

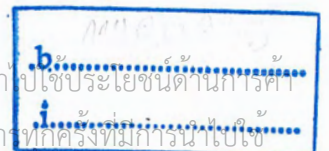
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงโฟมพอลิस्टาไทรน เพื่อใช้ในการบำบัดสีย้อม  
โดยปฎิกริยารีดักทีฟ แอมมิเนชัน



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 55571  
วันเดือนปี 19 พ.ค. 2548



**Modified Surface of Impact Polystyrene Foam by Reductive  
Amination Reaction for Treating Dyes Wastewater**



**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**

**Academic Year 2003**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การปรับปรุงโคมพอลิस्टาไดรีน เพื่อใช้ในการบำบัดสีข้อม โดยปฏิกิริยา  
รีดักทีฟแอมมินชัน

นักศึกษา นางสาวดวงพร แก่นแก้ว 43050461

นางสาววรรณช สมส่งกุล 43050502

ภาควิชา เคมี

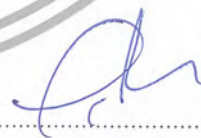
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์

ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
กรรมการ อ.อรอมแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
กรรมการ อ.พรทิพย์ ศักดิ์ทองนันท	
กรรมการ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์	
กรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	



( ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี )

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุง โฟมพอลิสไตรีน เพื่อใช้ในการกำจัดสีข้อม โดยปฏิกิริยา รีดักทีฟ แอมมิเนชัน
นักศึกษา	นางสาวดวงพร แก่นแก้ว นางสาวรณช สมส่งกุล
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

## บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ โฟมพอลิสไตรีนกันกระแทกกลับมาใช้ใหม่ โดยทำปฏิกิริยารีดักทีฟ แอมมิเนชัน เพื่อปรับสภาพผิวของ โฟม แล้วนำมาใช้ในการบำบัดสีข้อมรีแอ็กทีฟและสีข้อมคิสเพอร์สซึ่งนำเสียที่ใช้ได้มาจากการตั้งเคราะห์ขึ้นเอง โดยใช้ความเข้มข้นที่ 10 พีพีเอ็ม นำมาทดลองแบบครึ่ง โดยศึกษาเวลาที่ใช้ในการเขย่า 1 และ 3 ชั่วโมง ความเร็วในการเขย่า 150 ,260 และ 400 รอบต่อนาที และ อัตราส่วน โฟมต่อน้ำเสียสีข้อม(กรัม:มิลลิลิตร) ที่ 0.25 : 25, 0.25 : 50 และ 0.25 : 100 นำมากรองและเอาส่วนที่ของเหลวไปวัด โดยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อหาความเข้มข้นสีข้อมที่เหลืออยู่โดยสีข้อมรีแอ็กทีฟวัดที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร และสีข้อมคิสเพอร์สวัดที่ความยาวคลื่น 789 นาโนเมตร และนำส่วนที่เป็นของแข็งไปวัด โดยเครื่อง Fourier Transform Infrared spectrometer (FT-IR), Thermogravimetric Analyzer (TGA) และ Scanning Electron Microscope (SEM) ผลการทดลองโฟมที่ผ่านปฏิกิริยารีดักทีฟ แอมมิเนชัน จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อมดีที่สุด สำหรับสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้บำบัดสีข้อมรีแอ็กทีฟ คือ เวลาที่ 1 ชั่วโมง ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และอัตราส่วนระหว่างโฟมต่อน้ำเสียสีข้อม(กรัม:มิลลิลิตร) ที่ 0.25:50 ส่วนสีข้อมคิสเพอร์สสภาวะที่เหมาะสม คือ เวลาที่ 1 ชั่วโมง ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และอัตราส่วนระหว่าง โฟมต่อน้ำเสียสีข้อม (กรัม:มิลลิลิตร) ที่ 0.25:50 เช่นเดียวกัน โดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมรีแอ็กทีฟสามารถบำบัดได้ดีกว่าสีข้อมคิสเพอร์ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project Title</b>	Modified Surface of Impact Polystyrene Foam by Reductive Amination Reaction for Treating Dyes Wastewater
<b>Name</b>	Miss Duangporn Kaenkaew Miss Voranuch Somsongkul
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Program</b>	Environmental Chemistry
<b>Academic Year</b>	2003
<b>Special Project Advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Malinee Chaisupakitsin
<b>Special Project co-advisor</b>	Asst.Prof.Pitsamai Chairat-uthai

### ABSTRACT

This special project was studied about possibility to reuse impact polystyrene foam. Modify surface of impact polystyrene foam by reductive amination reaction was used for wastewater treatment which contaminated with dyes. Two kinds of dyes, reactive dyes and disperse dyes, were used in this project. Concentration of synthesis wastewater was 10 ppm in each batch system. Contact time 1 and 3 hours, mixing speed at 150, 260 and 400 rpm were investigated. Moreover, the ratio of foam per dyes at 0.25 g : 25 ml, 0.25 g : 50 ml and 0.25 g : 100 ml was studied. After filtration the concentration of filtrated solution was analyzed by using UV-VIS spectrophotometer at 587 nm wavelength of reactive dyes and 789 nm wavelength of disperse dyes.

The solid fraction was analyzed by using Fourier Transform Infrared spectrometer, Thermogravimetric Analyzer and Scanning Electron Microscope. The results suggested that the most efficiency of this project was modified polystyrene foam by reductive amination reaction. The most condition for treating reactive dyes was contact time a 1 hour, mixing speed at 150 rpm and ratio of foam per dyes at 0.25 g : 50 ml. And the most condition for treating disperse dyes was as same as reactive dyes. Reactive dyes was treated better than disperse dyes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ และผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่ให้คำปรึกษาในสิ่งที่คณะผู้จัดทำไม่เข้าใจในการทำรายงานฉบับนี้ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด และขอขอบใจเพื่อนๆ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ชั้นปี 4 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในการค้นหาข้อมูล และเป็นกำลังใจมาด้วยดีตลอด รายงานฉบับนี้จะไม่สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าไม่ได้หอสมุดกลางและห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ ที่เป็นแหล่งค้นคว้าหาข้อมูล และปรึกษาหารือกันของคณะผู้จัดทำ ห้องคอมพิวเตอร์คณะวิทยาศาสตร์ ที่เป็นแหล่งค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจนจัดทำรายงานฉบับนี้ขึ้นมาได้



นางสาวดวงพร แก่นแก้ว

นางสาวรณช สมส่งกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 สีย้อม (dye)	3
2.1.1 สีที่ใช้ในการฟอกย้อม	3
2.2 สิ่งสกปรกและลักษณะน้ำเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมฟอกย้อม	7
2.2.1 ประเภทสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย	7
2.2.2 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม	7
2.2.3 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม	8
2.3 พอลิสไตรีน (PS)	8
2.3.1 โฟมพอลิสไตรีน (Polystyrene Foam)	9
2.3.2 พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (HIPS)	10
2.4 การดูดซับ	11
2.4.1 หลักการ	11
2.4.2 กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล	12
2.4.3 การดูดซับที่สภาวะสมดุล (Adsorption Equilibrium)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	15
2.5 แรงยึดระหว่างโมเลกุล (Intermolecular force)	16
2.5.1 แรงดึงดูดไดโพล-ไดโพล (Dipole dipole attraction)	16
2.5.2 พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)	17
2.5.3 แรงยึดแวนเดอร์วาลส์ (Vander waals force)	18
2.6 ปฏิกิริยาฟรีเดล-แครฟท์แอคิลเลชัน (Friedel-Crafts Acylation)	19
2.7 ปฏิกิริยาแอมมิเนชัน (Ammination)	20
2.8 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการบำบัดสีย้อม	21
2.8.1 โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation ( โฟม1) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม C.I.Disperse Blue	21
2.8.2 โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation ( โฟม1) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	22
2.8.3 โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Reductive Amination ( โฟม2) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม C.I. Disperse Blue	22
2.8.4 โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Reductive Amination ( โฟม2) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	23
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	27
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	28
3.3 แหล่งที่มาของตัวอย่างน้ำเสีย	28
3.4 ขั้นตอนการการทดลอง	
3.4.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานของสีย้อม	28
3.4.2 การเตรียม โฟม	28
3.4.3 การเตรียมชุดควบคุม	28
3.4.4 ทดสอบความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของ โฟมพอลิस्टไทริน ที่ไม่ได้ปรับสภาพ โดยทำการทดลองแบบครั้ง	29
3.4.5 ทดสอบการปรับปรุงสภาพผิว โฟมพอลิस्टไทรินให้มีประจุโดย ปฏิกิริยารีดักทีฟ แอมมิเนชัน	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
3.4.6 ทดสอบหาสภาวะที่ดีที่สุดในการบำบัดสีย้อม โดยใช้โพลีฟอสเฟตไตรอินที่ปรับสภาพผิว แล้วโดยนำโพลีฟอสเฟตไตรอินที่สังเคราะห์ได้จากชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มาทดสอบโดยทำการทดสอบแบบครั้ง	30
3.4.7 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด	31
3.5 วิธีการวิเคราะห์	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโพลีฟอสเฟตไตรอินที่ไม่ได้ปรับสภาพ	32
4.2 ความเร็วที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโพลีฟอสเฟตไตรอินที่ไม่ได้ปรับสภาพ	33
4.3 อัตราส่วนที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโพลีฟอสเฟตไตรอินที่ไม่ได้ปรับสภาพ (โพลี : สีย้อม)	35
4.4 เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโพลีฟอสเฟตไตรอินที่ปรับสภาพผิวแล้ว	37
4.5 ความเร็วที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโพลีฟอสเฟตไตรอินที่ปรับสภาพผิวแล้ว	39
4.6 อัตราส่วนที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโพลีฟอสเฟตไตรอินที่ปรับสภาพผิวแล้ว	41
4.7 ลักษณะทางกายภาพ	44
4.7.1 ลักษณะทางกายภาพของ โพลีฟอสเฟตไตรอินที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ	44
4.7.2 ลักษณะทางกายภาพของ โพลีฟอสเฟตไตรอินที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation	44
4.7.3 ลักษณะทางกายภาพของ โพลีฟอสเฟตไตรอินที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination	45
4.7.4 ลักษณะทางกายภาพของ โพลีฟอสเฟตไตรอินที่ปรับสภาพและน้ำเสียสังเคราะห์หลังจากการบำบัดสีย้อม	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.8 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง FT-IR	49
4.8.1 โฟมพอลิสไตรีน	49
4.8.2 สีย้อม C.I. Disperse Blue	49
4.8.3 สีย้อม Remazol Brilliant Blue R	50
4.8.4 โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1)	50
4.8.5 โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination (โฟม2)	51
4.8.6 โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1) แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue	51
4.8.7 โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination (โฟม2) แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue	52
4.8.8 โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1) แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	53
4.8.9 โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination (โฟม2) แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	54
4.8.10 วิเคราะห์หีด FT- IR	58
4.9 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TGA	59
4.10 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง SEM	61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การหาความเข้มข้นของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ C.I. Disperse Blue	70
ก.1 วิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
ก.2 วิธีการหาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม	70
ก.3 กราฟมาตรฐาน	70
ภาคผนวก ข. ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และสีย้อม C.I. Disperse Blue	73
ข.1 เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และสีย้อม C.I. Disperse Blue	73
ข.2 ความเร็วที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และสีย้อม C.I. Disperse Blue	75
ข.3 อัตราส่วนที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และสีย้อม C.I. Disperse Blue (โพลี : สีย้อม)	78
ภาคผนวก ค. มาตรฐานน้ำทิ้งที่เหมาะสมสำหรับโรงงานฟอกย้อม	82
ภาคผนวก ง. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR	84
ง.1 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR	84
ภาคผนวก จ. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA	89
จ.1 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA	89
ภาคผนวก ฉ. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	93
ฉ.1 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	93
ภาคผนวก ช. ข้อมูล MSDS ของสารเคมี	100
ช.1 MSDS ของ Acetyl Chloride	100
ช.2 MSDS ของ Carbon disulfide	101
ช.3 MSDS ของ Methylamine hydrochloride	102
ช.4 MSDS ของ Sodium Cyanoborohydride	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประเภทของสีย้อมที่เหมาะสมกับเส้นใยชนิดต่างๆ	6
ตารางที่ 2.2 สมบัติเชิงกลของพอลิสไตรีนและพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก	10
ตารางที่ 3.1 แสดงสถานะที่ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์	29
ตารางที่ 3.2 แสดงสถานะที่ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์	31
ตารางที่ 3.3 วิธีการวิเคราะห์	31
ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ขนาดโพลีเมอร์ และเวลา	32
ตารางที่ 4.2 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ขนาดโพลีเมอร์ และความเร็ว	34
ตารางที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ขนาดโพลีเมอร์ และอัตราส่วนโพลีเมอร์ : สีย้อม	36
ตารางที่ 4.4 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ขนาดโพลีเมอร์ และเวลา	38
ตารางที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ขนาดโพลีเมอร์ และความเร็ว	40
ตารางที่ 4.6 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ขนาดโพลีเมอร์และอัตราส่วนโพลีเมอร์ : สีย้อม	42
ตารางที่ 4.7 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของโพลีเมอร์พอลิสไตรีน	49
ตารางที่ 4.8 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของสีย้อม C.I Disperse Blue	49
ตารางที่ 4.9 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	50
ตารางที่ 4.10 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของ Acetylated intermediate	50
ตารางที่ 4.11 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของ Reductive Amination of acetylated Intermediate	51
ตารางที่ 4.12 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของโพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue	51
ตารางที่ 4.13 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของโพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue	52
ตารางที่ 4.14 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของโพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของโพลีที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	54
ตารางที่ 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TGA (ภาคผนวก จ)	59
ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	71
ตารางที่ ก.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายสีย้อม C.I. Disperse Blue	72
ตารางที่ ข.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของโพลีที่เวลา 1 ชม. และ 3 ชม.	73
ตารางที่ ข.2 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีที่เวลา 1 ชม. และ 3 ชม.	74
ตารางที่ ข.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของโพลีที่เวลา 1 ชม. และ 3 ชม.	74
ตารางที่ ข.4 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีที่เวลา 1 ชม. และ 3 ชม.	75
ตารางที่ ข.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	75
ตารางที่ ข.6 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	76
ตารางที่ ข.7 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	76
ตารางที่ ข.8 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	77
ตารางที่ ข.9 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	77
ตารางที่ ข.10 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	78
ตารางที่ ข.11 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	78
ตารางที่ ข.12 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
ตารางที่ ข.13 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	79
ตารางที่ ข.14 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	80
ตารางที่ ข.15 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	80
ตารางที่ ข.16 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue	81
ตารางที่ ค.1 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อม ลำดับที่ 22(1), 22(2) และ 22(3) ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดง โครงสร้างของพอลิสไตรีน	8
รูปที่ 2.2 การสังเคราะห์พอลิสไตรีนจากสไตรีน	9
รูปที่ 2.3 แสดงการยึดเกาะกันของสาร โดยใช้แรงระหว่างโมเลกุล	16
รูปที่ 2.4 แสดงพันธะระหว่างไฮโดรเจนกับธาตุที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง	17
รูปที่ 2.5 แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนในน้ำกับน้ำผสม HF	17
รูปที่ 2.6 ไดโพลชั่วครวและการเหนี่ยวนำไดโพลในนอนโพลาร์โมเลกุล	18
รูปที่ 2.7 แสดงปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation ของ โฟมพอลิสไตรีน	20
รูปที่ 2.8 แสดงปฏิกิริยา Reductive Amination	21
รูปที่ 2.9 แสดง โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม C.I. Disperse Blue	21
รูปที่ 2.10 แสดง โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	22
รูปที่ 2.11 แสดง โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Reductive Amination (โฟม2) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม C.I. Disperse Blue	22
รูปที่ 2.12 แสดง โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Reductive Amination (โฟม2) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	23
รูปที่ 3.1 สูตร โครงสร้าง Remazol Brilliant Blue R	27
รูปที่ 3.2 สูตร โครงสร้าง C.I. Disperse Blue	27
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเข้มข้นสีย้อม และเวลา	32
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัด และเวลา	33
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเข้มข้นสีย้อม และความเร็ว	34
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัด และความเร็ว	35
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเข้มข้นสีย้อม และอัตราส่วน โฟม : สีย้อม	36
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัด และอัตราส่วน โฟม : สีย้อม	37
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเข้มข้นสีย้อม และเวลา	38
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัด และเวลา	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเข้มข้นสีข้อม และความเร็ว	40
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัด และความเร็ว	41
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเข้มข้นสีข้อม และอัตราส่วน โฟม : สีข้อม	42
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัด และอัตราส่วน โฟม : สีข้อม	43
รูปที่ 4.13 แสดง โฟมพอลิสไตรีนที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ	44
รูปที่ 4.14 แสดง โฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation	44
รูปที่ 4.15 แสดง โฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination	45
รูปที่ 4.16 แสดง โฟมที่ปรับสภาพบำบัดน้ำเสียสีข้อมแล้วและสารละลาย ที่ได้จากการบำบัด	46
รูปที่ 4.17 แสดง โฟมที่ปรับสภาพบำบัดน้ำเสียสีข้อมแล้วและสารละลาย ที่ได้จากการบำบัด	47
รูปที่ 4.18 แสดง พิกของ โฟมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพผิวแล้ว จากเครื่อง FT-IR	55
รูปที่ 4.19 แสดง พิกของ โฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิวแล้วนำไปบำบัดน้ำเสีย สีข้อมคิสเพอร์ส	56
รูปที่ 4.20 แสดง พิกของ โฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิวแล้วนำไปบำบัดน้ำเสีย สีข้อมรีเอ็กทีฟ	57
รูปที่ 4.21 แสดง ภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพที่ กำลังขยาย 400 เท่า	61
รูปที่ 4.22 แสดง ภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	62
รูปที่ 4.23 แสดง ภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	62
รูปที่ 4.24 แสดง ภาพ โฟมพอลิสไตรีนผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีข้อม Remazol Brilliant Blue R ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 4.25 แสดงภาพโพลีเมอร์ไดรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสี้อม Remazol Brilliant Blue R ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	63
รูปที่ 4.26 แสดงภาพโพลีเมอร์ไดรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสี้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	64
รูปที่ 4.27 แสดงภาพโพลีเมอร์ไดรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสี้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	64
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายสี้อม Remazol Brilliant Blue R	71
รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายสี้อม C.I. Disperse Blue	72
รูปที่ ง.1 แสดงตำแหน่งพิกของโพลีเมอร์ไดรีนที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ	84
รูปที่ ง.2 แสดงตำแหน่งพิกของโพลีเมอร์ไดรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation	84
รูปที่ ง.3 แสดงตำแหน่งพิกของโพลีเมอร์ไดรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ ปฏิกิริยา Reductive Amination	85
รูปที่ ง.4 แสดงตำแหน่งพิกของสี้อม C.I. Disperse Blue	85
รูปที่ ง.5 แสดงตำแหน่งพิกของโพลีเมอร์ไดรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสี้อม C.I. Disperse Blue	86
รูปที่ ง.6 แสดงตำแหน่งพิกของโพลีเมอร์ไดรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ ปฏิกิริยา Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสี้อม C.I. Disperse Blue	86
รูปที่ ง.7 แสดงตำแหน่งพิกของสี้อม Remazol Brilliant Blue R	87
รูปที่ ง.8 แสดงตำแหน่งพิกของโพลีเมอร์ไดรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสี้อม Remazol Brilliant Blue R	87
รูปที่ ง.6 แสดงตำแหน่งพิกของโพลีเมอร์ไดรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ ปฏิกิริยา Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสี้อม Remazol Brilliant Blue R	88
รูปที่ จ.1 แสดงการสลายตัวของโพลีเมอร์ไดรีน	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ จ.2 แสดงการสลายตัวของโฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation	89
รูปที่ จ.3 แสดงการสลายตัวของโฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และปฏิกิริยา Reductive Amination	90
รูปที่ จ.4 แสดงการสลายตัวของโฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue	90
รูปที่ จ.5 แสดงการสลายตัวของโฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ ปฏิกิริยา Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue	91
รูปที่ จ.6 แสดงการสลายตัวของโฟมพอลิสไตรีนผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	91
รูปที่ จ.7 แสดงการสลายตัวของโฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ ปฏิกิริยา Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	92
รูปที่ ฉ.1 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพที่ก้ำถังขยาย 50 เท่า	93
รูปที่ ฉ.2 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพที่ก้ำถังขยาย 400 เท่า	93
รูปที่ ฉ.3 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel–Crafts Acetylation ที่ก้ำถังขยาย 400 เท่า	94
รูปที่ ฉ.4 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel–Crafts Acetylation ที่ก้ำถังขยาย 2000 เท่า	94
รูปที่ ฉ.5 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination ที่ก้ำถังขยาย 400 เท่า	95
รูปที่ ฉ.6 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination ที่ก้ำถังขยาย 2000 เท่า	95
รูปที่ ฉ.7 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่ก้ำถังขยาย 400เท่า	96
รูปที่ ฉ.8 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่ก้ำถังขยาย 2000 เท่า	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ ฉ.9 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่กำลังขยาย 400 เท่า	97
รูปที่ ฉ.10 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	97
รูปที่ ฉ.11 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 400 เท่า	98
รูปที่ ฉ.12 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	98
รูปที่ ฉ.13 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 400 เท่า	99
รูปที่ ฉ.14 แสดงภาพ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สัญลักษณ์และคำย่อ

