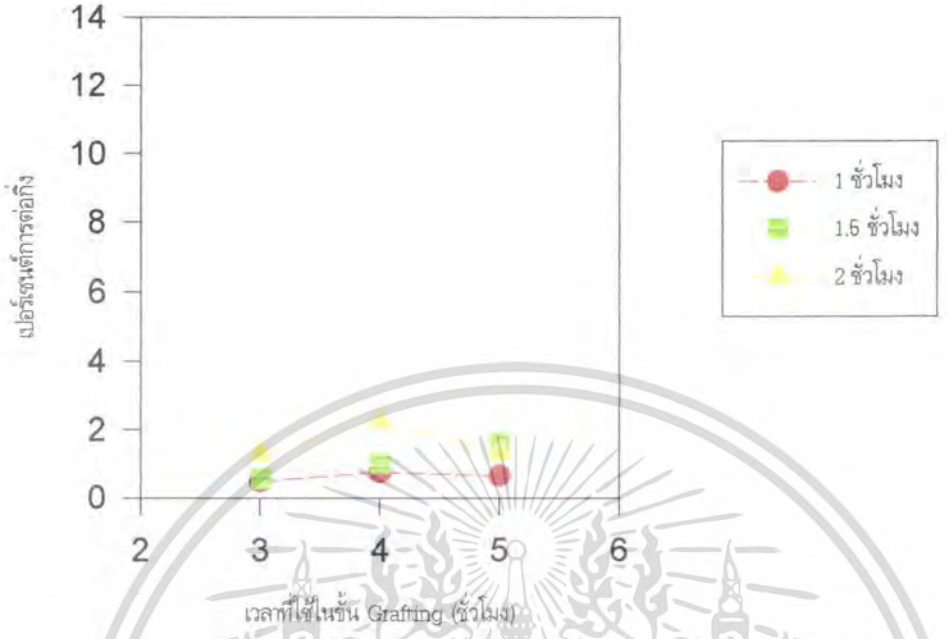
4.1 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาขั้นต่าง ๆ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง

การต่อกิ่งของพอลิอะคริลาไมด์ลงบนแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีนและเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้น ที่อุณหภูมิในขั้น Hydroxylation ต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 ถึง 4.9

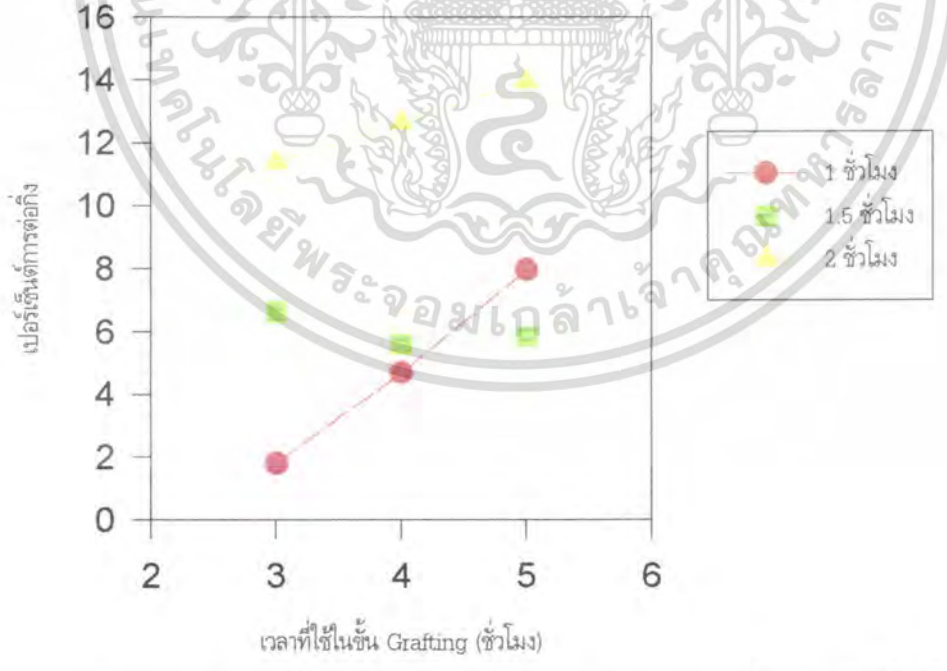


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน ที่ทำปฏิกิริยาในขั้น Hydroxylation ที่ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

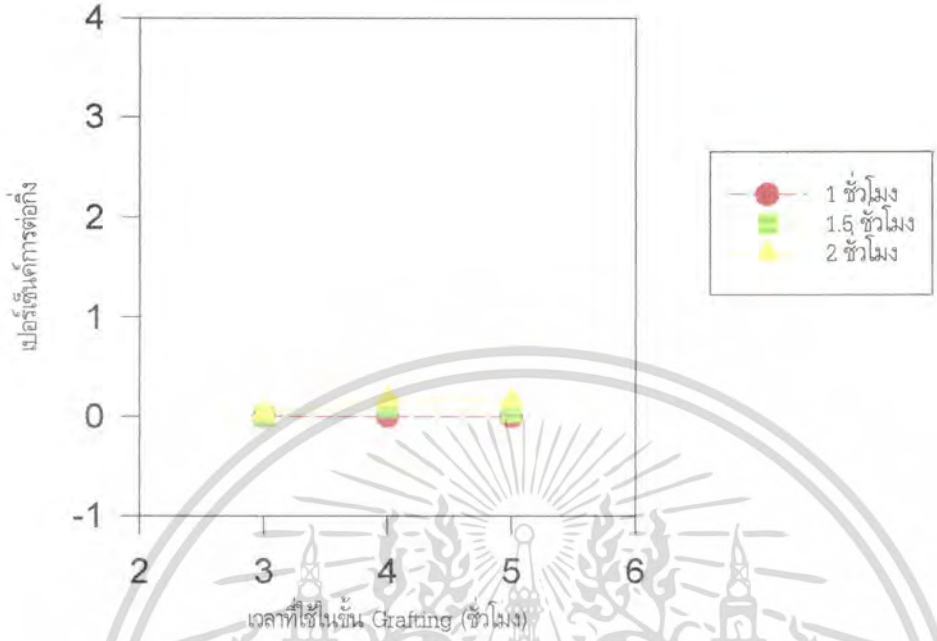


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C

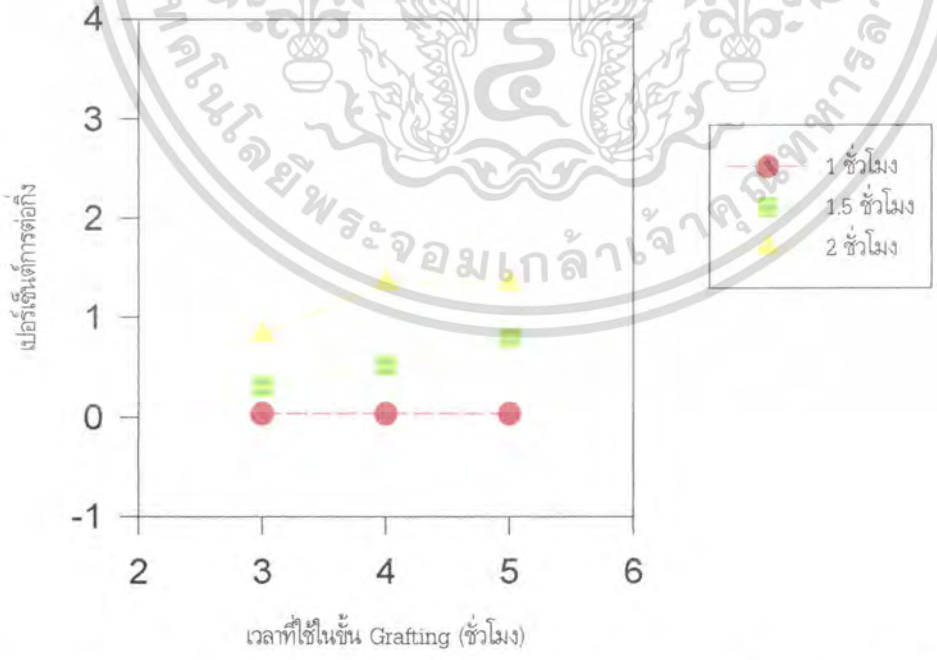


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

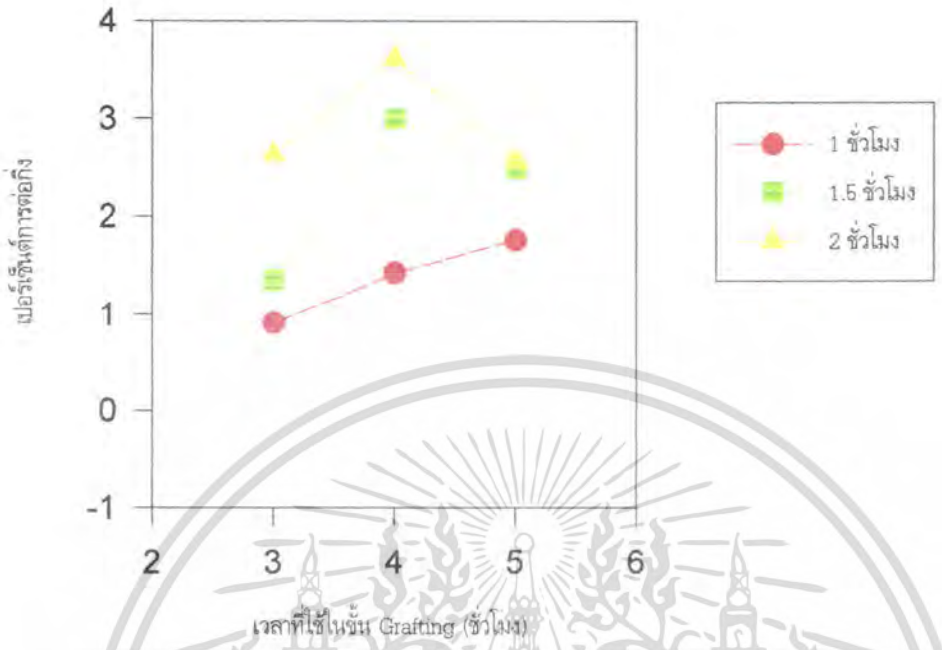


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C

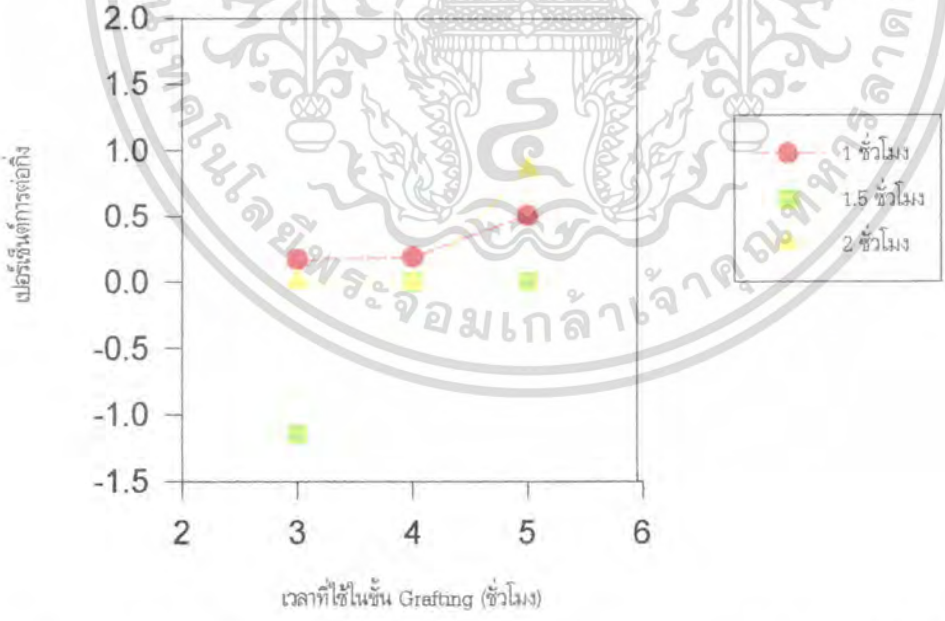


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลของเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation และ Grafting ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทั้งสองขั้น (Hydroxylation และ Grafting) มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีนและเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ถูกดึง จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.9 จะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกไซด์ที่พอลิเมอร์หลักที่จะทำการต่อกิ่งกับพอลิอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้น นอกจากเวลาที่ใช้ในขั้น Hydroxylation จะทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงขึ้นแล้ว ยังมีผลทำให้อัตราการต่อกิ่งสูงขึ้นอีกด้วย โดยสังเกตได้จากความชันของเส้นกราฟที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากจะทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกไซด์บนพอลิเมอร์หลักมากขึ้นและเกิดกระจายทั่วทั้งวัสดุ ซึ่งเป็นผลทำให้อัตราการต่อกิ่งสูงขึ้น

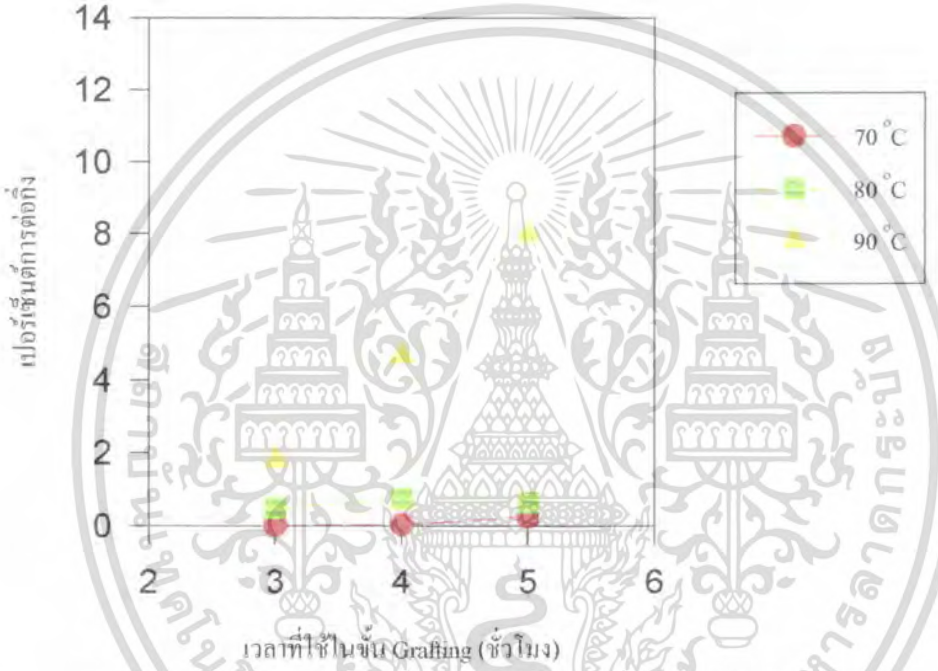
สำหรับเวลาที่ใช้ในขั้น Grafting ก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับขั้น Hydroxylation คือ เมื่อเวลาที่ใช้ในขั้น Grafting เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิอะคริลาไมด์ที่ต่อกิ่งบนสายโซ่หลักมีความยาวเพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งมีแนวโน้มสูงขึ้น ในช่วงแรกของปฏิกิริยาการต่อกิ่งจะมีเปอร์เซ็นต์สูงอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีอนุมูลอิสระอยู่จำนวนมาก ต่อจากนั้นเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งจะค่อย ๆ คงที่ในช่วงหลัง เพราะจำนวนอนุมูลอิสระที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับมอนอเมอร์จะลดลงเรื่อย ๆ และระบบมีความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถเกิดโฮโมพอลิเมอร์มากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้การกระจายตัวของมอนอเมอร์ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์ม เส้นใยปกติ และเส้นใยที่ถูกดึง พบว่าฟิล์มจะมีเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงที่สุด รองลงมาคือ เส้นใยปกติ และที่ต่ำสุดคือ เส้นใยที่ถูกดึง เนื่องจาก ฟิล์มที่ใช้เป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งมีความเป็นผลึกต่ำที่สุด มีการจัดเรียงตัวของสายโซ่ (Chain orientation) ต่ำ จึงมีส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphus) ที่จะทำปฏิกิริยาการต่อกิ่งกับมอนอเมอร์ได้มาก และฟิล์มยังมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารละลายมอนอเมอร์มากอีกด้วย ส่วนที่เป็นเส้นใยมีการจัดเรียงตัวของสายโซ่อย่างเป็นระเบียบทำให้มีความเป็นผลึกสูง จึงมีส่วนที่เป็นอสัณฐานน้อยกว่าฟิล์ม ทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งต่ำกว่าฟิล์ม เส้นใยที่ถูกดึง ยิ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น ทำให้มีความเป็นผลึกมากขึ้นอีกด้วย จึงมีส่วนที่จะทำปฏิกิริยาการต่อกิ่งน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

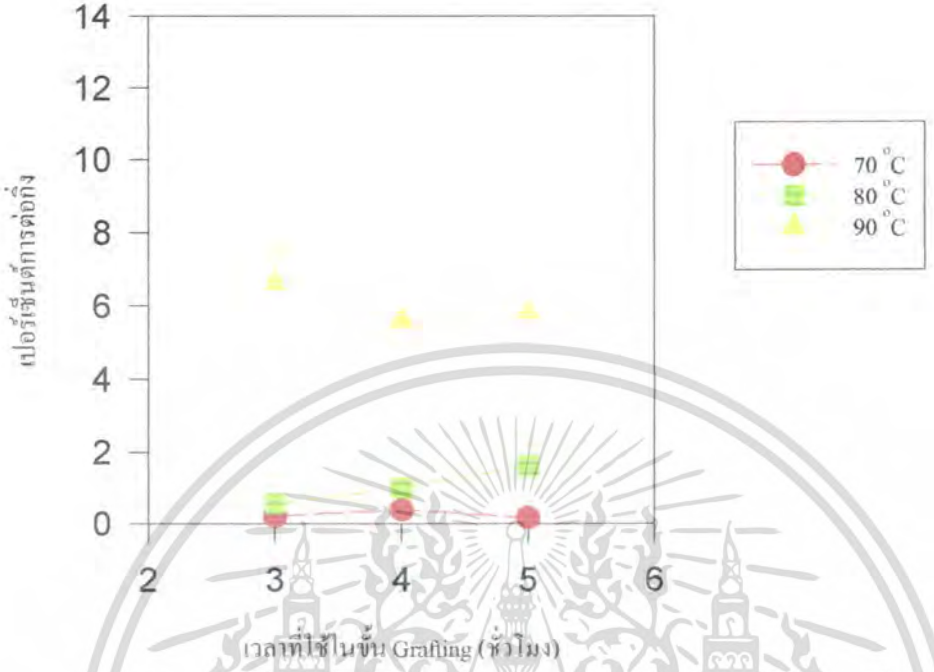
4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลาต่าง ๆ ต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีน และเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.10 ถึง 4.18

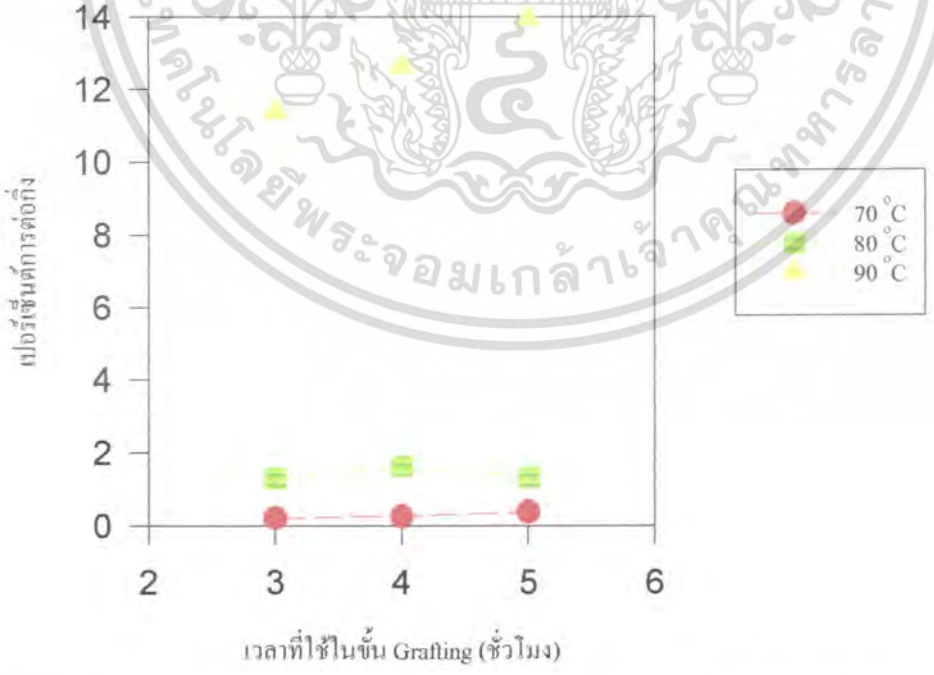


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

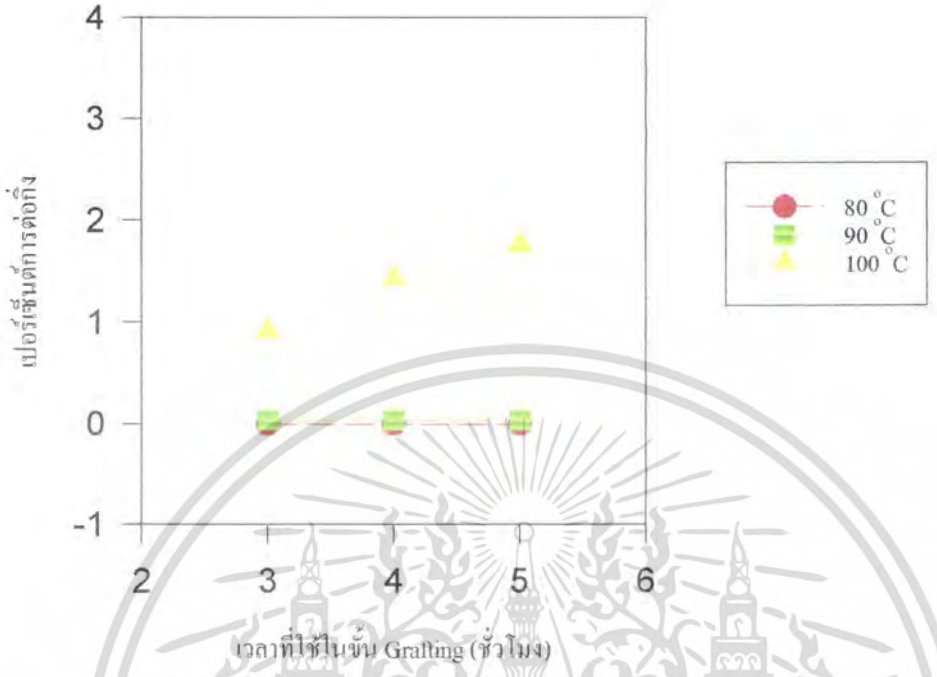


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1.5 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน

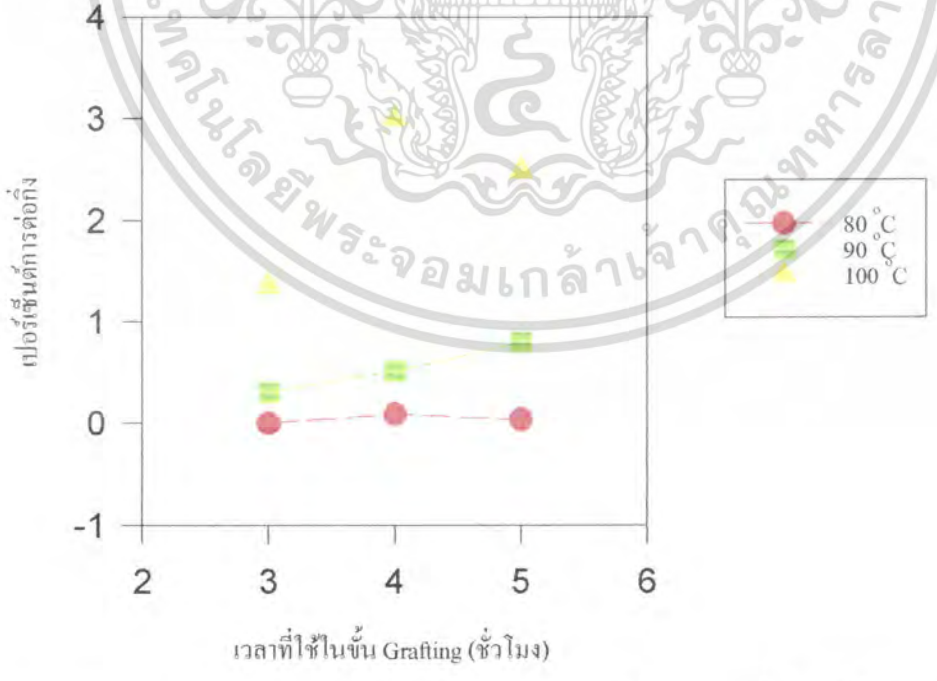


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 2 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

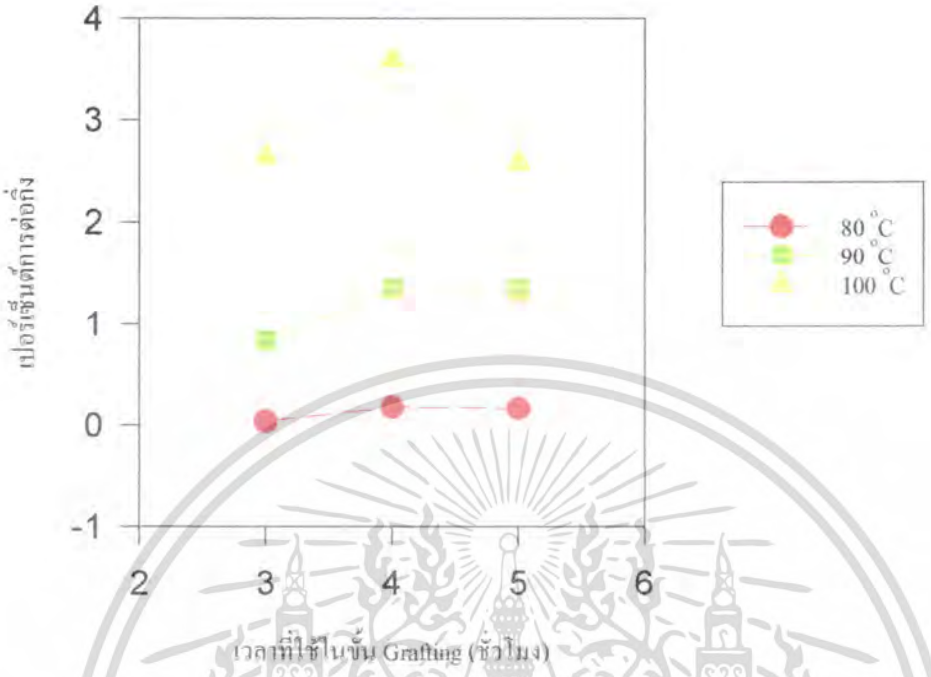


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน

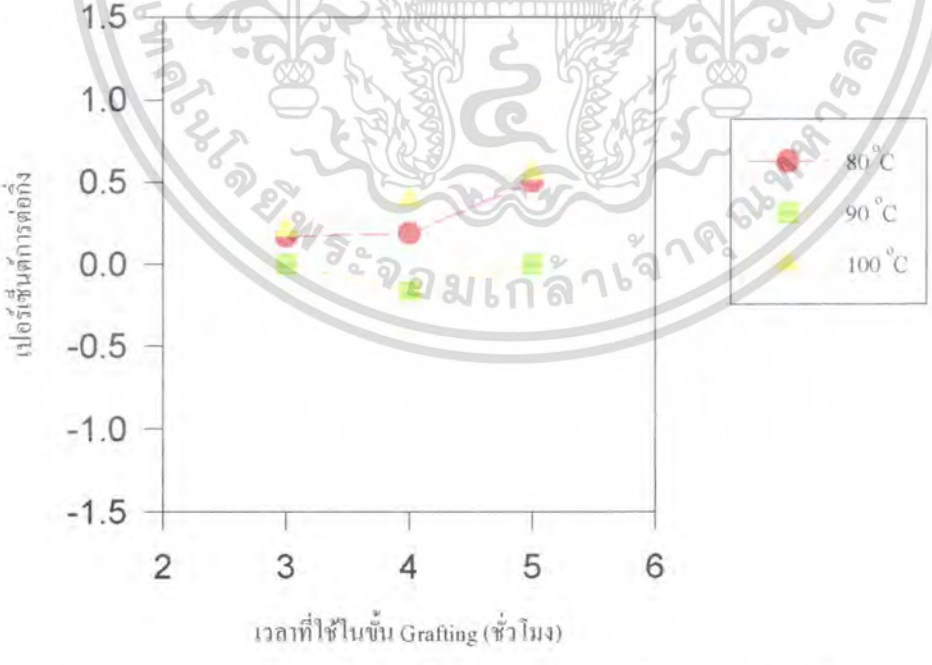


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1.5 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 2 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation ที่เวลา 1 ชั่วโมง ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

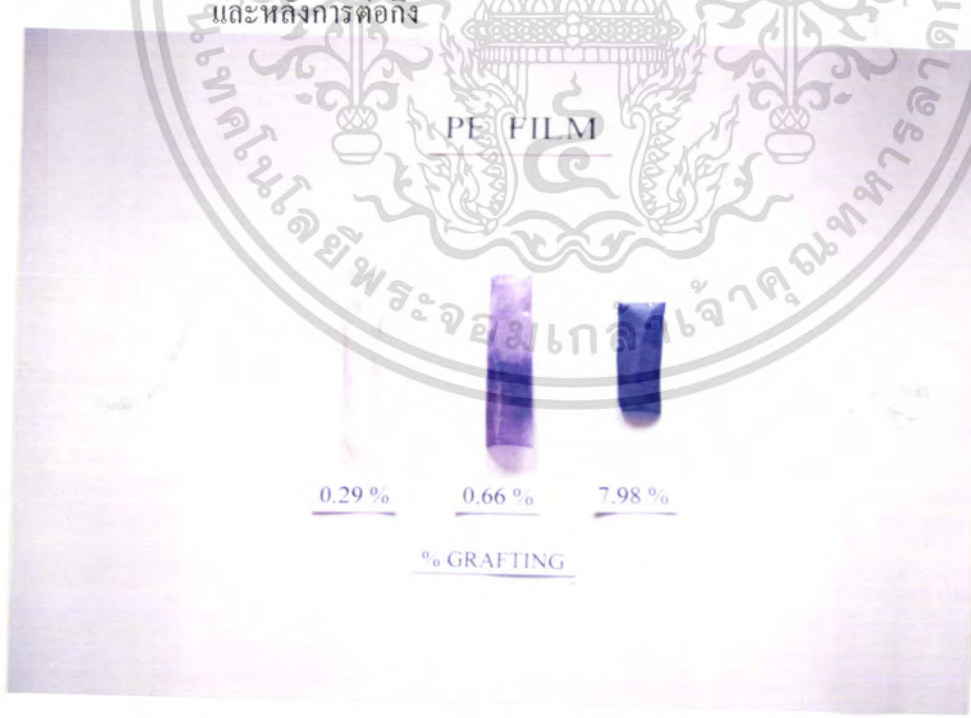
จากรูปที่ 4.10 ถึง 4.18 เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation เพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้ $K_2S_2O_8$ สามารถแตกตัวได้มากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกไซด์บนสายโซ่หลักมากขึ้น ยิ่งใช้อุณหภูมิในขั้นนี้สูงขึ้น ปริมาณหมู่ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนพอลิเมอร์หลักก็จะสูงขึ้นและเกิดกระจายทั่วทั้งผิวพอลิเมอร์ ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณการต่อกิ่งยิ่งสูงขึ้นด้วย แต่ก็ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงเกินไป เพราะจะมีผลต่อเส้นใยที่ผ่านการดึงมาแล้ว เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการดึงมาแล้วจะเกิดการหดตัวได้

4.3 <u>การทดสอบการย้อมติดสีหลังการต่อกิ่ง</u>

จากผลการทดลองการย้อมติดสีของฟิล์มพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีน และเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า หลังการต่อกิ่ง โดยการแช่ในสารละลาย Methylene blue 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง ลักษณะของสีที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงดังรูปที่ 4.19 ถึง 4.24 จะเห็นได้ว่า หลังการต่อกิ่งอะคริลาไมด์ลงบนสายโซ่โมเลกุลพอลิเอทิลีนจะทำให้เกิดสีของสารละลาย Methylene blue ซึ่งเป็นสีฟ้า แสดงให้เห็นว่าเกิดการต่อกิ่งด้วยอะคริลาไมด์จริง ทำให้พอลิเอทิลีนซึ่งปกติพื้นผิวมีความเฉื่อยและความไม่มีขั้ว หลังการต่อกิ่งแล้วจึงเกิดหมู่ที่มีขั้ว (หมู่เอไมด์) ของอะคริลาไมด์ ทำให้สามารถย้อมติดสีได้ เมื่อสังเกตความเข้มของสี พบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น สีที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิดหมู่มีขั้วเพิ่มขึ้น จึงช่วยดูดซับสีได้มากขึ้น ดังนั้นสีจึงเข้มขึ้น และเมื่อสังเกตสีที่เกิดขึ้นบนฟิล์มพอลิเอทิลีน จะเห็นว่า สีที่เกิดขึ้นนั้นไม่สม่ำเสมอ มีบางบริเวณที่ไม่ติดสี ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากในการทดลองมีการพับตัวอย่าง ทำให้มีพื้นที่บางบริเวณ สัมผัสกับสารละลายมอนอเมอร์น้อย มีการกระจายตัวของมอนอเมอร์ต่ำ ทำให้การต่อกิ่งอะคริลาไมด์บนพอลิเอทิลีนเกิดไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น จึงทำให้สีติดเฉพาะบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่ง ซึ่งต่างจากตัวอย่างที่เป็นเส้นใยที่ใช้การพันบนโครงแก้วทำให้สัมผัสกับมอนอเมอร์ทั่วพื้นที่ผิว จึงเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งสม่ำเสมอ สีที่เห็นจึงสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน

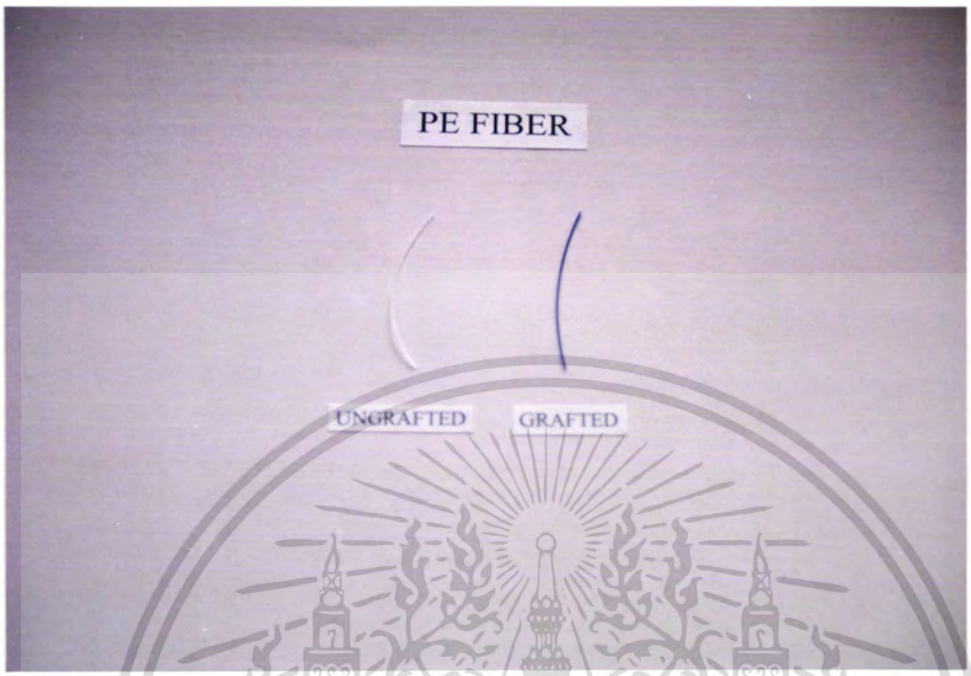
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของฟิล์มพอลิเอทิลีนก่อน และหลังการต่อกิ่ง



รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของฟิล์มพอลิเอทิลีน ที่มีเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งที่ต่างกัน

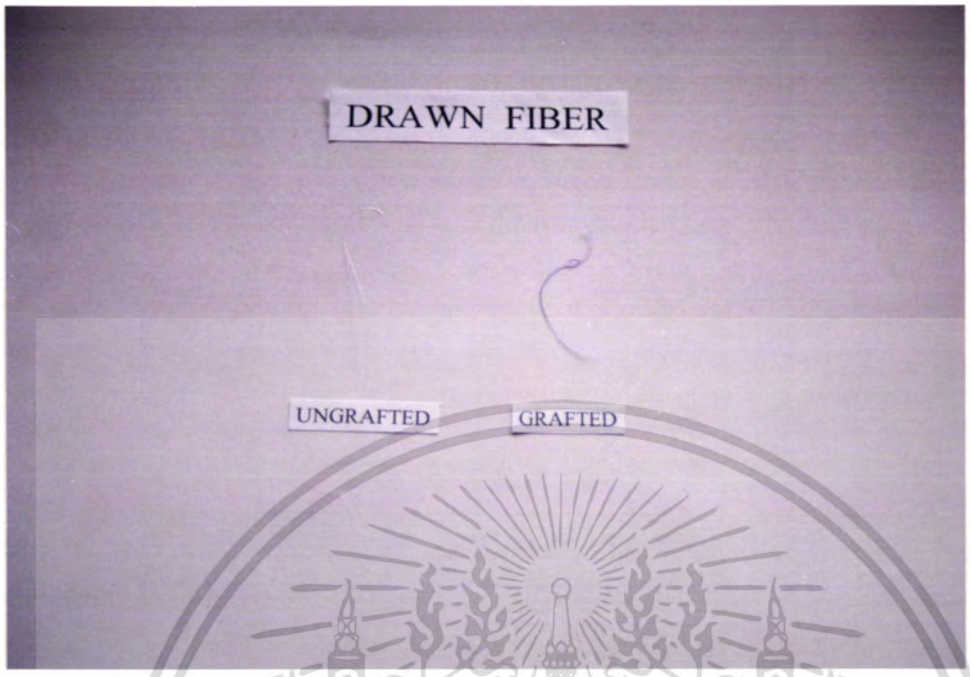
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



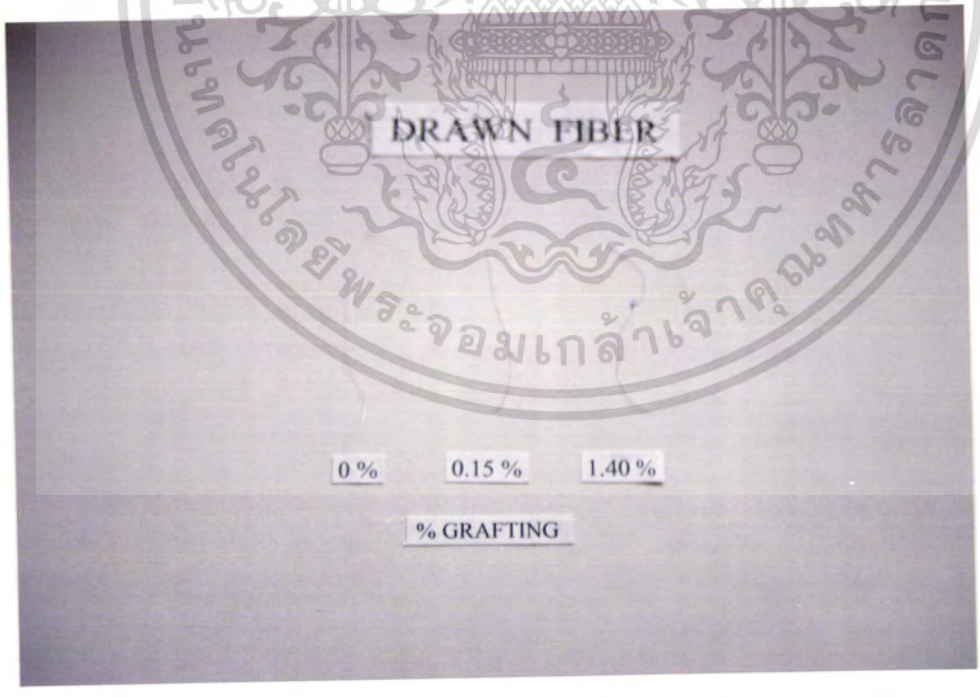
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีนก่อน และหลังการต่อกิ่ง

รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่มีเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ก่อนละหลังการต่อกิ่ง



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบสีที่แตกต่างกันของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ที่มีเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังการต่อกิ่งด้วยเครื่อง FTIR

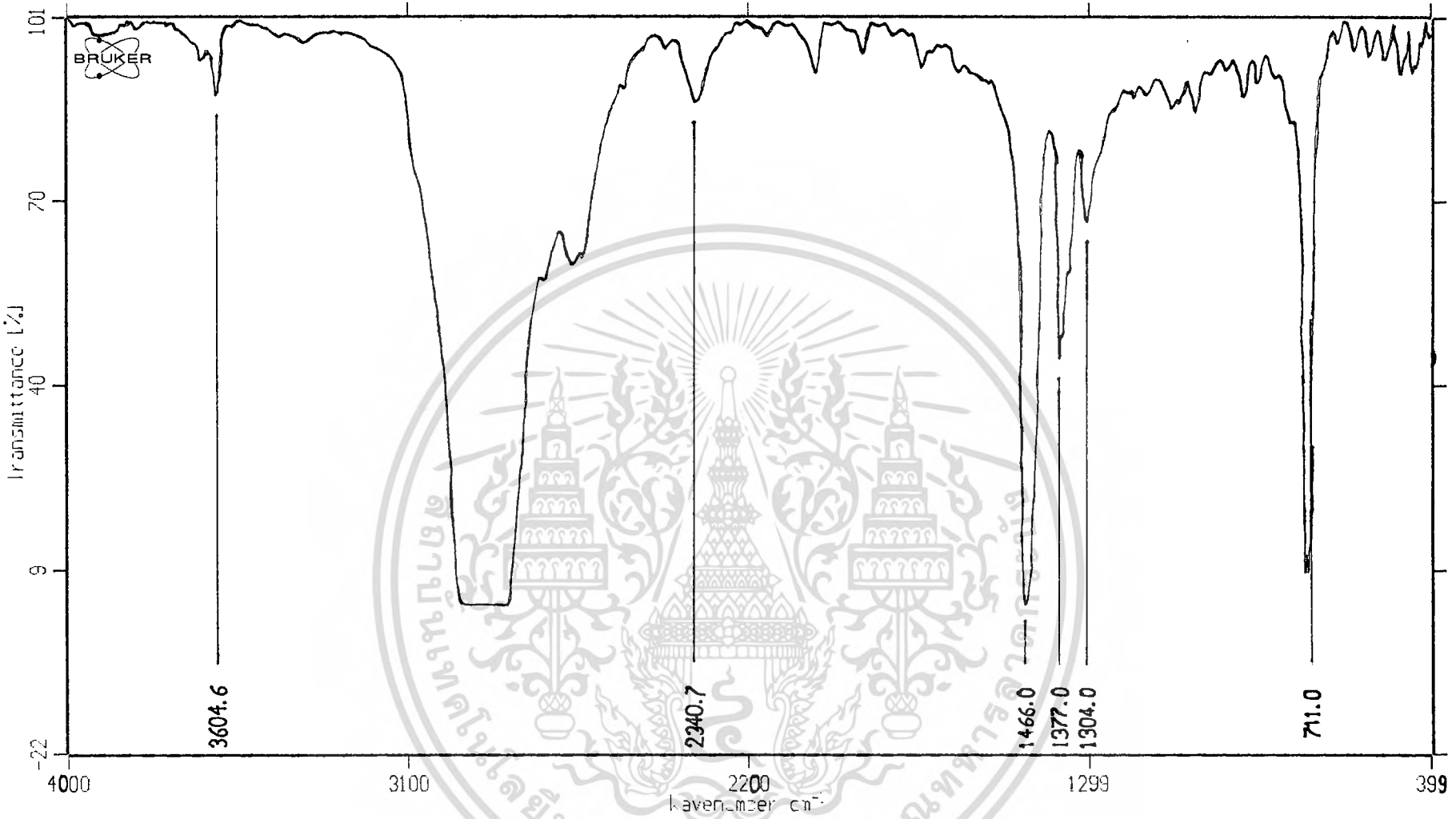
จากผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังการต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีน และเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ด้วยเครื่อง FTIR แสดงดังรูปที่ 4.25 - 4.26 พบว่าสเปกตรัมมีการเปลี่ยนแปลงพีกที่เลขคลื่น (Wave number) ดังนี้

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

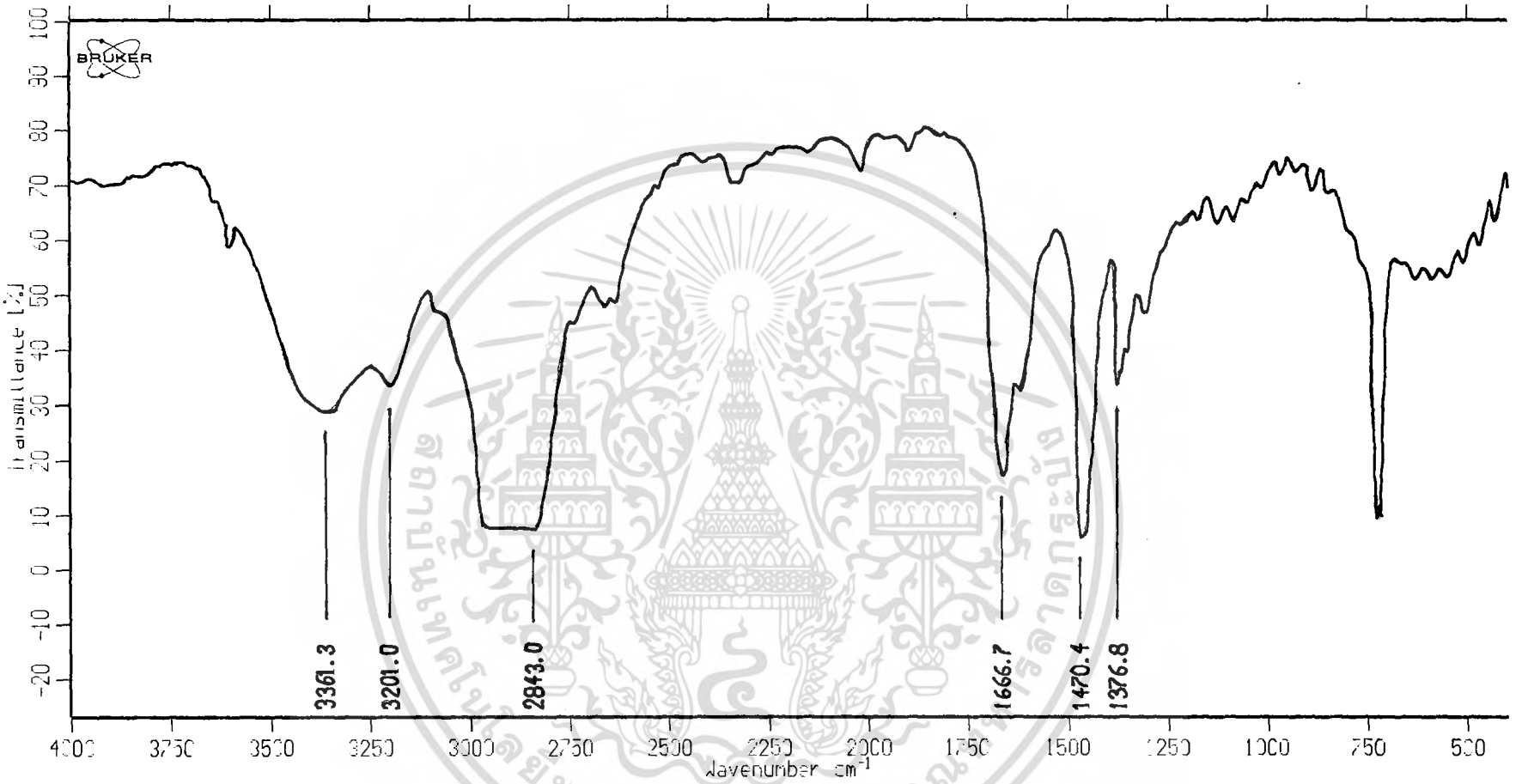
N — H stretching (Amide) ที่ Wave number 3400 - 3300 cm^{-1}

และยังพบอีกว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น ทำให้พีกของหมู่เอไมด์มีขนาดใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนก่อนการต่อกิ่ง



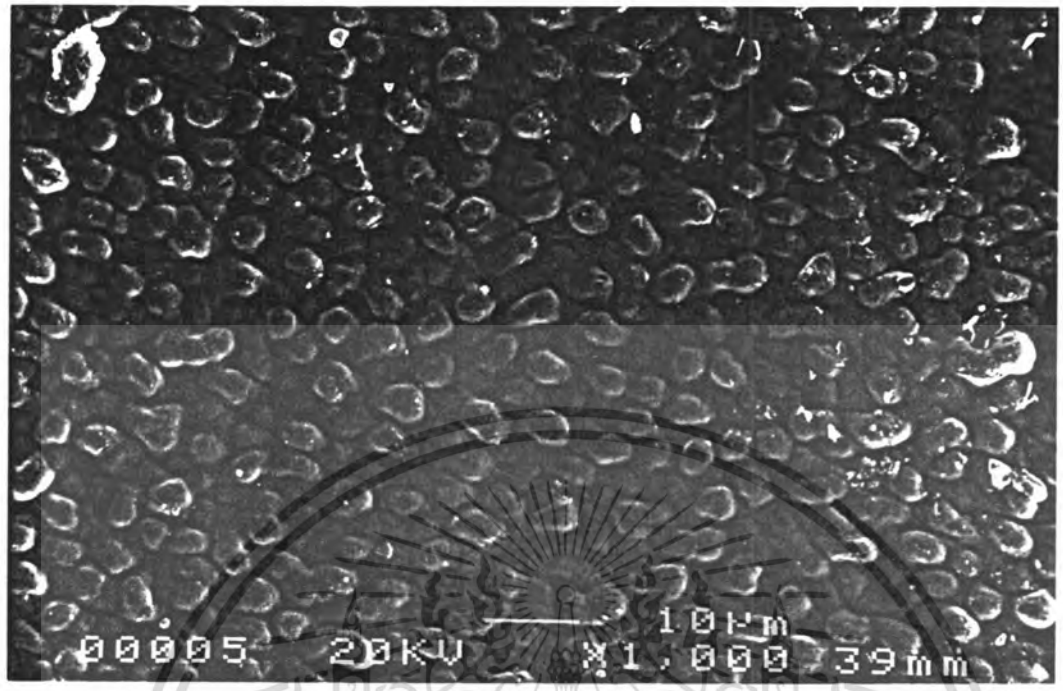
รูปที่ 4.26 แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง

4.5 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวหลังการต่อกิ่งด้วยเครื่อง SEM

จากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีน และเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ก่อนและหลังการต่อกิ่ง แสดงดังรูปที่ 4.27-4.37 พบว่า หลังการต่อกิ่งพื้นผิวมีลักษณะแตกต่างจากเดิม ก็คือจะมีลักษณะเป็นลาย (Grain) ปกคลุมผิวของพอลิเอทิลีนอย่างสม่ำเสมอ สำหรับแผ่นฟิล์มจะเกิดไม่ทั่วทั้งผิว เนื่องจากมีการพับแผ่นฟิล์ม ทำให้มีพื้นที่บางบริเวณ สัมผัสกับสารละลายมอนอเมอร์น้อย มีการกระจายตัวของมอนอเมอร์ต่ำ ทำให้การต่อกิ่งอะคริลาไมด์บนพอลิเอทิลีนเกิดไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น และยังพบอีกว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น ทำให้ Grain มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย

รูปที่ 4.27 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนก่อนการต่อกิ่ง

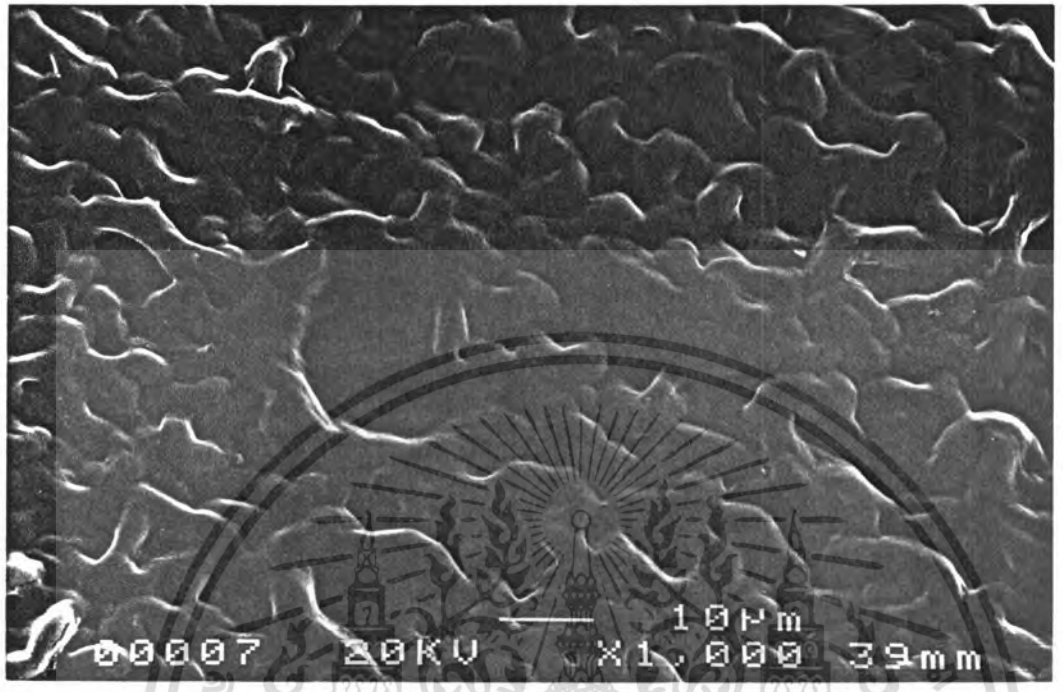
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



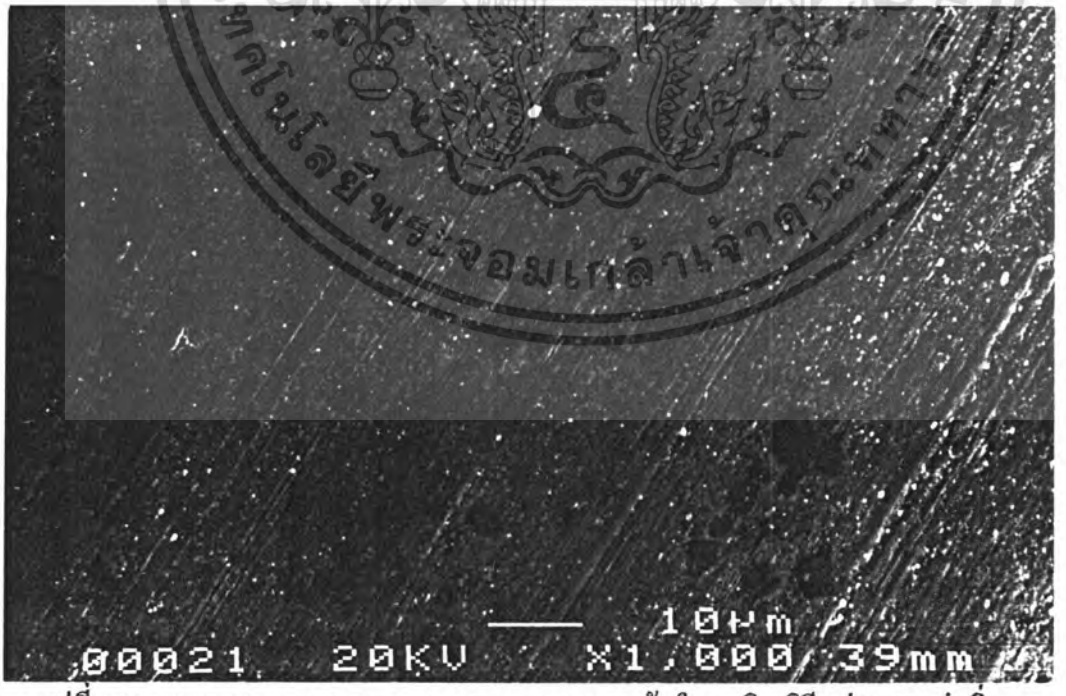
รูปที่ 4.28 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่งโดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมงและเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง

รูปที่ 4.29 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่งโดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมงและเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

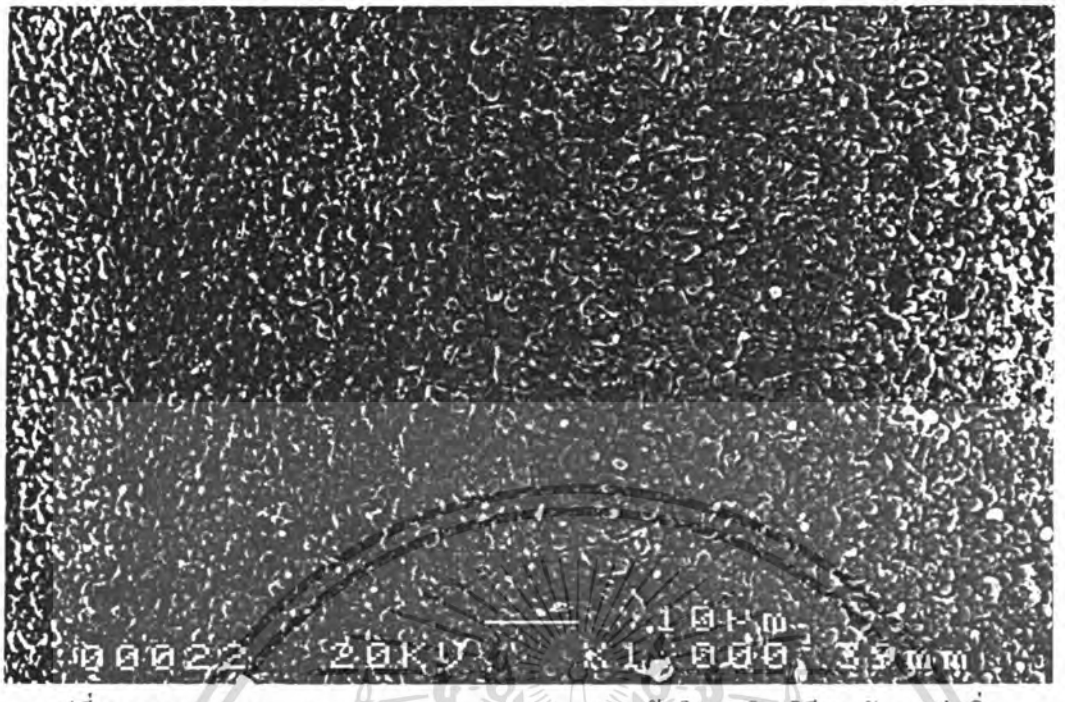


รูปที่ 4.30 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมงและเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง

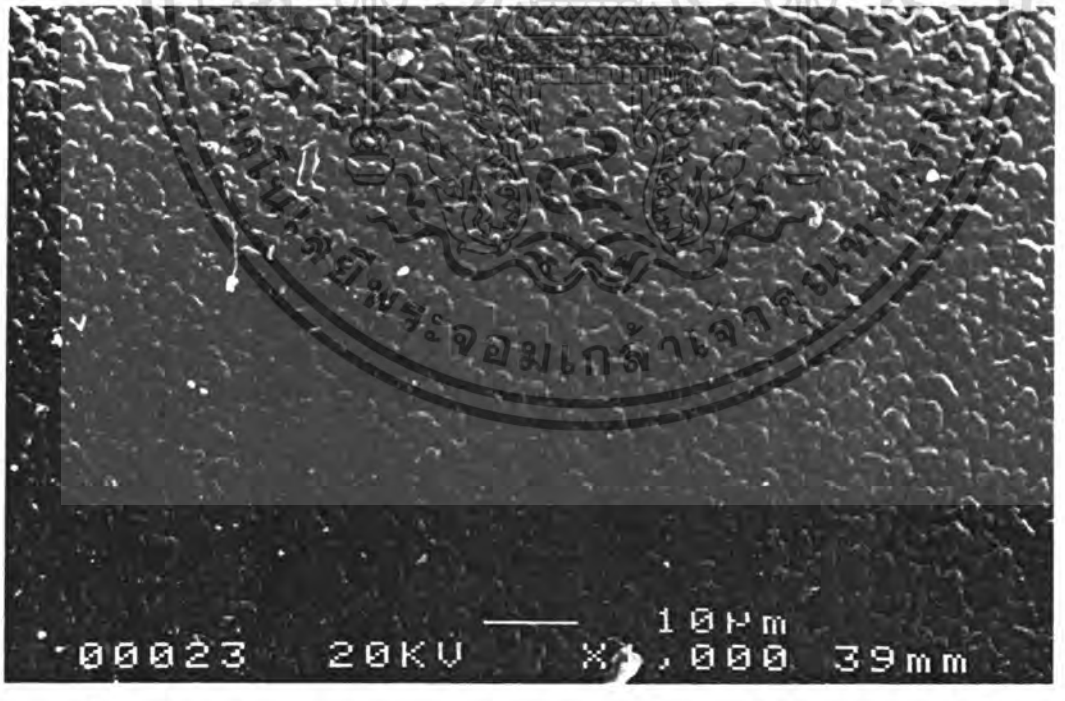


รูปที่ 4.31 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนก่อนการต่อกิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

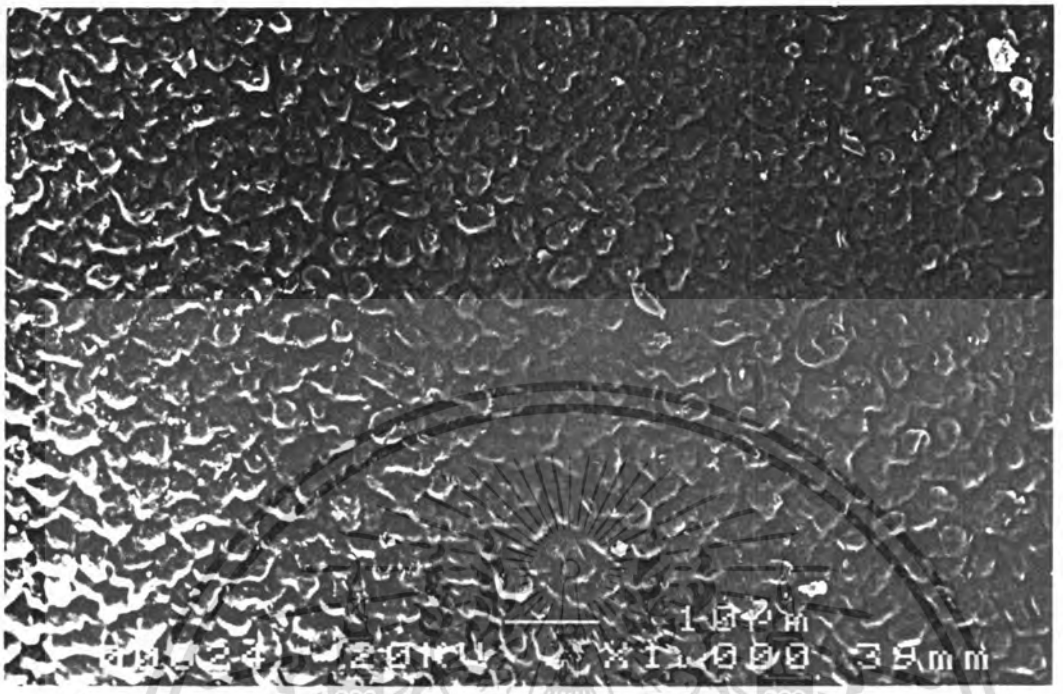


รูปที่ 4.32 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่งโดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.33 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่งโดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง

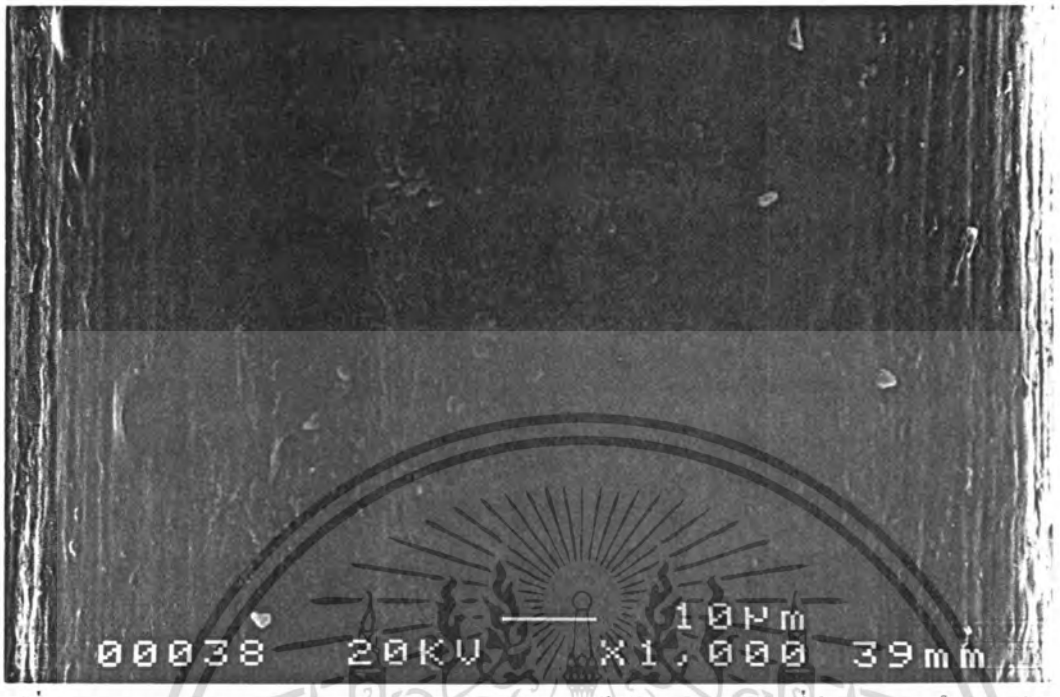
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง

รูปที่ 4.35 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า หลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า หลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง

รูปที่ 4.37 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า หลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสภาวะที่ใช้ในแต่ละช่วงปฏิกิริยาของการต่อกิ่งอะคริลาไมด์ลงบนพื้นผิวของพอลิเอทิลีนทั้ง 3 ประเภท คือ แผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน เส้นใยพอลิเอทิลีน และเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า การศึกษาสัณฐานวิทยา การย้อมติดสีของสารละลาย Methylene blue และการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังการต่อกิ่ง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เกิดการต่อกิ่งของอะคริลาไมด์บนพื้นผิวของฟิล์มและเส้นใยจริง โดยวิเคราะห์ด้วย

1.1 การย้อมติดสีของสารละลาย Methylene blue พบว่ามีการติดสีฟ้าบนแผ่นฟิล์มและเส้นใย และเมื่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น ทำให้สีมีความเข้มเพิ่มขึ้น

1.2 เทคนิค FTIR พบพีกของหมู่เอไมด์ ที่ Wave number 1700 - 1600 cm^{-1} และ 3400 - 3300 cm^{-1}

1.3 เทคนิค SEM พบว่า ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มและเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงไป คือมีลักษณะเป็นลาย (Grain) มีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น

2. การเพิ่มเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้น มีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น

3. การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในขั้น Hydroxylation จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่าสูงกว่าการเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้ แสดงให้เห็นว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญในการทำปฏิกิริยาการต่อกิ่ง

4. หลังทำการต่อกิ่งด้วยอะคริลาไมด์ ผิวของวัสดุจะลื่นเมื่อเปียกน้ำ ไม่มันวาว แข็งกรอบ และหลอมเหลวยากขึ้น (ในขั้นการเตรียมเป็นฟิล์มสำหรับนำไปตรวจสอบ FTIR)

5. จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการต่อกิ่งอะคริลาไมด์บนผิวพอลิเอทิลีนเรียงได้ดังนี้

LDPE films > Undrawn PE fibers > Drawn PE fibers

อาจกล่าวได้ว่า การดึงเส้นใยทำให้ความสามารถในการต่อกิ่งมอนอเมอร์บนผิวเส้นใยลดลง เนื่องจากเส้นใยที่ถูกดึง ทำให้มีการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลอย่างเป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น ทำให้มีความเป็นผลึกมากขึ้นด้วย จึงมีส่วนอสัณฐานที่จะทำปฏิกิริยาการต่อกิ่งน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทำการทดลอง ควรจะขยายช่วงของเวลาในแต่ละขั้นให้กว้างขึ้น

2. ควรมีการศึกษาผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุหลังการต่อกิ่ง

3. ควรมีการทดสอบสมบัติการยึดติดของวัสดุหลังทำการต่อกิ่ง เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการยึดติดของวัสดุหลังทำการต่อกิ่งแล้ว

4. ควรมีการทดลองเปลี่ยนชนิดของมอนอเมอร์ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุหลังการต่อกิ่ง

5. ทำการศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยก่อนการต่อกิ่ง เช่น การใช้พลาสมา ฯลฯ

6. ทำการศึกษาสภาวะของการต่อกิ่งที่มีผลต่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิอะคริลาไมด์และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิอะคริลาไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน ที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 70 °C

เวลาที่ใช้ขั้น Hydroxylation (ชม.)	เวลาที่ใช้ขั้น Grafting (ชม.)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	% Grafting
1.0	3	0.3693	0.3694	0.03
	4	0.3650	0.3652	0.05
	5	0.3855	0.3866	0.28
1.5	3	0.3691	0.3699	0.22
	4	0.3516	0.3530	0.40
	5	0.3865	0.3872	0.18
2.0	3	0.3893	0.3902	0.23
	4	0.3545	0.3555	0.28
	5	0.3514	0.3528	0.40

ตารางที่ 2 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน ที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C

เวลาที่ใช้ขั้น Hydroxylation (ชม.)	เวลาที่ใช้ขั้น Grafting (ชม.)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	% Grafting
1.0	3	0.3627	0.3645	0.50
	4	0.3435	0.3461	0.76
	5	0.3476	0.3499	0.66
1.5	3	0.3587	0.3607	0.56
	4	0.3473	0.3508	1.01
	5	0.3460	0.3516	1.62
2.0	3	0.3723	0.3771	1.29
	4	0.4023	0.4114	2.26
	5	0.3802	0.3852	1.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของฟิล์มพอลิเอทิลีน ที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C

เวลาที่ใช้ขั้น Hydroxylation (ชม.)	เวลาที่ใช้ขั้น Grafting (ชม.)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	% Grafting
1.0	3	0.3372	0.3433	1.81
	4	0.3635	0.3806	4.70
	5	0.3657	0.3949	7.98
1.5	3	0.3624	0.3865	6.65
	4	0.3437	0.3630	5.62
	5	0.3659	0.3873	5.85
2.0	3	0.3453	0.3846	11.38
	4	0.3429	0.3862	12.63
	5	0.3465	0.3949	13.97

ตารางที่ 4 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C

เวลาที่ใช้ขั้น Hydroxylation (ชม.)	เวลาที่ใช้ขั้น Grafting (ชม.)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	% Grafting
1.0	3	0.1930	0.1930	0
	4	0.2361	0.2361	0
	5	0.2386	0.2386	0
1.5	3	0.1836	0.1836	0
	4	0.2132	0.2134	0.09
	5	0.2390	0.2391	0.04
2.0	3	0.2344	0.2345	0.04
	4	0.2278	0.2282	0.18
	5	0.2410	0.2414	0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C

เวลาที่ใช้ขั้น Hydroxylation (ชม.)	เวลาที่ใช้ขั้น Grafting (ชม.)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	% Grafting
1.0	3	0.2301	0.2302	0.04
	4	0.2169	0.2170	0.04
	5	0.2176	0.2177	0.04
1.5	3	0.2265	0.2272	0.31
	4	0.2114	0.2125	0.52
	5	0.2252	0.2270	0.80
2.0	3	0.2281	0.2300	0.83
	4	0.2144	0.2173	1.35
	5	0.2162	0.2191	1.34

ตารางที่ 6 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีน ที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C

เวลาที่ใช้ขั้น Hydroxylation (ชม.)	เวลาที่ใช้ขั้น Grafting (ชม.)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	% Grafting
1.0	3	0.2316	0.2337	0.91
	4	0.2175	0.2206	1.42
	5	0.2157	0.2195	1.76
1.5	3	0.2449	0.2482	1.35
	4	0.2298	0.2367	3.00
	5	0.2334	0.2392	2.49
2.0	3	0.2397	0.2460	2.63
	4	0.2305	0.2388	3.60
	5	0.2285	0.2344	2.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C

เวลาที่ใช้ขั้น Hydroxylation (ชม.)	เวลาที่ใช้ขั้น Grafting (ชม.)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	% Grafting
1.0	3	0.0586	0.0587	0.17
	4	0.0511	0.0512	0.19
	5	0.0587	0.0590	0.51
1.5	3	0.0526	0.0520	-1.14
	4	0.0533	0.0533	0
	5	0.0595	0.0595	0
2.0	3	0.0599	0.0599	0
	4	0.0586	0.0586	0
	5	0.0583	0.0588	0.86

ตารางที่ 8 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C

เวลาที่ใช้ขั้น Hydroxylation (ชม.)	เวลาที่ใช้ขั้น Grafting (ชม.)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	% Grafting
1.0	3	0.0814	0.0814	0
	4	0.0617	0.0616	-0.16
	5	0.0598	0.0598	0
1.5	3	0.0589	0.0588	-0.16
	4	0.0747	0.0747	0
	5	0.0611	0.0611	0
2.0	3	0.0652	0.0653	0.15
	4	0.0667	0.0667	0
	5	0.0640	0.0640	0

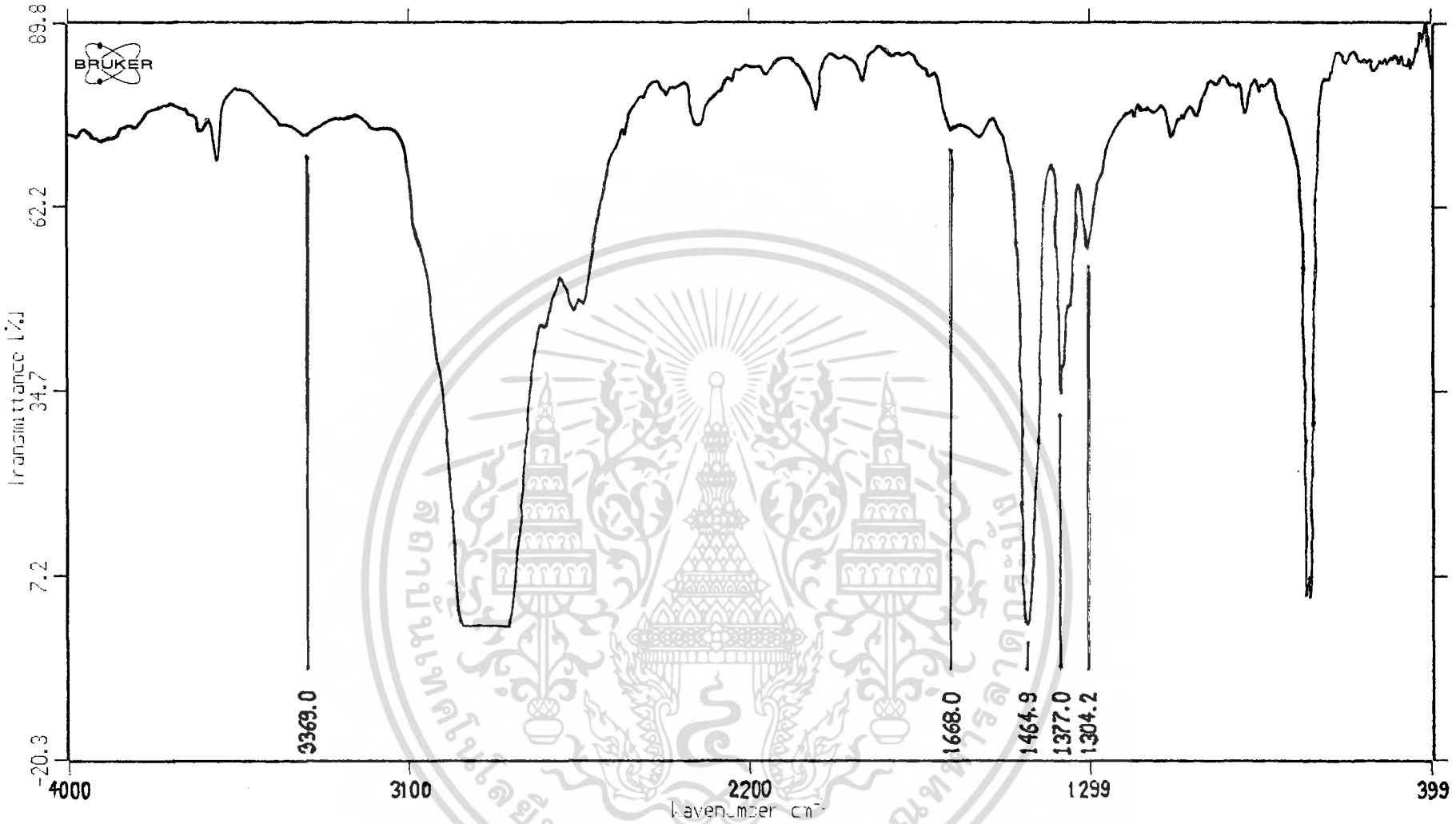
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่า ที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C

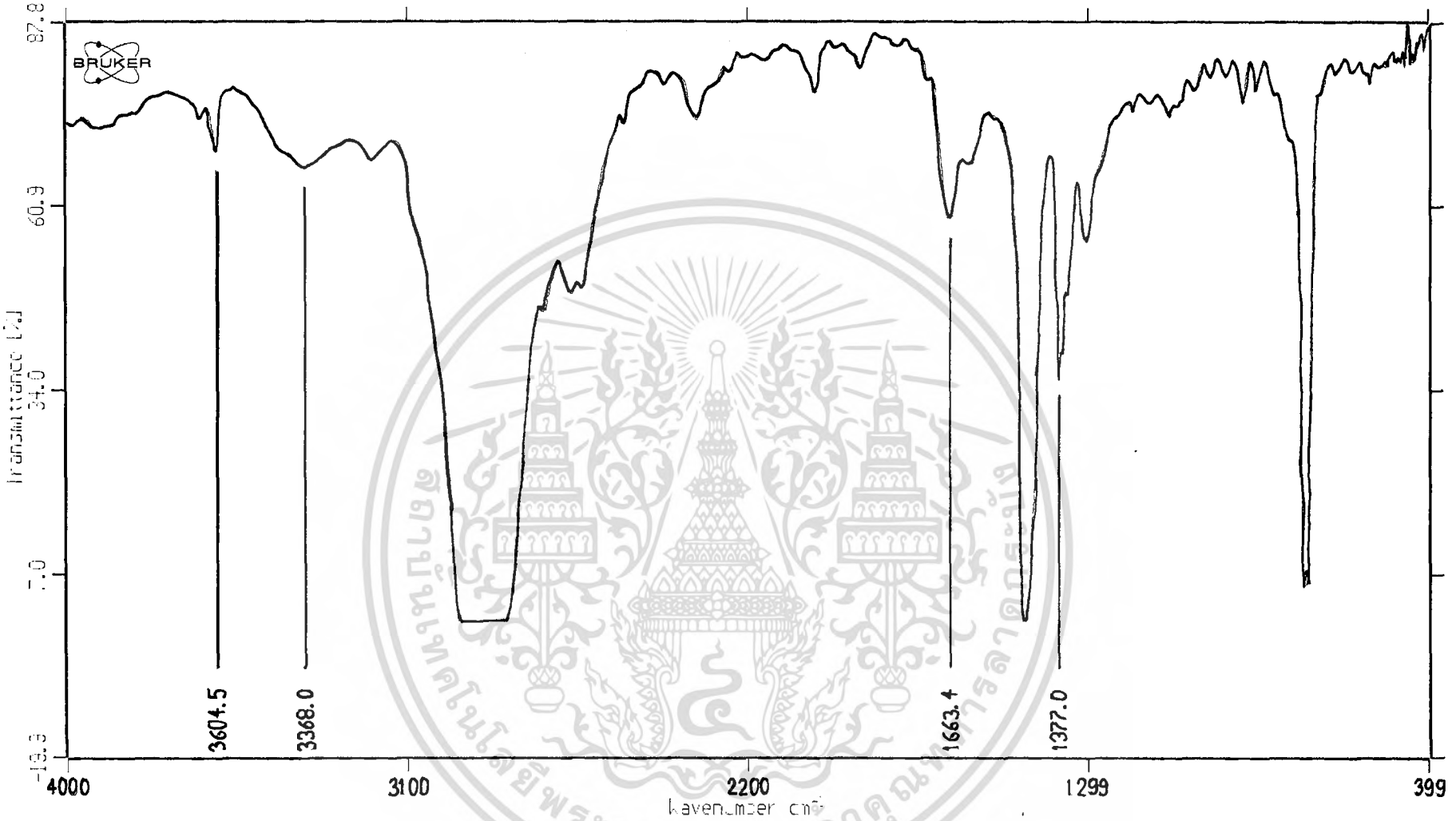
เวลาที่ใช้ขั้น Hydroxylation (ชม.)	เวลาที่ใช้ขั้น Grafting (ชม.)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลัง Grafting (กรัม)	% Grafting
1.0	3	0.0485	0.0486	0.21
	4	0.0494	0.0496	0.40
	5	0.0536	0.0539	0.56
2.0	3	0.0551	0.0553	0.36
	4	0.0476	0.0478	0.42
	5	0.0499	0.506	1.40

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

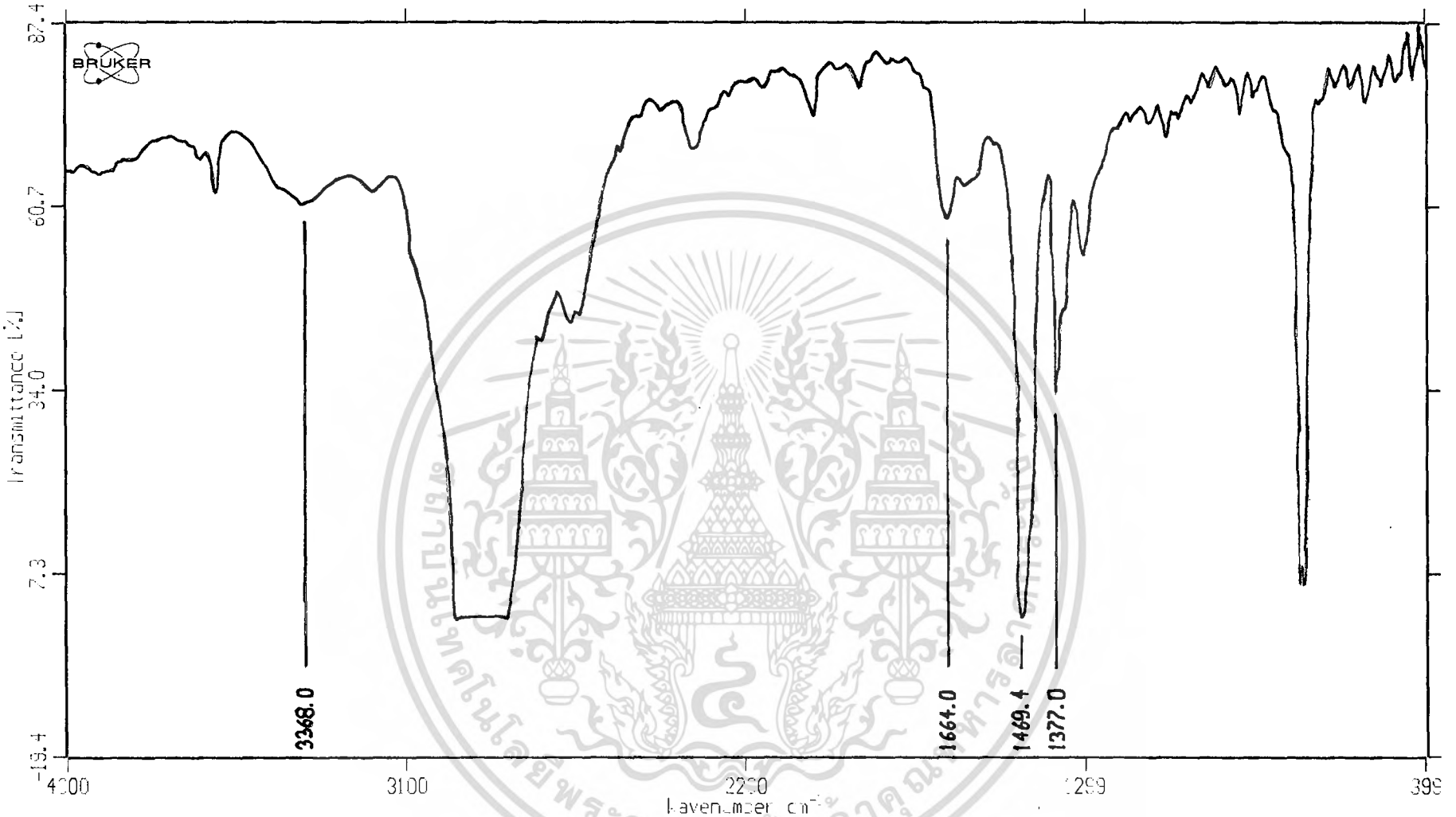
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



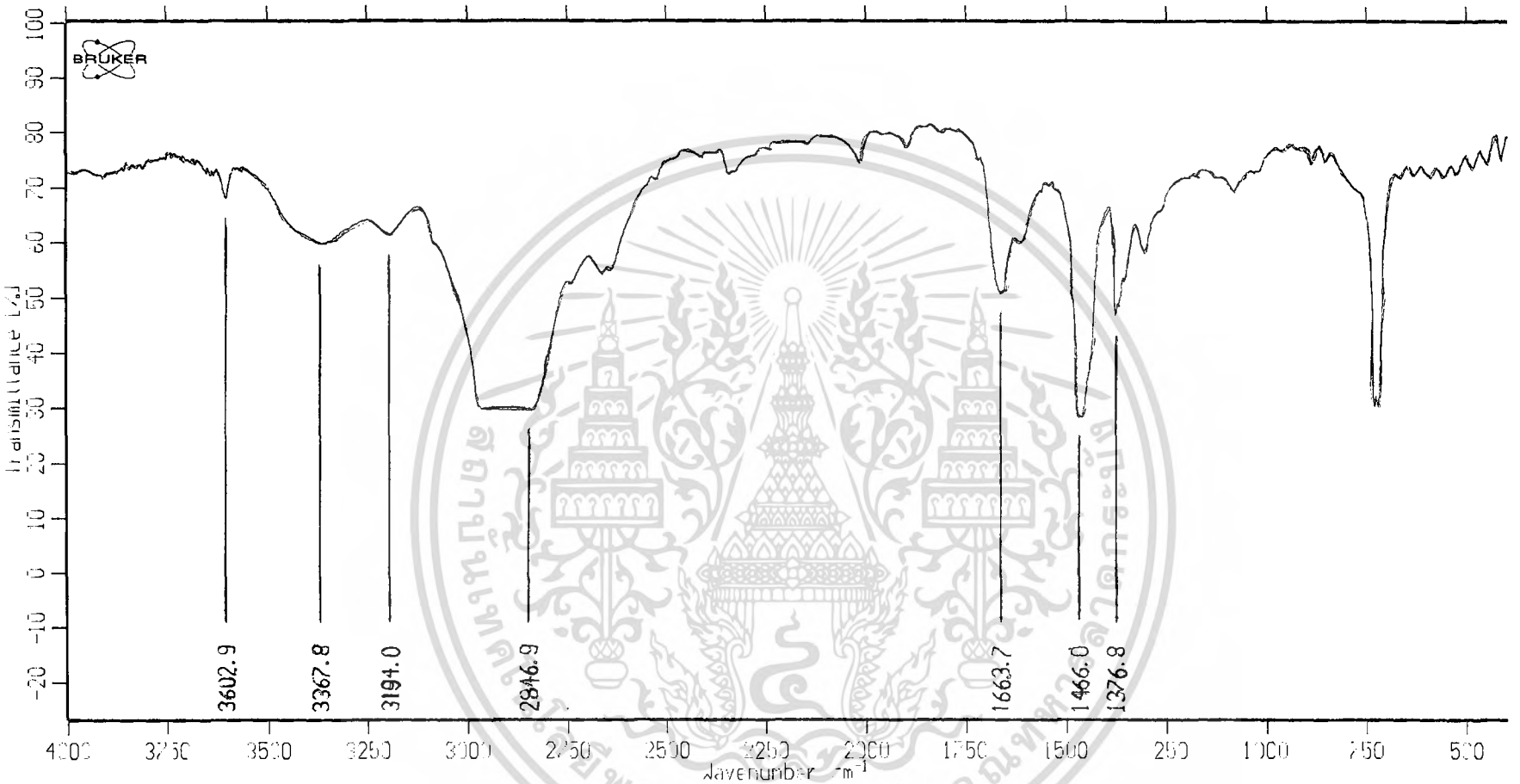
<u>รูปที่ 1</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



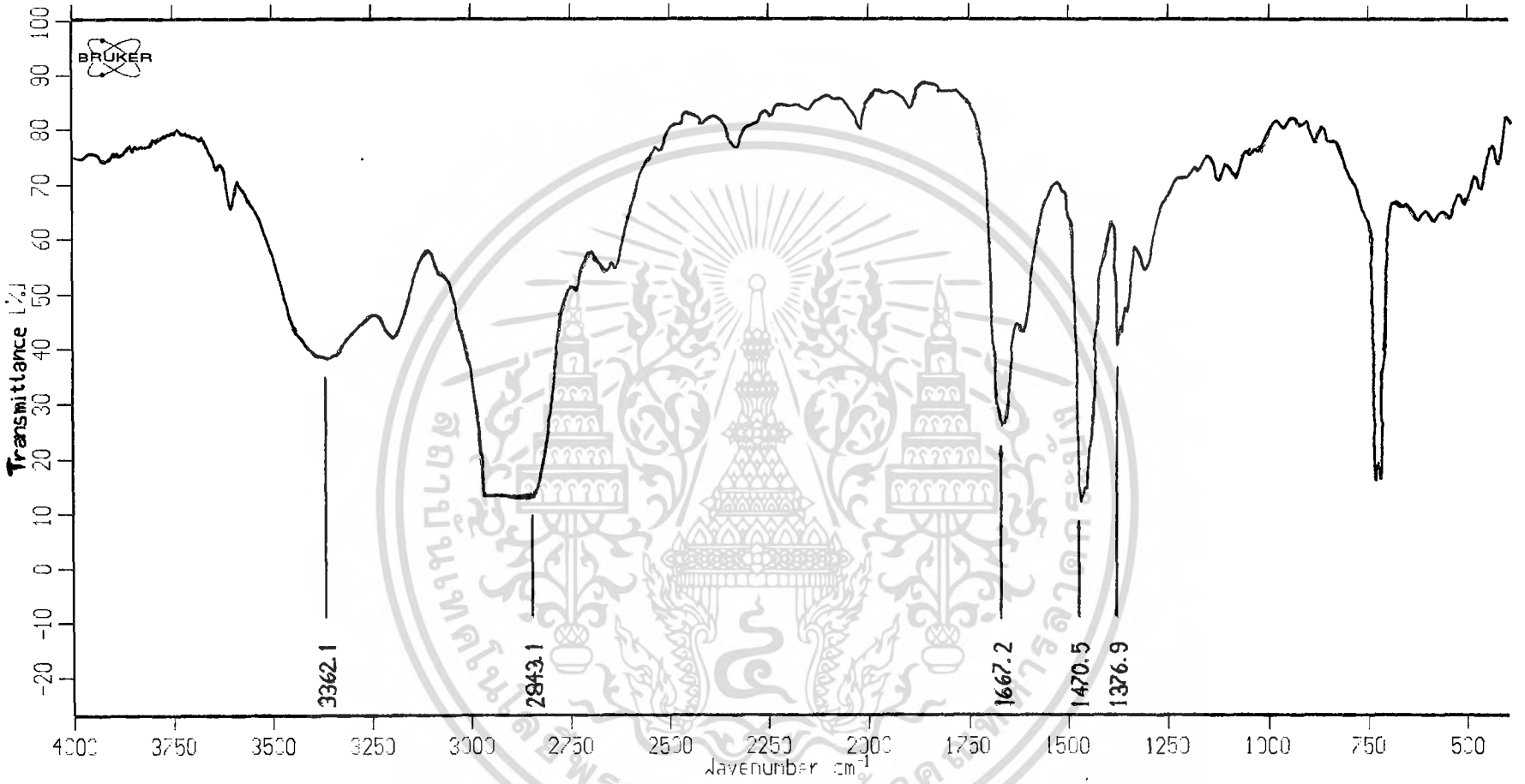
<u>รูปที่ 2</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



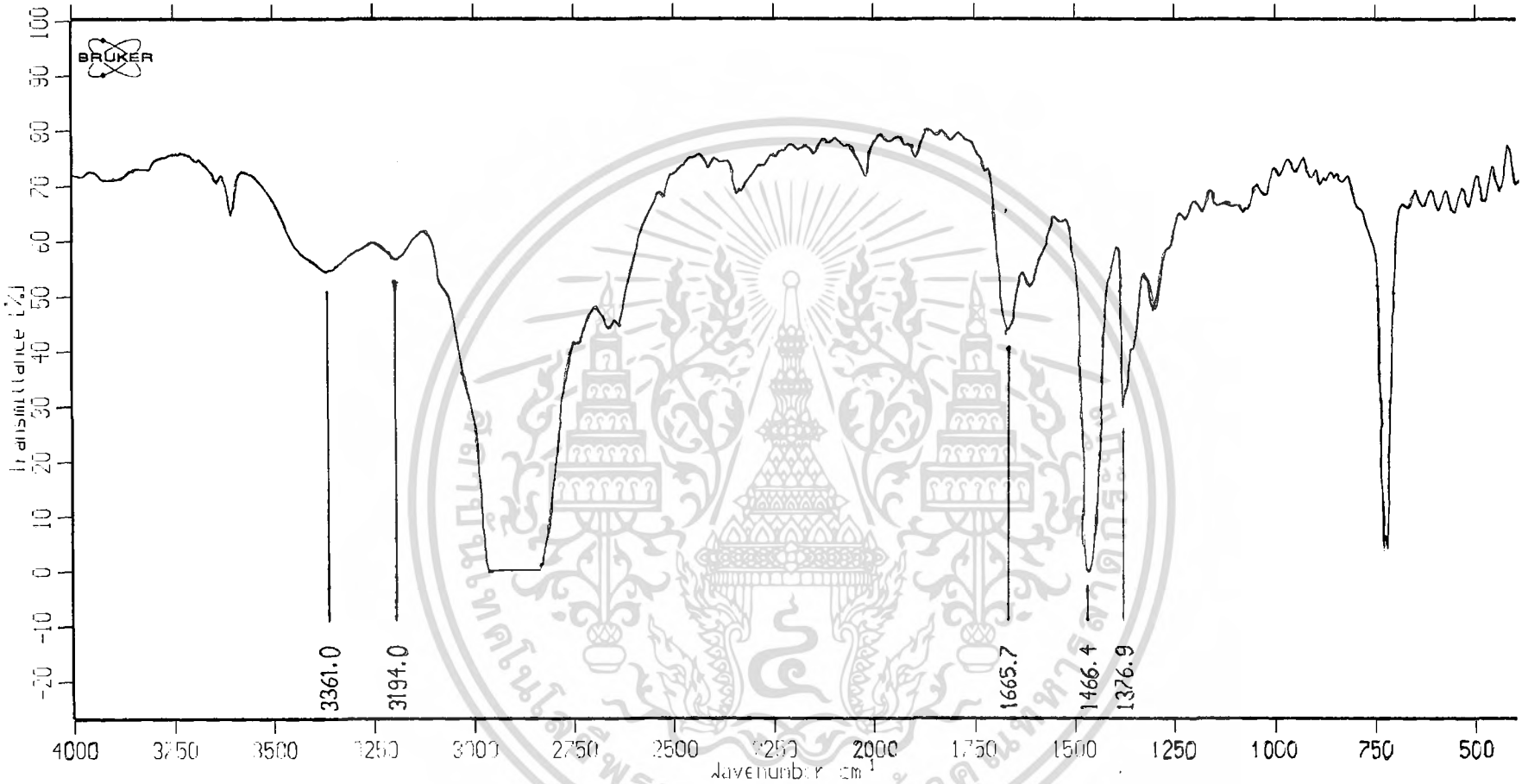
<u>รูปที่ 3</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