โฟม 1	=	โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation
โฟม 2	=	โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts และ Reductive Amination
สี	=	สีย้อมที่นำไปเขย่าและกรอง (Blank)
A	=	Absorbance Unit
Abs.	=	Absorbance
ABR	=	Anaerobic baffled reactor
AMDI	=	American Dye Manufacturers Institute
COD	=	Chemical Oxygen Demand
Conc.	=	Concentration
C <sub>0</sub>	=	ความเข้มข้นเริ่มต้น
C <sub>e</sub>	=	ความเข้มข้นสุดท้าย
Dis 1	=	โฟม 1 ที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue
Dis 2	=	โฟม 2 ที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue
FT-IR	=	Fourier Transform Infrared spectrometer
HIPS	=	พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก
gpg	=	guinea pig
hrm	=	human
ihl	=	inhalation
ipr	=	intraperitoneal
LD50	=	lethal dose 50 percent kill
mam	=	mammal (species unspecified)
MSDS	=	Material Safety Data Sheet
mus	=	mouse
orl	=	oral
PE	=	พอลิเอทิลีน
pH	=	พีเอช
PS	=	พอลิสไตรีน
PVC	=	พอลิไวนิลคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- rbt = rabbit
- Re1 = โฟม 1 ที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียสี้อม Remazol Brilliant Blue R
- Re 2 = โฟม 2 ที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียสี้อม Remazol Brilliant Blue R
- SEM = Scanning Electron Microscope
- TCLo = lowest published toxic concentration
- TGA = Thermogravimetric Analyzer
- THR = Hazardous rating
- UF = ยูเรียฟอร์มาดีไฮด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโรงงานพิเศษ

ประเทศไทยปัจจุบันมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วในด้านอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมฟอกย้อม น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมจะมีการปนเปื้อนสี สีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมเกิดจากสีย้อมที่ใช้ไม่หมดในการย้อมหรือพิมพ์ผ้า รวมทั้งจากการซักล้างหรือการปรับแต่งวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมมาแล้วอีกด้วย สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมฟอกย้อม มักเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โดยเป็นสารก่อมะเร็ง ถ้าปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำจะส่งผลกระทบต่อความต้องการผ่านของแสง ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนในแหล่งน้ำ และทำให้แหล่งน้ำนั้นไม่น่ามองเนื่องจากความขุ่น

สีย้อมที่ใช้กันอย่างมากในอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นประเภทเอโซ (Azo) ซึ่งจัดเป็นกลุ่มสีที่มีการใช้งานมากที่สุดกลุ่มหนึ่ง สีย้อมที่ใช้ในการทอเคลือบสามารถย้อมเส้นใยได้หลายประเภท (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม โรงงานกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542) สีย้อมประเภทเอโซประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนที่มีพันธะคู่ของไนโตรเจน ( $N=N$ ) การแสดงสีของสีย้อมประเภทนี้ขึ้นกับพันธะเอโซร่วมกับกลุ่มอะตอมที่เรียกว่าโครโมฟอร์ ในการทอเคลือบนี้จะใช้สีย้อมรีแอ็กทีฟกับสีย้อมดิสเพอร์ส ซึ่งสีย้อมทั้งสองชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในกระบวนการอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถย้อมเส้นใยได้หลายประเภท

กระบวนการที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม โดยทั่วไปจะใช้ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การตกตะกอนด้วยสารเคมี หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ฯลฯ การทอเคลือบนี้จะใช้วิธีการบำบัดด้วยการดูดซับ โดยใช้โพรพอลิตไครีน เนื่องจากโพรพอลิตไครีนมีใช้อย่างแพร่หลาย โดยส่วนใหญ่จะใช้บรรจุอาหาร หรือใช้เป็นวัสดุกันกระแทก ซึ่งเมื่อใช้เสร็จแล้ว การกำจัดทำได้ยาก มีระยะเวลาในการสลายตัวช้า จึงมีความคิดที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ในการทอเคลือบนี้จะใช้โพรพอลิตไครีนอย่างเดียว เนื่องจากโพรพอลิตไครีนไม่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนมากนัก

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการปรับปรุงสภาพโคมพอลิस्टไครนให้มีประจุโดยใช้ปฏิกิริยารีดักทีฟแอมมิเนชัน
2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสม ในการบำบัดสีย้อมโดยใช้โคมพอลิस्टไครนที่ปรับสภาพผิวแล้ว

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ทดสอบการบำบัดสีย้อมโดยใช้โคมพอลิस्टไครนที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวและโคมที่ปรับสภาพผิวโดยทดลองแบบครั้งใช้เวลาในการเขย่า 1 - 3 ชั่วโมง
2. ทดสอบการบำบัดสีย้อมโดยใช้โคมพอลิस्टไครนที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวและโคมที่ปรับสภาพผิวโดยทดลองแบบครั้งใช้ความเร็วในการเขย่า 150 - 400 รอบต่อนาที
3. ทดสอบการบำบัดสีย้อมโดยใช้โคมพอลิस्टไครนที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวและโคมที่ปรับสภาพผิวโดยทดลองแบบครั้งใช้อัตราส่วนโคม 0.25 กรัมต่อปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ 25 - 100 มิลลิลิตร
4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม 2 กลุ่ม คือกลุ่มรีแอ็กทีฟ และกลุ่มคิสเพอร์ส

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการทำปฏิกิริยารีดักทีฟแอมมิเนชันกับโคมพอลิस्टไครนกันกระแทก
2. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการที่จะนำโคมพอลิस्टไครนกันกระแทกกลับมาใช้ใหม่เพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1 สีย้อม (dye)

สีย้อมที่นำมาใช้ในการย้อมเส้นใยมีอยู่ด้วยกันมากมายหลายชนิด การนำสีย้อมมาใช้ให้ได้ผลดีขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีมากกว่าอำนาจการรวมตัวของสีกับน้ำ โดยจะต้องทำให้เกิดสภาวะที่โมเลกุลของสีย้อมจับเรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด (Substantivity) กับเส้นใยแล้วพันธะ (Bond) ยึดติดกันแน่น อิทธิพลที่ทำให้เกิดการดูดติดกับเส้นใย คือ

- ก. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)
- ข. แรงแวนเดอร์วาล (Van der Waal's forces)
- ค. แรงแยอนิก (Ionic forces)
- ง. พันธะโควาเลนต์ (Covalent bond)

การดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของเส้นใย จะต้องประกอบด้วยแรง 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งอาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน แต่แรงดึงดูดที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) อิทธิพลของรูปร่างและขนาดของโมเลกุลของสีก็มีผลต่อการยึดติดกันหรือมีผลกระทบต่อการใช้ย้อมเป็นอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมยิ่งเล็กเท่าไรก็จะเป็นที่ผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้นทำให้การติดสีดีขึ้นหรือ ถ้าโมเลกุลของสีย้อมมีลักษณะแบนและมีความกว้างมากกว่าความยาวมากๆ จะทำให้เกิดการติดสีที่มีความคงทนสูงมากขึ้น

##### 2.1.1 สีที่ใช้ในการฟอกย้อม

สีย้อมสามารถจำแนกออกได้หลายแบบ เช่น จำแนกโครงสร้างเคมี จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ จำแนกตามลักษณะการใช้งาน และจำแนกตามวิธีย้อม

##### ก. จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี

- สีย้อมฝ้าย ได้แก่ สีโคเรทท์ สีรีแอ็กทีฟ สีแควด สีซัลเฟอร์
- สีย้อมโพลีเอสเตอร์ ได้แก่ สีดิสเพอร์ส
- สีย้อมไนลอน ไหมและขนแกะ ได้แก่ สีแอคติก สีเมทัลคอมเพล็กซ์
- สีย้อมอะคริลิก ได้แก่ สีเบสิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. สีชนิดที่ละลายน้ำได้

- สีแอตติก
- สีเบตติก
- สีไคเรกท์
- สีรีแอ็กทีฟ

2. สีชนิดที่ไม่ละลายน้ำ

- สีอะโซ
- สีคีสเพอร์ส
- สีแวต
- สีฟิคเมนต์
- สีซัลเฟอร์
- สีเมทัลคอมเพล็กซ์

ค. จำแนกตามลักษณะการใช้งาน

1. สีไคเรกท์ (direct dyes)

สีย้อมไคเรกท์บางครั้งถูกเรียกว่าสีย้อมฝ้าย ชื่อของสีชนิดนี้ได้มาจากการที่สีย้อมนี้เป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรกที่สามารถย้อมติดใยฝ้ายโดยซึมเข้าไปภายในเซลล์ลูโลสได้โดยตรง ไม่ต้องเติมสารช่วยย้อมใดๆ ทั้งสิ้น แต่ในปัจจุบันการย้อมสีไคเรกท์นี้จะใช้เกลือเข้าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้สูงขึ้น สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลและมีกรดซัลโฟนิกซึ่งทำให้ตัวสีละลายน้ำได้

2. สีรีแอ็กทีฟ (reactive dyes)

เป็นสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ดีที่สุด สามารถละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็นแอนไอออน เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นค่าไอออนิกของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโควาเลนต์ กลายเป็นสารประกอบชนิดใหม่กับเซลลูโลส สมบัติการละลายและดูดติดเส้นใยของตัวสีจะทำให้สีเข้าไปอยู่ภายในเส้นใยได้ และเมื่อเกิดปฏิกิริยาตัวสีก็จะติดกับเส้นใย

3. สีซัลเฟอร์ (sulfur dyes)

เตรียมได้จากการหลอมละลายกำมะถันหรือไฮเดียมซัลไฟด์กับกรดอะมิโนและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบในโตรเจน ใช้ย้อมใยฝ้ายโดยเฉพาะสีที่ย้อมได้จะไม่ค่อยสดใส ตามปกติแล้วตัวสีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ในปัจจุบัน ได้มีผู้ผลิตสีย้อมชนิดนี้ขึ้นมาใหม่ โดยนำสีย้อมไปทำการรีดิวส์ ทำให้สีชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้ดี สีย้อมชนิดนี้ย้อมง่าย มีราคาถูกและคงทนต่อน้ำได้ดี

#### 4. สีดีสเพอร์ส (disperse dyes)

สีชนิดนี้ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด ที่ดูดซึมน้ำได้น้อย สีชนิดนี้ไม่ละลายน้ำแต่เป็นละอองละเอียดลอยตัวอยู่ในน้ำ เมื่อมีสารช่วยกระจายที่เหมาะสมจะสามารถใช้ย้อมในน้ำธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีอย่างอื่นช่วย

สีดีสเพอร์สอาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ โดยพิจารณาจากกลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ และสีย้อมอะมิโนแอนทราควิโนน

#### 5. สีแอตติก (acid dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมซึ่งมีสภาพเป็นกรดเจือจาง อาจจะไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ใช่เซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ด้วย เช่น ปอ ป่าน และใยโพลีโอไมด์ เป็นต้น ตัวสีย้อมเกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน มีโครงสร้างเป็นไอออนลบในส่วนสารประกอบที่ให้สี กลุ่มเคมีของสีแอตติกนี้ประกอบด้วย กลุ่มสีอะโซ

#### 6. สีเบสิก (basic dyes)

นิยมใช้ย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด ย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อยหรือไม่ติดเลย ตัวสีย้อมเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ ให้แคทไอออน บางครั้งจะเรียกสีย้อมชนิดนี้ว่าสีแคทไอออน ย้อมติดกับเส้นใยได้โดยประจุบวกของโมเลกุลของสีย้อมจะจับกับประจุลบของเส้นใย

#### 7. สีมอร์แดนท์ (mordant dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ตัวสีย้อมในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นตัวสีย้อมในกลุ่มสีย้อมแอตติกที่สามารถก่อรูปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะบางชนิดได้ เช่น โครเมียม อลูมิเนียมและเหล็ก อนุภาคของสีที่ก่อรูปบนเส้นใยภายหลังเมื่อย้อมทับด้วยเกลือโลหะแล้วจะมีความคงทนต่อขบวนการใช้น้ำได้ดีกว่าที่ไม่ย้อมทับ

สีย้อมแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับเส้นใยแต่ละชนิด แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1



## 2.2 สิ่งสกปรกและลักษณะน้ำเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

### 2.2.1 ประเภทสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย

สิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมจำแนกออกได้ดังนี้

1. สีย้อม ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมได้เพียงบางส่วนที่เหลือจะยังคงอยู่ในน้ำย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทที่ใช้
2. สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม สารเคมีเหล่านี้จะมีอยู่มากมายหลายประเภทซึ่งส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมและจะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสีย
3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใยมีทั้งที่เป็นสารขี้ผึ้ง ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตก็ยังมีสารเคมีต่างๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น พวกสารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการสางเส้นด้ายขึ้น เป็นต้น
4. เศษเส้นใย ในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีองค์ประกอบอันหนึ่งที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ เศษเส้นใยที่หลุดออกมา เศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมากก็อาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของน้ำเสียในเครื่องย้อมได้
5. สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมยังอาจมีสิ่งสกปรกเจือปนชนิดอื่นๆ อีก เช่น สารเคมีพิเศษที่ใช้ในการขจัดรอยประอะเนิ่นบนผ้า สารเคมีที่ใช้ในการล้างเครื่อง

### 2.2.2 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

น้ำเสียที่มาจากโรงงานต่างๆ จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของเส้นใยที่นำมาย้อม และกระบวนการย้อมที่แตกต่างกัน

1. มีปริมาณสารอินทรีย์สูง เนื่องจากมีค่า BOD, COD สูง ปริมาณสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมได้แก่ แป้ง สีย้อม เส้นใย และด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการย้อมและการตกแต่ง ไขมัน และตัวทำละลายต่างๆ
2. มีความเป็นด่างสูง สารที่ทำให้น้ำมีลักษณะเป็นด่าง คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมคาร์บอเนต
3. มีอุณหภูมิสูง
4. มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมาจากเกลือโซเดียมและกรดต่างๆ

### 5. มีสีเข้มมาก ซึ่งมาจากสีที่ใช้ในการย้อมผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. มีโลหะเจือปน โลหะหนักนี้จะมาจากสียที่ใช้ย้อมผ้า โดยส่วนใหญ่จะเป็นโลหะพวกทองแดง โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี

7. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง

### 2.2.3 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

โดยทั่วไปมลภาวะที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีดังนี้

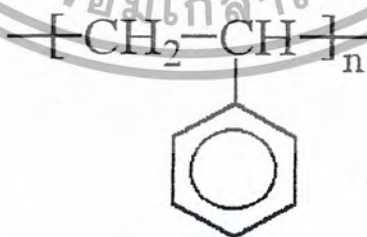
1. ความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ น้ำเสียจากน้ำย้อมผ้ามักมีสารที่มีพิษ ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา เช่น สารประกอบอนินทรีย์

2. การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำ น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสียย้อมบางประเภท

3. ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดความรู้สึกน่ารังเกียจต่อผู้พบเห็นทำให้ลำน้ำไม่น่าดู นอกจากนี้สียย้อมที่มีความเข้มข้นสูงจะขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำนั้น

### 2.3 พอลิสไตรีน (PS)

พอลิสไตรีนมีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงอสังขฐาน ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.1 แสดง โครงสร้างของพอลิสไตรีน

ในพ.ศ. 2477 ได้เริ่มมีการผลิตพอลิสไตรีนทางการค้าเป็นครั้งแรกโดย บริษัท ดาวนเคมิ จำกัดและบริษัท ฟาร์เบน จำกัด โดยมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีความแข็ง ไสและเปราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไม่ดูดความชื้น
3. ไม่นำไฟฟ้า
4. เชื่อยต่อสารเคมี
5. มีความทนทานต่อกรด ค่าง แส โลเจน คั่วออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์
6. มีความทนทานต่อความร้อนได้ไม่ดีเพราะอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) อยู่ที่ประมาณ  $80^\circ\text{C}$  จึงเกิดการย่อยสลายได้หากถูกความร้อน

7. มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50,000 - 200,000

8. ทนทานต่อแรงดึงได้ดี

9. มีค่าความหนาแน่นประมาณ  $1.05 - 1.07 \text{ g/cm}^3$

10. ละลายได้ในตัวทำละลายอะโรมาติก

11. สามารถขึ้นรูปได้ง่าย แต่ชิ้นงานที่ได้มีความเปราะ

การสังเคราะห์พอลิสไตรีน แสดงดังรูป



รูปที่ 2.2 การสังเคราะห์พอลิสไตรีนจากสไตรีน

### 2.3.1 โฟมพอลิสไตรีน (Polystyrene Foam)

การนำพอลิสไตรีนไปใช้งานมักนำไปทำเป็นถัง ขวด ภาชนะใส่อาหาร ชิ้นส่วนตู้เย็นหรือรถยนต์และนำไปทำเป็นโฟมกันกระแทกซึ่งทำโดยการหลอมพอลิสไตรีนแล้วนำไปอัดด้วยเพนเทน จากนั้นให้ความร้อนด้วยไอน้ำจะเกิดการขยายตัวประมาณ 40 เท่าแล้วอัดเข้าในเบ้าให้ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการ หรืออาจทำให้เกิดเป็นเซลล์โดยการนำพอลิสไตรีนมาเค็มสารที่ทำให้พองตัว (Blowing Agent) แล้วนำไปแบบที่เตรียมไว้ตามขนาดที่ต้องการ จากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาได้ก๊าซออกมาเป็นโฟมพอลิสไตรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีเมอร์แบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

1. พวกที่เร่งด้วยผงฟูทำให้เกิดโพลีเมอร์ได้ เช่น พอลิสไตรีน (PS)
2. พวกที่หลอมแล้วทำให้ฟู เช่น พอลิเอทิลีน (PE) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)
3. พวกที่เริ่มต้นหลอมแล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดเป็นโพลีเมอร์ เช่น ยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์ (UF)

### 2.3.2 พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (HIPS)

ช่วงเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ผลิตพอลิสไตรีนมาก หลังจากสงครามสงบ พอลิสไตรีนมีมากเกินไปจนความต้องการจึงมีการคิดนำไปใช้ในด้านอื่น เพราะมีสมบัติเด่นอย่างอื่น เช่น เป็นฉนวนที่ดี สามารถผสมสีได้ง่าย โปร่งใส มีความแข็งแรงสูงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีข้อเสียคือ เปราะและมีความทนต่อแรงกระแทกต่ำจึงมีการพัฒนาและปรับปรุงพอลิสไตรีน ให้มีความเหนียวและทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้น โดยเติมยางบิวทาไดอีนลงในสไตรีนเรียกว่าพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (HIPS) ซึ่งผลิตเป็นครั้งแรกโดยบริษัท คาวนเคมี้ จำกัด และบริษัท พาร์เบน จำกัด สมบัติเชิงกลของพอลิสไตรีนและพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติเชิงกลของพอลิสไตรีนและพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก

สมบัติ	หน่วย	พอลิสไตรีน	พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก
ความแข็งแรงดึง	GN/m <sup>2</sup>	3.5	1.6
ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก	MN/m <sup>2</sup>	-	17.15
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก	%	-	2
ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด	MN/m <sup>2</sup>	54	21
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด	%	2.1	40
ความแข็งแรงกระแทก	J/cm <sup>2</sup>	1.0	4.5
อุณหภูมิที่เกิดการเสียรูป	°C	100	96
การส่งผ่านของแสง	-	ใส	ทึบแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิस्टไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกเมื่อมีความหนาไม่มากจะมีความใส แต่เมื่อมีความหนามากจะทึบแสง การนำไปใช้งานจึงมักใช้ทำเป็นภาชนะบรรจุ ของเด็กเล่น ส่วนประกอบในวิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพทและคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

## 2.4 การดูดซับ

### 2.4.1 หลักการ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพและเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึง โมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับและติดกับผิวของมัน ซึ่งปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent)

การดูดซับจะมีความสามารถในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น บีโอดี ซีโอดี ยาฆ่าแมลง เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพที่ดีและระบบมีความทนทานต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพ คือต้องการพื้นที่น้อยและไม่มีการปนเปื้อนที่นำรังเกียจ

การดูดซับที่สำคัญมี 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้ เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลในวัฏภาคก๊าซหรือของเหลวเข้าไปใกล้และยึดติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของของแข็งซึ่งเป็นตัวดูดซับซึ่งสามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของ โมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซได้

การดูดซับทางกายภาพเกิดจากความแตกต่างของพลังงานหรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electric Attractive Force) อย่างอ่อนๆที่เรียกว่า แรงวันเดอร์วาลส์ (Van Der Waals Force) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับ โมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับนี้เป็นแบบหลายชั้น (Multilayers) ซึ่งแต่ละชั้นของโมเลกุลจะยึดติดกับโมเลกุลก่อนหน้านั้น โดยจำนวนของชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลาย ซึ่งจำนวนชั้นของ โมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดูดซับระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ แต่ถ้าแรงมีค่าน้อย การหลุดออกของสารถูกดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารถูกดูดซับและสารดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบทางเคมี ซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (Irreversible) ส่วนการดูดซับทางกายภาพสามารถที่จะผันกลับได้ (Reversible) เนื่องจากมีการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะกระทำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ

ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับ โดยการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2 - 10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยจะให้พลังงานประมาณ 15 - 50 กิโลแคลอรีต่อโมล

#### 2.4.2 กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

##### 1. การแพร่ภายนอก (External Diffusion)

เป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงสารดูดซับ ซึ่งพื้นผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ

##### 2. การแพร่ภายใน (Internal Diffusion)

เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างของสารดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

##### 3. ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface Reaction)

เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายดูดที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นความต้านทานจากกระบวนการนี้จึงละเลยได้

#### 2.4.3 การดูดซับที่สถานะสมดุล (Adsorption Equilibrium)

สามารถอธิบายปรากฏการณ์กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นว่า ณ จุดสมดุลของการดูดซับ สมรรถนะของตัวดูดซับ (Adsorption Capacity) สามารถเขียนอยู่ในรูปความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวดูดซับในน้ำที่อุณหภูมิคงที่ โดยเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า ไอโซเทอมการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Adsorption Isotherm) โดยไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการดูดซับ และปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ

มีหลายทฤษฎีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ในปัจจุบันยังไม่มีทฤษฎีไหนที่จะอธิบายสมการและกลไกการดูดซับได้อย่างถูกต้อง ในที่นี้จะนำเสนอสมการทั่วไปสำหรับไอโซเทอมการดูดซับดังนี้

ก. ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

มีสมมติฐานพื้นฐานที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model ดังนี้

- 1.1 เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น
- 1.2 โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่สามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระบนพื้นผิวของตัวดูดซับได้
- 1.3 เอนทาลปีของการดูดซับมีค่าเดียวสำหรับทุกๆ โมเลกุล
- 1.4 พลังงานการดูดซับแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน

สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ แสดงดังสมการที่ 2.1

$$q_e = \frac{QbC_e}{1+bC_e} \tag{2.1}$$

เมื่อ

- $q_e$  = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่จุดสมดุล (mg/g)
- $Q$  = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวอย่างสมบูรณ์ (mg/g)
- $C_e$  = ความเข้มข้นของตัวดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล (mg/l)
- $b$  = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

จากสมการที่ 2.1 สามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ ดังนี้

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bQ} + \frac{C_e}{Q} \tag{2.2}$$

หรือ

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{bQ} \tag{2.2}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $1/q_e$  กับ  $1/C_e$  เราสามารถหาค่าคงที่  $b$  และ  $Q$  ได้จากความชันและจุดตัดของกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข. ไอโซเทอมการดูดซับแบบ บีอีที (Brunauer-Emmett-teller, BET, Adsorption

### Isotherm)

ไอโซเทอมแบบบีอีทีพัฒนามาจากไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ อธิบายการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) โดยมีสมมติฐาน ดังนี้

1. โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่เกิดการเคลื่อนที่ออกจากพื้นผิวของตัวดูดซับ
2. เอนทัลปีของการดูดซับมีค่าคงที่สำหรับทุก โมเลกุล
3. ทุกโมเลกุลในชั้นมีพลังงานของการดูดซับเท่ากัน
4. ชั้นการดูดซับไม่ต้องการการดูดซับที่สมบูรณ์ก่อนเกิดการดูดซับชั้นต่อไป

สมการ ไอโซเทอมการดูดซับแบบ บีอีที แสดงในสมการที่ 2.4

$$q_c = \frac{QB C_s}{(C_s - C_s) [1 + (B-1)(C_s/C_s)]} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $q_c$  = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (mg/g)  
 $Q$  = ปริมาณของตัวถูกละลายต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ใช้ในการสร้างแผ่นชั้นเดียว (mg/g)  
 $C_s$  = ความเข้มข้นของตัวดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล (mg/l)  
 $C_s$  = ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในน้ำที่อุณหภูมิหนึ่งๆ (mg/l)  
 $B$  = ค่าคงที่ของพลังงานการดูดซับ

สมการที่ 2.4 สามารถจัดเรียงเป็นแบบเชิงเส้น ได้ดังนี้

$$\frac{C_s}{q_c (C_s - C_s)} = \frac{1}{QB} + \frac{(B-1)(C_s)}{(QB)(C_s)} \quad (2.5)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $C_s / q_c (C_s - C_s)$  กับ  $C_s / C_s$  จะได้เส้นตรงที่มีความชัน  $(B-1)/(QB)$  และมีจุดตัดแกนเท่ากับ  $1/QB$

## ค. ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอยดลิช (Freundlich Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอยดลิชใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการอธิบายการดูดซับในระบบของของเหลว และมีประโยชน์มากที่สุดสำหรับการละลายที่เจือจาง

สมการการดูดซับแบบฟรอยดลิช แสดงในสมการที่ 2.6

$$\frac{x}{m} = KC_s^{1/n} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	$x$	=	ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ (mg)
	$m$	=	น้ำหนักของสารดูดซับ (g)
	$C_e$	=	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล (mg/l)
	$K, 1/n$	=	ค่าคงที่ของระบบ

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง ได้ดังนี้

$$\log \left( \frac{x}{m} \right) = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.7)$$

พลอตกราฟระหว่าง  $\log (x/m)$  กับ  $\log C_e$  จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ  $1/n$  และมีจุดตัดแกนเท่ากับ  $\log K$  ค่า  $1/n$  ที่ได้จากการดูดซับจะมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับค่า  $1/n$  ที่เกือบจะเท่ากับ 1 แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดี

#### 2.4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

##### ก. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and Surface Area)

ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตราการดูดซับ เป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ และพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุม โดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งผ่านชั้นฟิล์ม (Film Transport) ดังนั้น อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ ในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมการดูดซับ การดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ

##### ข. ลักษณะของสารดูดซับ (Nature of Absorbent)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับ ตัวถูกละลายจะต้องแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

##### ค. ความปั่นป่วน (Mixing Speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับกระบวนการขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) และการเอกสารเป็นเอกลักษณ์ของสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ซึ่งขึ้นกับความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้เร็ว ดังนั้น การแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

#### ง. เวลาสัมผัส (Contact time)

เวลาสัมผัสเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุดทั้งนี้ก็จะขึ้นกับชนิดของตัวดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปใช้จริง

#### จ. ค่าพีเอช (pH)

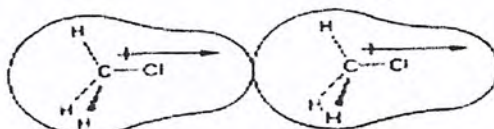
ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนสามารถดูดซับได้เป็นอย่างดี ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

### 2.5 แรงยึดระหว่างโมเลกุล (Intermolecular force)

แรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) ที่ยึดโมเลกุลของสาร โคเวเลนต์มีอยู่ด้วยกันสองชนิดคือแรงดึงดูดไดโพล-ไดโพล และแรงยึดแวนเดอร์วาลส์

#### 2.5.1 แรงดึงดูดไดโพล-ไดโพล (Dipole dipole attraction)

เป็นแรงยึดระหว่าง โพลาร์โมเลกุลซึ่งเกิดขั้วบวกและขั้วลบที่แยกกัน (dipole) ชนิดถาวรภายใน โมเลกุล ขั้วบวกของ โมเลกุลหนึ่งจะยึดกับขั้วลบของอีก โมเลกุลหนึ่งที่อยู่ถัดไป เช่น ในกรณีโมเลกุลของ chloromethane ดังภาพ



รูปที่ 2.3 แสดงการยึดเกาะกันของสาร โดยใช้แรงระหว่างโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลของแรงยึดระหว่างไดโพลทำให้โพลาร์โมเลกุลยึดกันแข็งแรงกว่าพวกนอนโพลาร์โมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน และเมื่อสารมีแรงยึดแรงระหว่างโมเลกุลต่างกัน คุณสมบัติทางฟิสิกส์ก็ต่างกัน

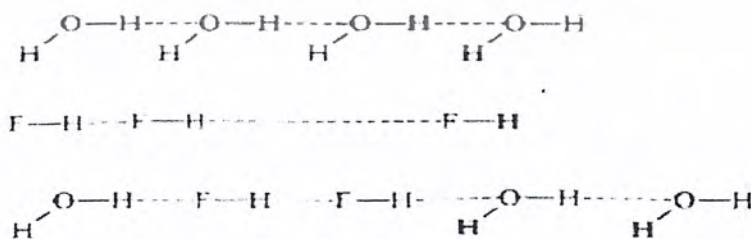
**2.5.2 พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)**

เป็นแรงดึงดูดไดโพล-ไดโพลชนิดหนึ่งที่เกิดจาก H ซึ่งเกิดพันธะกับธาตุที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ๆ และมีขนาดเล็ก เช่น F O และ N พันธะนี้จะโพลาร์มากจนทำให้ H กลายเป็นขั้วบวกของโมเลกุลสามารถดูดอิเล็กตรอนคู่ที่ไม่ได้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลที่เกิดจาก H ที่มีประจุบวกกับธาตุที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงซึ่งมีประจุลบดังกล่าวนี้เรียกว่าพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมักเขียนแสดงด้วยเส้นไขว่ปลา ดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงพันธะระหว่างไฮโดรเจนกับธาตุที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง

เมื่อ X เป็น F, O หรือ N ที่เกิดพันธะโควาเลนต์กับ H อยู่ก่อนแล้ว และ Y เป็น F, O หรือ N ของอีกโมเลกุลหนึ่ง เส้นไขว่ปลาระหว่าง H กับ Y พันธะไฮโดรเจน เช่น พันธะไฮโดรเจนในน้ำ ใน HF และในน้ำผสม HF



รูปที่ 2.5 แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนในน้ำกับน้ำผสม HF

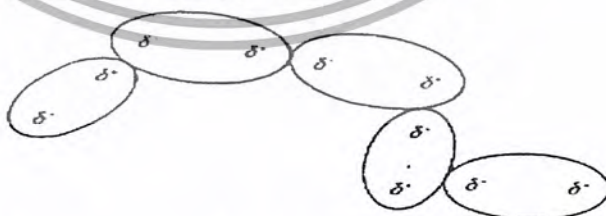
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธะไฮโดรเจนจะเป็นพันธะที่อ่อนมีพลังงานเพียง 2-10 กิโลแคลอรี/โมล (ประมาณ 5 - 10 % ของพันธะโคเวเลนต์เดี่ยว) แต่ก็แข็งแรงมากกว่าแรงยึดระหว่างไดโพลกับไดโพลชนิดธรรมดาทั่วไป จึงมีผลทำให้สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของ โมเลกุลที่เกิดพันธะชนิดนี้ผิดแปลกไป

นอกจากนี้พันธะไฮโดรเจนอาจเกิดภายใน โมเลกุลเอง ซึ่งจะมีผลต่อรูปร่างของ โมเลกุล และคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ เช่นสูตร โครงสร้างแบบลวดสปริง (helix) ของโปรตีน

### 2.5.3 แรงยึดแวนเดอร์วาลส์ (Vander waals force)

แรงยึดแวนเดอร์วาลส์เป็นแรงระหว่าง โมเลกุลของพวกสารนอน โพลาร์ซึ่งเป็นกลาง การที่สารพวกนอน โพลาร์สามารถแข็งตัวเป็นของแข็งได้แสดงว่าต้องมีแรงมายึดระหว่าง โมเลกุลของแรงยึดระหว่าง โมเลกุลชนิดนี้เป็นแรงไฟฟ้าสถิตที่อ่อนมากสามารถอธิบายได้โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำไดโพล (induce dipole) คือในสารนอน โพลาร์ซึ่งไม่มีไดโพลอิเล็กตรอนจะกระจายสม่ำเสมออย่างสมมาตรในโมเลกุล แต่เพราะอิเล็กตรอนเคลื่อนไหวตลอดเวลา ในชั่วขณะหนึ่งอิเล็กตรอนอาจไปอยู่ที่หนึ่งมากกว่าอีกที่หนึ่ง ทำให้เกิดขั้วบวกขั้วลบหรือ ไดโพลขนาดเล็กชนิดชั่วคราวขึ้น ไดโพลชั่วคราวที่เกิดขึ้นนี้จะไปเหนี่ยวนำ โมเลกุลข้างเคียงที่สัมผัสกัน ไดโพลชั่วคราวนี้เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แต่ผลรวมของมันก็ก่อให้เกิดแรงยึดระหว่างนอน โพลาร์ โมเลกุลที่เรียกตามผู้อธิบายคือ แรงยึดแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงยึดระหว่าง โมเลกุลที่อ่อนมากเกิดขึ้นเฉพาะผิวของ โมเลกุลที่สัมผัสกัน ดังนั้นค่าของแรงยึดแวนเดอร์วาลส์จึงขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง โมเลกุลซึ่งมีผลมาจากรูปร่างและขนาดของ โมเลกุลนั่นเอง



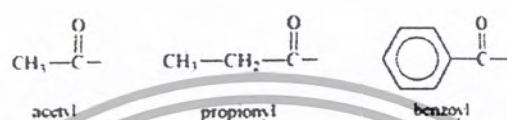
รูปที่ 2.6 ไดโพลชั่วคราวและการเหนี่ยวนำไดโพลในนอน โพลาร์โมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ปฏิกิริยาฟรีเดิล-คราฟท์แอคิลเลชัน (Friedel-Crafts Acylation)

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาแรกในการปรับปรุงสภาพโพลีฟอสไตรีนกันกระแทกโดย

หมู่ที่เป็น  $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$  เรียกว่าหมู่ acyl เมื่อทำปฏิกิริยาแล้วทำให้เพิ่มหมู่แอคิลเข้าไปจึงเรียกปฏิกิริยานี้ว่าแอคิลเลชัน เช่น



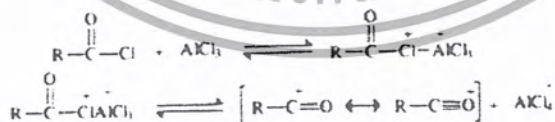
บางครั้งความหมายของแอคิลเลชันรวมเรียกว่าแอโรอิล (aroyl) เข้าไปด้วย เช่นในกรณีของ benzoyl เป็นต้น

ปฏิกิริยาฟรีเดิล-คราฟท์แอคิลเลชันคือการเติมหมู่แอคิล หรือ แอโรอิล เข้าไปในสารประกอบอะโรแมติก และในปฏิกิริยานี้ต้องเติมกรด Lewis มากเกินพอ คืออย่างน้อยต้องมีปริมาณเท่ากับหนึ่งสมมูลของแอซิลเฮไลด์ จึงจะเกิดปฏิกิริยาได้คือ



ซึ่งรายละเอียดและขั้นตอนของปฏิกิริยาได้แสดงไว้เป็นขั้นอย่างชัดเจนต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 เป็นขบวนการแตกของกรดเฮไลด์ให้เป็นแอคิลเลียมไอออน



ขั้นที่ 2 เป็นการเกิด  $\sigma$ -Complex จากการทำปฏิกิริยาแอคิลเลียมไอออนกับโมเลกุลของเบนซีน



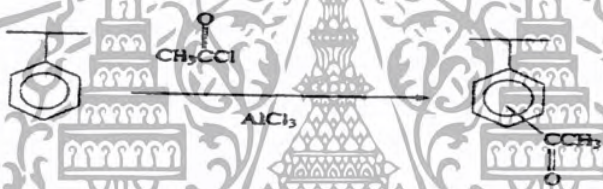
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 เป็นการแตก  $\delta$ -Complex ออกเป็นโปรตอน และผลิตภัณฑ์



สำหรับปฏิกิริยาฟรีดล-แครฟท์แอคิลเลชันนั้น มักจะให้ผลจากปฏิกิริยาเพียงขั้นเดียว คือ หลังจากได้สารประกอบตัวใหม่แล้ว สารประกอบตัวใหม่จะไม่ทำปฏิกิริยาต่อไป จึงไม่เกิดสารประกอบพวก polyacylation ที่เป็นทั้งนี้เพราะหมู่แอคิลมีลักษณะการดึงอิเล็กตรอน จึงทำให้อิทธิพลของเบนซีนที่เกิดขึ้นไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในโครงการนี้คือ