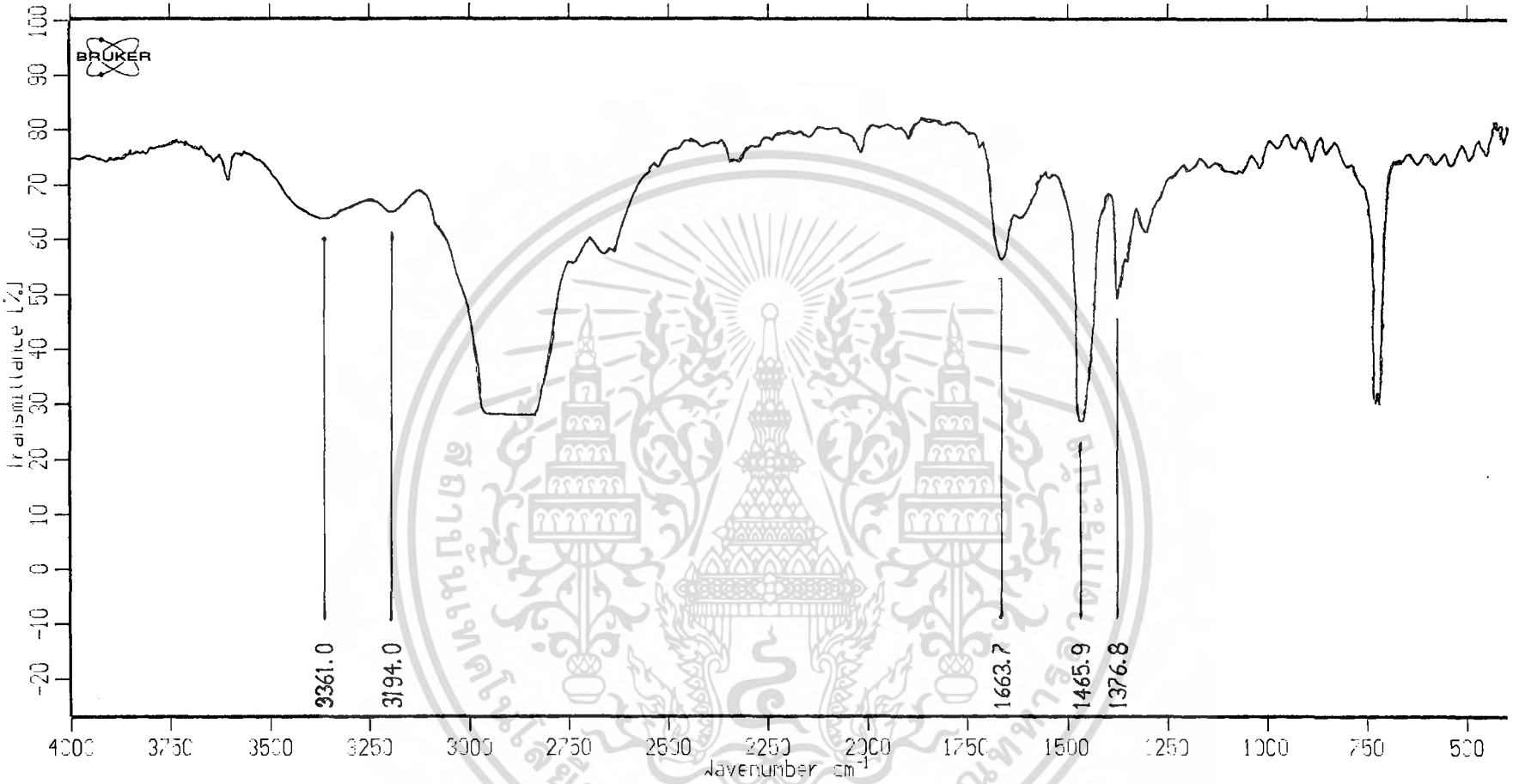
<u>รูปที่ 4</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



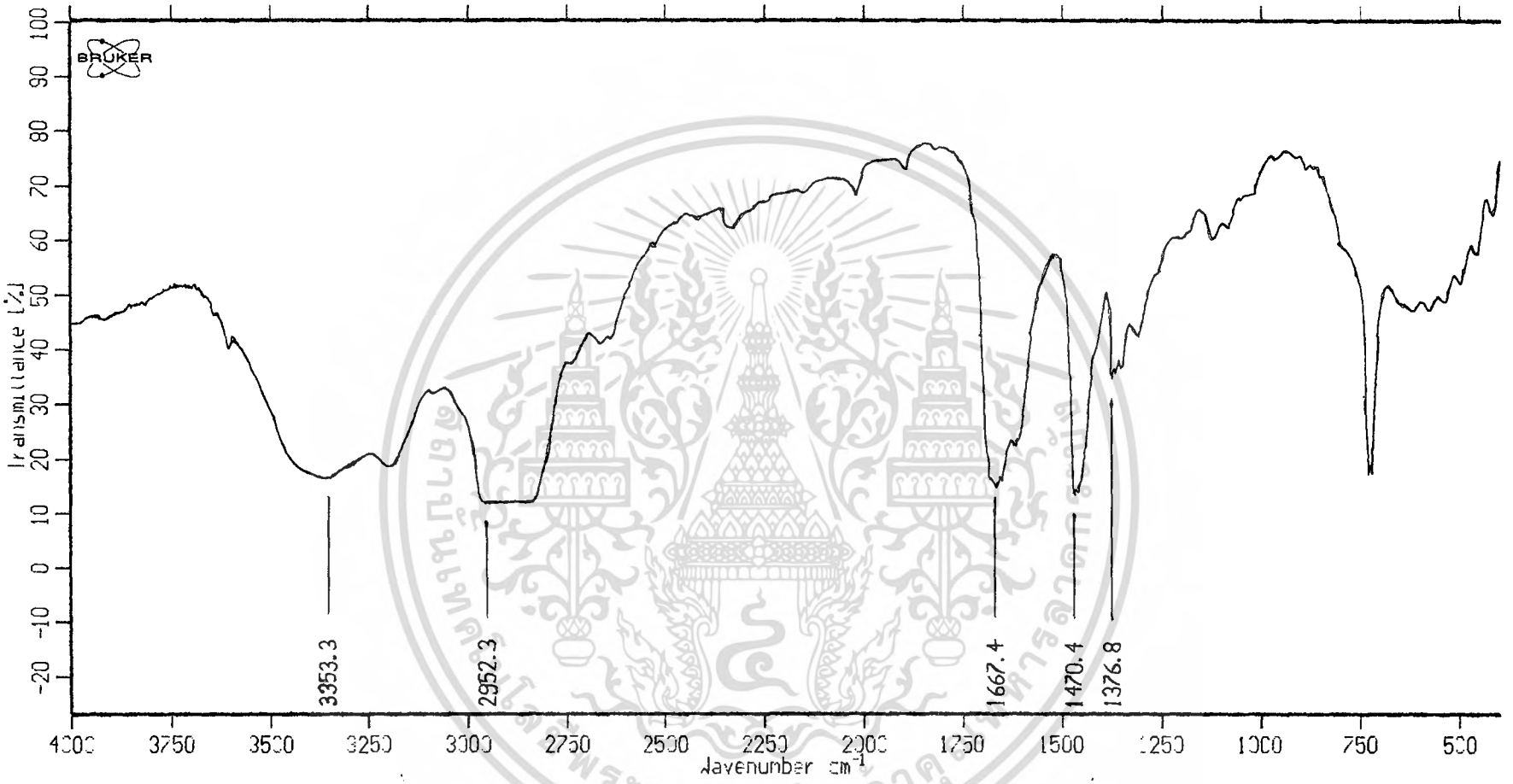
<u>รูปที่ 5</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



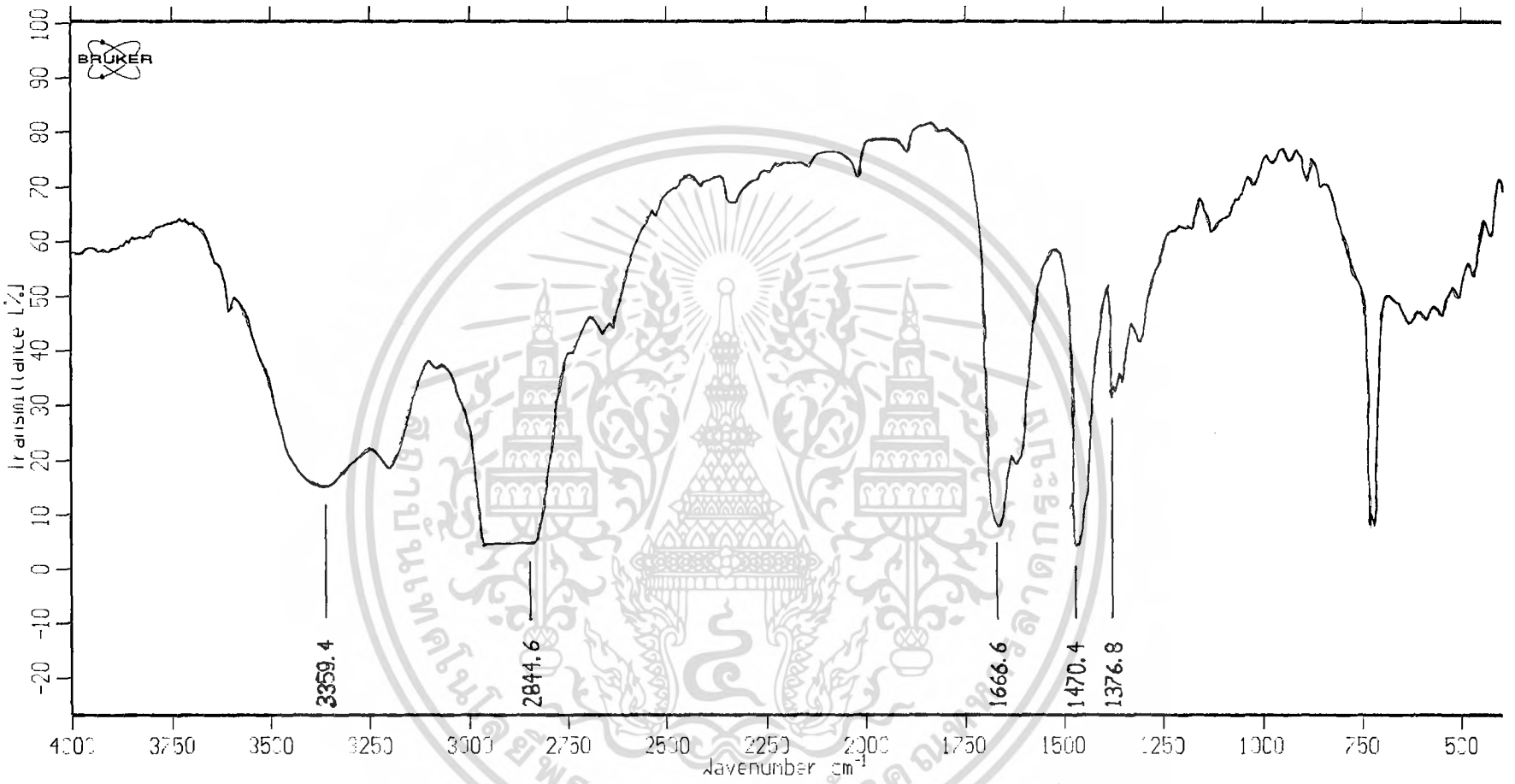
<u>รูปที่ 6</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



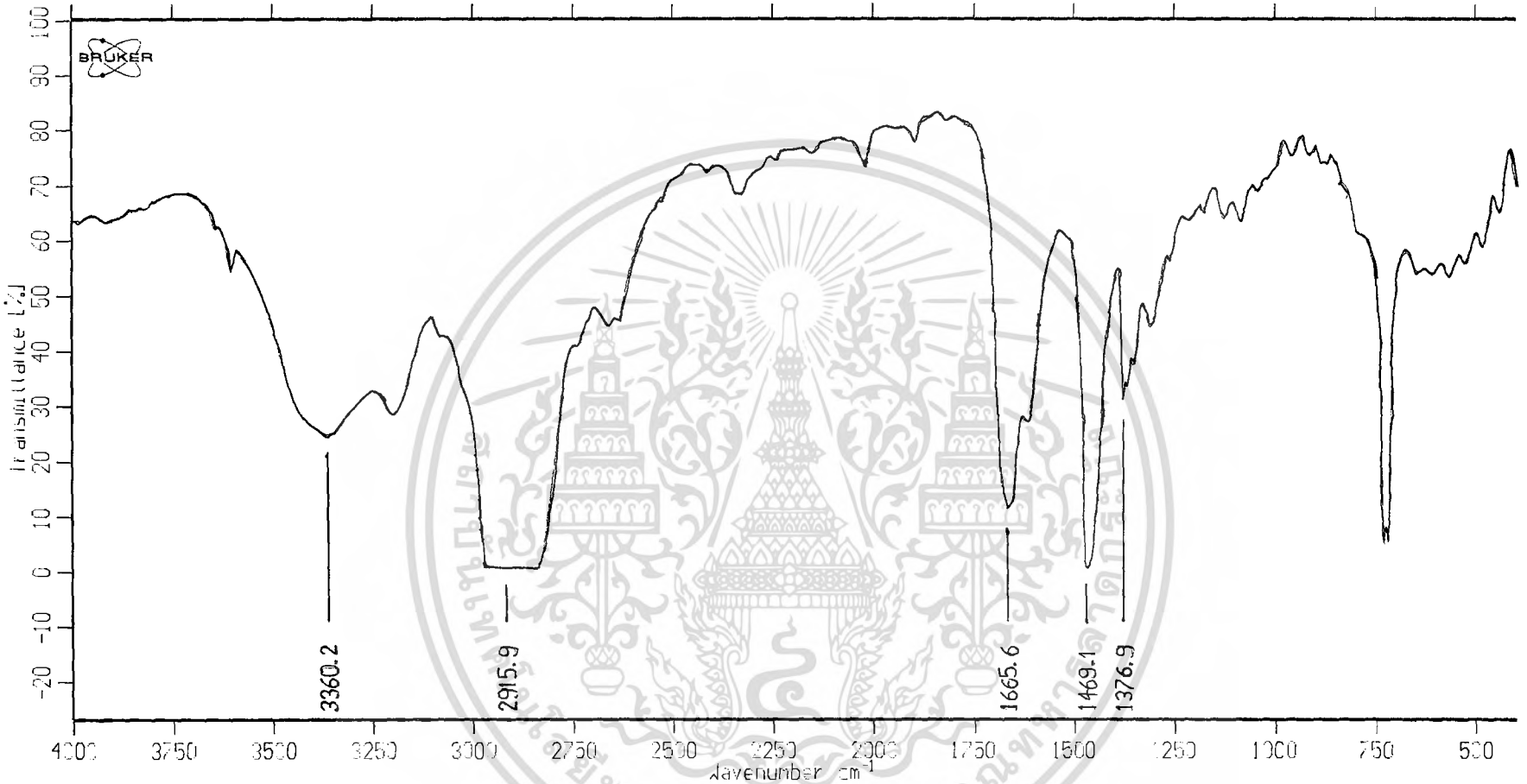
<u>รูปที่ 7</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



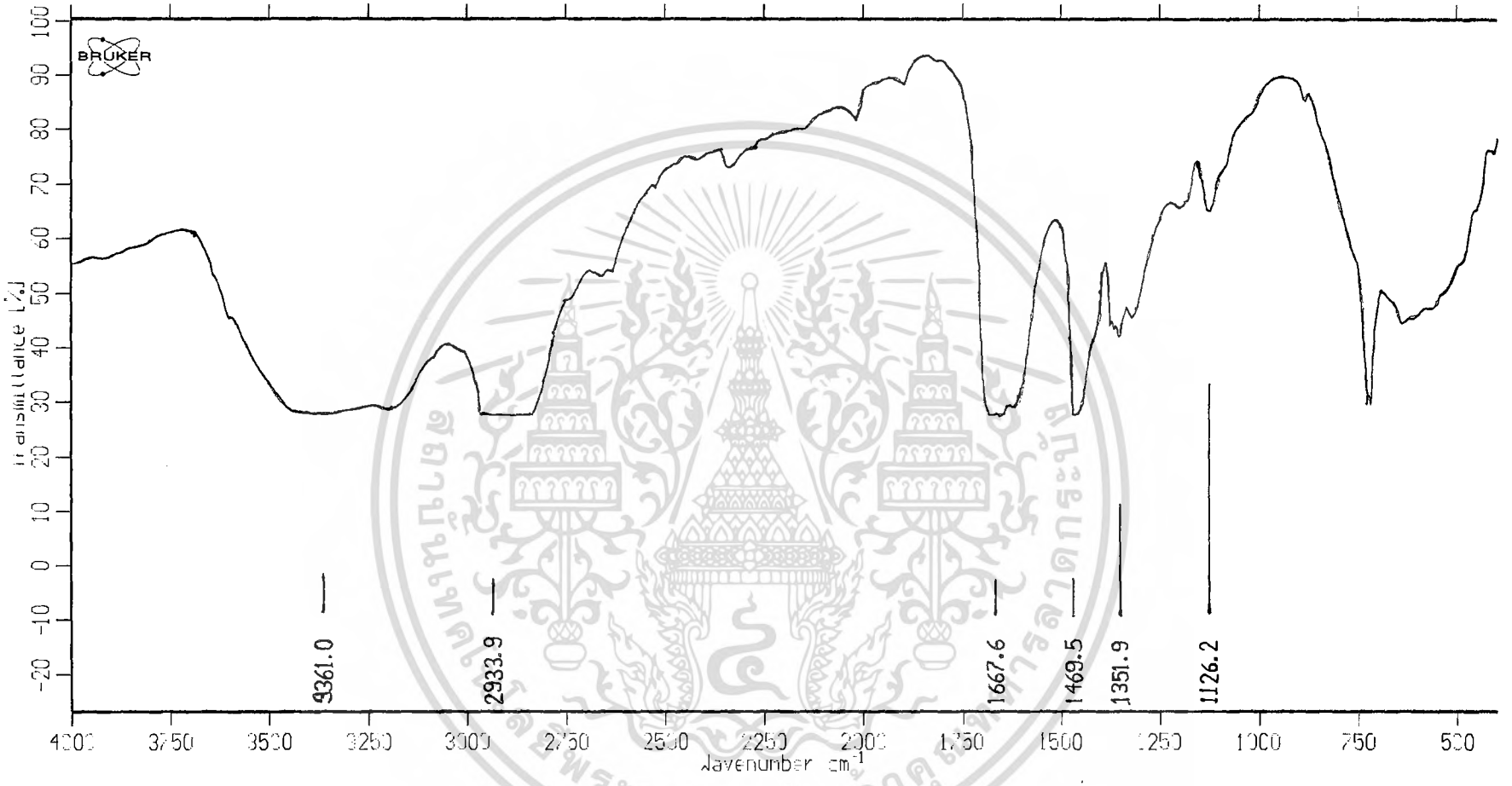
<u>รูปที่ 8</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



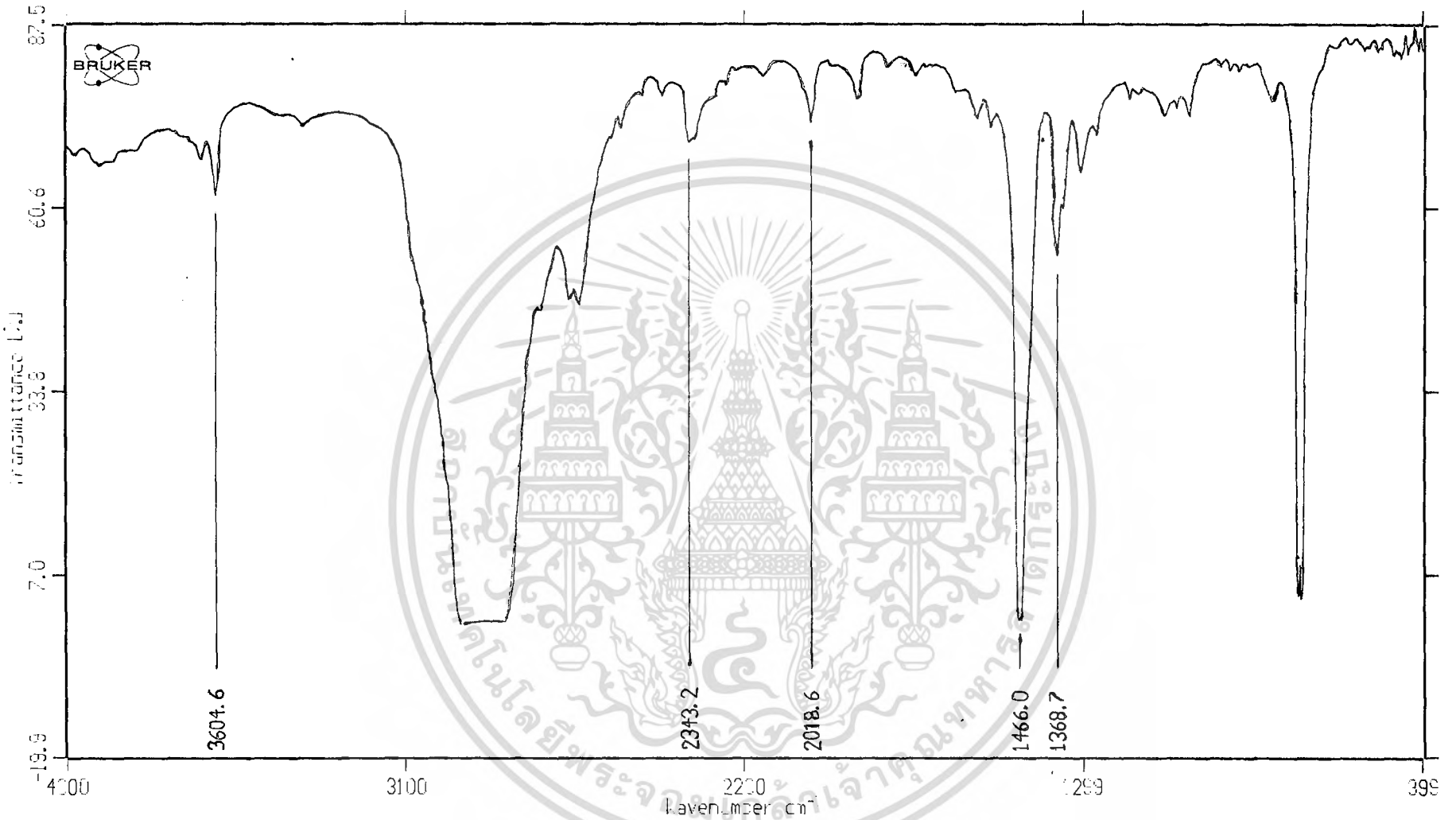
<u>รูปที่ 9</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



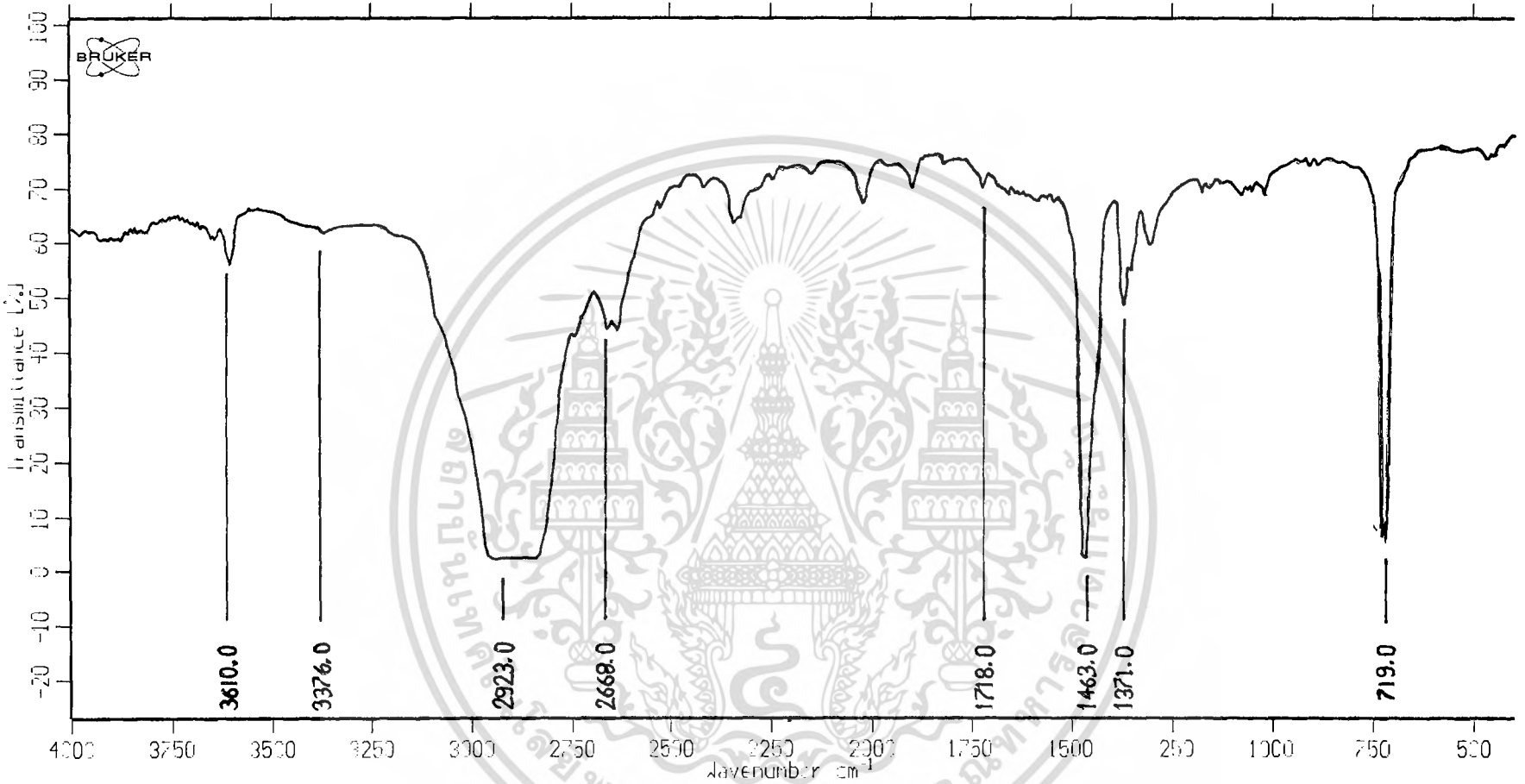
รูปที่ 10 แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



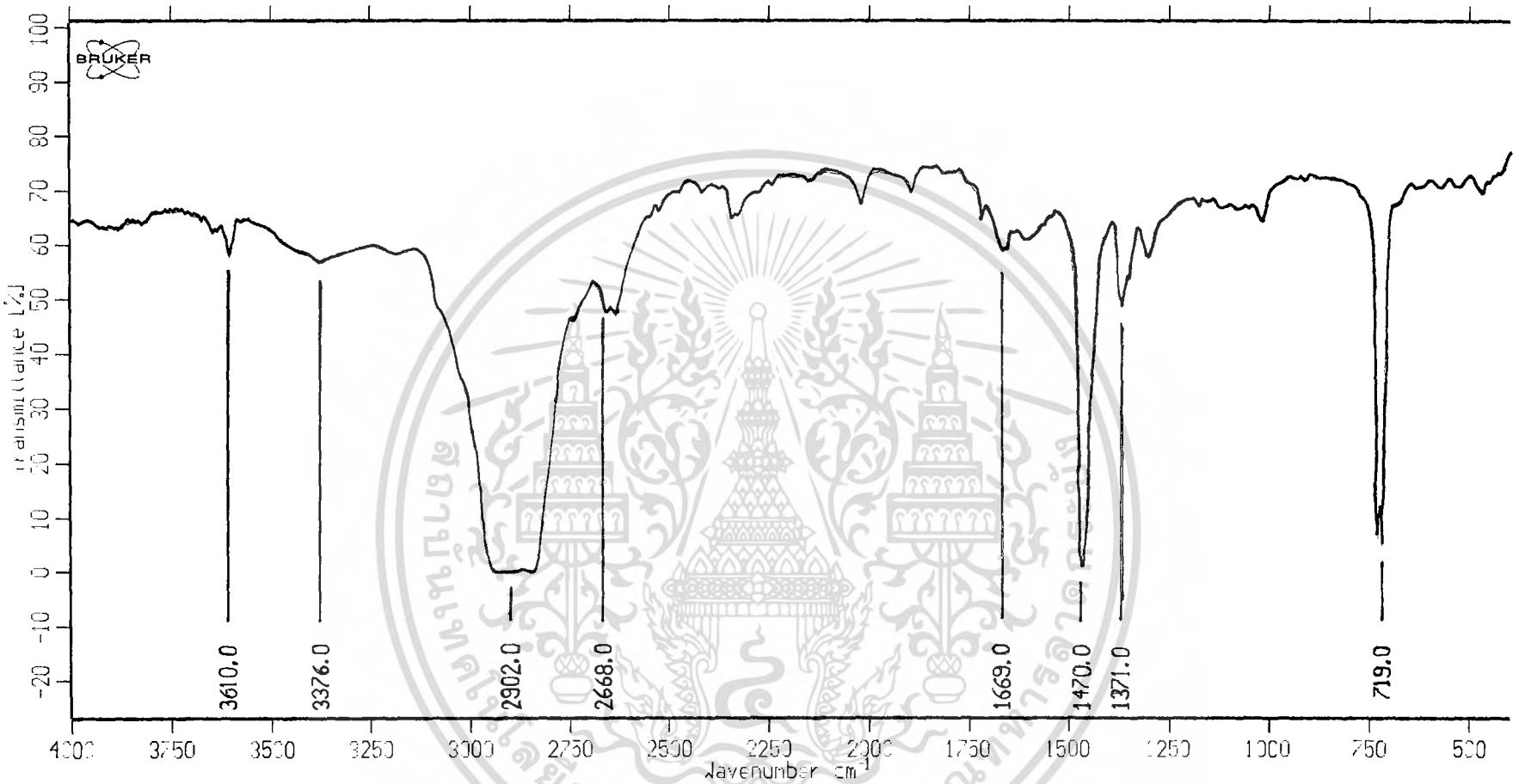
รูปที่ 11 แสดง FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



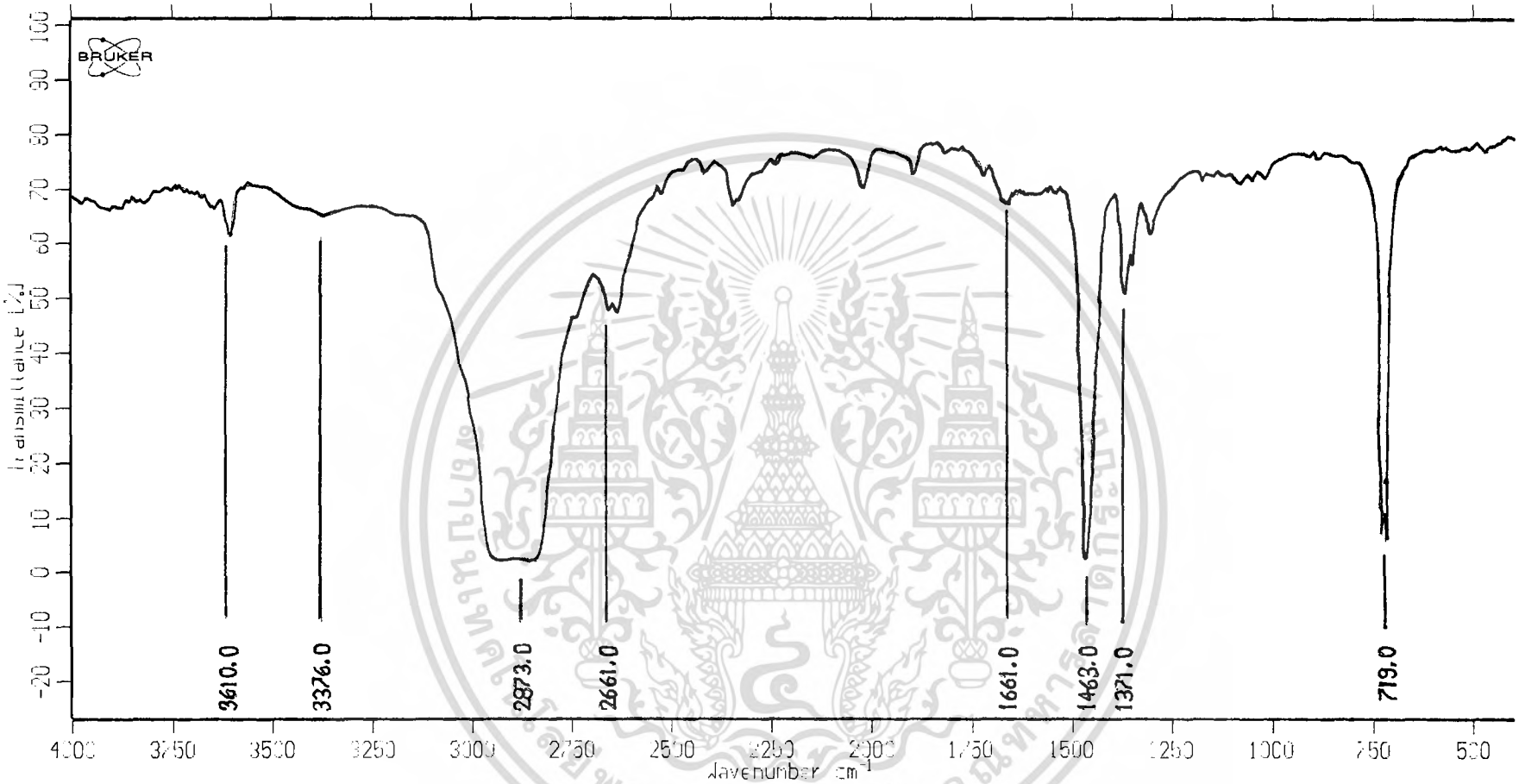
รูปที่ 12 แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนก่อนการต่อกิ่ง



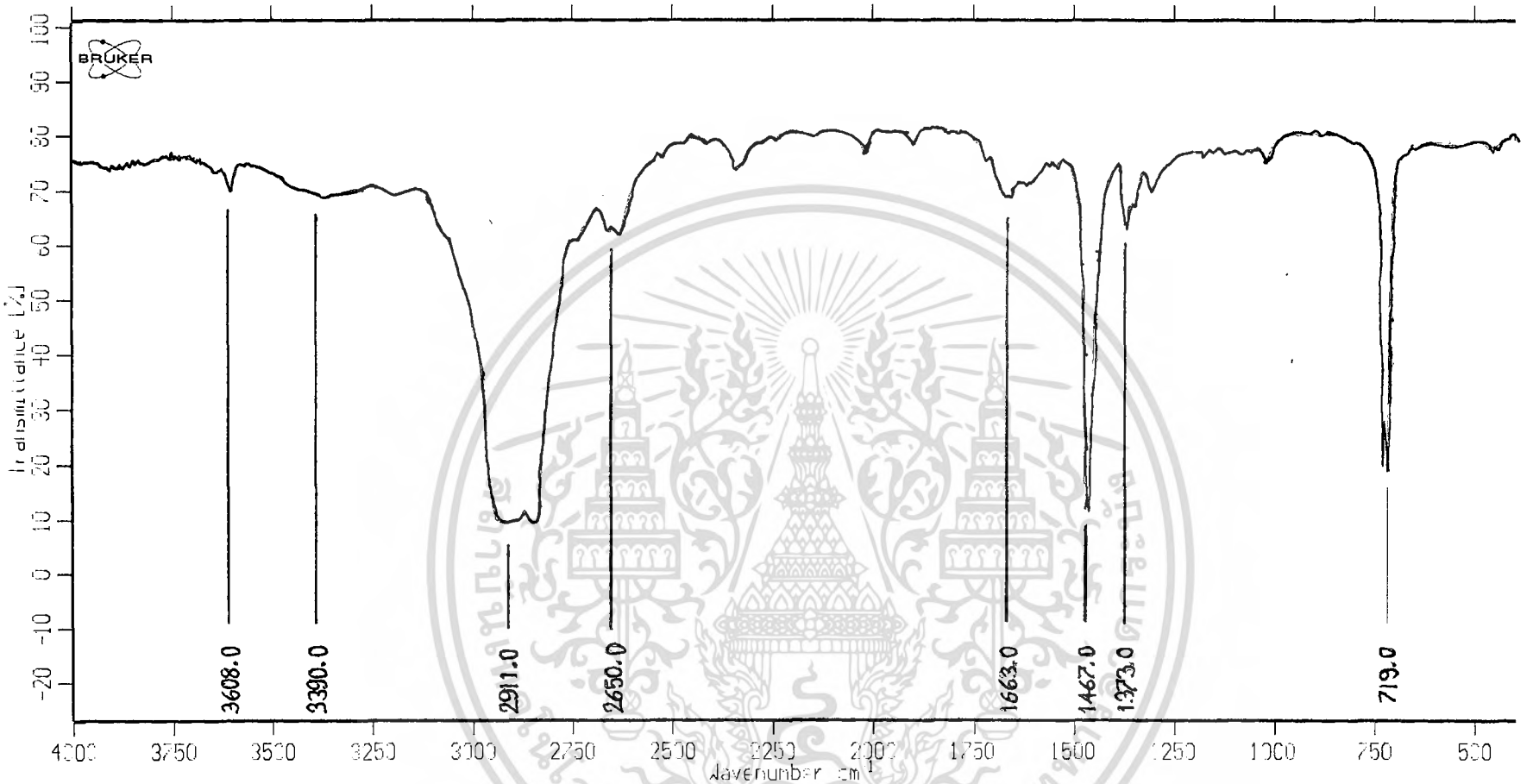
<u>รูปที่ 13</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



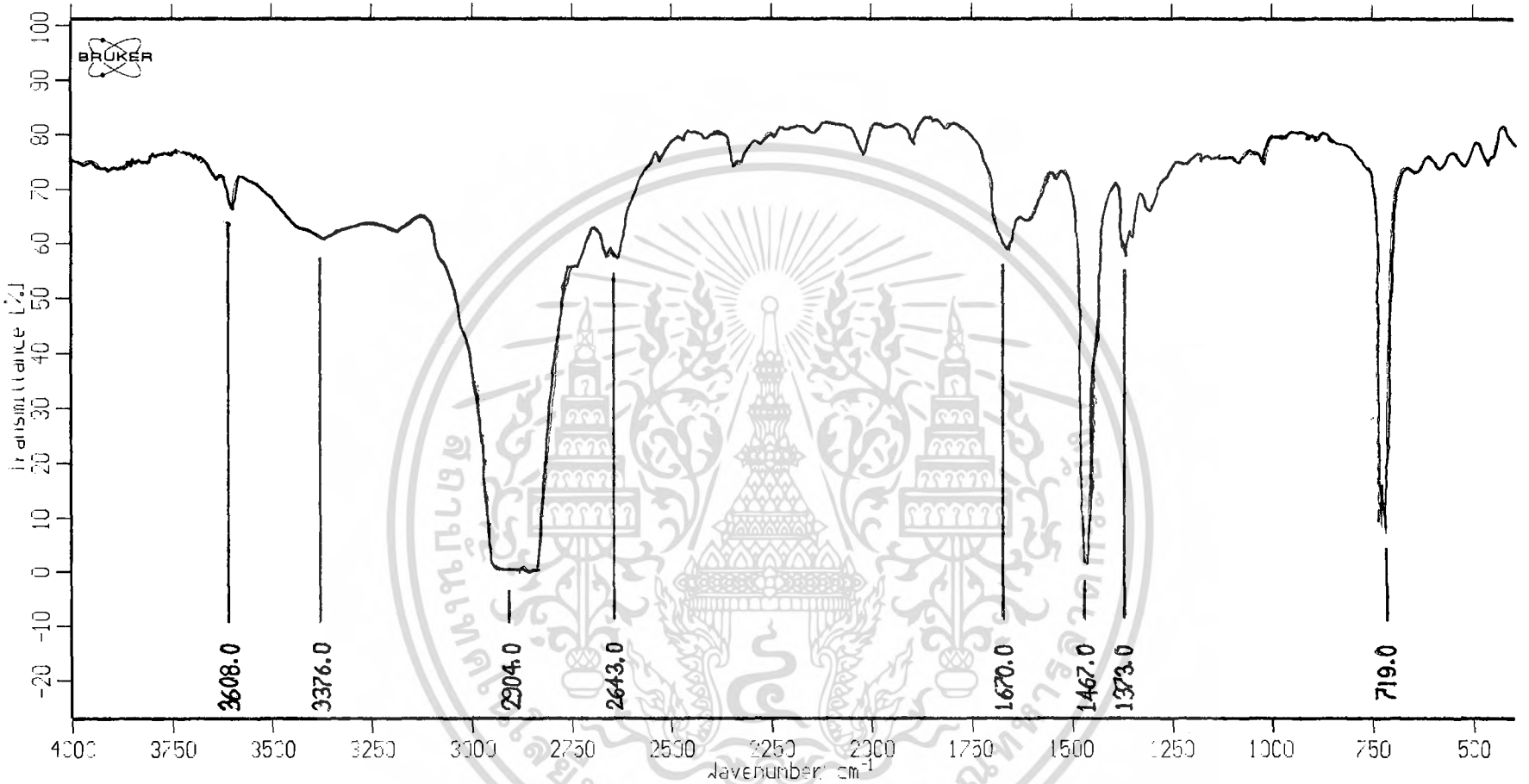
<u>รูปที่ 14</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



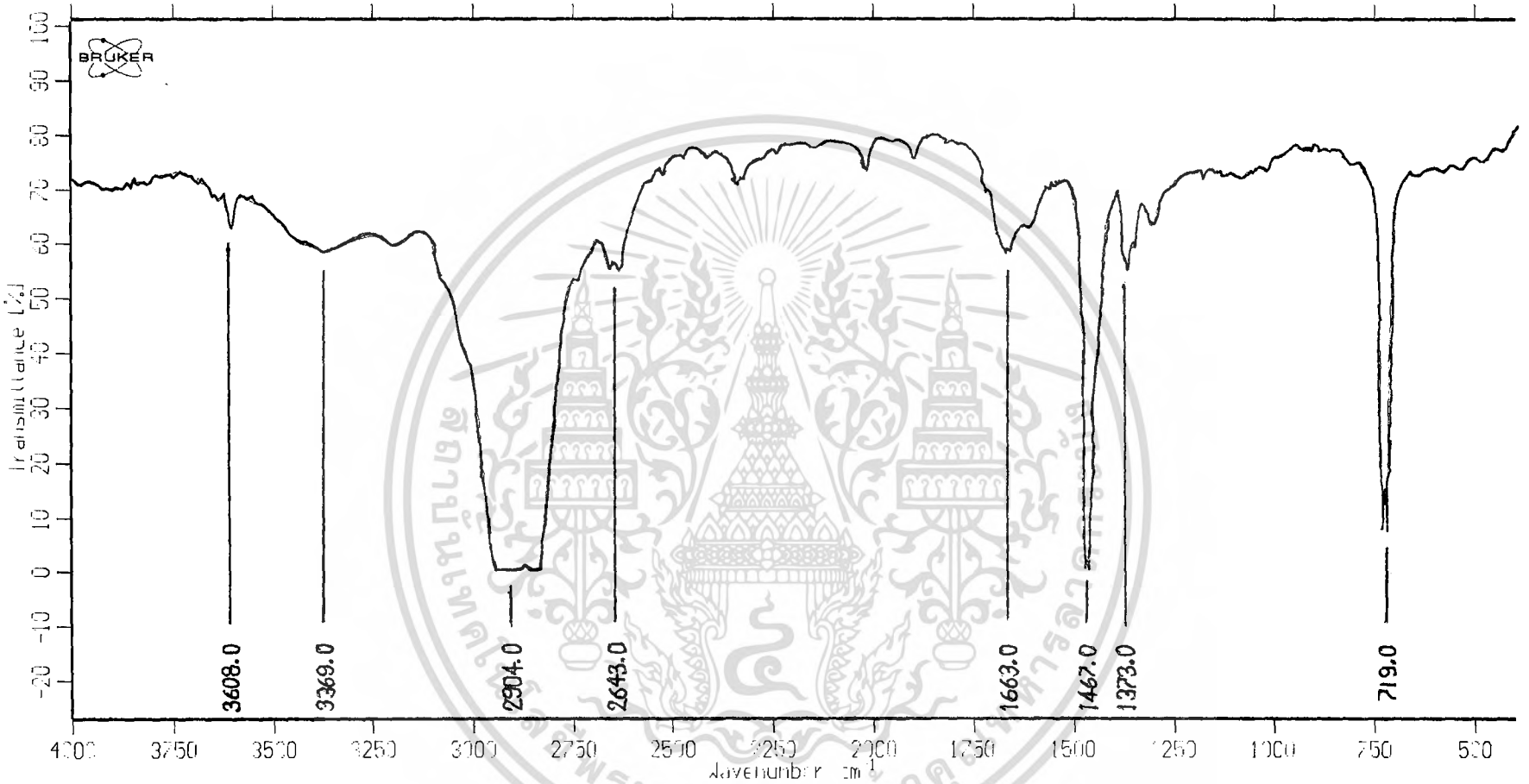
รูปที่ 15 แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



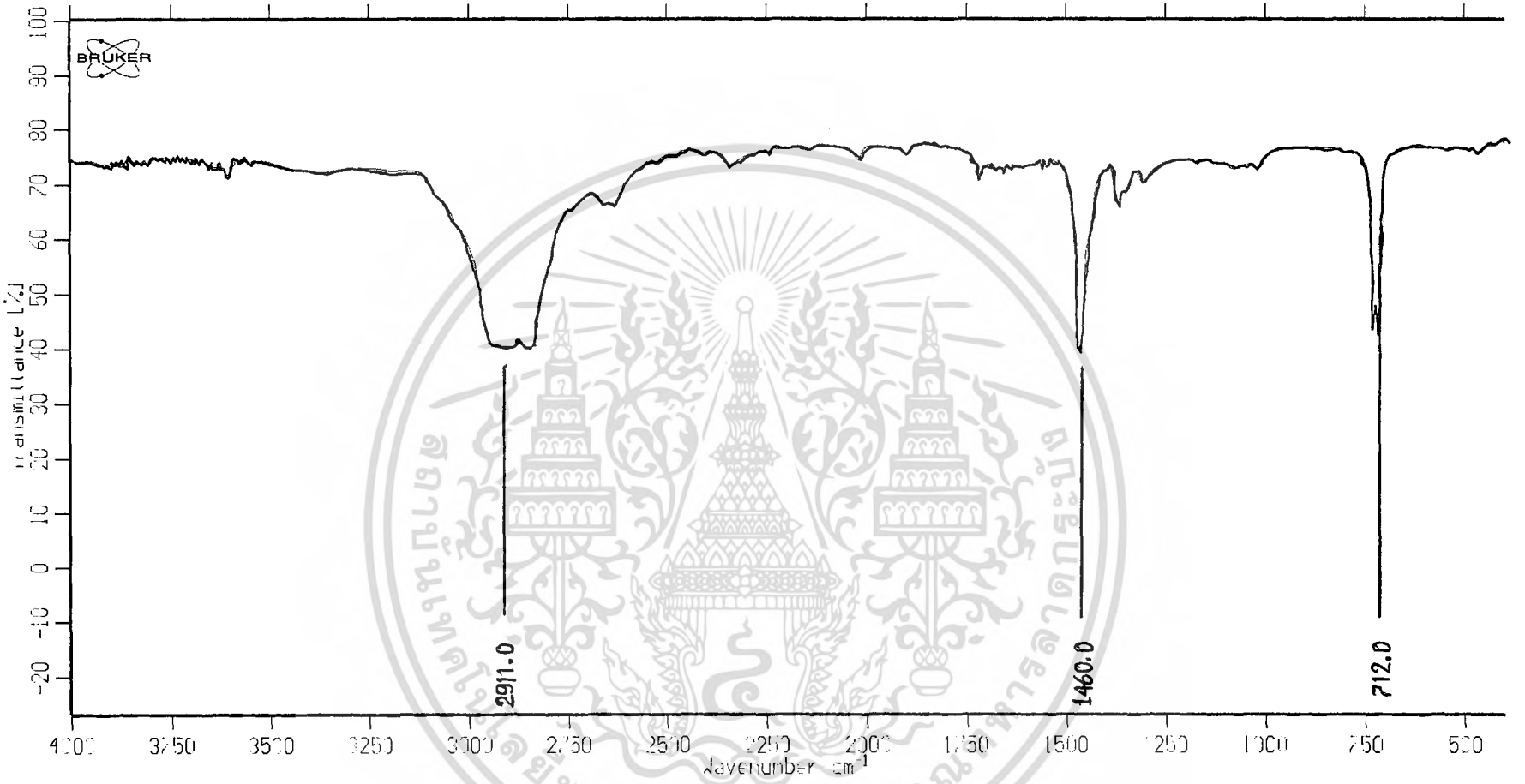
<u>รูปที่ 16</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



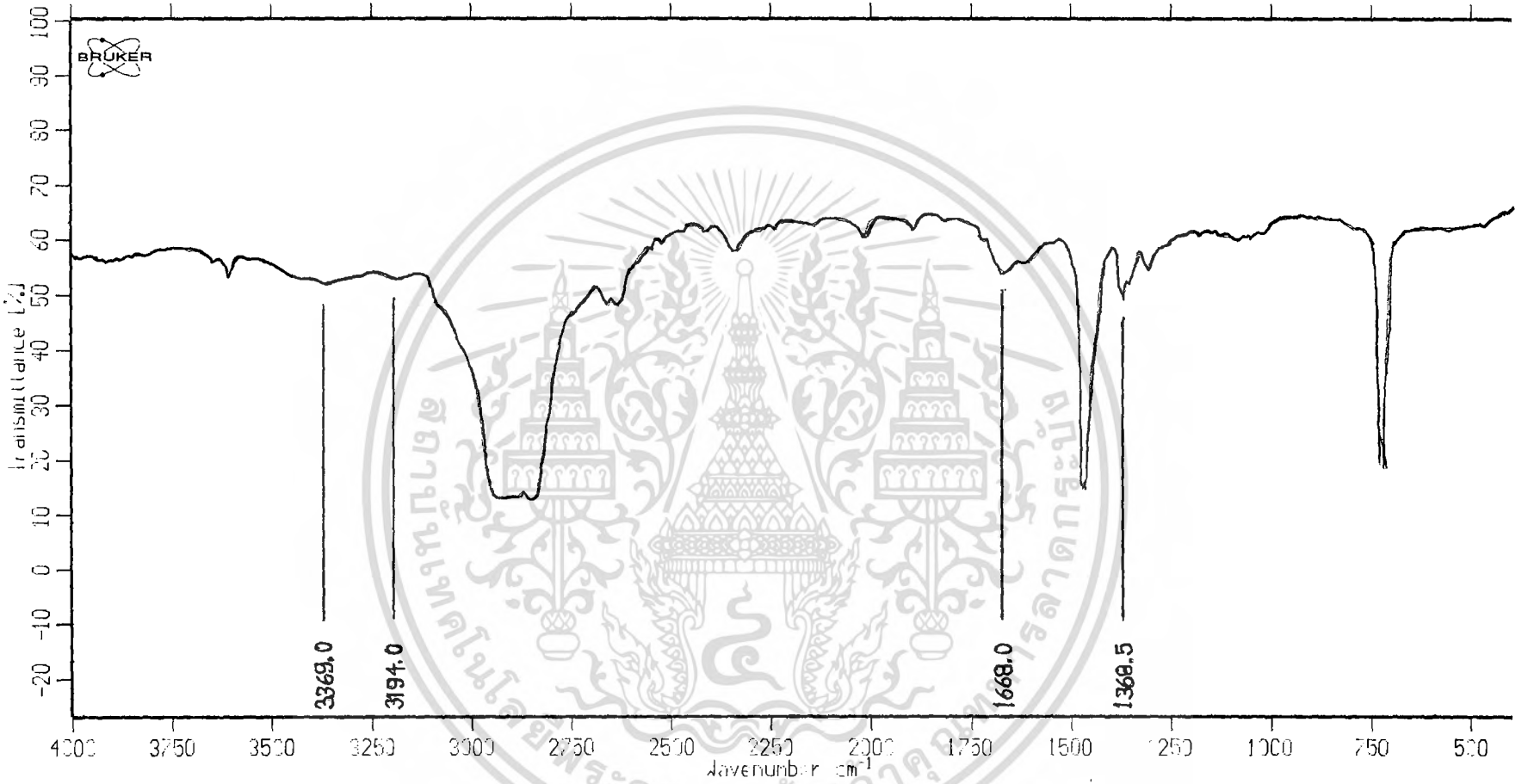
<u>รูปที่ 17</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



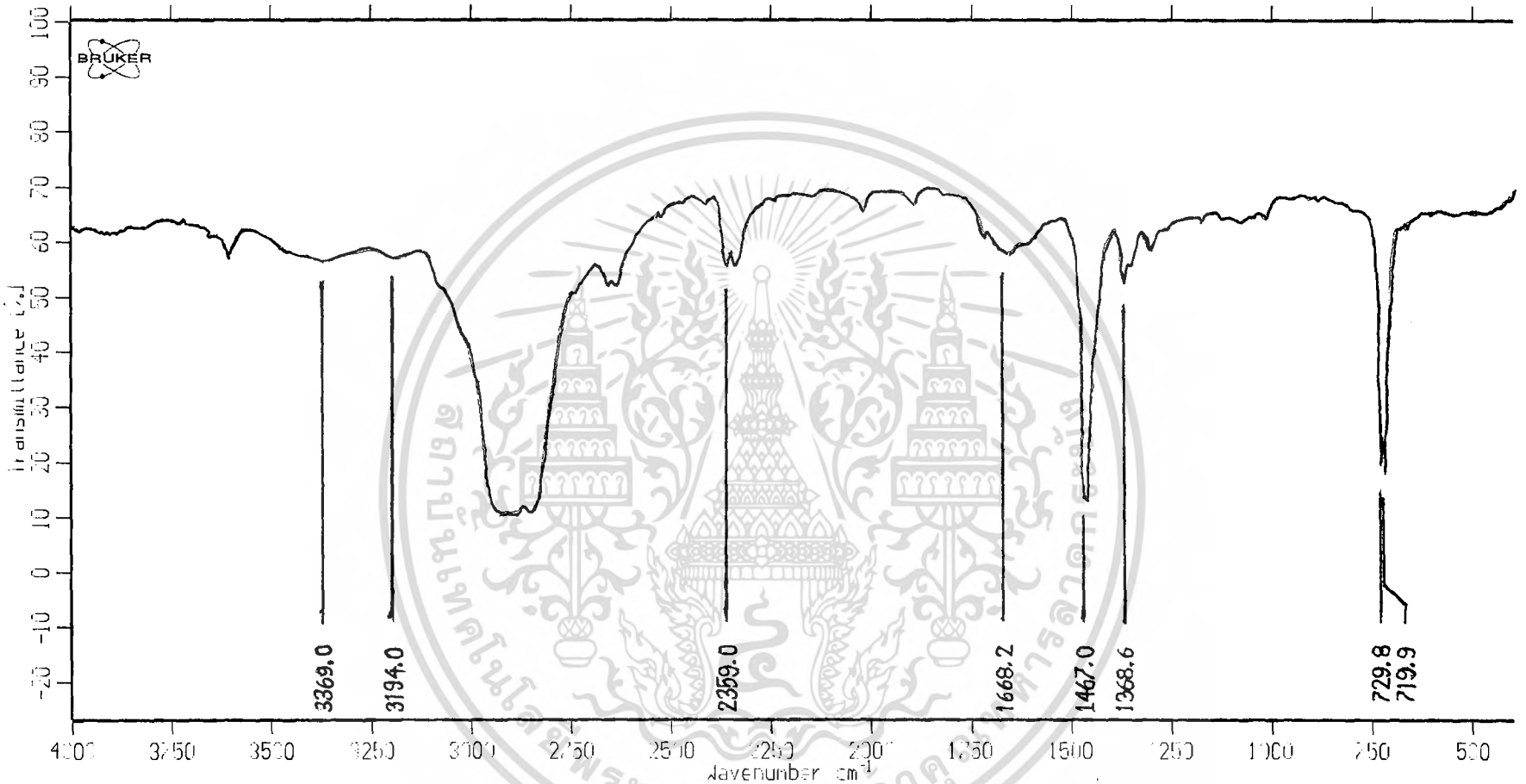
<u>รูปที่ 18</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



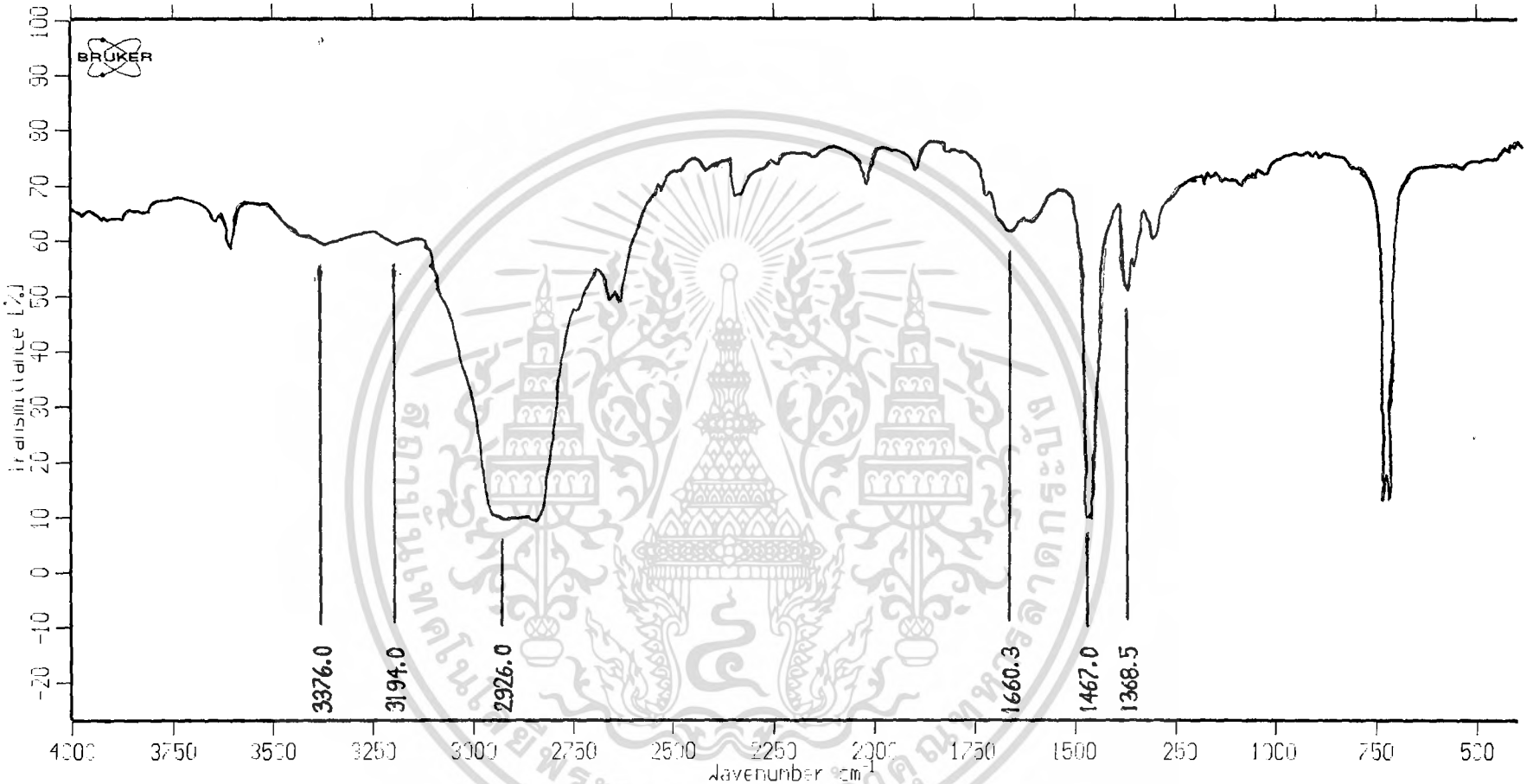
<u>รูปที่ 19</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



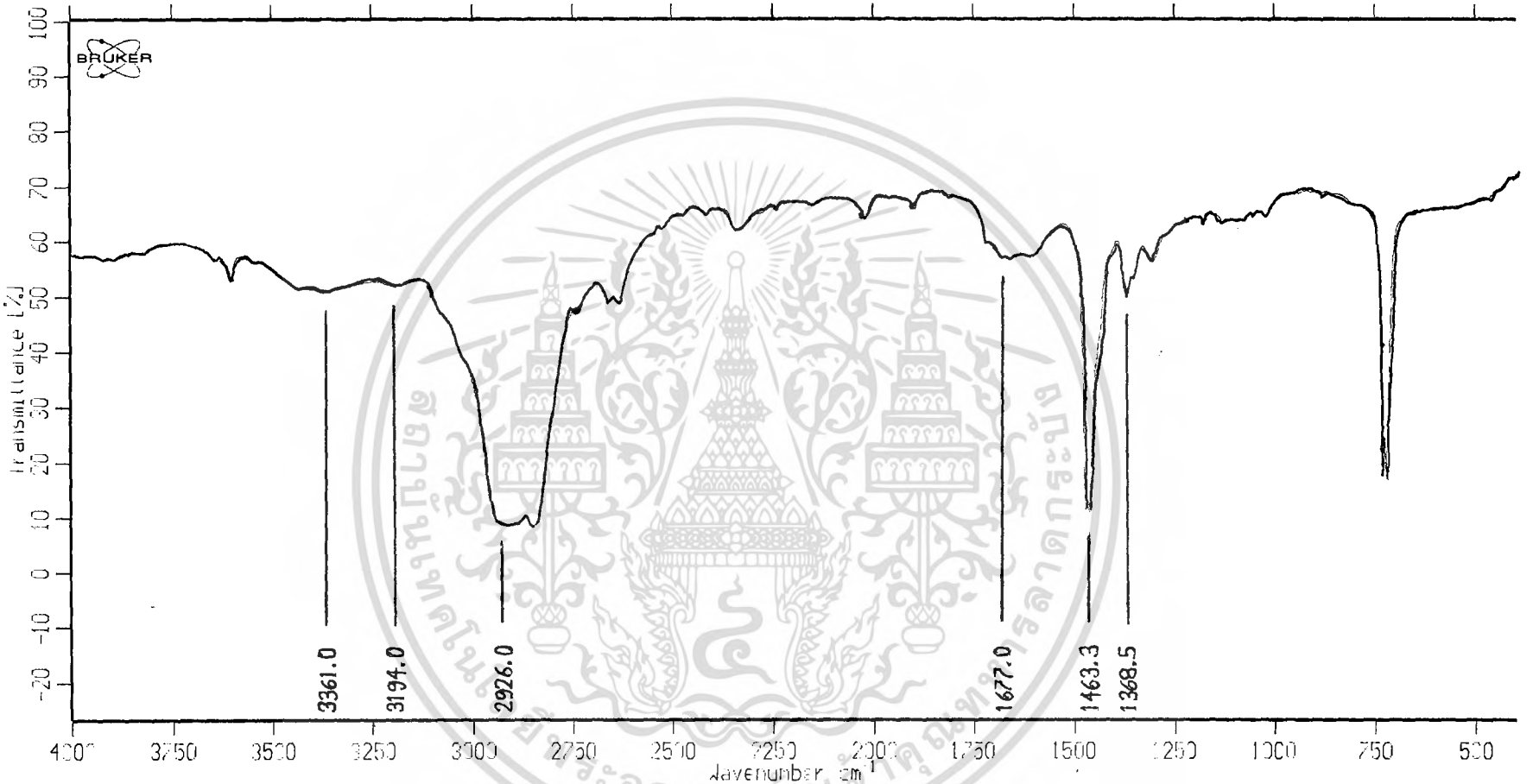
<u>รูปที่ 20</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