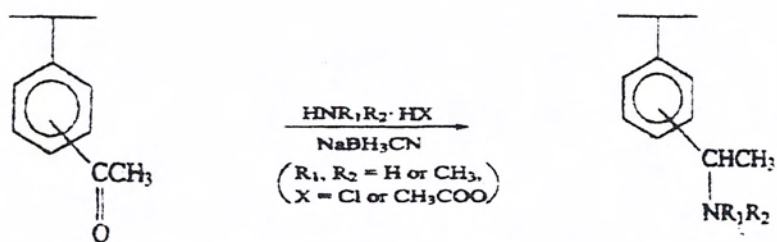
รูปที่ 2.7 แสดงปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation ของฟีนอลิตสไตรีน

## 2.7 ปฏิกิริยาแอมมิเนชัน (Amination)

แอมมิเนชันเป็นกระบวนการที่ใช้เอมโมเนียเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตสารประกอบเอมีนชนิดอะลิฟาติกและอะโรมาติก สารประกอบเอมีนสามารถผลิตได้จากกระบวนการรีดักชันของสารประกอบไนโตร เช่น การผลิตแอนิลีน (aniline) จากไนโตรเบนซีน (nitrobenzene) เอทานอลามีนส์ (ethanolamines) เป็นสารประกอบที่มีประโยชน์ ค่าความเป็นเบสของสารประกอบเอมีนดังกล่าวขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี

แต่โครงการนี้เราใช้โซเดียมไซยาโนโบโรไฮไดรด์เป็น reducing agent และทำปฏิกิริยาแอมมิเนชันโดยใช้เมทิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์เป็นตัวทำปฏิกิริยากับสารประกอบ Acetylated intermediate จากปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

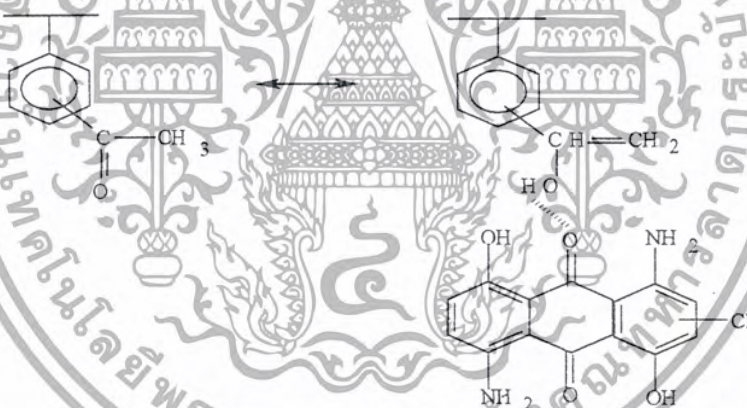


รูปที่ 2.8 แสดงปฏิกิริยา Reductive Amination

## 2.8 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการนำดสีย้อม

### 2.8.1 โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม C.I.

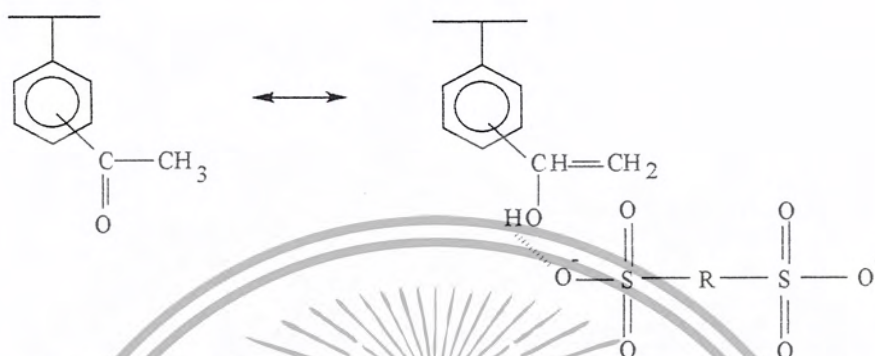
Disperse Blue



รูปที่ 2.9 แสดง โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม C.I. Disperse Blue

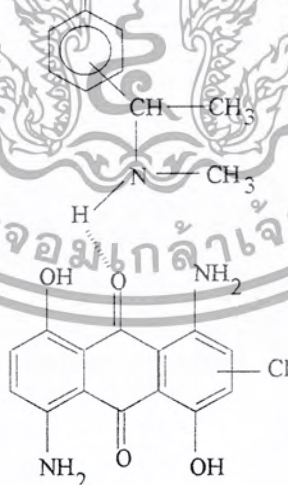
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม  
Remazol Brilliant Blue R



รูปที่ 2.10 แสดง โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1) ทำปฏิกิริยากับ  
สีย้อม Remazol Brilliant Blue R

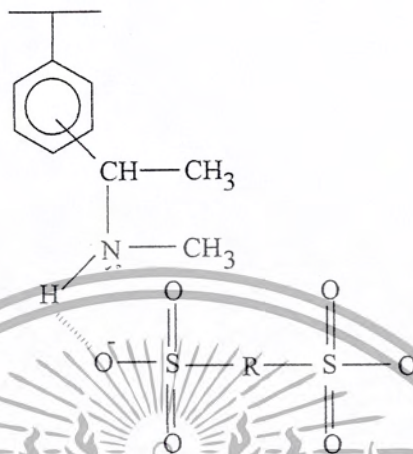
2.8.3 โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Reductive Amination (โฟม2) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม  
C.I. Disperse Blue



รูปที่ 2.11 แสดง โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Reductive Amination (โฟม2) ทำปฏิกิริยากับ  
สีย้อม C.I. Disperse Blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Reductive Amination (โฟม2) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม Remazol Brilliant Blue R



รูปที่ 2.12 แสดงโฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Reductive Amination (โฟม2) ทำปฏิกิริยากับสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- J. Bell and C. A Buckley (2003) ศึกษาการบำบัดสี้อมกลุ่ม CI Reactive Red 141 ที่มีความเข้มข้นสูงด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนในถังปฏิกรณ์แบบ ABR (Anaerobic baffled reactor) ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสี้อมลดลงเนื่องจากการดูดซับโดยจุลินทรีย์ ค่าซีไอดีเหลือน้อยกว่า 90% ลดสีได้ประมาณ 86% ในการทดลองค่อยๆเพิ่มความเข้มข้นของสีทำให้จุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจนคั้นเคยและเจริญเติบโตได้

- S.Netpradit,P.Thiravetyan,S.Towprayoon (2003) ศึกษาการกำจัดสี้อมเอโซรีแอ็กทีฟจากสารละลายโดยใช้ตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ทดสอบในสถานะต่างๆ เช่น ปริมาณสี้อม พีเอช ขนาดอนุภาคของตัวดูดซับและปริมาณตัวดูดซับ การทดลองนี้ใช้สี้อมแอนไอออนิก 3 ชนิด คือ CI Reactive Red 2, CI Reactive Red-120 และ CI Reactive Red 141 และใช้ 0.2%(w/v) ของตะกอน (<75 ไมครอน) ในการกำจัดสี้อมจากสารละลายสี้อมรีแอ็กทีฟจาก 30 มก./ลิตรในเวลา 5 นาที โดยไม่มีการควบคุมพีเอช ปริมาณสี้อมถูกดูดซับได้มากที่สุดมากกว่า 90% ในตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ค่าพีเอชเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับของตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์และการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสี้อมกับโลหะ พีเอชที่ภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการดูดซับสี้อมอยู่ที่ 8 - 9 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่อยู่บนผิวตะกอนขณะที่การตกตะกอนของสารประกอบเชิงซ้อนสี้อมกับโลหะเกิดในระบบที่มีพีเอช 2 ความสามารถในการดูดซับที่สูงสุดของสลิคส์สำหรับสี้อมรีแอ็กทีฟอยู่ที่ 48 - 69 มก./ก. สี้อม แลนเมียร์และฟรอยดลิสแสดงปริมาณของสี้อมมีความสัมพันธ์กับการดูดซับ ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดและปริมาณตัวดูดซับที่มากทำให้กระบวนการเกิดเร็วขึ้นเนื่องจากเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ การศึกษาการดูดซับอธิบายถึงตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มสำหรับดูดซับแลกเปลี่ยนประจุของหมู่ซัลโฟเนตของสี้อมรีแอ็กทีฟ

- A.S.Koparal,Y.Yavuz,Ü Bakır Ö G Ütveren (2002) ศึกษาความเป็นไปได้ของการกำจัดสี้อมจากน้ำเสียโรงงานสิ่งทอโดยการดูดซับทางไฟฟ้า(electroadsorption) โดยใช้ส่วนผสมระหว่าง activated carbon — perlite ในอัตราส่วน 8:1 และใช้ขั้ว 2 ขั้วในการดูดซับ bipolar trickle reactor จะใช้ในวิธีการดูดซับทางไฟฟ้า น้ำเสียเตรียมโดยใช้สี้อม acilan blau ทำการทดสอบความเข้มข้นของสี้อมเริ่มต้น ความสูงระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว การให้ศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล และความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด จากการศึกษาวิธีการทดลองจะได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เป็นภาวะที่ดีที่สุดสำหรับน้ำเสียโรงงานสิ่งทอทั่วไป การตรวจสอบกลไกการดูดซับและปริมาณที่ต้องการของสารที่ดูดซับส่งผลถึงประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด และ ค่าสัมประสิทธิ์ของการเคลื่อนย้ายมวล ซึ่งคำนวณจากการดูดซับและการดูดซับทางไฟฟ้า ผลการทดลองแสดงประสิทธิภาพการกำจัดมากถึง 100% สามารถปรับค่าการใช้พลังงานในการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำ 1.58 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ลบ.ม. อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานลดลง 0.09 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ลบ.ม. ความเข้มข้นของสีย้อมที่ผ่านกระบวนการเป็น 4.65 มก./ลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งการทดลองนี้ ได้ใช้การทดลองการบำบัดสีย้อมโดยใช้ activated carbon และวิธีทางไฟฟ้ามาเป็นแนวทางในการทดลอง

- S.J.Ergas, E. N.Leshem and D. A.Reckhow (2002) ศึกษาการบำบัดสีย้อม แล้วนำน้ำกลับไปใช้ใหม่โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกทดสอบการบำบัดสีย้อม ด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ ozonation , electrochemical , การดูดซับด้วย activated carbon , chemical reduction และ anaerobic biological treatment ซึ่งพบว่าวิธีการบำบัดที่เหมาะสมคือ electrochemical treatment และ ozonation และในส่วนที่ 2 มีจุดประสงค์ดังนี้ 1. แสดงการนำน้ำเสียสีย้อมมาใช้ใหม่ โดยใช้กระบวนการบำบัดแบบ electrochemical และ ozonation ว่าสะดวกต่อการผลิตสิ่งทอ 2. แสดงการบำบัดด้วย electrochemical และ ozonation ในช่วงของน้ำเสียสิ่งทอที่เกิดขึ้น 3. แสดงความเป็นไปได้ของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมาจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งมีหลายประเภท เช่น สีไครเมอท์ สีดีสเพอร์ส สีเอซิก สารตั้งผิว เกลือ และโลหะหนักผสมอยู่ในน้ำเสีย ตัวอย่างบำบัดโดยใช้แบบจำลอง electrolytic cell และ ระบบทดลอง bench-scale ozone หลังการบำบัดรวมถึงการลดปริมาณคลอรีน และควบคุมพีเอช ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดสีย้อม การนำไฟฟ้า พีเอชและคลอรีนอิสระ กับการกำจัดสีและลดค่าซีโอดี ผลการทดลองสามารถกำจัดสีได้ 85 – 94 % และ ค่าซีโอดี 50 – 80 % ซึ่งสามารถส่งน้ำกลับไปใช้ในระบบได้อีก

- ปฎิเวศ ชินเชษฐ (2000) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมกลุ่มสีดีสเพอร์ส โดยกระบวนการยูเอเอสบี โดยใช้แบบจำลองขนาด 4.825 ลิตร จำนวน 2 ชุด โดยควบคุมเวลาพักชดสศาสตร์ที่ 3.3 13.2 24 และ 36 ชั่วโมง เทียบเป็นอัตราภาระอินทรีย์เท่ากับ 11.70 2.90 1.60 และ 2.07 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าไม่สูงนักคาดว่าเป็นผลมาจากน้ำเสียฟอกย้อมที่ใช้ย่อยสลายได้ยาก จึงเป็นต้องอาศัยเวลาในการย่อยสลายนาน ในขณะที่ระยะเวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับมวลจุลชีพมีค่าต่ำไม่เพียงพอที่จุลินทรีย์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยในการลดสีมีค่าเท่ากับร้อยละ 20, 30, 30 และ 30 สำหรับการวิเคราะห์โดยใช้วิธี SU และร้อยละ 14, 28, 28 และ 28 สำหรับการวิเคราะห์โดยใช้วิธี ADMI ตามลำดับ ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการลดสีมีค่าต่ำแต่สีของน้ำเสียได้เปลี่ยนจากสีโทนม่วงแดงเป็นสีโทนเหลือง ซึ่งใกล้เคียงกับสีของน้ำธรรมชาติ ส่วนอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.105 0.096 0.095 และ 0.089 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดตามลำดับ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีารนำไปใช้

ระบบยูเอสบีสามารถใช้เป็นกระบวนการแรกในการลดสีและสารอินทรีย์ของน้ำเสียฟอกย้อมสี คิสเพอร์สได้

- S.Papic, N.Koprivanac and A. Metes (2000) ศึกษากระบวนการสร้างตะกอน โดยใช้พอลิเมอร์เป็นตัวเหนียวน้ำเป็นวิธีการบำบัดสำหรับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสูงด้วยสีย้อมรีแอ็กทีฟ การทดสอบเบื้องต้นได้ศึกษาตัวสร้างตะกอน 2 ชนิด ในตัวสร้างตะกอนมากมายที่มีอยู่ในน้ำเสียสีย้อมรีแอ็กทีฟ ด้านการค้ำ Cationic flocculant Levafloc R เป็นตัวสร้างตะกอนที่ดีที่สุดในการทดลองนี้ ที่ใช้ในการกำจัดสีย้อม ช่วงพีเอชที่เหมาะสมและความเข้มข้นของสารช่วยสร้างตะกอนเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อกระบวนการ ภาวะที่ดีที่สุดผสมผสานระหว่างการผสมเร็วในตอนแรกและการทิ้งระยะเวลาในการผสมที่เกิดจากถึงที่ตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง

- C.K.Lee, K.S.Low and P.Y.Gan (1999) ศึกษาการบำบัดสีย้อมอินทรีย์ด้วยการใช้กรดบำบัดร่วมกับ bleaching earth โดยใช้ น้ำเสียจาก โรงงานน้ำมันปาล์มประกอบด้วย 20% กรดซัลฟูริก และให้ความร้อน  $350^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพดูดซับสีย้อมอินทรีย์ได้โดยเฉพาะสีย้อมรีแอ็กทีฟและสีย้อมแอลิต ค่าสูงสุดในการดูดซับสีย้อมอยู่ที่ 2 – 300 มก./ก. ความเหมาะสมระหว่างแสงเมียร์และฟรอยด์ลิธแสดงความสัมพันธ์จากข้อมูลการทดลองแสดงว่าทั้งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีผลต่อกระบวนการดูดซับ

- H.Xu, X.Hu (1999) ศึกษาการทดลองโดยเป็นวิธีใหม่ที่ใช้สำหรับการเตรียมการแลกเปลี่ยนไอออนลบของพอลิไคโตรีน โดยใช้วิธี reduction amination ของ acetylated เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารคลอโรเมทิล เอเทอร์ หรือ bis-chloro methyl ether ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ที่นิยมใช้ในกระบวนการ chloromethylation วิธีใหม่นี้ใช้กระบวนการ Friedel-Crafts acetylation และ reductive amination ซึ่งสะดวกและง่าย สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้ การทดลองนี้เป็นการศึกษาสภาพแวดล้อมที่ให้ผลที่ดีที่สุดวัดโดยใช้วิธี FTIR spectra

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

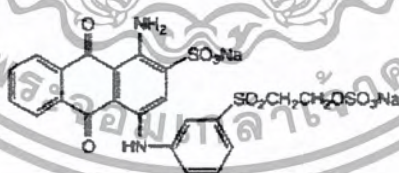
## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

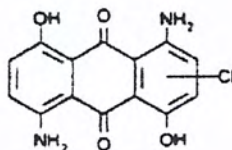
#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สีย้อม Remazol Brilliant Blue R จากบริษัท ไคสตาร์ไทย จำกัด
2. สีย้อม C.I. Disperse Blue จากบริษัท ไคสตาร์ไทย จำกัด
3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์
5. คาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS<sub>2</sub>) เกรดวิเคราะห์
6. แอนไฮดริตอะลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl<sub>3</sub>) เกรดวิเคราะห์
7. อะซิetylคลอไรด์ (CH<sub>3</sub>COCl) เกรดวิเคราะห์
8. เอทานอล (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) เกรดวิเคราะห์
9. เมทานอล (CH<sub>3</sub>OH) เกรดวิเคราะห์
10. โซเดียมไฮยาโบโรไฮไดรด์ (NaBH<sub>4</sub>CN) เกรดวิเคราะห์
11. แอนไฮดริตเมทานอล anh. (CH<sub>3</sub>OH) เกรดวิเคราะห์
12. เมทิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์ (CH<sub>3</sub>N.HCl) เกรดวิเคราะห์

หมายเหตุ โครงสร้างของสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.1 สูตร โครงสร้าง Remazol Brilliant Blue R



II

รูปที่ 3.2 สูตร โครงสร้าง C.I. Disperse Blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีารนำไปใช้

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ JENWAY 6405 UV/VIS Spectrophotometer
2. เครื่องชั่งละเอียดแบบ 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa 205A
3. เตาให้ความร้อน(Heating memtal) ยี่ห้อ Electromal ME cat NO. EME 6 0250 CE
4. เครื่อง Fourier Transform Infrared spectrometer (FT-IR) รุ่น FTIR Spectrum GX No. 60237
5. เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) ยี่ห้อ Perkin รุ่น Pyris 1 TGA
6. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1450 VP
7. เทอร์โมมิเตอร์
8. ชุดควบแน่น
9. ชุดรีฟลักซ์
10. กรวยกรองบุชเนอร์
11. กระดาษกรองเบอร์ 42
12. ขวดสามคอ ขนาด 500 มิลลิลิตร

### 3.3 แหล่งที่มาของตัวอย่างน้ำเสีย

ตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ได้มาจากการเตรียมสารละลายสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue มาอย่างละ 10 มิลลิกรัม นำมาทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนได้ 1000 มิลลิลิตร แล้วกวนผสมให้เข้ากัน

### 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.4.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานของสีย้อม

เตรียมสารละลายสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ที่ความเข้มข้น 1, 3, 5, 7 และ 10 พีพีเอ็ม นำมาวัดค่าความเข้มข้นของสีและสร้างกราฟมาตรฐาน

#### 3.4.2 การเตรียมโคม

นำโคมกันกระแทกมาบดให้เป็นเม็ดขนาดเล็ก ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12 เมช เก็บโคมที่อยู่ด้านบนของตะแกรงแยกไว้ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1.77 มิลลิเมตร และเก็บโคมที่ลอดผ่านตะแกรงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1.77 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 การเตรียมชุดควบคุม

ในทุกชุดการทดลองให้ทำชุดควบคุมโดยการนำเอาสารละลายสีย้อม ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีขนาดเท่ากับที่ใช้ในการทดลอง ในปริมาณที่เท่ากันด้วย และให้นำโคมทุกชนิดที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในปริมาณที่เท่ากันกับที่ใช้ในการทดลองแล้วใส่น้ำกลั่นลงไป ปริมาณเท่ากับสารละลายสีย้อม

### 3.4.4 ทดสอบความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของโคมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพโดยทำการทดลอง แบบครั้ง

เตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ Remazol Brilliant Blue R เติมโคมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพขนาดใหญ่มา 0.25 กรัม ลงในตัวอย่างน้ำเสีย 10 พีพีเอ็ม ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ ทำการเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองเม็ดโคมออกด้วยกรวยกรองบุชเนอร์และกระดาษกรองเบอร์ 42 จากนั้นนำน้ำเสียมาวัดความเข้มข้นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร คำนวณหาค่าความเข้มข้นของสีจากกราฟสารละลายมาตรฐาน และตัวอย่างน้ำเสีย C.I. Disperse Blue ทำการทดลองเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำเสีย Remazol Brilliant Blue R โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 759 นาโนเมตร ตารางที่ 3.1 แสดงสถานะที่ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

สถานะที่ใช้บำบัด	หน่วย	การแปรค่า
ขนาดโคมพอลิสไตรีน	กรัม	เล็ก (<1.77), ใหญ่ (>1.77)
เวลาที่ใช้บำบัด	ชั่วโมง	1, 3
ความเร็ว	รอบต่อนาที	150, 260, 400
ปริมาณของน้ำเสียสังเคราะห์	มิลลิลิตรต่อโคม 0.25 กรัม	25, 50, 100

### 3.4.5 ทดสอบการปรับปรุงสภาพผิวโคมพอลิสไตรีนให้มีประจุโดยปฏิกิริยารีดักทีฟแอมมิเนชัน ซึ่งมี 2 ขั้นตอนดังนี้

#### 1. ปฏิกิริยาฟรีเคิล-แครฟที่อะเซททิลเลชัน

ซึ่งโคมพอลิสไตรีน 10 กรัม เติมสารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ 80 มิลลิลิตร เติมอลูมิเนียมคลอไรด์ 28 กรัม ทำการกวนเร็ว จากนั้นเติมอะซิทิลคลอไรด์ 10 มิลลิลิตรที่ละลายอย่างช้าๆ ด้วยกรวยแยกจนหมดแล้วกวนต่อไปที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 1 ชั่วโมง กรองเอาโคมพอลิสไตรีนออกล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10% สารละลายโซเดียม-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% นำ สารละลายเอทานอล และสารละลายเมทานอล นำไปอบให้แห้งในตู้อบสูญญากาศเป็นเวลา 1 คืน นำไปตรวจสอบโดยใช้เครื่อง FT-IR , TGA และ SEM

## 2. ปฏิกริยารีดักทีฟแอมมิเนชัน (ประจุลบอย่างอ่อน)

นำขวดสามคอขนาด 1000 มิลลิลิตร ต่อกับชุดควมแน่นและเครื่องกวน ชั่ง โฟมพอลิสไตรีน (จากข้อ 1) 6 กรัม เติมนเมทิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์ 30 กรัม โซเดียมไซยาโนโบโรไฮไดรด์ 2 กรัม และแอนไฮดริสเมทานอล 150 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 65-67 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ปรับให้ค่าพีเอชน้อยกว่า 2 (ใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น) จากนั้นกรองเอาโฟมพอลิสไตรีนออกล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10% สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% น้ำกลั่น และสารละลายเมทานอล จากนั้นนำไปอบให้แห้งจะได้โฟมพอลิสไตรีนเป็น secondary amino anion exchange ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุลบ นำไปตรวจสอบโดยใช้เครื่อง FT-IR , TGA และ SEM

3.4.6 ทดสอบหาสภาวะที่ดีที่สุดในการบำบัดสี้อมโดยใช้โฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิว แล้วโดยนำโฟมพอลิสไตรีนที่สังเคราะห์ได้จากขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 มาทดสอบโดยทำการทดสอบแบบครึ่ง

### 1. เวลาที่ใช้การบำบัด

เตรียมตัวอย่างน้ำเสีย Remazol Brilliant Blue R เติม โฟมพอลิสไตรีนที่สังเคราะห์แล้วมา 0.25 กรัม ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ 10 พีพีเอ็ม ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ ทำการเขย่าด้วยความเร็ว 260 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองเอาเม็ดโฟมออกด้วยกรวยกรองบุชเนอร์และกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร คำนวณหาค่าความเข้มข้นของสีจากกราฟสารละลายมาตรฐาน และตัวอย่างน้ำเสีย C.I. Disperse Blue ทำการทดลองเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำเสีย Remazol Brilliant Blue R โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 759 นาโนเมตร

### 2. ความเร็ว

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 โดยเปลี่ยนความเร็วในการปั่นกวนเป็น 150 260 และ 400 รอบต่อนาที

### 3. ปริมาณ โฟมพอลิสไตรีน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่ใช้ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 25 ,50 และ 100 มิลลิลิตร และปริมาณ โฟมเท่ากับ 0.25 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงสภาวะที่ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

สภาวะที่ใช้บำบัด	หน่วย	การแปรค่า
ชนิด โฟมพอลิสไตรีนที่สังเคราะห์	กรัม	โฟม 1 , โฟม 2
เวลาที่ใช้บำบัด	ชั่วโมง	1, 3
ความเร็ว	รอบต่อนาที	150, 260, 400
ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์	มิลลิลิตรต่อ โฟม 0.25 กรัม	25, 50, 100

- โฟม 1 = โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation
- โฟม 2 = โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts และ Reductive Amination

#### 3.4.7 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด

วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียเพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ยังไม่ผ่านการบำบัด

#### 3.5 วิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง โฟมและน้ำเสียสังเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.3  
ตารางที่ 3.3 วิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
หมู่ฟังก์ชัน	FT-IR
จุดหลอมเหลว	TGA
ลักษณะของพื้นผิว	SEM
ค่าการดูดกลืนแสง	เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

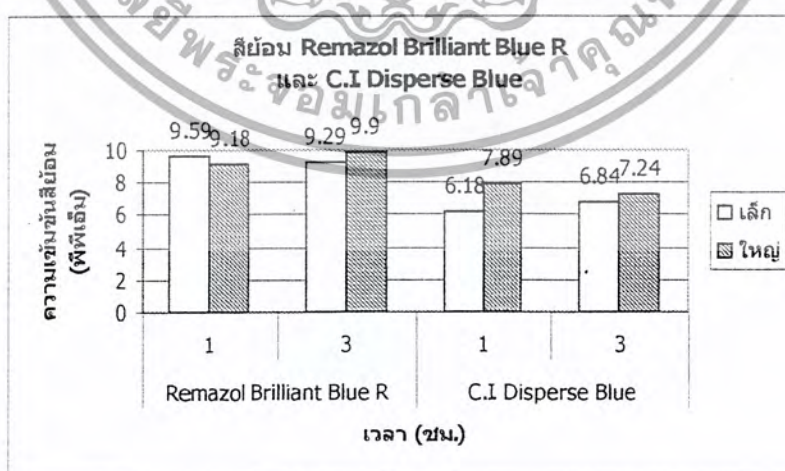
#### 4.1 เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วย โฟมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพ

นำโฟมพอลิสไตรีนที่มีขนาดเล็ก (< 1.77 มม.) มา 0.25 กรัม เขย่ากับสีย้อมที่มีความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ที่ความเร็ว 260 รอบ/นาที โดยใช้เวลาในการเขย่า 1 ชม. และ 3 ชม. หลังจากนั้นกรอง แล้วนำของเหลวที่ได้ไปวัดโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ทำการทดลองเช่นเดียวกันโดยเปลี่ยนโฟมเป็นขนาดใหญ่ (>1.77 มม.) แสดงผลดังตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.1 และ 4.2

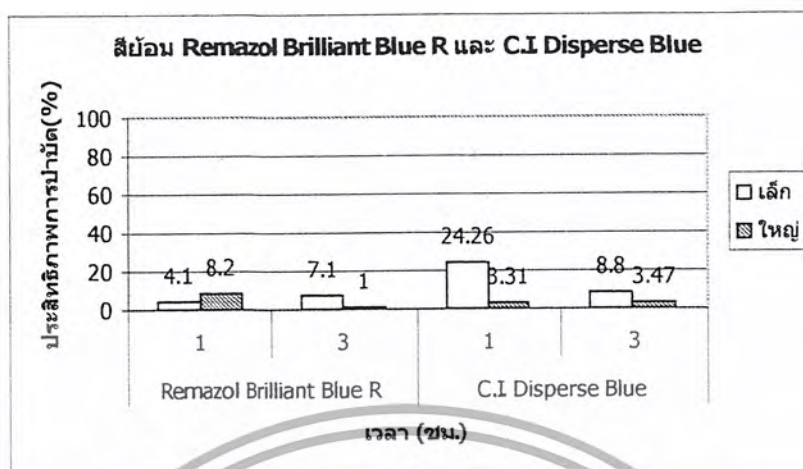
ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ขนาดโฟม และเวลา

		ความเข้มข้นสีย้อม (ppm) หลังการบำบัด			
		สีย้อม Remazol Brilliant Blue R		สีย้อม C.I. Disperse Blue	
เวลา (ชม.)	ขนาด(มม.)	1	3	1	3
< 1.77 (เล็ก)		9.59	9.29	6.18	6.84
>1.77 (ใหญ่)		9.18	9.90	7.89	7.24



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเข้มข้นสีย้อม และเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการย้อมและเวลา  
หมายเหตุ การคำนวณประสิทธิภาพการย้อมแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ของเหลวหรือน้ำสีที่กรองได้ในกรณีสีย้อม C.I. Disperse Blue พบว่ามีความเข้มข้นน้อยกว่าสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ในทุกเวลาในการเขย่า ถ้าหับสีย้อม C.I. Disperse Blue โฟมขนาดเล็กดูดซับสีได้ดีกว่าโฟมขนาดใหญ่

รูปที่ 4.2 โฟมที่ไม่ได้ปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการย้อมสีย้อม C.I. Disperse Blue ดีกว่าสีย้อม Remazol Brilliant Blue R คือ 24.28 และ 4.1% ตามลำดับ ในกรณีสีย้อม C.I. Disperse Blue โฟมที่มีขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการย้อมมากกว่าโฟมขนาดใหญ่ คือ 24.28 และ 3.31 % ตามลำดับ เนื่องจากโฟมขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่าและสีย้อมจะไปเกาะรอบผิวของโฟม และเวลาที่ใช้ในการย้อม 1 ชม. มีประสิทธิภาพดีกว่า

ในกรณีสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ประสิทธิภาพในการย้อมมีค่าใกล้เคียงกัน คือไม่ขึ้นกับขนาดของโฟมและเวลาในการเขย่า

#### 4.2 ความเร็วที่ใช้ในการย้อมสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโฟมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพ

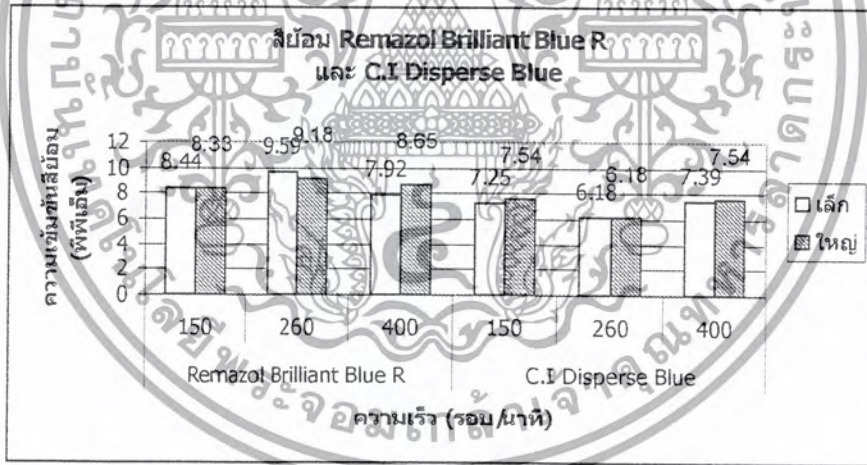
นำโฟมพอลิสไตรีนที่มีขนาดเล็ก (< 1.77 มม.) มา 0.25 กรัม เขย่ากับสีย้อมที่มีความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ที่เวลา 1 ชม. โดยใช้ความเร็วในการเขย่า 150, 260 และ 400 รอบ/นาที หลังจากนั้นกรอง แล้วนำของเหลวที่ได้ไปวัดโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองเช่นเดียวกัน โดยเปลี่ยนโฟมเป็นขนาดใหญ่ (>1.77 มม.) แสดงผลดังตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.3 และ 4.4

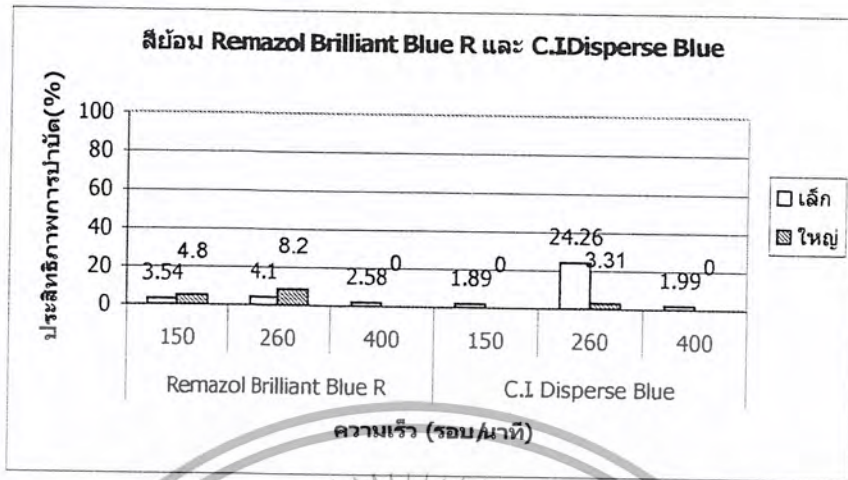
ตารางที่ 4.2 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ขนาดโฟม และความเร็ว

ความเร็ว (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นสีย้อม (ppm) หลังการบำบัด					
	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R			สีย้อม C.I. Disperse Blue		
ขนาด (มม.)	150	260	400	150	260	400
< 1.77 (เล็ก)	8.44	9.59	7.29	7.25	6.18	7.39
> 1.77 (ใหญ่)	8.33	9.18	8.65	7.54	6.18	7.54



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเข้มข้นสีย้อม และความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการย้อม และความเร็ว

ตารางที่ 4.2 ของเหลวหรือน้ำสีที่กรองได้ในกรณีสีย้อม C.I. Disperse Blue พบว่ามีความเข้มข้นน้อยกว่าสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ในทุกความเร็วในการเขย่า สำหรับสีย้อม C.I. Disperse Blue โฟมขนาดเล็กดูดซับสีได้ดีกว่าโฟมขนาดใหญ่

รูปที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบสีย้อม C.I. Disperse Blue และสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่ความเร็วเดียวกัน พบว่าสีย้อม C.I. Disperse Blue มีความเข้มข้นน้อยกว่าสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

รูปที่ 4.4 โฟมที่ไม่ได้ปรับสภาพมีประสิทธิภาพการย้อมสีย้อม C.I. Disperse Blue ดีกว่าสีย้อม Remazol Brilliant Blue R เนื่องจากสีย้อม Remazol Brilliant Blue R โครงสร้างทางเคมีของสีมีขนาดใหญ่กว่าสีย้อม C.I. Disperse Blue ในกรณีสีย้อม C.I. Disperse Blue โฟมขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการย้อมดีกว่าโฟมขนาดใหญ่ และความเร็วที่ใช้ในการเขย่า 260 รอบ/นาที ดีที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 24.26% (โฟมขนาดเล็ก)

ในกรณีสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ประสิทธิภาพการย้อมไม่ขึ้นกับขนาดของโฟม และความเร็วที่ใช้ในการเขย่า 260 รอบ/นาที ดีที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 4.10% (โฟมขนาดเล็ก)

### 4.3 อัตราส่วนที่ใช้ในการย้อมสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโฟมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพ (โฟม : สีย้อม)

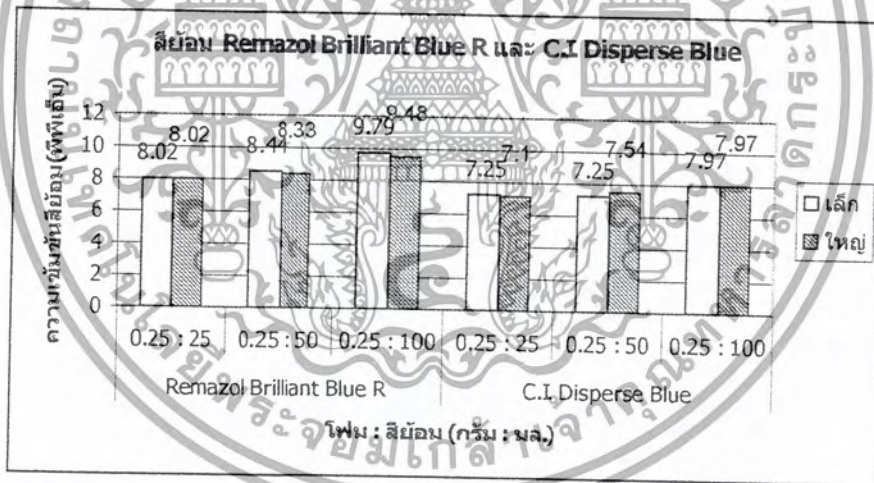
นำโฟมพอลิสไตรีนที่มีขนาดเล็ก (< 1.77 มม.) มา 0.25 กรัม เขย่ากับสีย้อมที่มีความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ที่เวลา 1 ชม. ความเร็ว 150 รอบ/นาที โดยใช้ปริมาณสีย้อม 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร

หลังจากนั้นกรอง แล้วนำของเหลวที่ได้ไปวัดโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ห้ามมิให้ผู้ใดนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองเช่นเดียวกัน โดยเปลี่ยน โฟมเป็นขนาดใหญ่ (>1.77 มม.) แสดงผลดังตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.5 และ 4.6

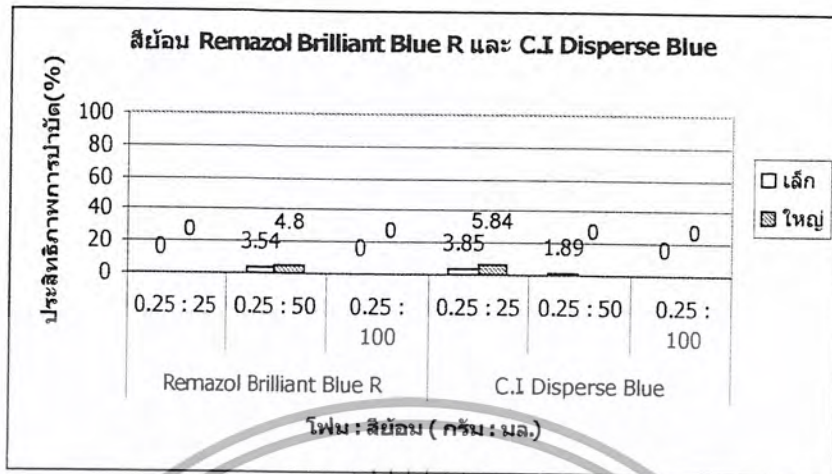
ตารางที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ขนาดโฟม และอัตราส่วน โฟม : สีย้อม

ความเร็ว (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นสีย้อม (ppm)หลังการบำบัด					
	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R			สีย้อม C.I. Disperse Blue		
	0.25:25	0.25:50	0.25:100	0.25:25	0.25:50	0.25:100
ขนาด (มม.)						
< 1.77 (เล็ก)	8.02	8.44	9.79	7.25	7.25	7.97
>1.77 (ใหญ่)	8.02	8.33	9.48	7.10	7.54	7.97