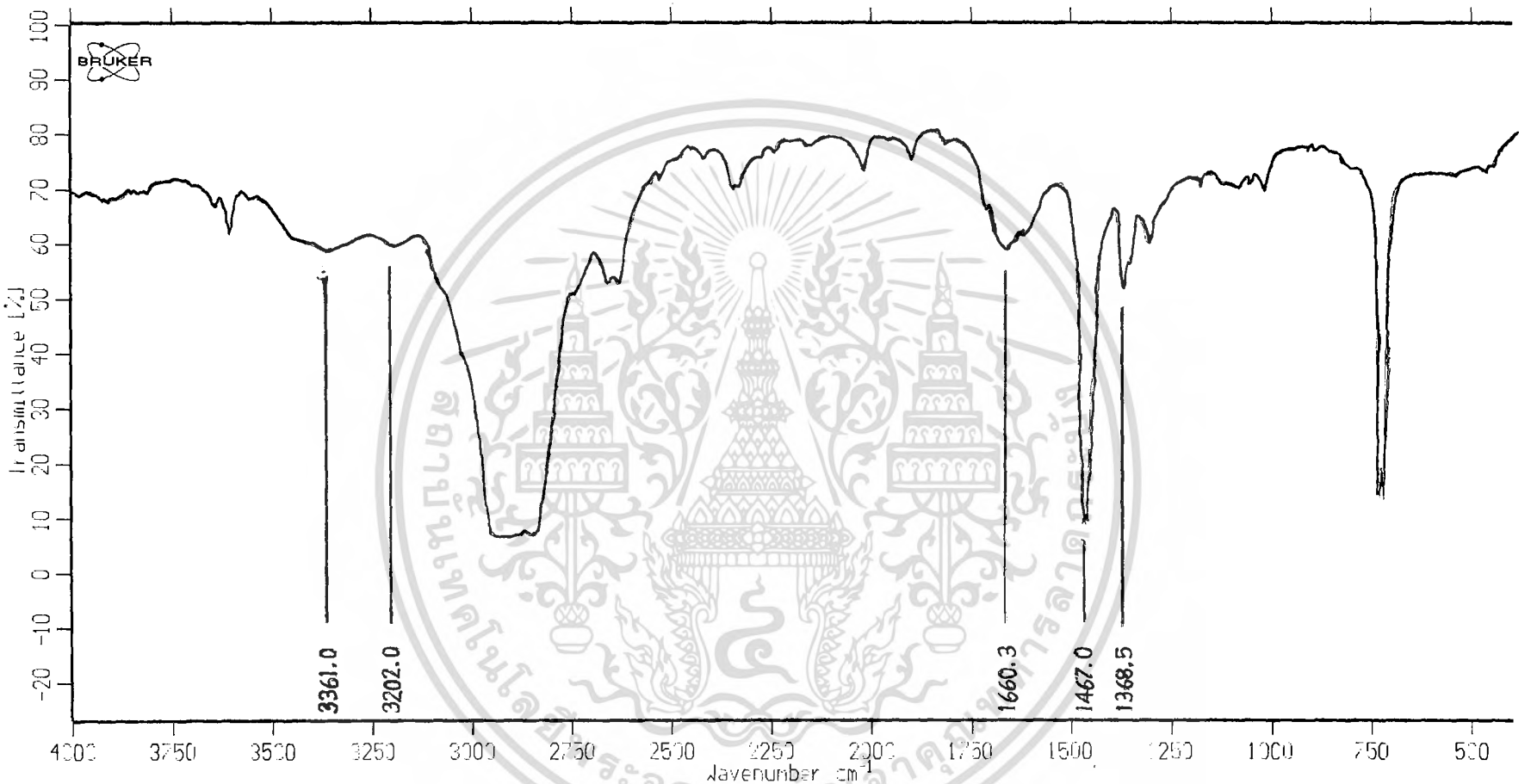
<u>รูปที่ 21</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



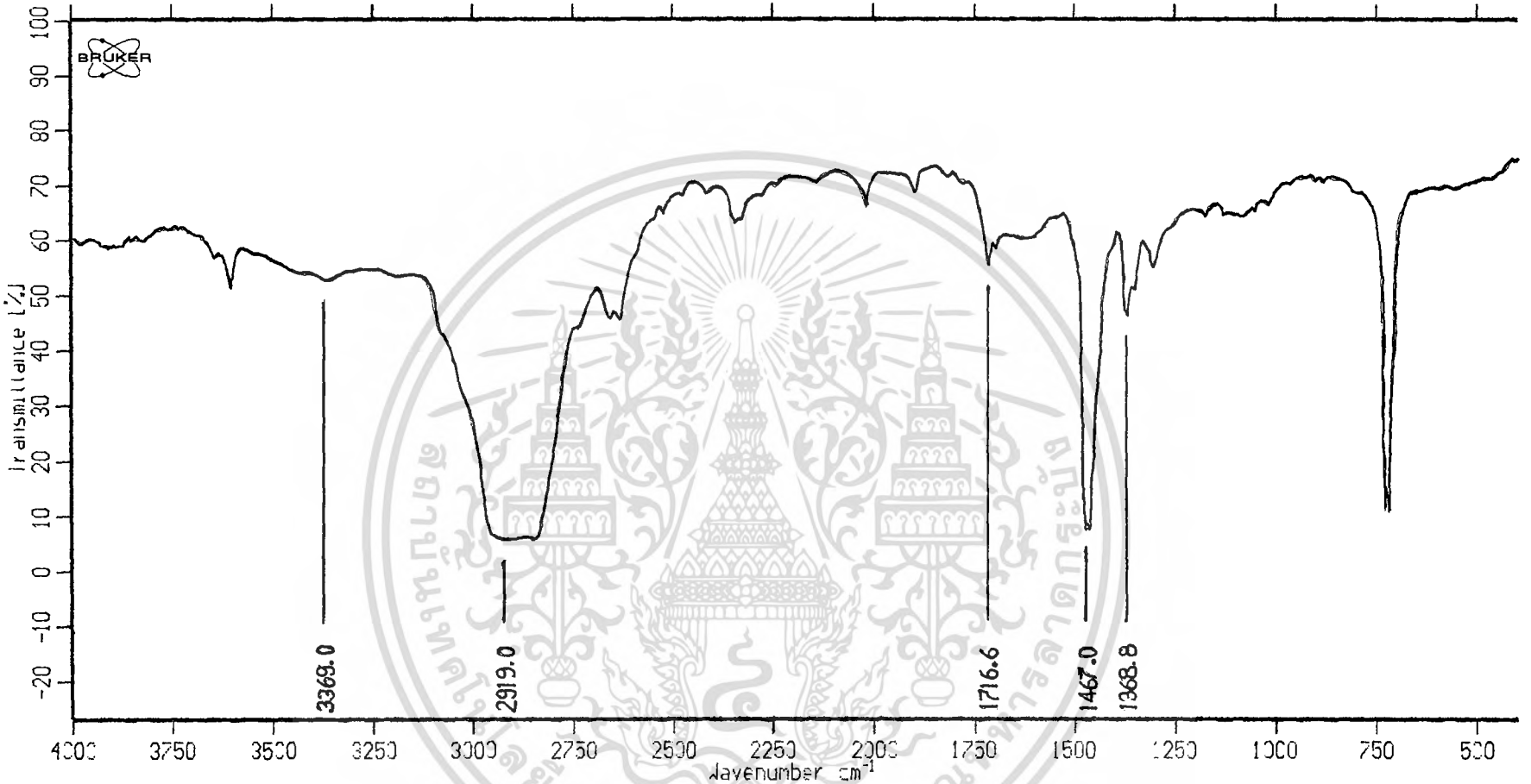
<u>รูปที่ 22</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



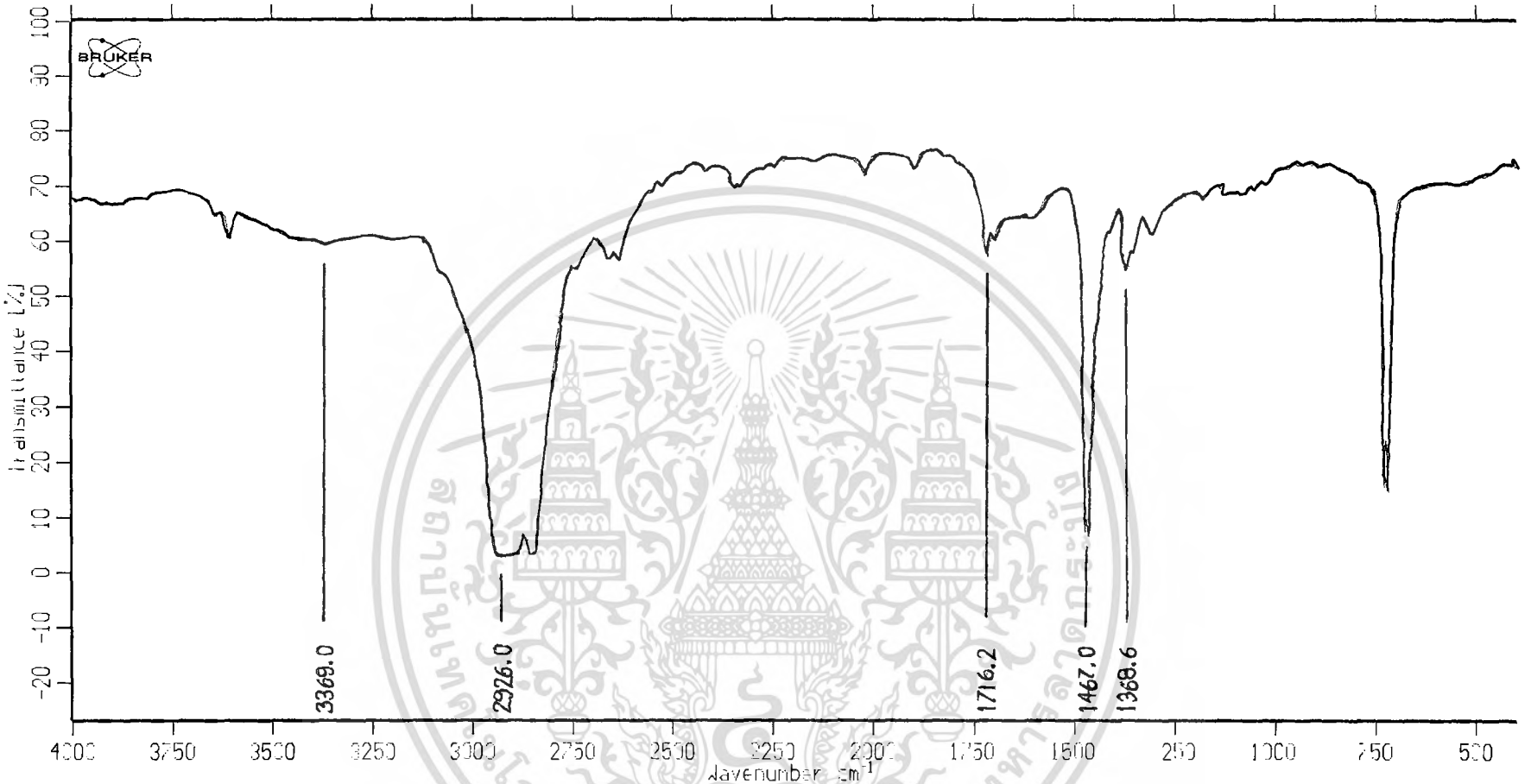
<u>รูปที่ 23</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



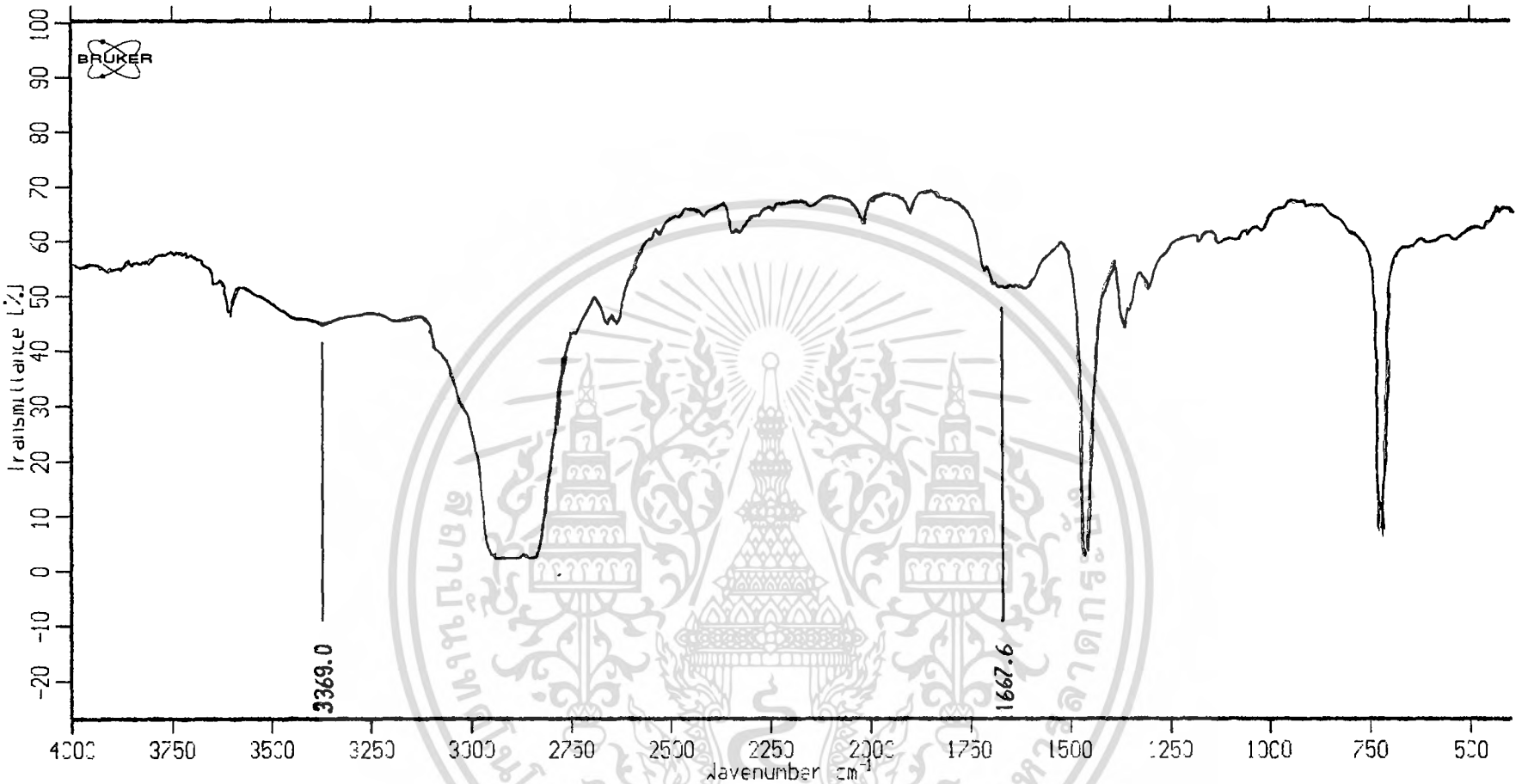
รูปที่ 24 แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



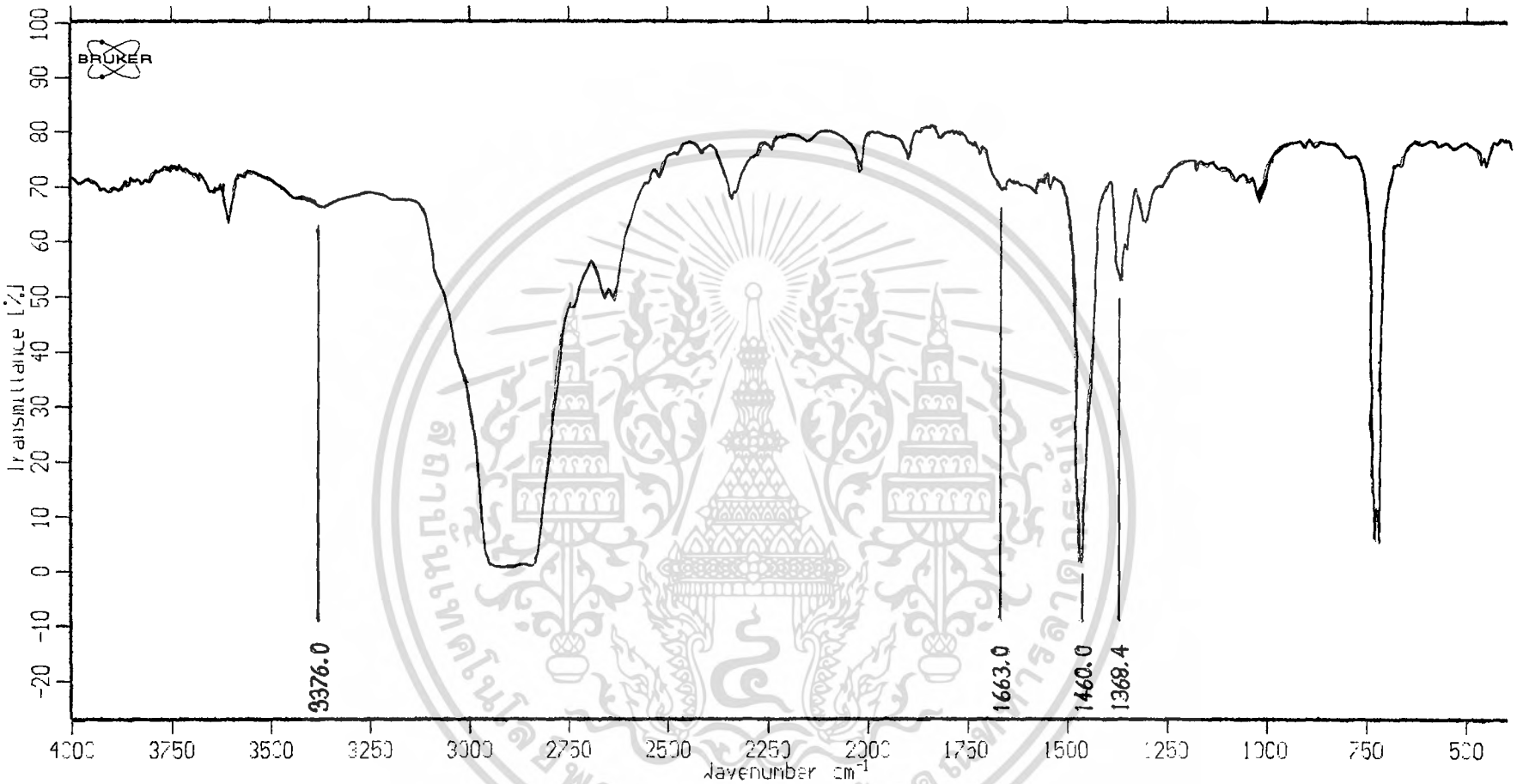
<u>รูปที่ 25</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



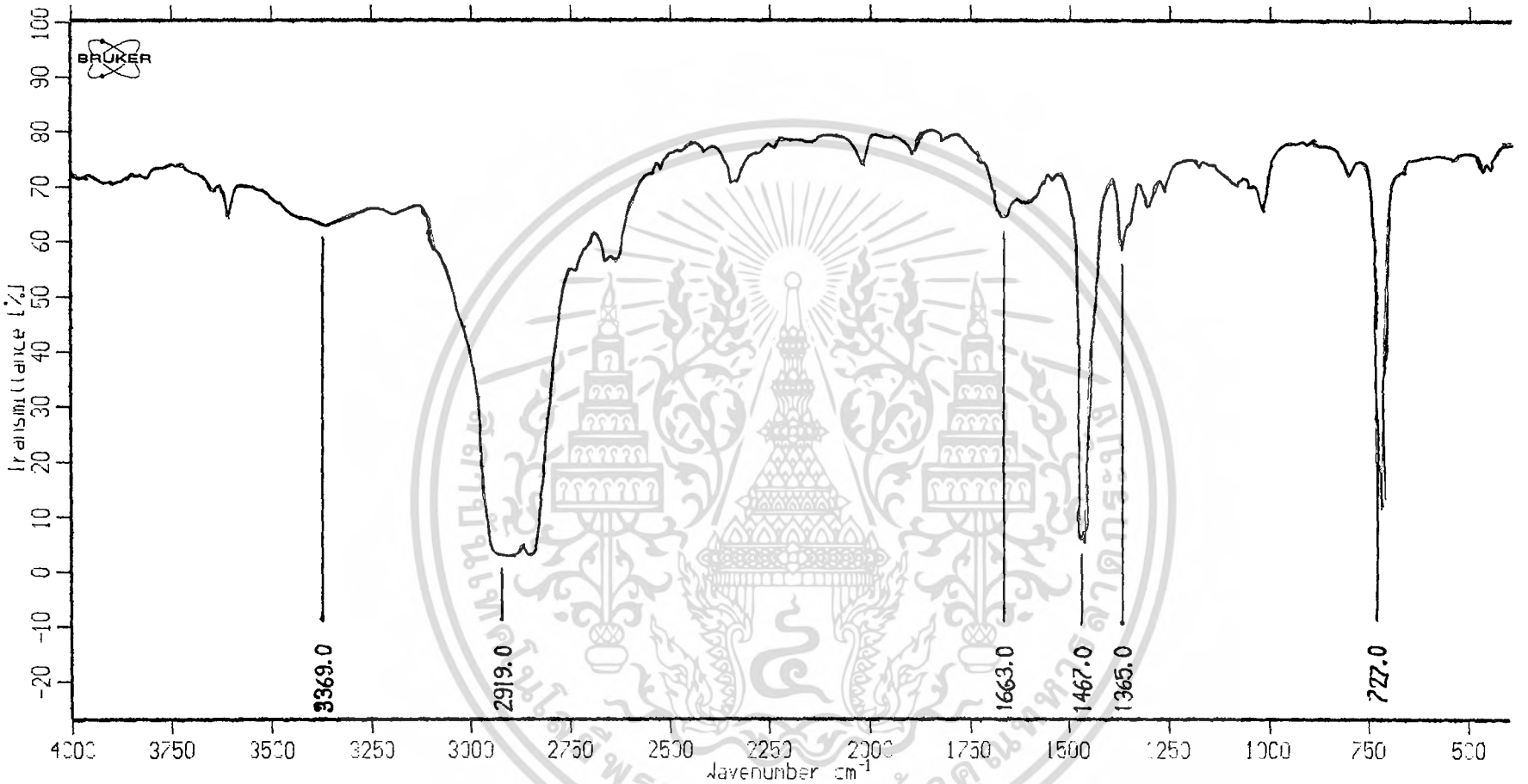
<u>รูปที่ 26</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



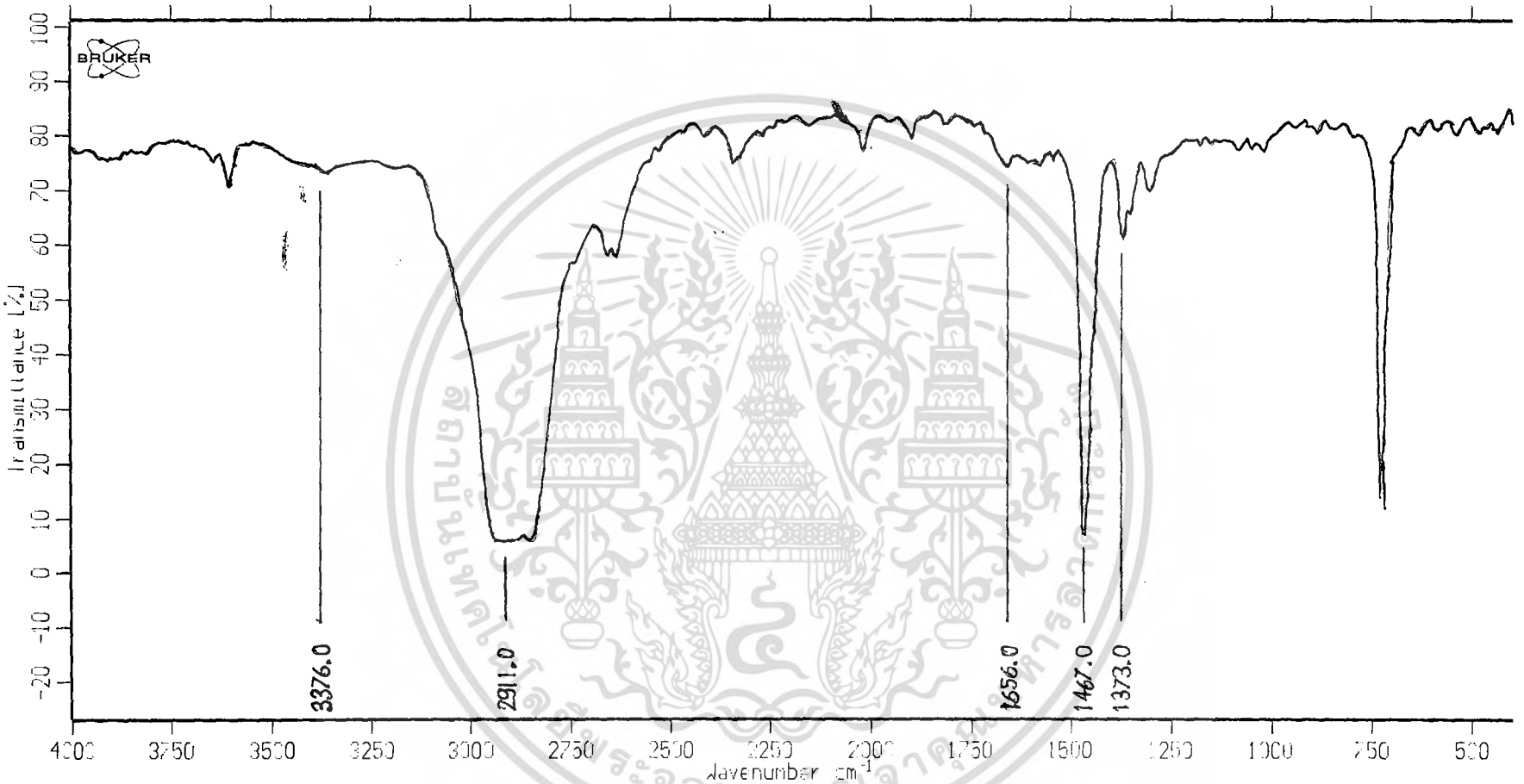
<u>รูปที่ 27</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



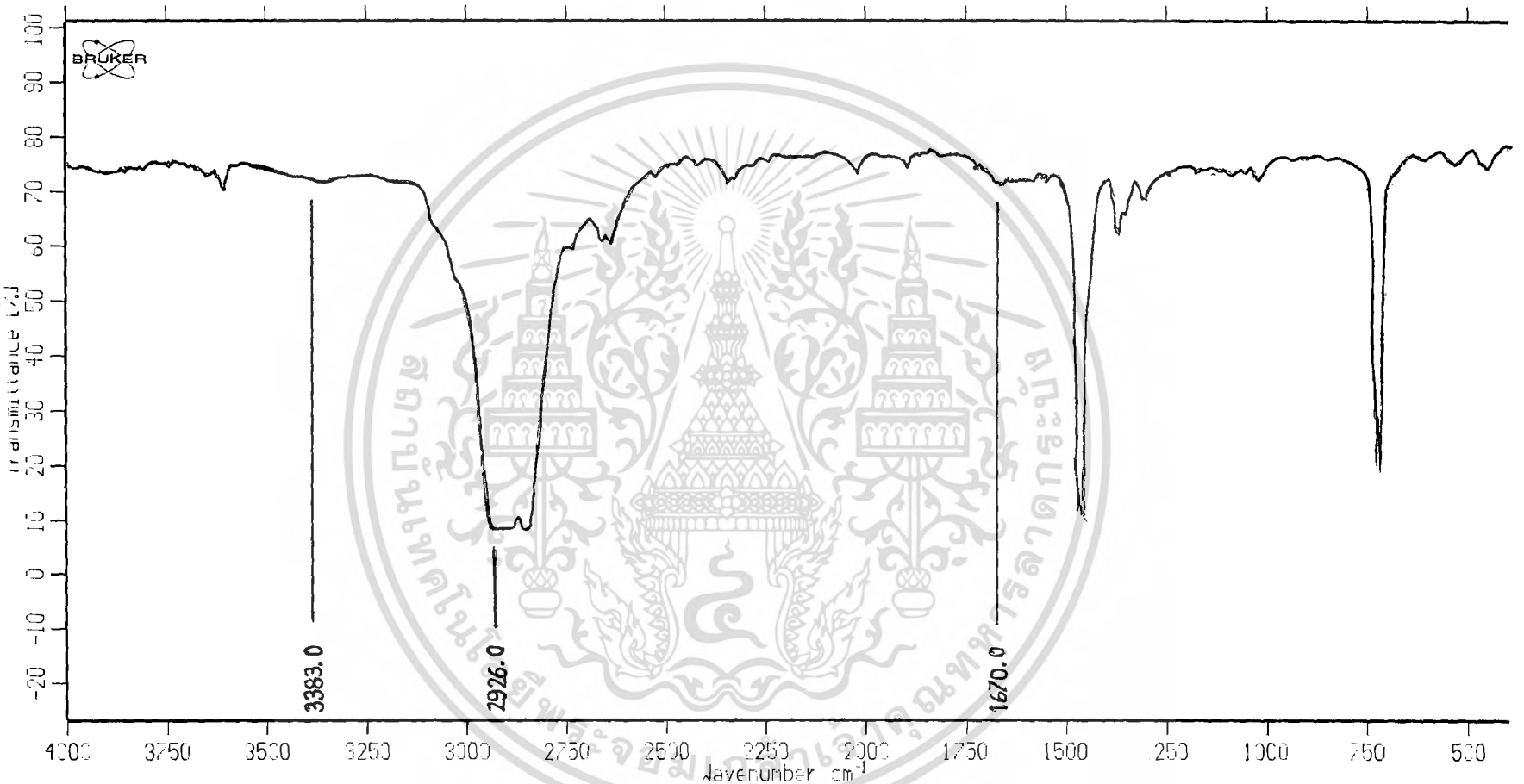
<u>รูปที่ 28</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