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเข้มข้นสีย้อม และอัตราส่วน โฟม : สีย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงประสิทธิภาพการย้อมและอัตราส่วน โพลี : สีย้อม

ตารางที่ 4.3 ของเหลวหรือน้ำสีที่กรองได้ในกรณีสีย้อม C.I. Disperse Blue พบว่ามีความเข้มข้นน้อยกว่าสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ในทุกอัตราส่วน และที่อัตราส่วนเดียวกัน โพลีขนาดเล็กและใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบสีย้อม C.I. Disperse Blue และสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่อัตราส่วนเดียวกัน พบว่าสีย้อม C.I. Disperse Blue มีความเข้มข้นน้อยกว่าสีย้อม Remazol Brilliant Blue R เนื่องจากสีย้อม C.I. Disperse Blue ไม่ละลายน้ำสามารถย้อมได้มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบขนาดของโพลี พบว่าโพลีขนาดใหญ่และเล็กให้ผลไม่แตกต่างกันในสีทั้ง 2 ชนิดและในทุกอัตราส่วนที่ศึกษา

รูปที่ 4.6 โพลีที่ไม่ได้ปรับสภาพมีประสิทธิภาพการย้อมสีย้อม C.I. Disperse Blue ต่ำกว่าสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ในกรณีสีย้อม C.I. Disperse Blue ประสิทธิภาพการย้อมไม่ขึ้นกับขนาดของโพลี และอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 0.25 : 25

ในกรณีสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ประสิทธิภาพการย้อมไม่ขึ้นกับขนาดของโพลี และอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 0.25 : 50

#### 4.4 เวลาที่ใช้ในการย้อมสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโพลีพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิวแล้ว

นำโพลีพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิวแล้วมา 0.25 กรัม เขย่ากับสีย้อมที่มีความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ที่ความเร็ว 260 รอบ/นาที โดยใช้เวลาในการเขย่า 1 ชม. และ 3 ชม. หลัง

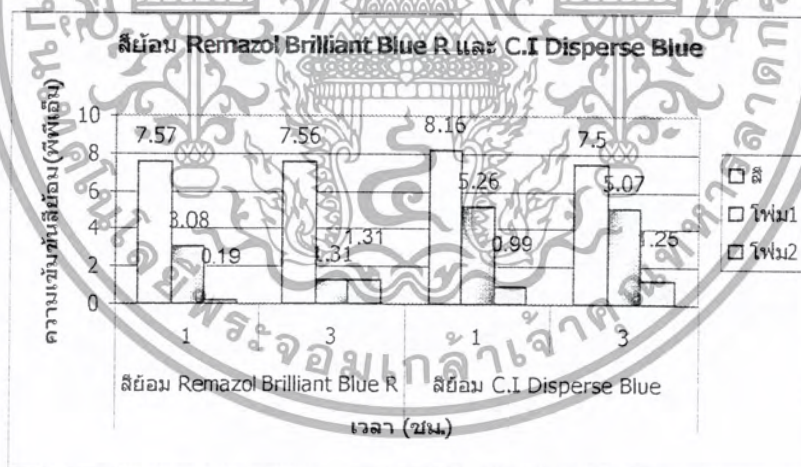
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นกรอง แล้วนำของเหลวที่ได้ไปวัด โดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แสดงผลดัง ตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.4 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ชนิดโคม และเวลา

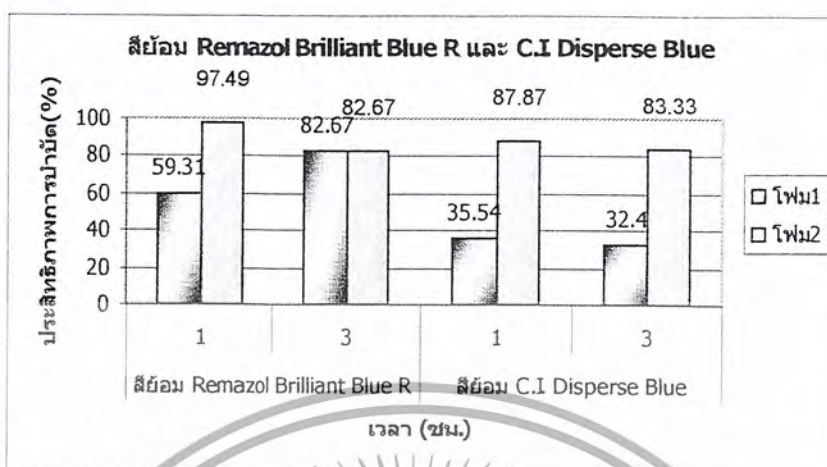
เวลา (ชม.)	ความเข้มข้นสีย้อม (ppm) หลังบำบัด			
	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R		สีย้อม C.I. Disperse Blue	
	1	3	1	3
ชนิด โคม				
สี	7.57	7.56	8.16	7.5
โคม1	3.08	1.31	5.26	5.07
โคม2	0.19	1.31	0.99	1.25

- สี = สีย้อมที่นำไปเขย่าและกรอง (Blank)
- โคม 1 = โคมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation
- โคม 2 = โคมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts และ Reductive Amination



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเข้มข้นสีย้อม และเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงประสิทธิภาพการนำย้อม และเวลา

ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7 เมื่อนำโพนที่ปรับสภาพผิวแล้วมานำย้อมสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และสีย้อม C.I. Disperse Blue ที่เวลา 1 ชม. และ 3 ชม. พบว่าโพน1 และโพน2 ที่ปรับสภาพผิวแล้วดูดซับสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ได้ดีกว่าสีย้อม C.I. Disperse Blue

รูปที่ 4.8 ในกรณีสีย้อม Remazol Brilliant Blue R พบว่าโพน1 มีประสิทธิภาพการนำย้อมสูงขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนจาก 1 ชม. เป็น 3 ชม. แต่โพน2 มีประสิทธิภาพการนำย้อมลดลงเมื่อเวลานานขึ้น

ในกรณีสีย้อม C.I. Disperse Blue โพน1 และ โพน2 มีประสิทธิภาพการนำย้อมไม่ขึ้นกับเวลาในการเขย่า เนื่องจากให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน แต่โพน1 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าโพน2

และเมื่อเปรียบเทียบกับโพนพอลิस्टาไทรนที่ไม่ได้ปรับสภาพ ประสิทธิภาพการนำย้อมสีย้อมเรียงลำดับดังนี้ โพน2 > โพน1 > โพนที่ไม่ได้ปรับสภาพ โดยสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่เวลา 1 ชม. มีค่าเท่ากับ  $97.49\% > 59.31\% > 4.10\%$  (โพนขนาดเล็ก) และสีย้อม C.I. Disperse Blue ที่เวลา 1 ชม. มีค่าเท่ากับ  $87.87\% > 35.54\% > 24.26\%$  (โพนขนาดเล็ก)

#### 4.5 ความเร็วที่ใช้ในการนำย้อมสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโพนพอลิस्टาไทรนที่ปรับสภาพผิวแล้ว

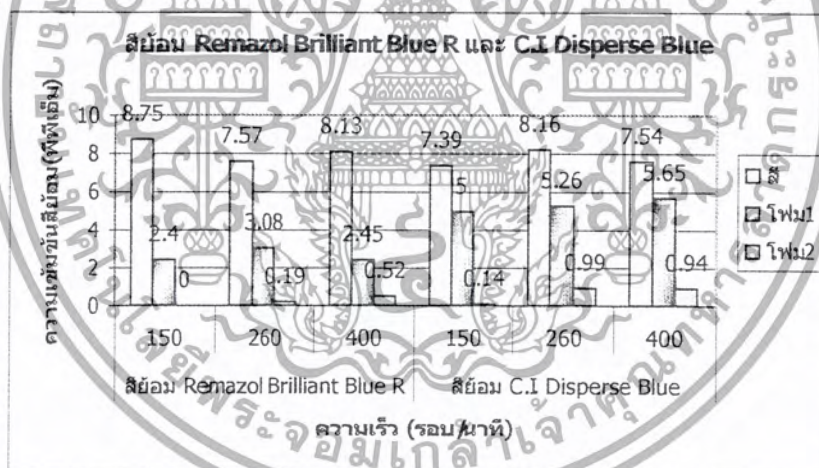
นำโพนพอลิस्टาไทรนที่ปรับสภาพผิวแล้วมา 0.25 กรัม เขย่ากับสีย้อมที่มีความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ที่เวลา 1 ชม. โดยใช้ความเร็วในการเขย่า 150 ,260 และ 400 รอบ/นาที หลังจากนั้นกรอง แล้วนำของเหลวที่ได้ไปวัดโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แสดงผลดังตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.9 และ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ชนิด โฟม และความเร็ว

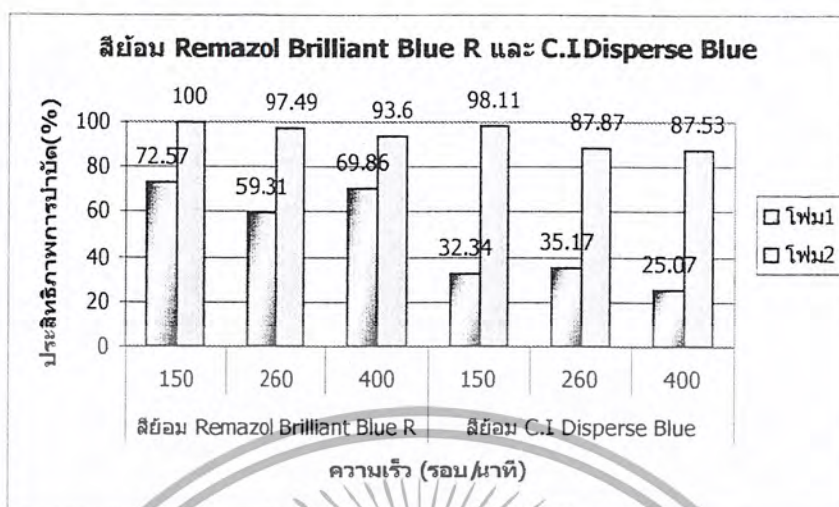
ชนิดโฟม	ความเข้มข้นสีย้อม (ppm) หลังการบำบัด					
	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R			สีย้อม C.I. Disperse Blue		
	150	260	400	150	260	400
สี	8.75	7.57	8.13	7.39	8.16	7.54
โฟม1	2.4	3.08	2.45	5.00	5.26	5.65
โฟม2	0	0.19	0.52	0.14	0.99	0.94

- สี = สีย้อมที่นำไปเจียและกรอง (Blank)
- โฟม 1 = โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation
- โฟม 2 = โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts และ Reductive Amination



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเข้มข้นสีย้อมและความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดและความเร็ว

ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.9 ที่ความเร็ว 150, 260 และ 400 รอบ/นาที พบว่าโฟม 1 และโฟม 2 ดูดซับสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ได้ดีกว่าสีย้อม C.I. Disperse Blue

รูปที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และสีย้อม C.I. Disperse Blue พบว่าโฟม 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีกว่าโฟม 1 ในทุกความเร็วในการเขย่า โดยเรียงลำดับความเร็วได้ดังนี้ ที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที > 260 รอบ/นาที > 400 รอบ/นาที โดยสีย้อม Remazol Brilliant Blue R มีค่าเท่ากับ 100% > 97.49% > 93.6% และสีย้อม C.I. Disperse Blue มีค่าเท่ากับ 98.11% > 87.87% > 87.53%

โฟม 2 ของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และสีย้อม C.I. Disperse Blue มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุดคือที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที โดยมีค่าเท่ากับ 100% และ 98.11% ตามลำดับ

#### 4.6 อัตราส่วนที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue ด้วยโฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิวแล้ว

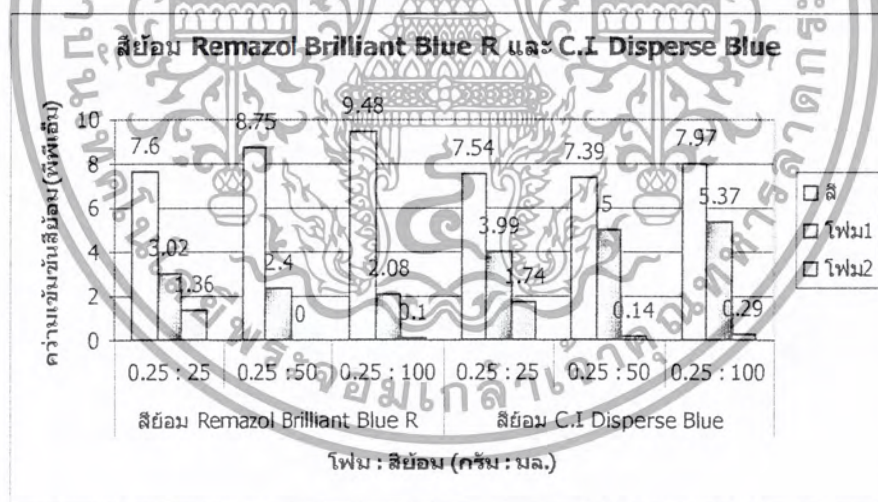
นำโฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิวแล้วมา 0.25 กรัม เขย่ากับสีย้อมที่มีความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ที่เวลา 1 ชม. ความเร็ว 260 รอบ/นาที โดยใช้ปริมาณสีย้อม 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นกรอง แล้วนำของเหลวที่ได้ไปวัดโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แสดงผลดังตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.11 และ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงความเข้มข้นของสีย้อม (ppm) ที่ชนิดโพลีเมอร์และอัตราส่วนโพลีเมอร์ : สีย้อม

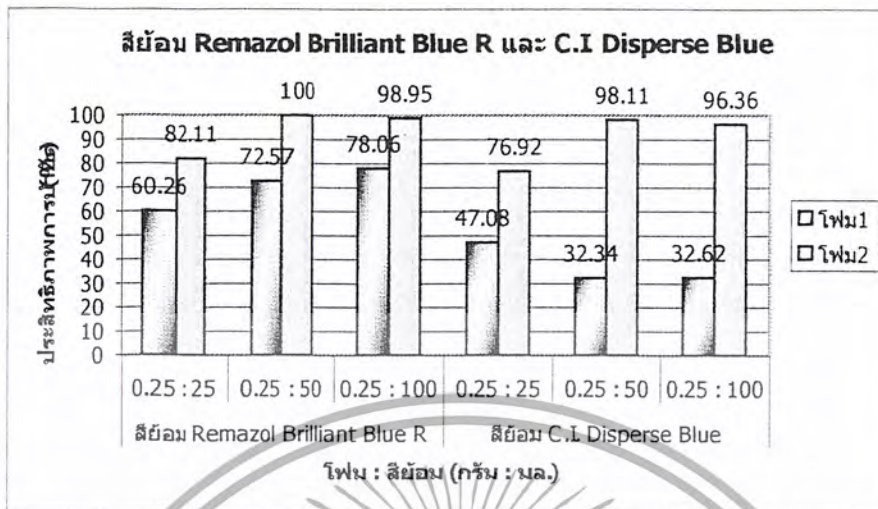
ชนิดโพลีเมอร์ โพลีเมอร์:สีย้อม(กรัม/ มล.)	ความเข้มข้นสีย้อม (ppm) หลังการบำบัด					
	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R			สีย้อม C.I. Disperse Blue		
	0.25 : 25	0.25 : 50	0.25 : 100	0.25 : 25	0.25 : 50	0.25 : 100
สี	7.6	8.75	9.48	7.54	7.39	7.97
โพลีเมอร์ 1	3.02	2.4	2.08	3.99	5.00	5.37
โพลีเมอร์ 2	1.36	0	0.1	1.74	0.14	0.29

- สี = สีย้อมที่นำไปเขย่าและกรอง (Blank)
- โพลีเมอร์ 1 = โพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation
- โพลีเมอร์ 2 = โพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts และ Reductive Amination



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเข้มข้นสีย้อม และอัตราส่วนโพลีเมอร์ : สีย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงประสิทธิภาพการย้อม และอัตราส่วน โฟม : สีย้อม

ตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.11 ที่อัตราส่วน 0.25 : 25, 0.25 : 50 และ 0.25 : 100 พบว่า โฟม 1 และ โฟม 2 ดูดซับสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ได้ดีกว่าสีย้อม C.I. Disperse Blue

รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพการย้อมของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และสีย้อม C.I. Disperse Blue พบว่า โฟม 2 ที่อัตราส่วน 0.25 : 50 มีประสิทธิภาพในการย้อมสีทั้ง 2 ชนิดดีที่สุด (สีย้อม Remazol Brilliant Blue R มีค่าเท่ากับ 100% และสีย้อม C.I. Disperse Blue มีค่าเท่ากับ 98.11%) รองลงมา 0.25 : 100 (สีย้อม Remazol Brilliant Blue R มีค่าเท่ากับ 98.95% และสีย้อม C.I. Disperse Blue มีค่าเท่ากับ 96.36%) และน้อยที่สุดคือ 0.25 : 25 ตามลำดับ (สีย้อม Remazol Brilliant Blue R มีค่าเท่ากับ 82.11% และสีย้อม C.I. Disperse Blue มีค่าเท่ากับ 76.92%) เนื่องจากที่อัตราส่วน 0.25 : 25 ปริมาณสีย้อมมีน้อยมาก ขณะเย็บ โฟมจึงไปติดเกาะอยู่ที่ข้างขวด การสัมผัสระหว่าง โฟมกับสีจึงมีน้อยทำให้ประสิทธิภาพในการย้อมต่ำ ส่วนที่อัตราส่วน 0.25 : 50 และ 0.25 : 100 โฟมสามารถสัมผัสกับสีย้อมได้อย่างทั่วถึง และที่อัตราส่วน 0.25 : 100 ปริมาณสีย้อมมีมากเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพในการย้อมต่ำกว่าที่อัตราส่วน 0.25 : 50 ซึ่งมีปริมาณสีย้อมน้อยกว่าทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่า

สำหรับ โฟม 1 ประสิทธิภาพการย้อมสีทั้ง 2 ชนิดน้อยกว่า โฟม 2 ในกรณีสีย้อม Remazol Brilliant Blue R อัตราส่วนที่ดีที่สุดที่แสดงประสิทธิภาพสูงสุดคือ 0.25 : 100 ส่วนกรณีสีย้อม C.I. Disperse Blue อัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 0.25 : 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.7 ลักษณะทางกายภาพ

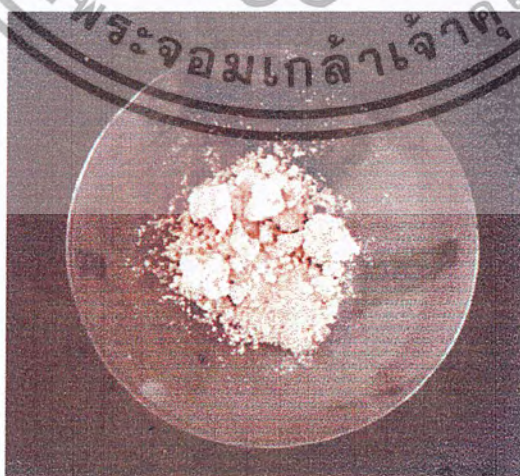
### 4.7.1 ลักษณะทางกายภาพของโพลีฟอสไฟเตสไตรีนที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ



รูปที่ 4.13 แสดงโพลีฟอสไฟเตสไตรีนที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าโพลีฟอสไฟเตสไตรีนที่ยังไม่ได้ปรับสภาพจะมีลักษณะเป็นแผ่น เมื่อนำมาบดจะได้เม็ดโพลีสีขาว น้ำหนักเบา สามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย

### 4.7.2 ลักษณะทางกายภาพของโพลีฟอสไฟเตสไตรีนที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation



รูปที่ 4.14 แสดงโพลีฟอสไฟเตสไตรีนที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าโพลีฟอสฟอไรต์ที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้ว จะมีกลิ่นฉุน มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองอ่อน

#### 4.7.3 ลักษณะทางกายภาพของโพลีฟอสฟอไรต์ที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และปฏิกิริยา Reductive Amination

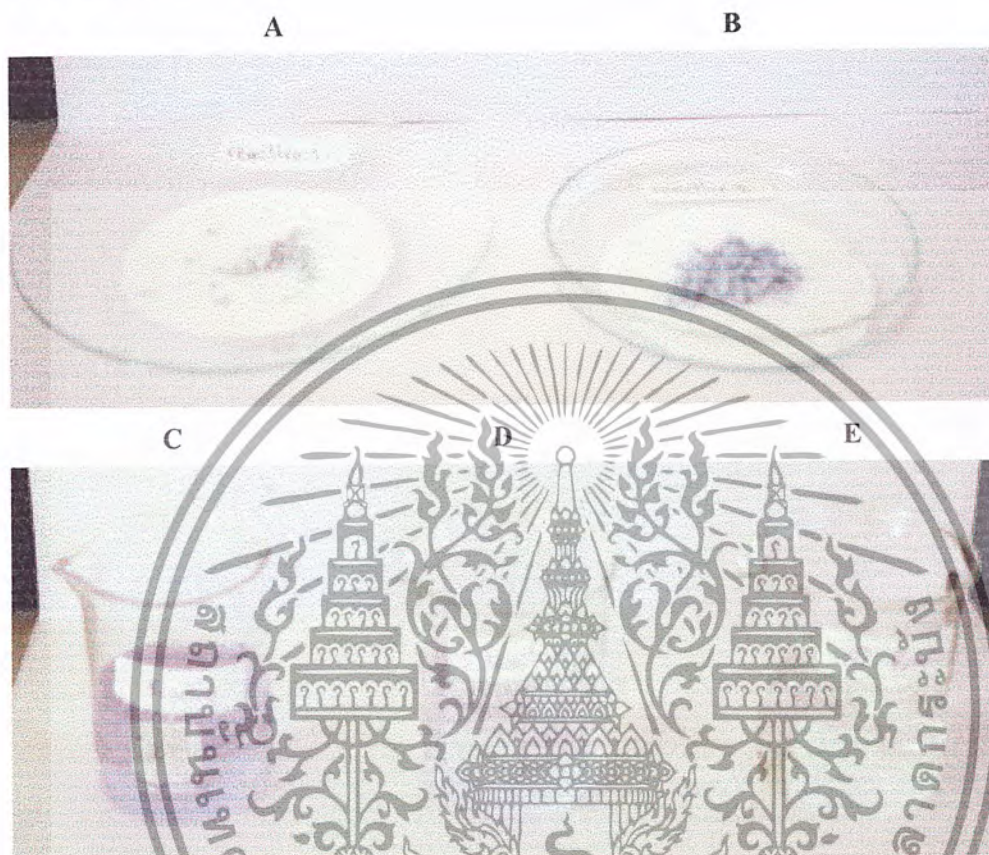


รูปที่ 4.15 แสดง โพลีฟอสฟอไรต์ที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และปฏิกิริยา Reductive Amination

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าโพลีฟอสฟอไรต์ที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และปฏิกิริยา Reductive Amination จะมีลักษณะเป็นผงสีขาว และไม่มีกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7.4 ลักษณะทางกายภาพของโพลีพอลิไคไทรอินที่ปรับสภาพและนำเสียดสีเคราะห์หลังจากการบำบัดสีย้อม



รูปที่ 4.16 แสดง โพลีที่ปรับสภาพบำบัดน้ำเสียดสีย้อมแล้วและสารละลายที่ได้จากการบำบัด  
A คือ โพลีพอลิไคไทรอินที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โพลี 1)  
บำบัดน้ำเสียดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

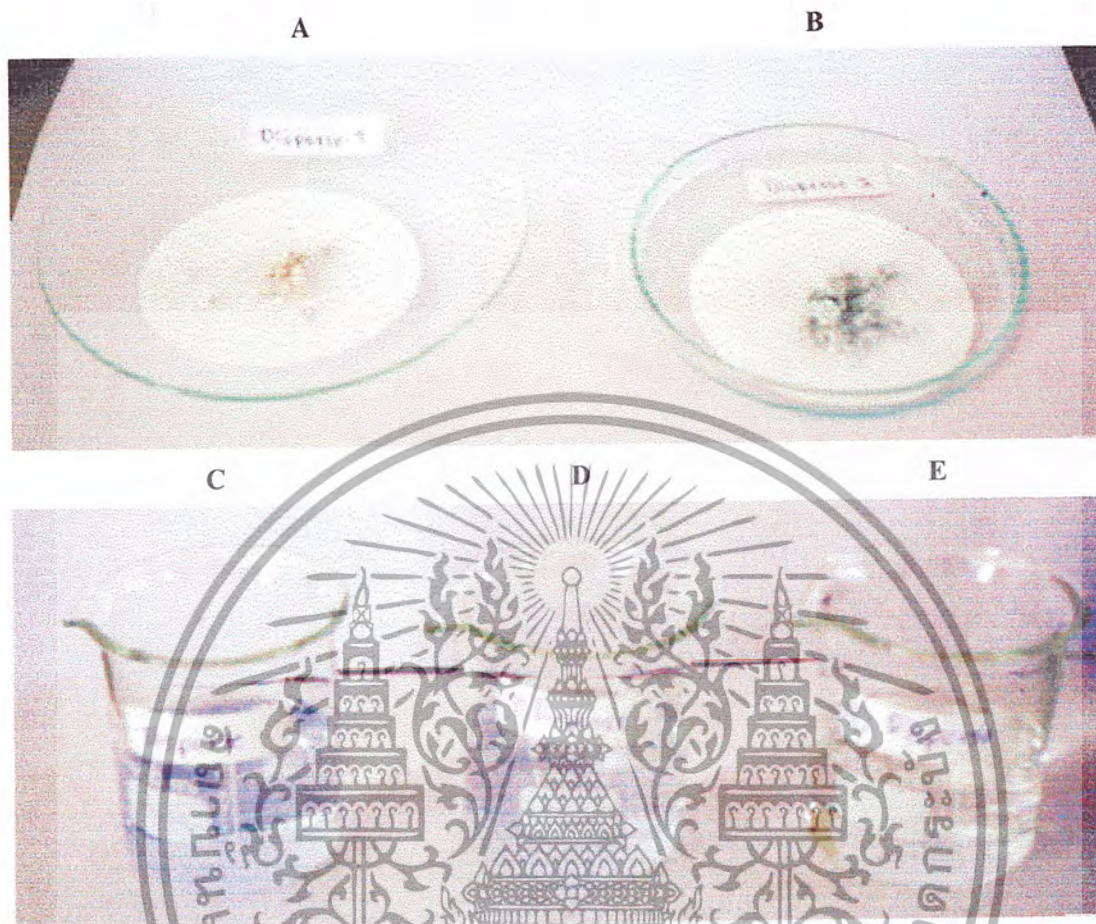
B คือ โพลีพอลิไคไทรอินที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ ปฏิกิริยา  
Reductive Amination (โพลี 2) บำบัดน้ำเสียดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

C คือ น้ำเสียดสีเคราะห์สีย้อม Remazol Brilliant Blue R

D คือ สารละลายที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ด้วยโพลีพอลิไคไทรอินที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โพลี 1)

E คือ สารละลายที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ด้วยโพลีพอลิไคไทรอินที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ ปฏิกิริยา Reductive Amination (โพลี 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงโพนที่ปรับสภาพนำมันน้ำเสียสีข้อมแล้วและสารละลายที่ได้จากการบำบัด

A คือ โพนพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation นำมันน้ำเสียสีข้อม C.I.Disperse Blue (โพน 1)

B คือ โพนพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ ปฏิกิริยา Reductive Amination นำมันน้ำเสียสีข้อม C.I.Disperse Blue (โพน 2)

C คือ น้ำเสียสังเคราะห์สีข้อม C.I. Disperse Blue

D คือ สารละลายที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียสีข้อม C.I.Disperse Blue ด้วยโพนพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โพน 1)

E คือ สารละลายที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียสีข้อม C.I.Disperse Blue ด้วยโพนพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ ปฏิกิริยา Reductive Amination (โพน 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 จะพบว่าโพลีเมอร์ที่บำบัดสีย้อมทั้งสองชนิดนั้น โพลีเมอร์ 2 จะมีสีติดอยู่บนผิวมากกว่าโพลีเมอร์ 1 ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่ได้ เมื่อเทียบสีก่อนและหลังบำบัดจะพบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดด้วยโพลีเมอร์ที่ปรับสภาพแล้วจะมีสีที่ลดลง และน้ำเสียที่บำบัดด้วยโพลีเมอร์ 1 จะมีสีเข้มกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยโพลีเมอร์ 2

- โพลีเมอร์ 1 คือ โพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation
- โพลีเมอร์ 2 คือ โพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts และ Reductive Amination



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง FT-IR

การเตรียมตัวอย่างทำโดยนำเอาตัวอย่างมาคกับโพแทสเซียมโบรไมด์ ผสมให้เข้ากัน และนำไปอัดเป็นแผ่น จากนั้นนำไปวัดโดยเครื่อง FT-IR โดยตำแหน่งพิกของหมู่ฟังก์ชันต่างๆอ้างอิงมาจาก R.M.Siverstein et al ,1981

##### 4.8.1 โฟมพอลิสไตรีน

ตารางที่ 4.7 แสดงตำแหน่งพิกหลักของโฟมพอลิสไตรีน

หมู่ฟังก์ชัน	ตำแหน่งพิก ( $\text{cm}^{-1}$ )	ตำแหน่งพิกที่ตรวจวัดได้ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Aromatic	$1600 \pm 5$	1601
CH bending of $\text{CH}_2$	1470-1400	1452

##### 4.8.2 สีย้อม C.I. Disperse Blue

ตารางที่ 4.8 แสดงตำแหน่งพิกหลักของสีย้อม C.I Disperse Blue

หมู่ฟังก์ชัน	ตำแหน่งพิก ( $\text{cm}^{-1}$ )	ตำแหน่งพิกที่ตรวจวัดได้ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Aromatic ketone	$1690 \pm 10$	1693
$\text{NH}_2$	3500-3300	3437
Primary alcohol	1050	1037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8.3 สีย้อม Remazol Brilliant Blue R

ตารางที่ 4.9 แสดงตำแหน่งพีกหลักของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

หมู่ฟังก์ชัน	ตำแหน่งพีก ( $\text{cm}^{-1}$ )	ตำแหน่งพีกที่ตรวจวัดได้ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Aromatic C-C Continued	$1500 \pm 25$	1491
Aryl - $\text{NH}_2$	3500-3300	3450
Sulphonic acid	1260-1150	1270
	1080-1050	1041
	700-650	650

#### 4.8.4 โฟมพอลิไทรินที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โพนม1)

ตารางที่ 4.10 แสดงตำแหน่งพีกหลักของ Acetylated intermediate

หมู่ฟังก์ชัน	ตำแหน่งพีก ( $\text{cm}^{-1}$ )	ตำแหน่งพีกที่ตรวจวัดได้ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Aromatic ketone	$1690 \pm 10$	1678
Aromatic	$1600 \pm 5$	1601
$\text{CH}_3$ -Carbonyl group	$1415 \pm 10$	1415

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8.5 โฟมพอลิไตรอินที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination (โฟม2)

ตารางที่ 4.11 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของ Reductive Amination of acetylated intermediate

หมู่ฟังก์ชัน	ตำแหน่งพิกัด ( $\text{cm}^{-1}$ )	ตำแหน่งพิกัดที่ตรวจวัดได้ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Secondary amine	3350-3310	~3400
Aromatic	$1600 \pm 5$	1604
$\text{CH}_3$ -Nitrogen	1420-1415	1416
Aromatic ketone	$1690 \pm 10$	1681

#### 4.8.6 โฟมพอลิไตรอินที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1) แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียด้วย C.I. Disperse Blue

ตารางที่ 4.12 แสดงตำแหน่งพิกัดหลักของโฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียด้วย C.I. Disperse Blue

หมู่ฟังก์ชัน	ตำแหน่งพิกัด ( $\text{cm}^{-1}$ )	ตำแหน่งพิกัดที่ตรวจวัดได้ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Aromatic ketone โฟม	$1690 \pm 10$	1682
Aromatic	$1600 \pm 5$	1604
$\text{CH}_3$ -Carbonyl group	$1415 \pm 10$	1415
Aromatic ketone สี	$1690 \pm 10$	1682
$\text{NH}_2$	3500-3300	3468
Primary alcohol	1050	~1050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.7 โฟมพอลิไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination (โฟม2) แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I.Disperse Blue

ตารางที่ 4.13 แสดงตำแหน่งพีดหลักของ โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I.Disperse Blue

หมู่ฟังก์ชัน	ตำแหน่งพีด ( $\text{cm}^{-1}$ )	ตำแหน่งพีดที่ตรวจวัดได้ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Secondary amine โฟม	3350-3310	3421
Aromatic	$1600 \pm 5$	1603
$\text{CH}_3$ -Nitrogen	1420-1415	1415
Aromatic ketone โฟม	$1690 \pm 10$	1681
Aromatic ketone สี	$1690 \pm 10$	1681
$\text{NH}_2$ สี	3500-3300	3421
Primary alcohol	1050	1075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.8 โฟมพอลิไทรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation (โฟม1) แล้วนำไป  
บ่มบับค้ำน้ำเสี่ย้อม Remazol Brilliant Blue R

ตารางที่ 4.14 แสดงตำแหน่งพีดหลักของที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำ  
ไปบับค้ำน้ำเสี่ย้อม Remazol Brilliant Blue R

หมู่ฟังก์ชัน	ตำแหน่งพีด ( $\text{cm}^{-1}$ )	ตำแหน่งพีดที่ตรวจวัดได้ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Aromatic ketone โฟม	$1690 \pm 10$	1682
Aromatic	$1600 \pm 5$	1604
$\text{CH}_3$ -Carbonyl group	$1415 \pm 10$	1415
Aromatic C-C Continued	$1500 \pm 25$	1491
Aryl - $\text{NH}_2$	3500-3300	~3400
Sulphonic acid	1260-1150	1267
	1080-1050	1011
	700-650	699

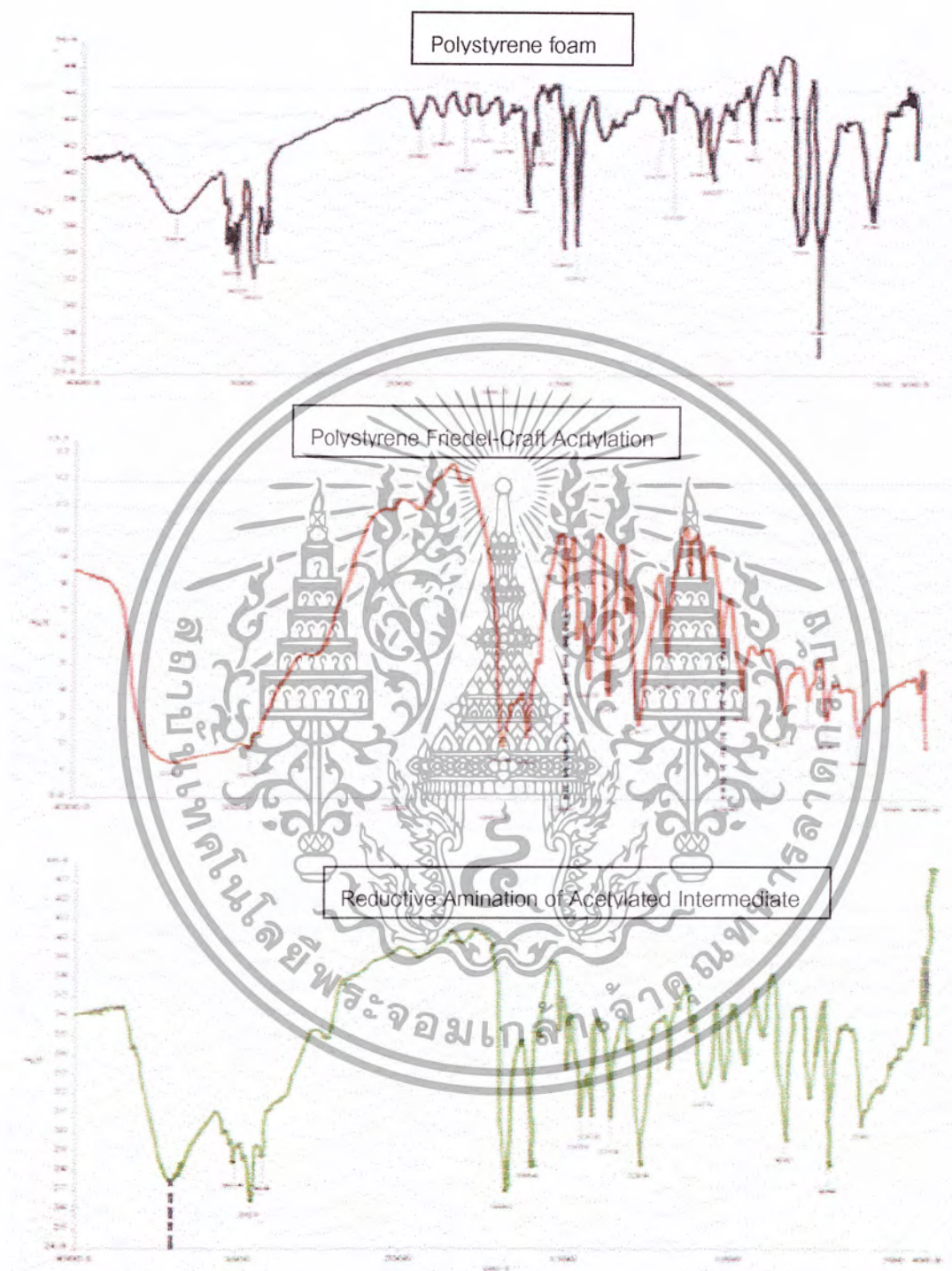
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.9 โฟมพอลิไตรอินที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination (โฟม2) แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

ตารางที่ 4.15 แสดงตำแหน่งพีดหลักของโฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