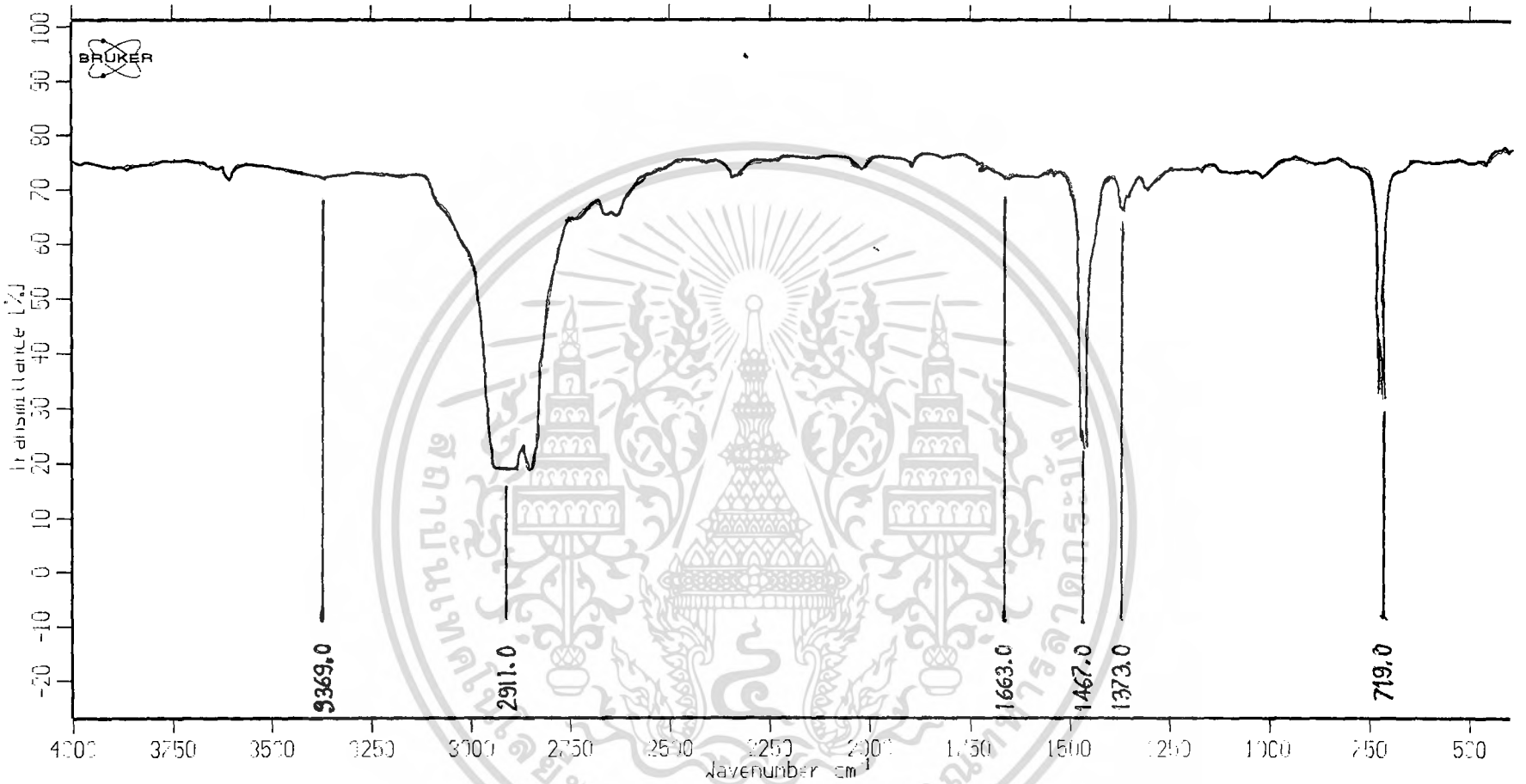
<u>รูปที่ 29</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



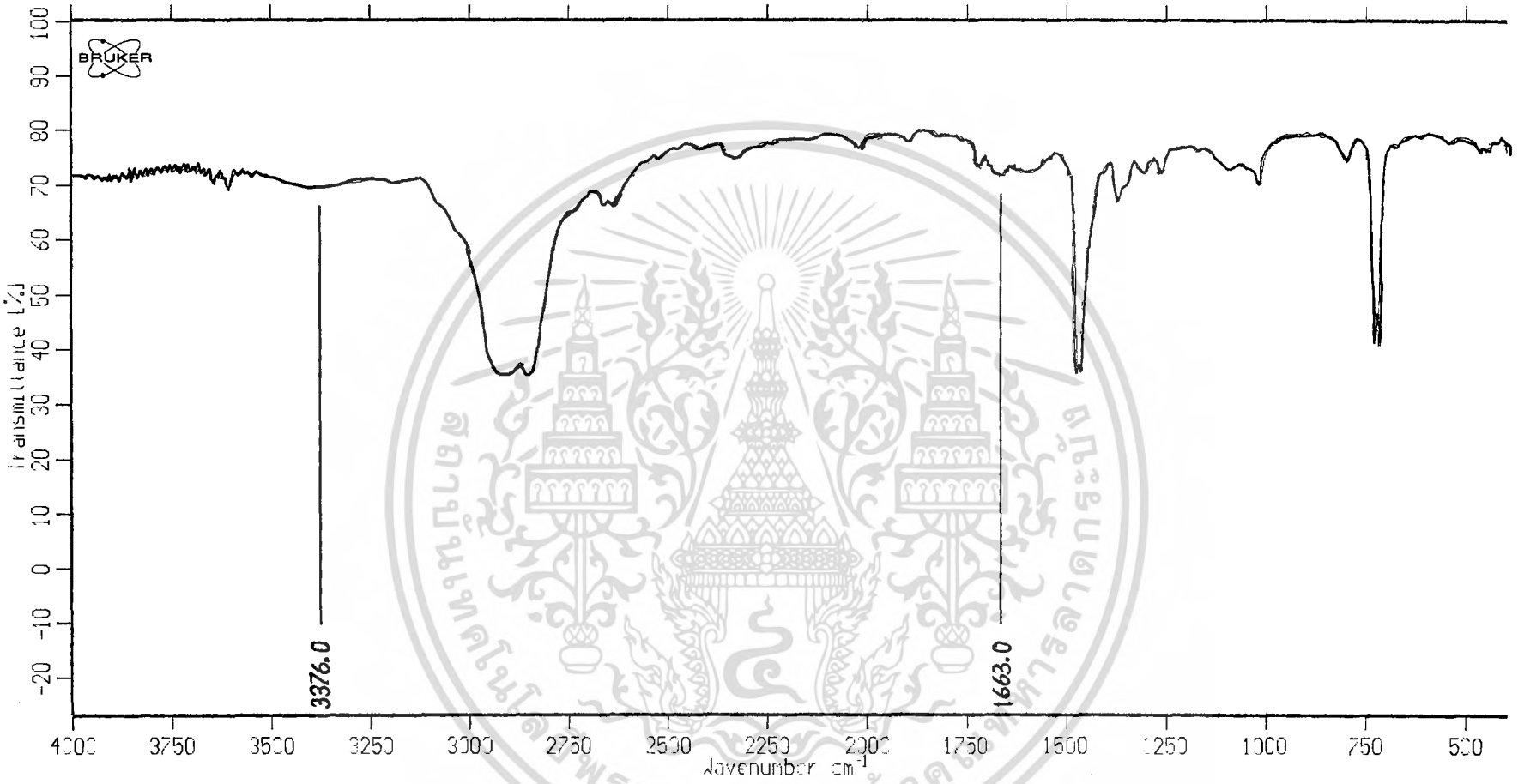
<u>รูปที่ 30</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



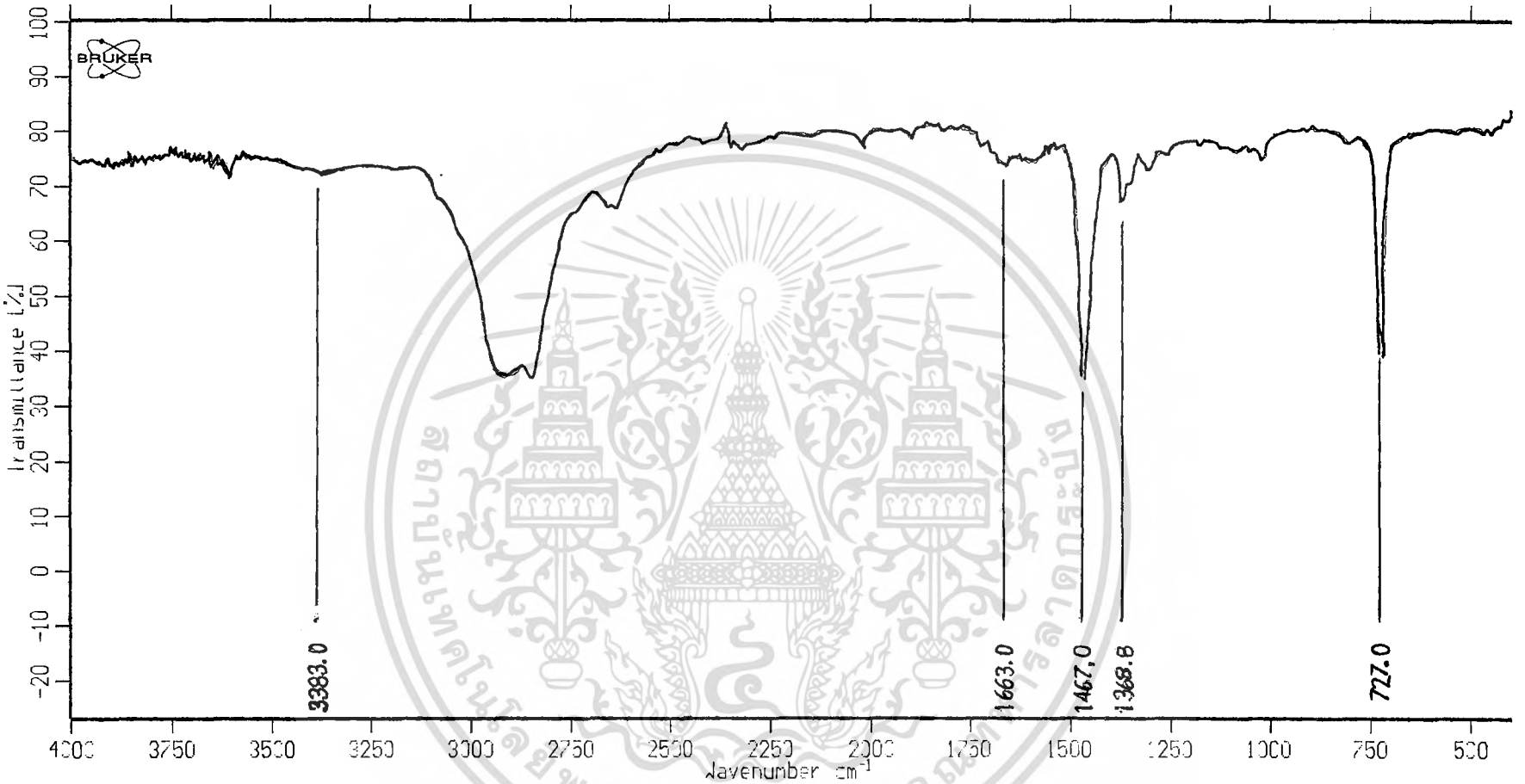
<u>รูปที่ 31</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



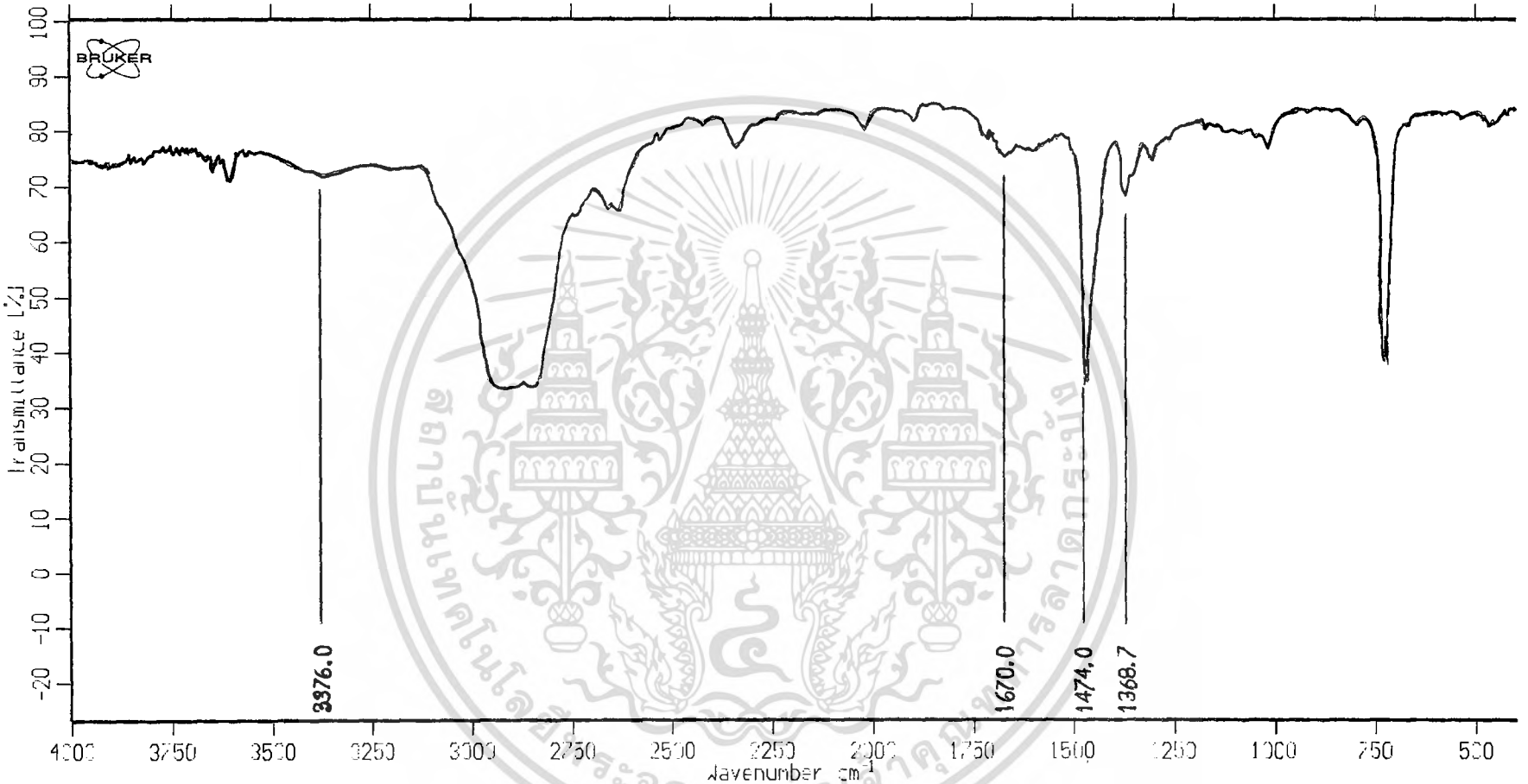
<u>รูปที่ 32</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่งโดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



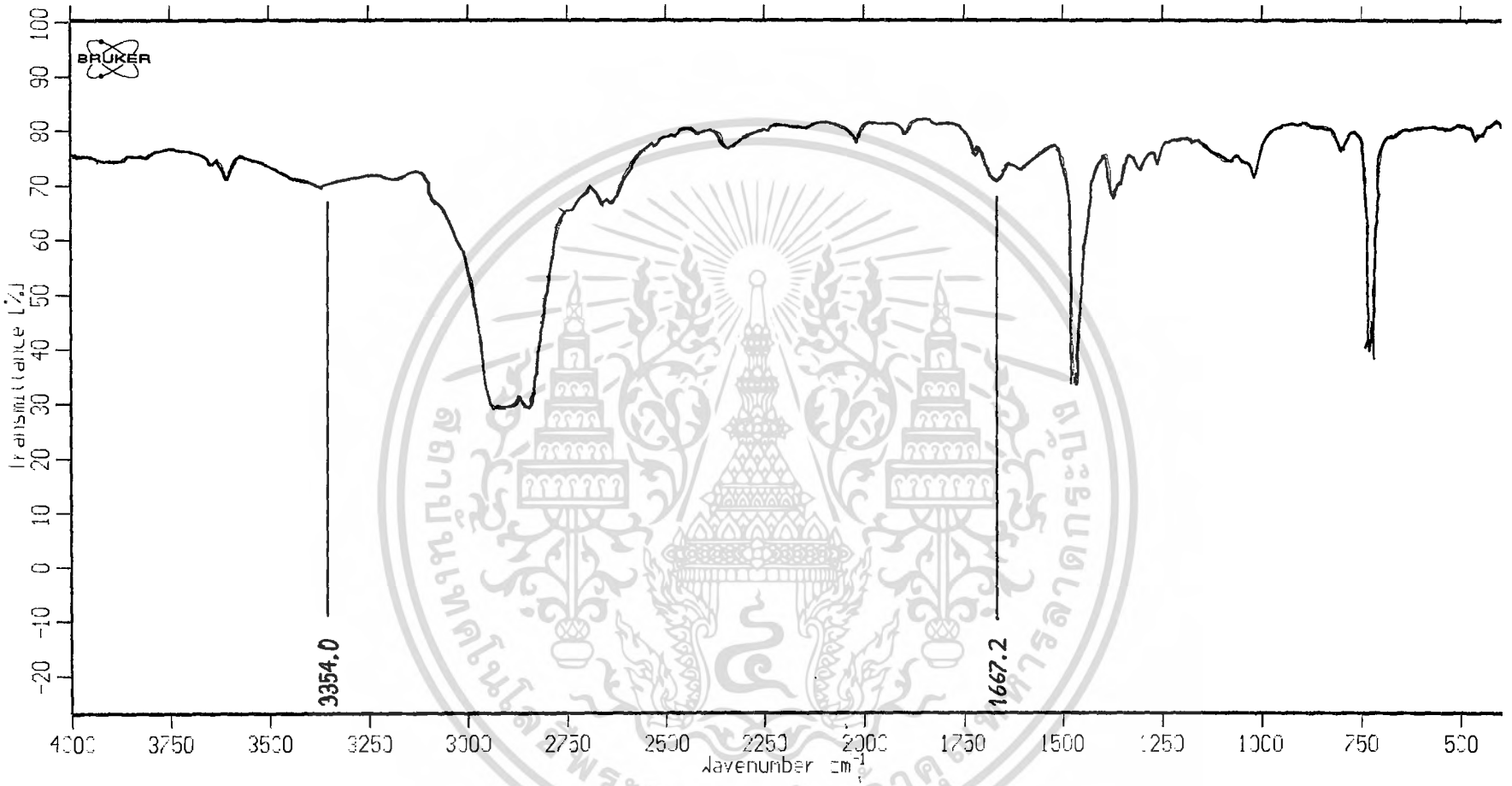
<u>รูปที่ 33</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



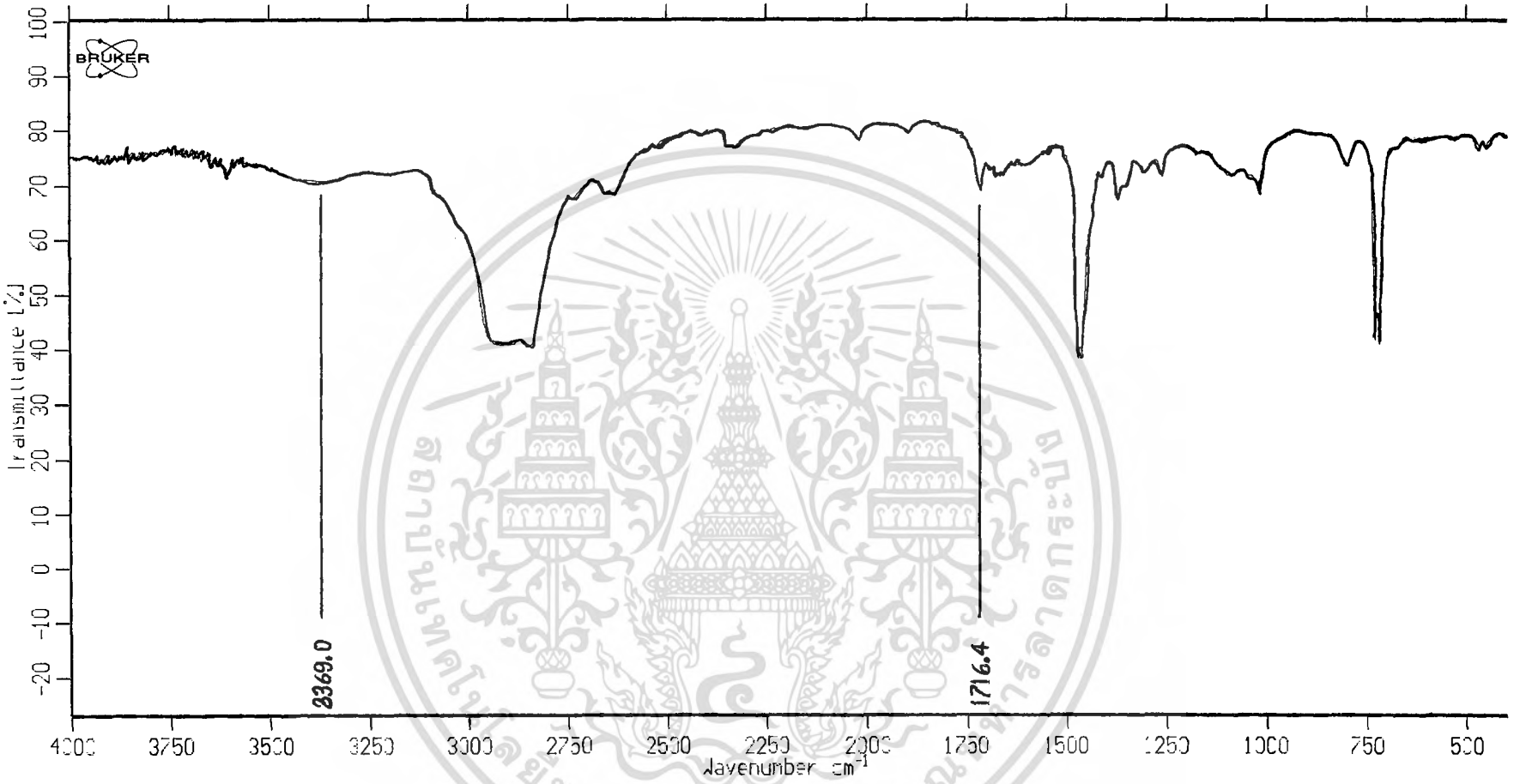
<u>รูปที่ 34</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



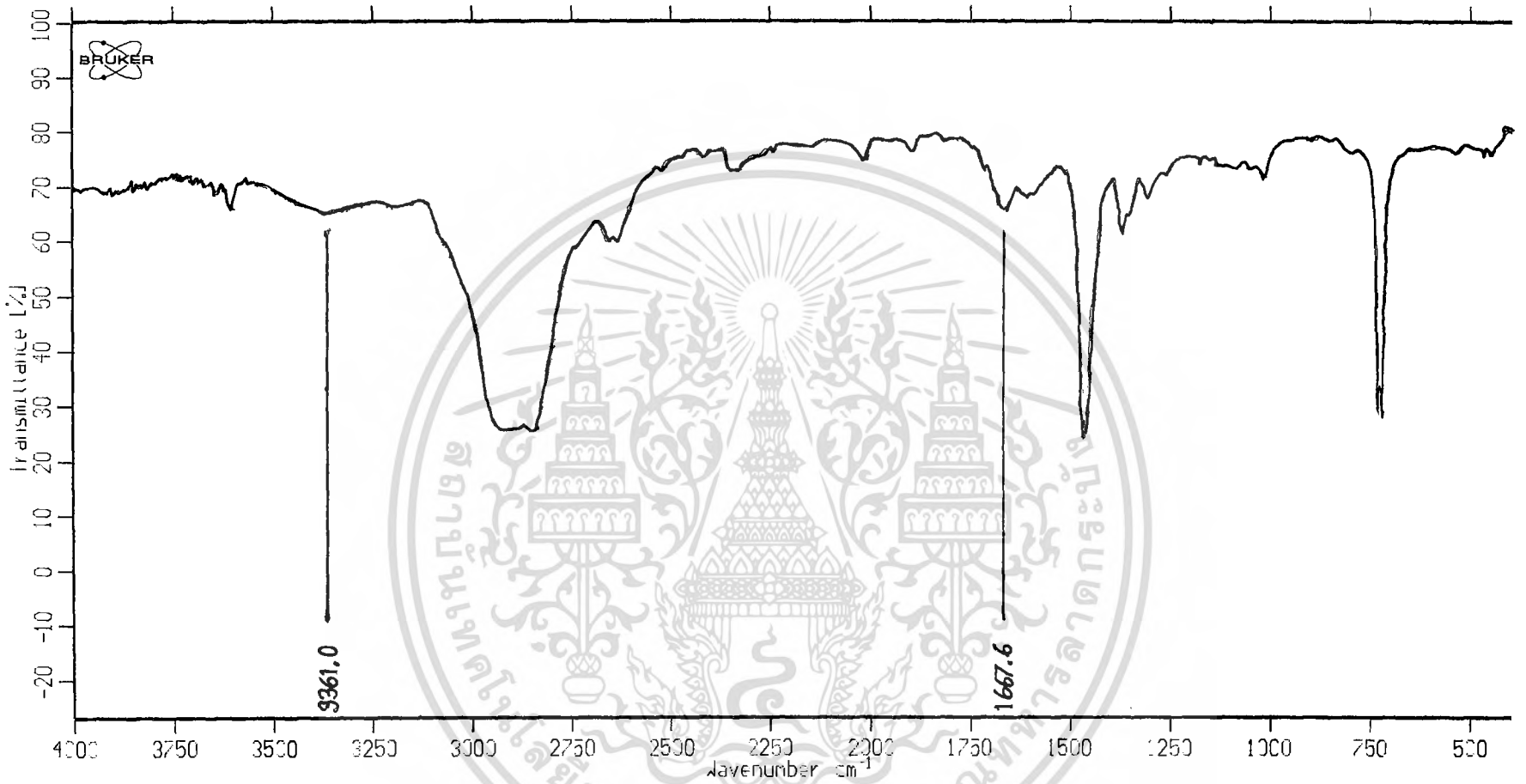
<u>รูปที่ 35</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



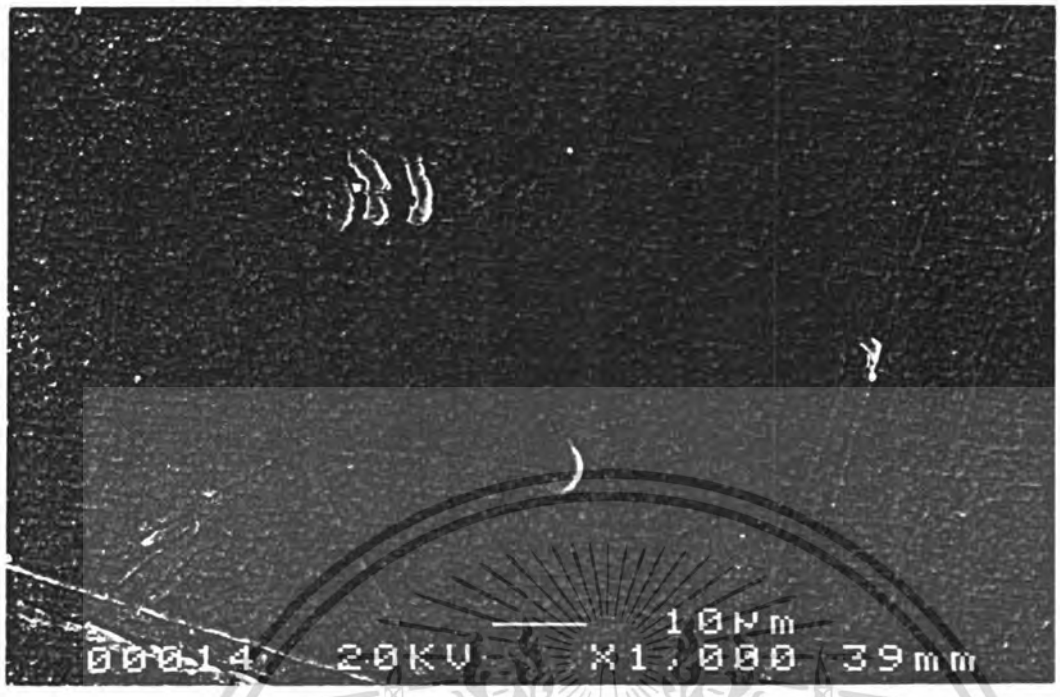
<u>รูปที่ 36</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



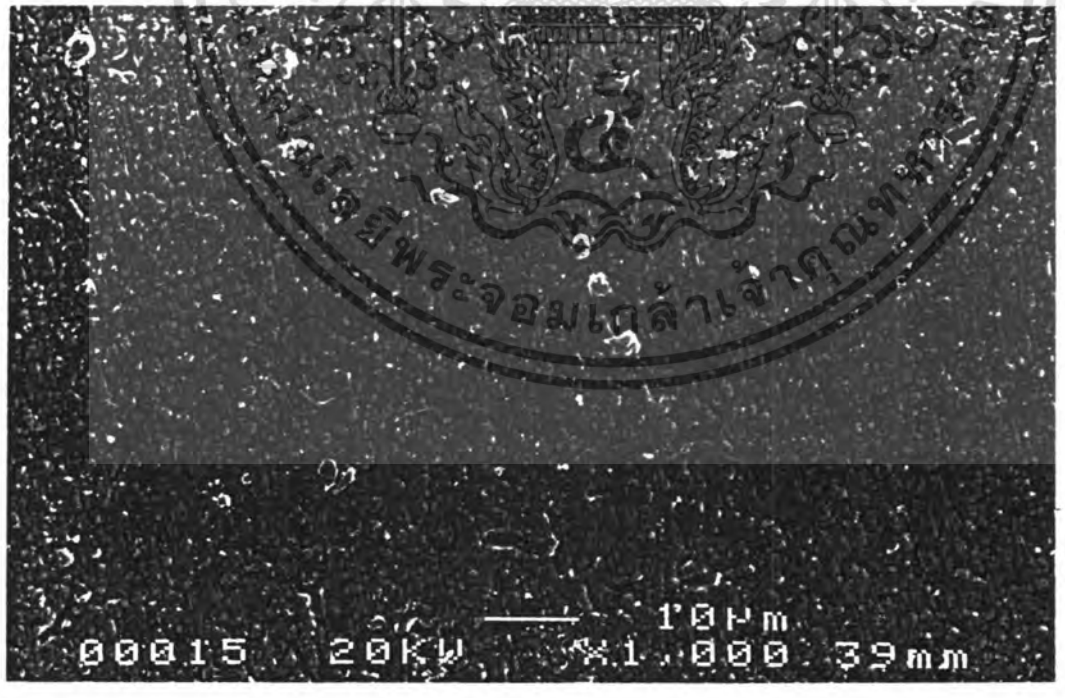
<u>รูปที่ 37</u> แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง



รูปที่ 38 แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึง 20 เท่าหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง

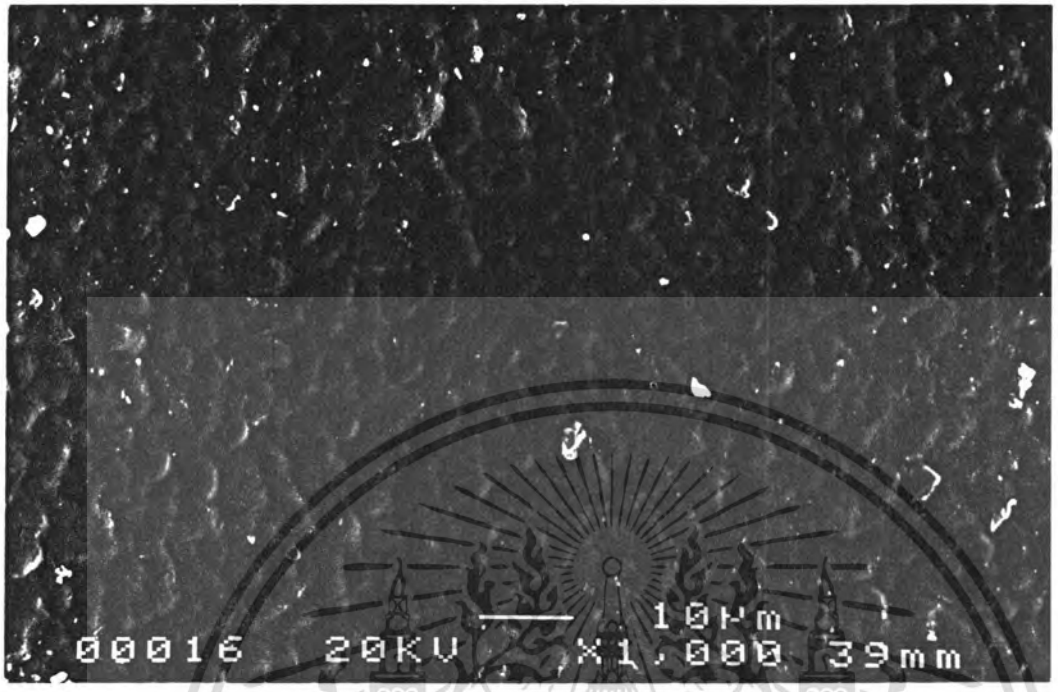


รูปที่ 39 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง

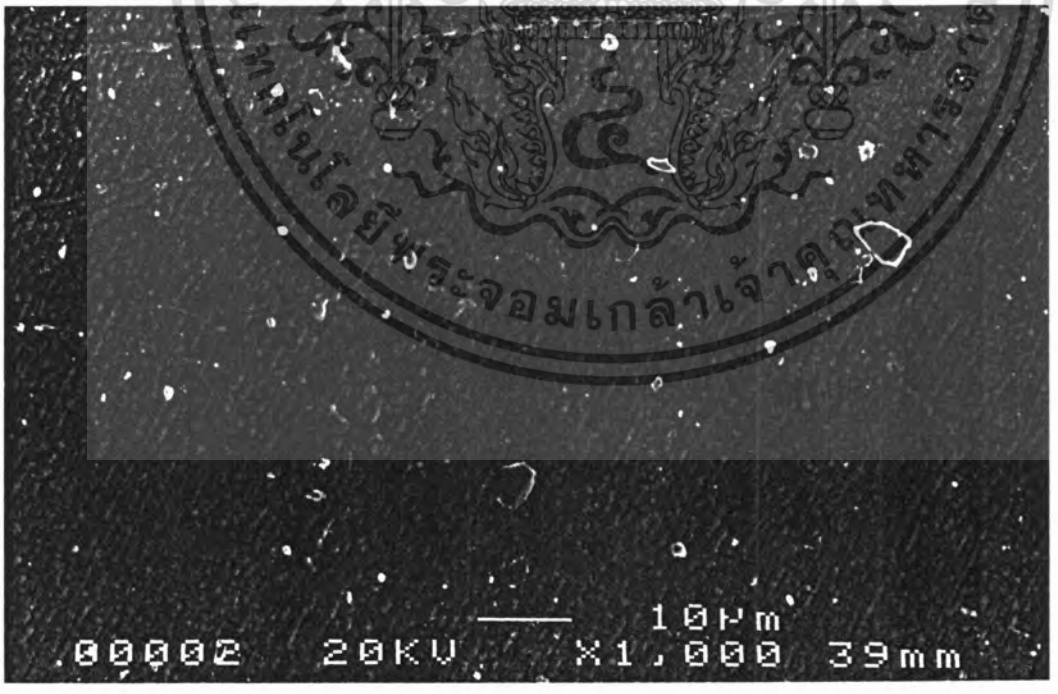


รูปที่ 40 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

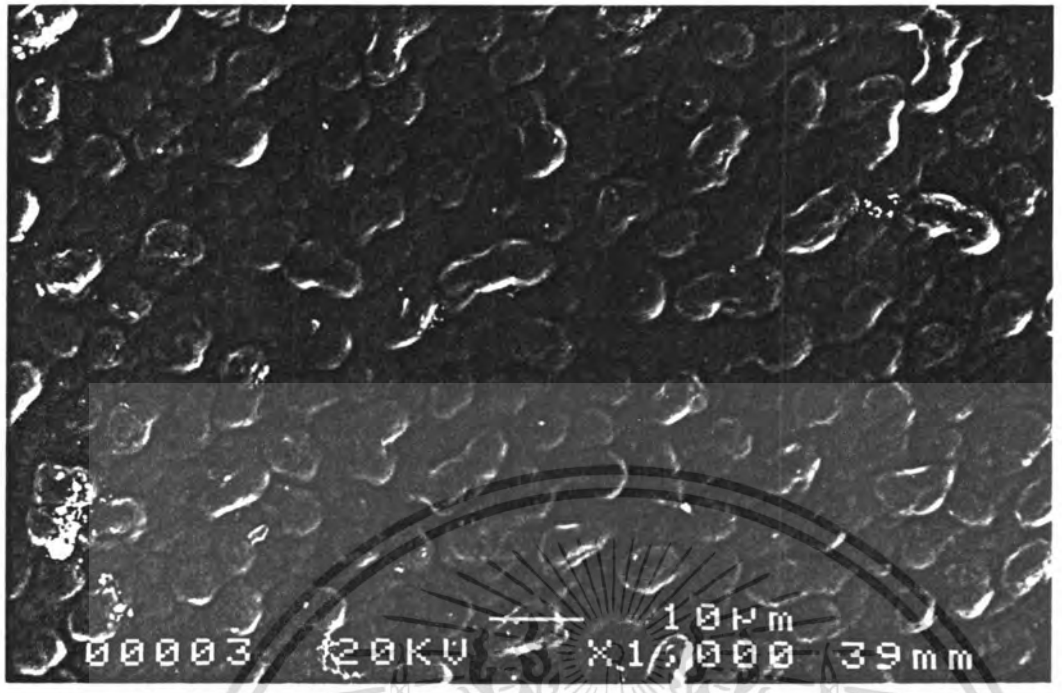


รูปที่ 41 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง

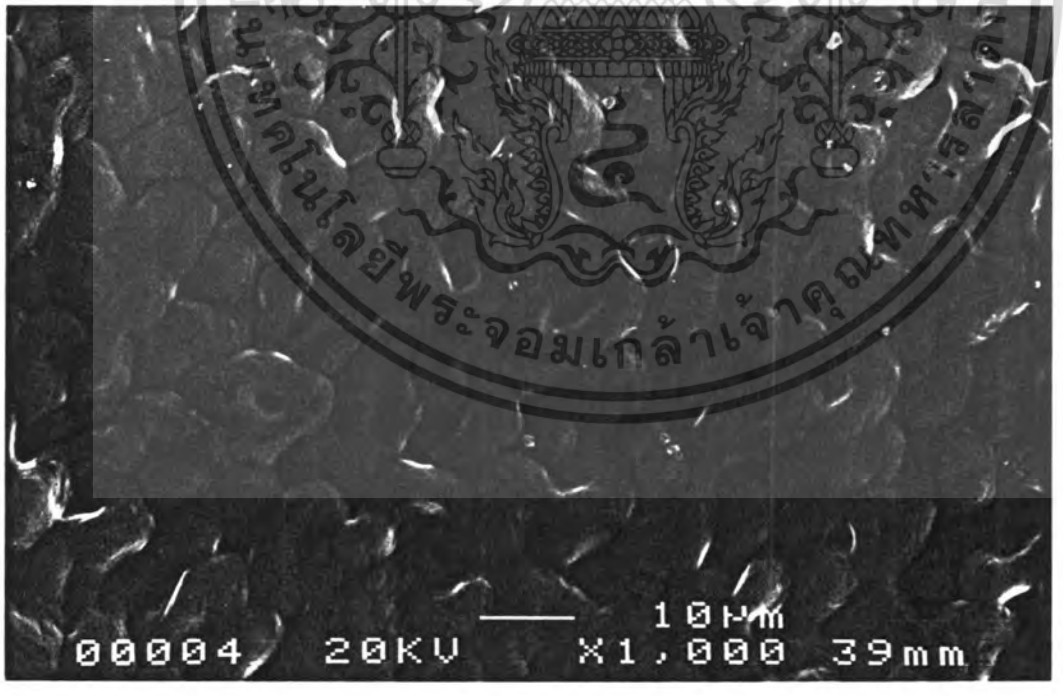


รูปที่ 42 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

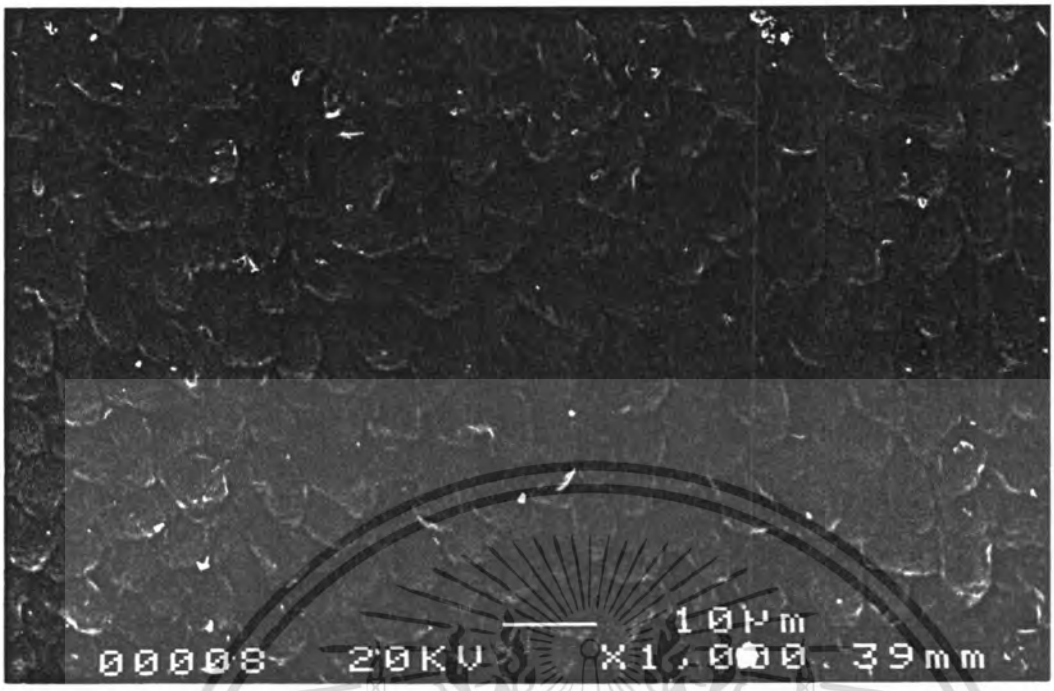


รูปที่ 43 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง

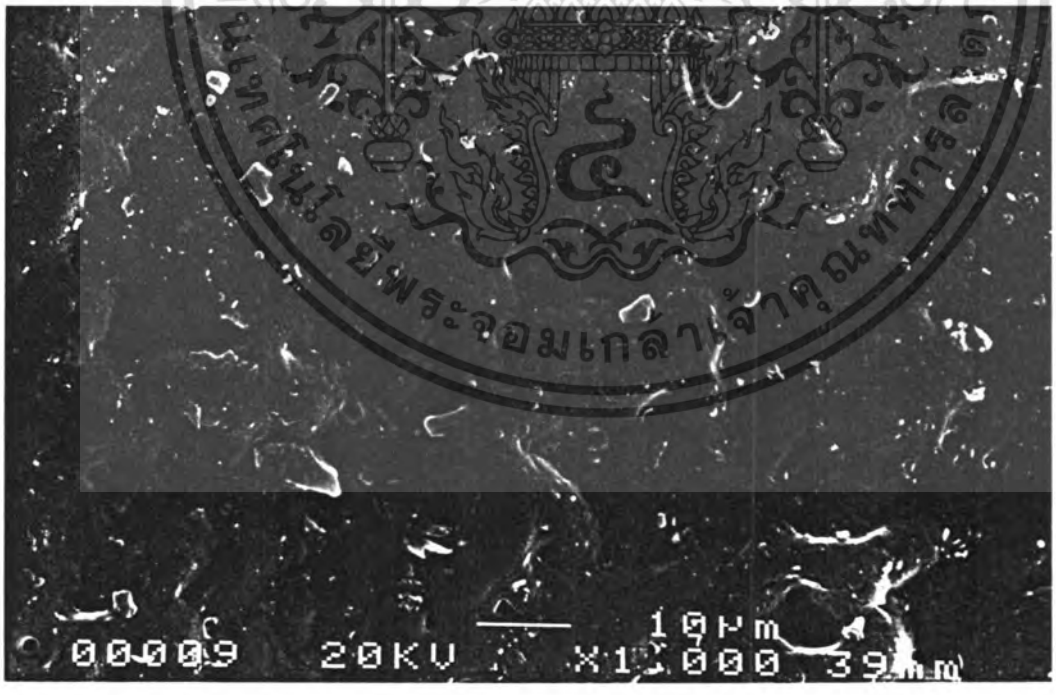


รูปที่ 44 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

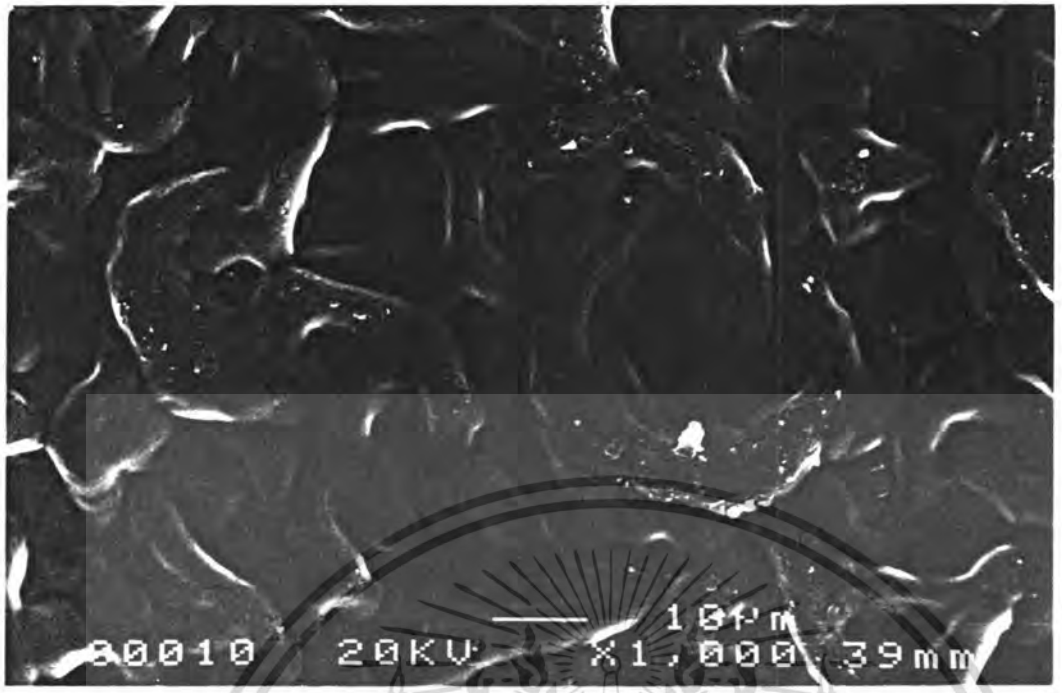


รูปที่ 45 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง

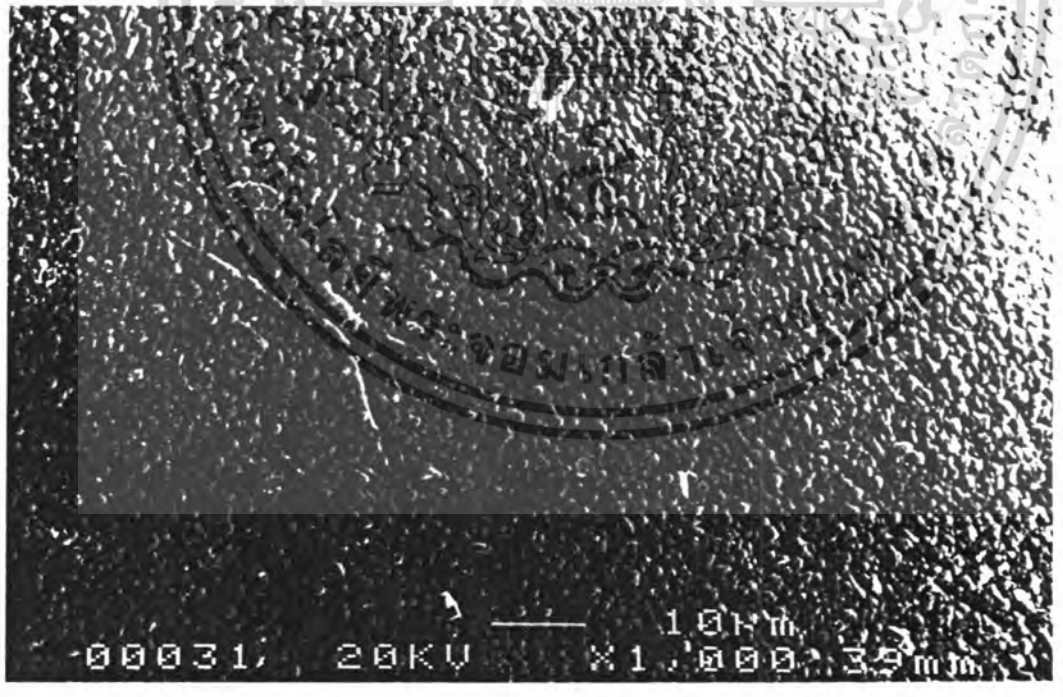


รูปที่ 46 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

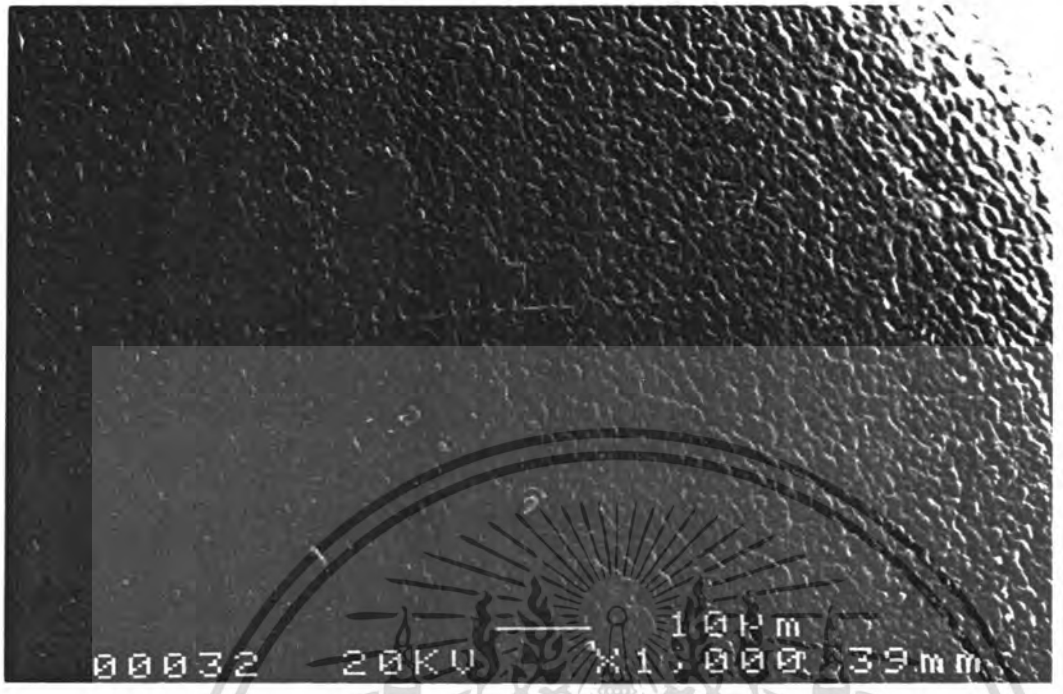


รูปที่ 47 แสดง Scanning electron micrograph ของฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง



รูปที่ 48 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง

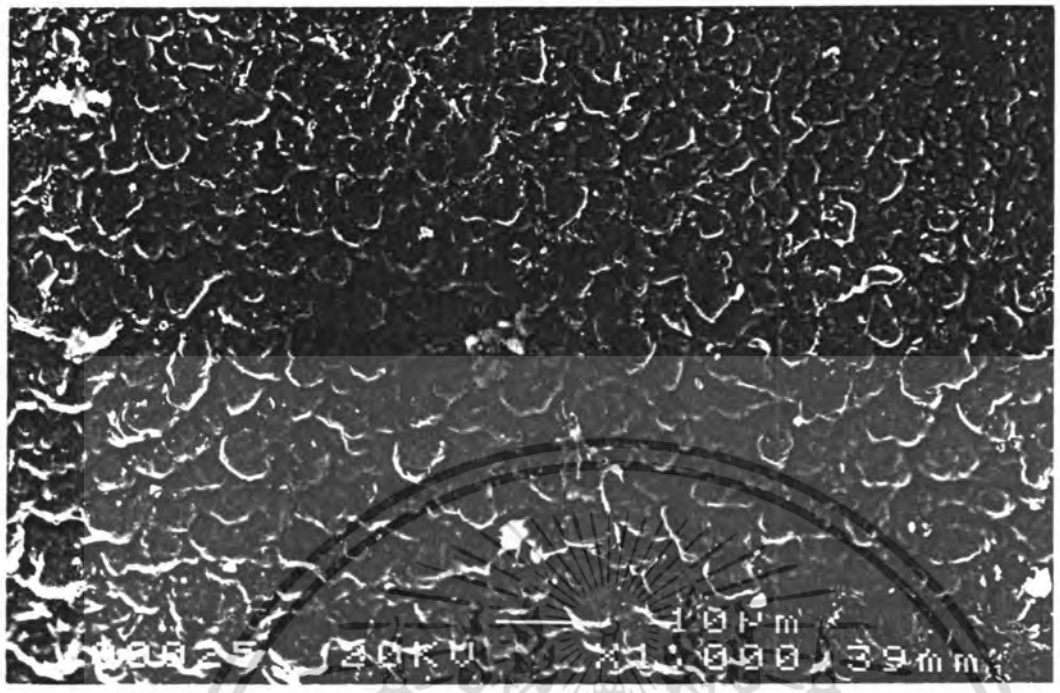
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



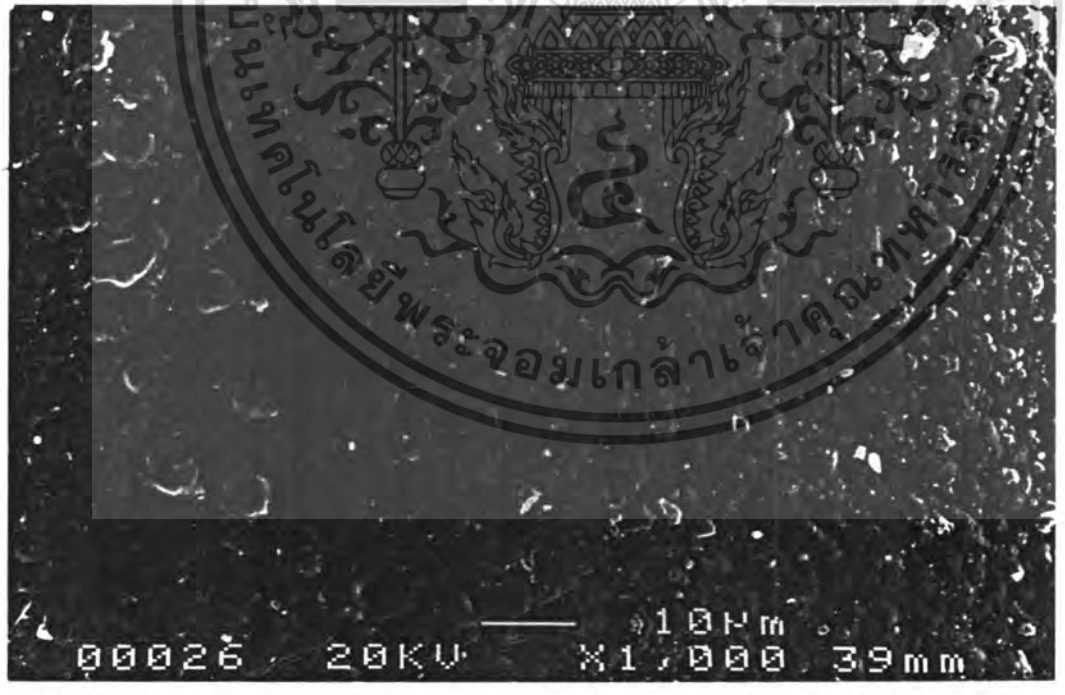
รูปที่ 49 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง

รูปที่ 50 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

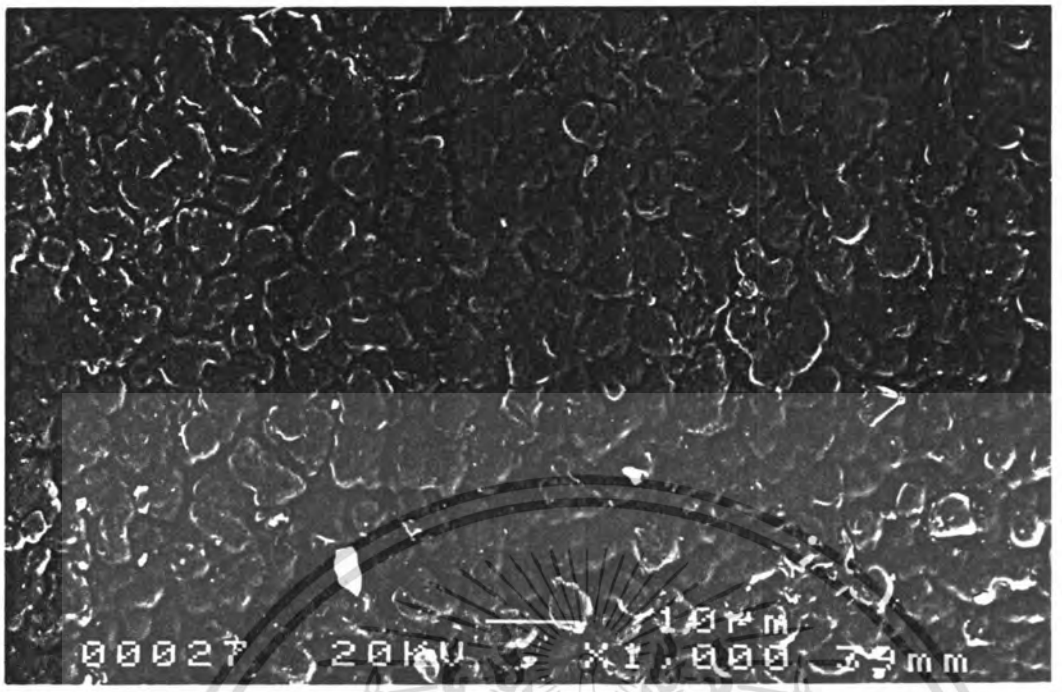


รูปที่ 51 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง



รูปที่ 52 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง

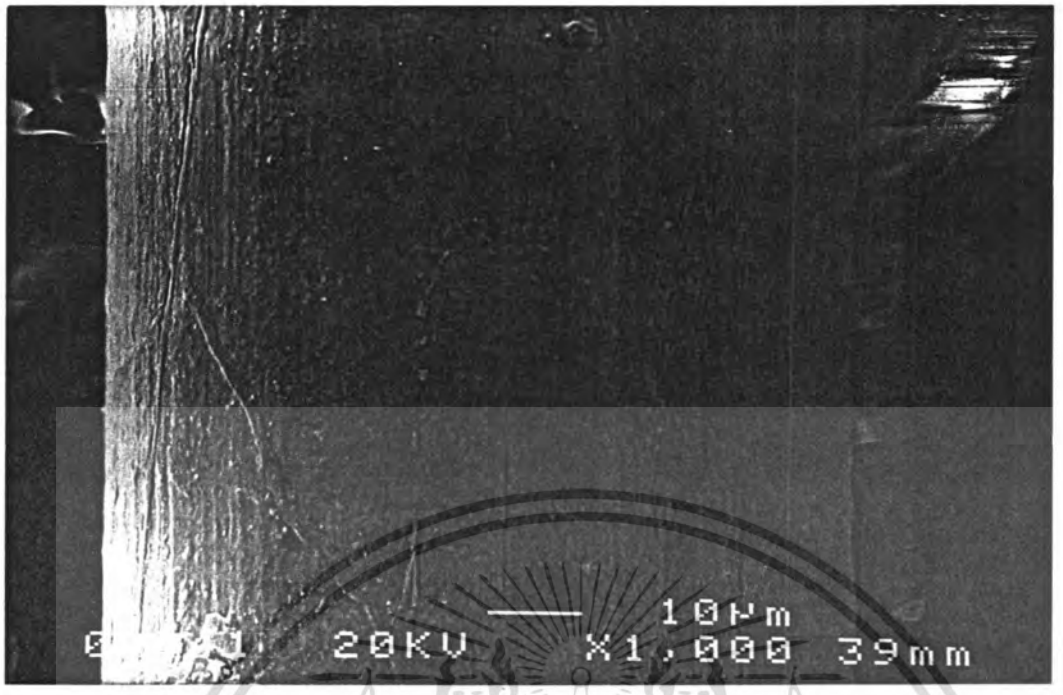
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 53 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง

รูปที่ 54 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึงหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 3 ชั่วโมง

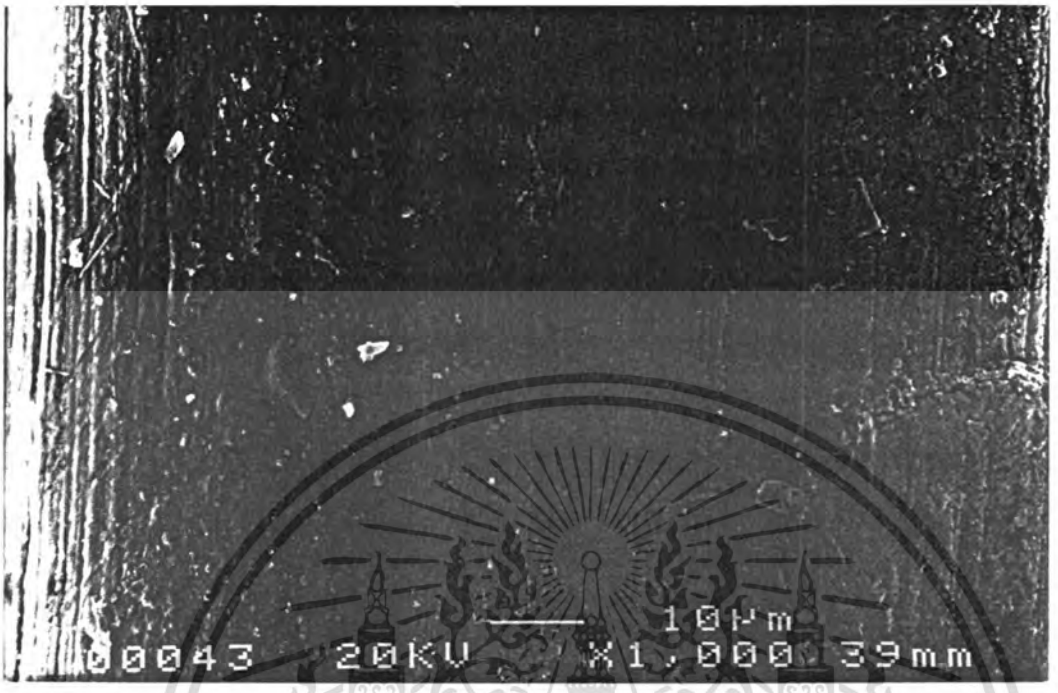
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 55 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึงหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 4 ชั่วโมง

รูปที่ 56 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึงหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 57 แสดง Scanning electron micrograph ของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีอัตราการดึงหลังการต่อกิ่ง โดยทำปฏิกิริยา Hydroxylation ที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเวลาในขั้น Grafting 5 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Bamford, C.H. and Al-Lamee, K.G. " Studies in polymer surface functionalization and grafting for biomedical and other applications " J. Polym. Sci. 35 (1994) : 2844-2852.

2. Dincer, Bayulken, Sarac A. " Radical Polymerization of Acrylamide Initiated by Ceric Ammonium Nitrate-Methionine Redox Initiator System " J. Appl. Polym. Sci. 63 (1997) : 1643-1648.

3. Ogiwara, Y., Koike, N., Kubota, H. and Hata, Y. " Factors Affecting Photografting of Methacrylic Acid on Polyethylene Film in Liquid Phase System " J. Appl. Polym. Sci. 35 (1988) : 1473-1481.

4. Kubota, H., Ogiwara, Y. and Hata, Y. " Study on Surface Appearance of Polyolefin Plates Modified by Photografting : Effect of Polymerization Conditions " Polymer Photochemistry. 7 (1986) : 389-400.

5. Kubota, H. and Hata, Y. " Factors Affecting Vapor-Phase Photografting of Methacrylic Acid on Low-density polyethylene Film " J. Macromol. Sci. Pure Appl. Chem. 32 (1995) : 1263-1272.

6. Kubota, H. and Ogiwara, Y. " Effect of Water in Vapor-Phase Photografting of Vinyl Monomers on Polymer Films" J. Appl. Polym. Sci. 43 (1991) : 1001-1005.

7. Ogiwara, Y. and Kubota, H. " Generation of Surface Structures on Polyolefin Plates by Means of Photografting " J. Polym. Sci. Lett. Ed. 23 (1985) : 365-369.

8. Kubota, H. and Hatta, Y. " Distribution of Methacrylic Acid-Grafted Chains Introduced into Polyethylene Film by Photografting " J. Appl. Polym. Sci. 41 (1990) : 689-695.

9. Amornsakchai, T. and Kubota, H. J. Appy. Polym. Sci. ,submitted,1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้