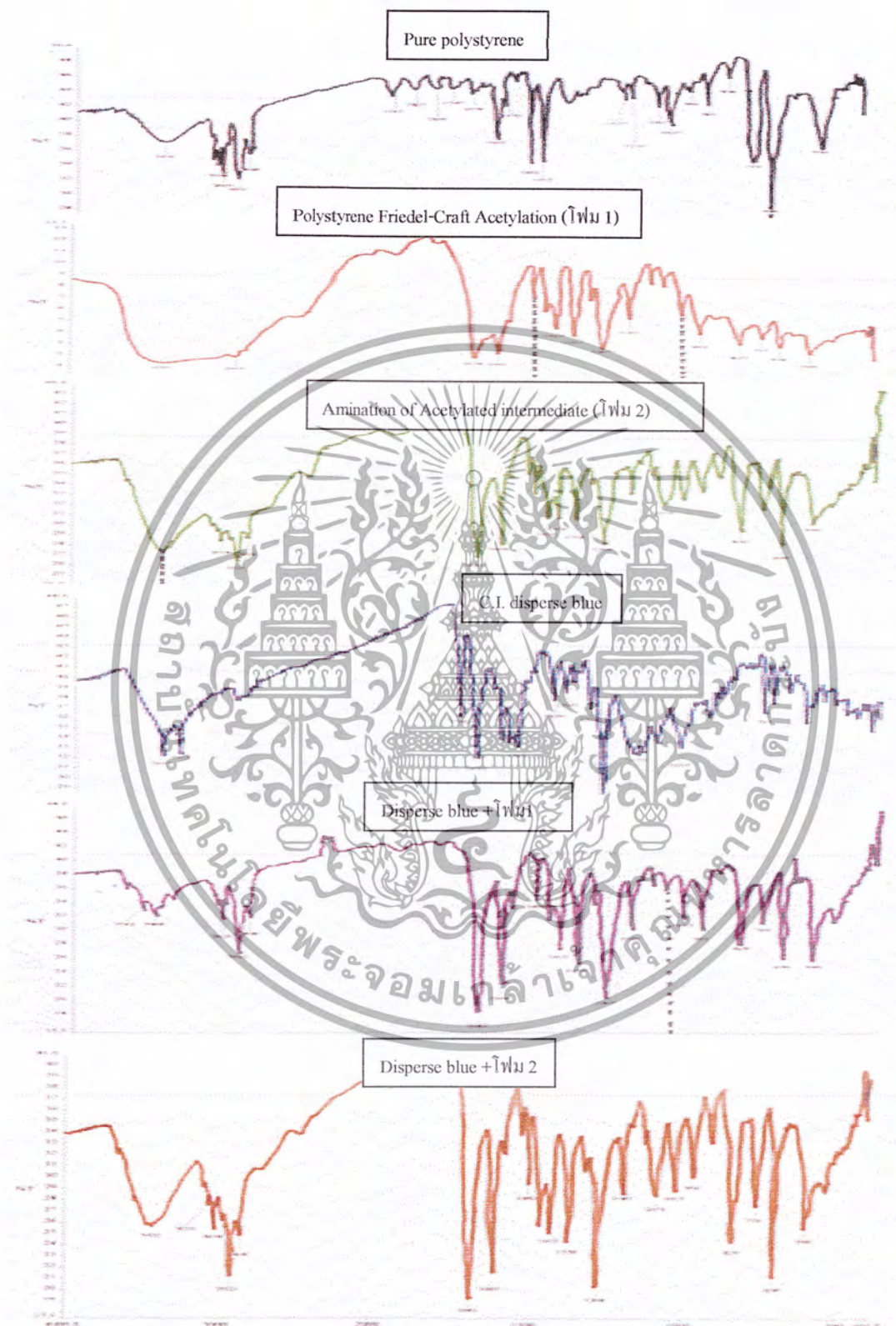
หมู่ฟังก์ชัน	ตำแหน่งพีด ( $\text{cm}^{-1}$ )	ตำแหน่งพีดที่ตรวจวัดได้ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Secondary amine โฟม	3350-3310	~3400
Aromatic	$1600 \pm 5$	1601
$\text{CH}_3$ -Nitrogen	1420-1415	1413
Aromatic ketone โฟม	$1690 \pm 10$	1681
Aromatic C-C Continued	$1500 \pm 25$	1491
Aryl - $\text{NH}_2$	3500-3300	~3400
Sulphonic acid	1260-1150	1266
	1080-1050	1070
	700-650	699

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



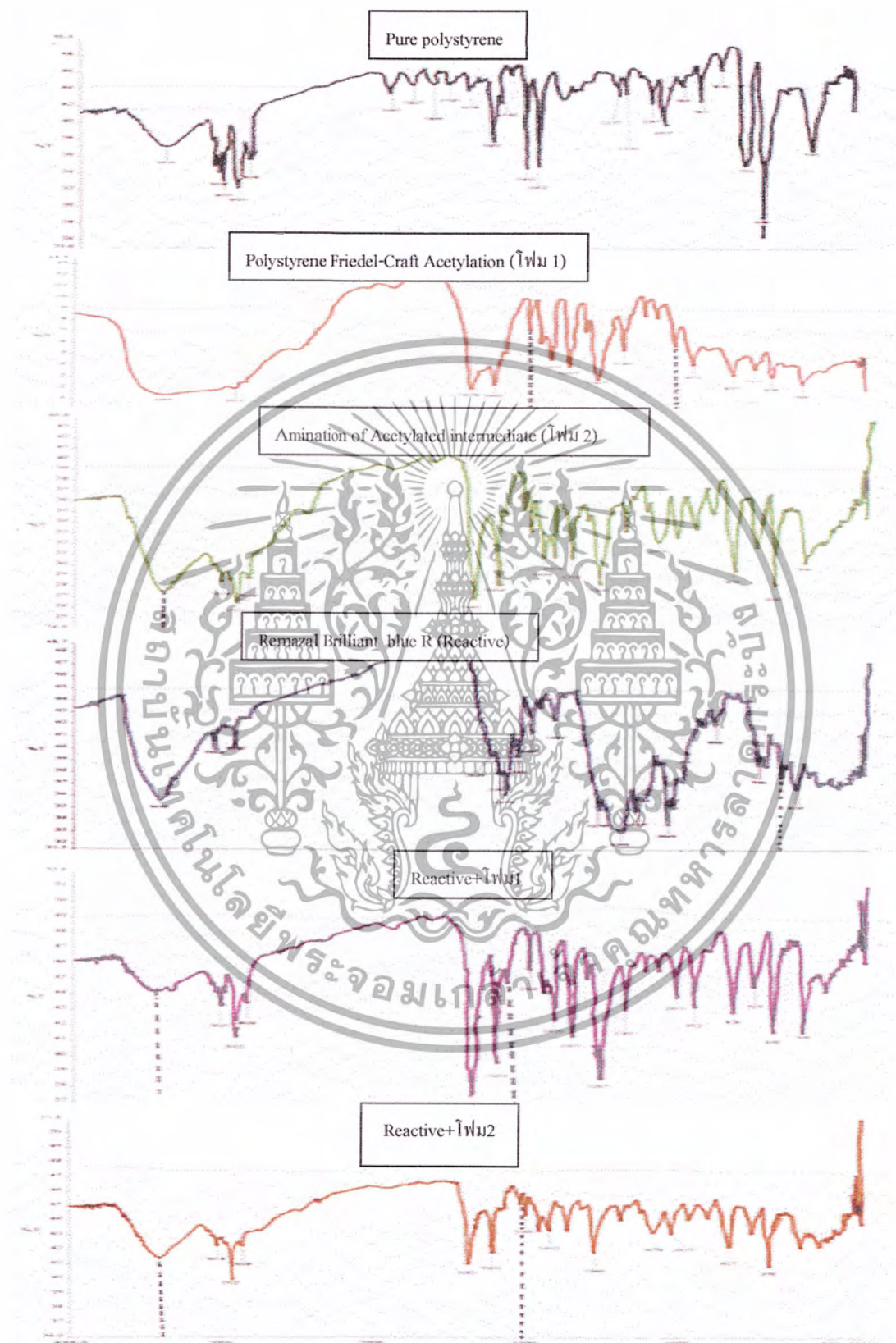
**รูปที่ 4.18** แสดงพีคของ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านการปรับปรุงแล้วด้วย FT-IR  
 ภาพบนแสดงพีคของ โฟมพอลิสไตรีนที่ยังไม่ได้ปรับปรุง  
 ภาพกลางแสดงพีคของ โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Craft Acetylation  
 ภาพล่างแสดงพีคของ โฟมที่ผ่านปฏิกิริยาแรกกับปฏิกิริยา Reductive Amination

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่ไปยังหน่วยงานอื่น  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงพิกของโฟมที่ปรับสภาพที่บำบัดน้ำเสียสีเขียวคิสเพอร์ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงพีคของโพลีที่ปรับสภาพที่นำมันน้ำเสียสีข้อม Remazol Brilliant Blue R เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่เชิงพาณิชย์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8.10 วิเคราะห์ผล FT- IR

จากตารางที่ 4.7 4.10 และ 4.11 และรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของพีค เห็นได้จากภาพกลางของรูปที่ 4.13 มีตำแหน่งพีคของคาร์บอนิลปรากฏอยู่ซึ่งในภาพบนมีไม่ชัดเจน และในภาพล่างก็มีพีคของ Secondary amine ปรากฏอยู่ด้วยเช่นกัน แต่ในภาพล่างก็ยังมีพีคของคาร์บอนิลปรากฏอยู่ด้วยอาจเนื่องมาจากการสังเคราะห์นั้นทำได้ไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถรีดิวซ์คาร์บอนิลให้หมดได้ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยืนยันได้ว่าสามารถสังเคราะห์โพรพอลิตไครีนกัน กระแทกได้

จากตารางที่ 4.10 4.12 และ 4.14 และรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำโพรพอลิตไครีนที่ทำปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation ไปบ่มกับน้ำเสี่ยสีย้อมแล้ว พบว่ารูปร่างของพีคที่ได้แตกต่างกับโพรพอลิตไครีนก่อนบ่ม และมีพีคของสีย้อมปรากฏอยู่ โดยมีตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งพีคของโพรพอลิตไครีนก่อนบ่ม ทำให้ไม่สามารถบอกได้ว่าโพรพอลิตไครีนที่ปรับสภาพด้วยปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation นั้นสามารถบ่มกับน้ำเสี่ยสีย้อมได้

ส่วนโพรพอลิตไครีนที่ทำปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation และ Reductive Amination เมื่อนำไปบ่มกับน้ำเสี่ยสีย้อมแล้วนำไปตรวจวัด พบว่ารูปร่างของพีคที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากโพรพอลิตไครีนก่อนบ่ม แต่มีพีคของสีย้อมปรากฏอยู่ โดยมีตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งพีคของโพรพอลิตไครีนก่อนบ่ม ทำให้ไม่สามารถบอกได้ว่าโพรพอลิตไครีนที่ทำปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation และ Reductive Amination สามารถบ่มกับน้ำเสี่ยสีย้อมได้

ดังนั้นการวิเคราะห์โดยใช้ FT-IR นั้นสามารถบอกได้อย่างคร่าวๆว่าการสังเคราะห์โพรพอลิตไครีนทำได้ โดยโพรพอลิตไครีนที่ทำปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation เป็นโพรพอลิตไครีนที่ไม่เสถียรเนื่องจากเมื่อนำไปบ่มกับน้ำเสี่ยสีย้อมแล้วรูปร่างของพีคมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแตกต่างจากโพรพอลิตไครีนที่ทำปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation และ Reductive Amination จะมีความเสถียรมากกว่า แต่เมื่อนำโพรพอลิตไครีนทั้ง 2 ชนิดไปบ่มกับน้ำเสี่ยสีย้อมแล้วนำไปตรวจวัด ปรากฏว่ารูปร่างของพีคที่ได้ไม่สามารถบอกได้ว่าโพรพอลิตไครีนที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นสามารถบ่มกับน้ำเสี่ยสีย้อมได้หรือไม่

#### 4.9 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TGA

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TGA (ภาคผนวก จ)

สาร	ขั้นตอน การสลายตัวของ สาร	ปริมาณสลายตัว ของสาร(%)	อุณหภูมิสูงสุด ที่สารสลายตัว(°C)	ปริมาณกาก ที่เหลือจากการเผา ไหม้(%)
โพลีฟอสไฟไตรีน	1	99.3372	363	ไม่มี
โพลี 1	1	15.3974	122	26
	2	39.9424	347	
โพลี 2	1	8.0378	234	25
	2	64.904	382	
Dis 1	1	91.4767	379	8
Re 1	1	90.477	382	9
Dis 2	1	5.8913	234	11
	2	81.9204	395	
Re 2	1	5.5661	234	12
	2	80.3994	393	

- โพลี 1 คือ โพลีที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation
- โพลี 2 คือ โพลีที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation และ Reductive Amination
- Dis 1 คือ โพลี 1 ที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue
- Dis 2 คือ โพลี 2 ที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue
- Re1 คือ โพลี 1 ที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R
- Re 2 คือ โพลี 2 ที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

จากตารางที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าโพลีฟอสไฟไตรีนที่ยังไม่ได้ปรับสภาพมีการสลายตัวขึ้นเดียว แสดงว่าเป็นสารบริสุทธิ์และปริมาณของสารที่สลายตัวไปมีถึง 99.3372 % และ ไม่มีกากที่เหลือจากการเผาไหม้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนโพลีเมอร์ 1 นั้นมีการสลายตัว 2 ขั้นตอน แสดงว่าสารนั้นเป็นสารผสม อุณหภูมิสูงสุดที่สารใช้ในการสลายตัวก็มีค่าแตกต่างจากโพลีเอทิลีนไดโอดีนที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ และยังมีกากที่เหลือจากการเผาไหม้

โพลีเมอร์ 2 ก็มีการสลายตัว 2 ขั้นตอนเหมือนกัน แต่ก็มีส่วนที่แตกต่างจากโพลีเมอร์ 1 คือ อุณหภูมิในการสลายตัวในขั้นที่ 1 ของโพลีเมอร์ทั้งสองชนิดไม่เท่ากัน แสดงว่าโพลีเมอร์ 1 และ โพลีเมอร์ 2 ไม่ใช่สารชนิดเดียวกัน เมื่อสังเกตเปอร์เซ็นต์ปริมาณของสารที่สลายตัวในขั้นที่ 1 ของโพลีเมอร์ 2 นั้นมีค่า 8.0378% ซึ่งมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับสัดส่วนของมวลทั้งหมด แสดงว่าสารที่ปนมาและสลายตัวในขั้น 1 ของโพลีเมอร์ 2 นั้นมีปริมาณที่น้อย

แต่อย่างไรก็ตามก็เป็นการยืนยันว่าสามารถใช้สารเคมีคัดแปลงเพิ่มเติมหมู่ฟังก์ชันเข้าไปในโพลีเมอร์กระแทกได้ เนื่องจากความแตกต่างที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ก็มีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จาก FT-IR

ส่วนโพลีเมอร์ 1 ที่บำบัดน้ำเสียด้วยวิธี 2 นี้ จะเห็นว่ามีขั้นตอนการสลายตัวของสารเพียงขั้นเดียวเหมือนกันกับโพลีเอทิลีนไดโอดีนที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิสูงสุดที่โพลีเมอร์สลายตัวนั้นมีค่าที่ต่างกัน รวมถึงเปอร์เซ็นต์ปริมาณกากที่เหลือจากการเผาไหม้ก็ต่างกันด้วย ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณากับโพลีเมอร์ 1 ที่บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีแรก พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการสลายตัวก็มีค่าต่างกันด้วยเช่นกัน รวมถึงเปอร์เซ็นต์ปริมาณกากที่เหลือจากการเผาไหม้ก็มีค่าน้อยลง ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเป็นสารคนละชนิดกัน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถบอกได้ว่า โพลีเมอร์ที่ผ่านการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation นั้น ไม่เสถียร เมื่อนำไปบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีแรกแล้วมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกราฟที่ได้จาก TGA อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างที่วัดได้จาก FT-IR

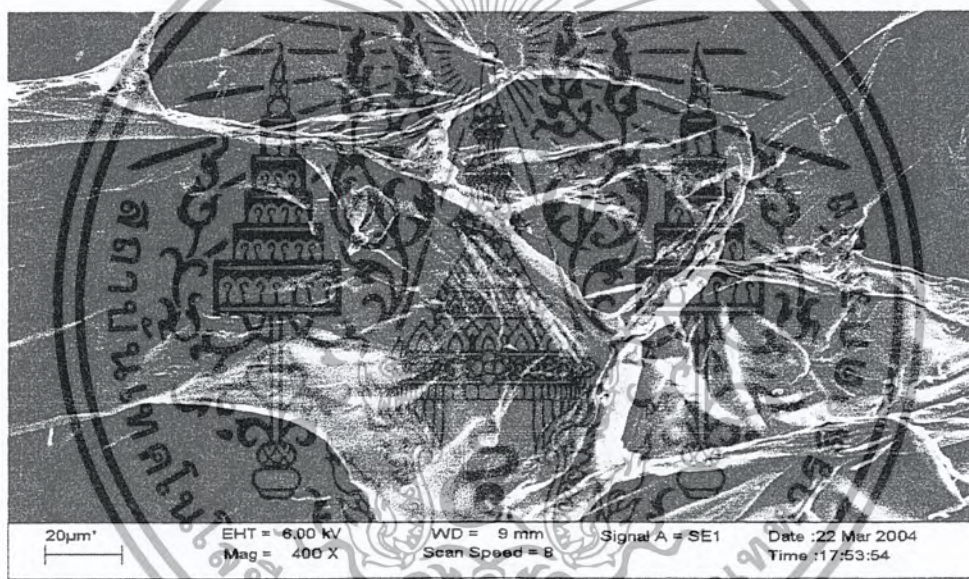
สำหรับโพลีเมอร์ 2 เมื่อนำไปบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีแรก นำไปตรวจสอบด้วยเครื่อง TGA รูปร่างของกราฟที่ปรากฏไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีความเสถียรมากกว่า โพลีเมอร์ 1 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำโพลีเมอร์ ทั้ง 1 และ 2 ไปบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีที่สองแล้วนำไปตรวจวิเคราะห์พบว่า เปอร์เซ็นต์ปริมาณกากที่เหลือจากการเผาไหม้มีปริมาณที่น้อยลง แต่อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการสลายตัวมีค่าสูงกว่าโพลีเมอร์ 1 และ โพลีเมอร์ 2 ที่ก่อนนำมาบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีแรก

ดังนั้นสรุปได้ว่า โพลีเมอร์ 2 สามารถบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีแรกได้ดีกว่าโพลีเมอร์ 1 และสามารถบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีที่สองและไม่ได้เปลี่ยนน้ำ

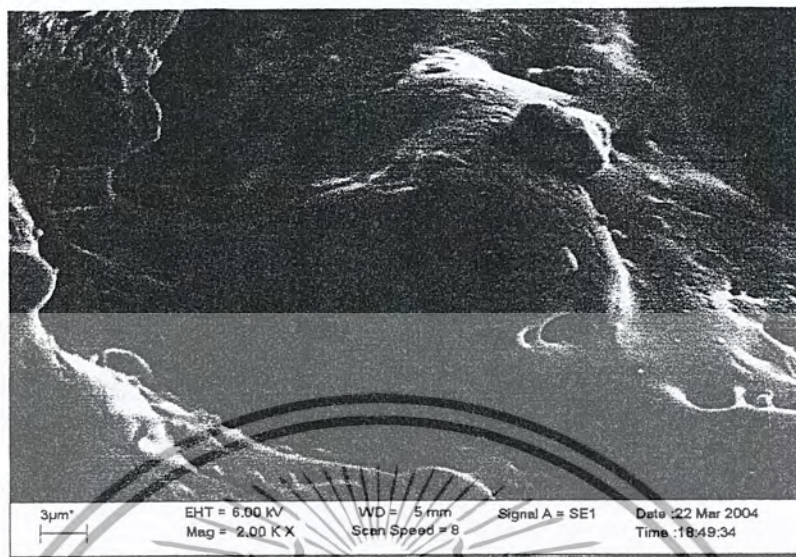
#### 4.10 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง SEM

ในการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง SEM ทำการถ่ายภาพที่กำลังขยาย 400 และ 2000 เท่า เนื่องจากภาพถ่ายที่กำลัง 2000 เท่าสามารถอธิบายการทดลองได้ชัดเจนกว่าภาพที่กำลังขยาย 400 เท่าจึงแสดงผลไว้ที่ภาคผนวก จ.

จากภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นั้นมีความไม่แน่นอน เนื่องจากมีการทำลายสภาพของพื้นผิวจากแรงกระทำต่าง ๆ เช่น การนำไปบิด ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ทำให้สภาพพื้นผิวที่เห็นจากภาพนั้นแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามภาพที่เห็นส่วนมาก ซึ่งมีลักษณะดังนี้

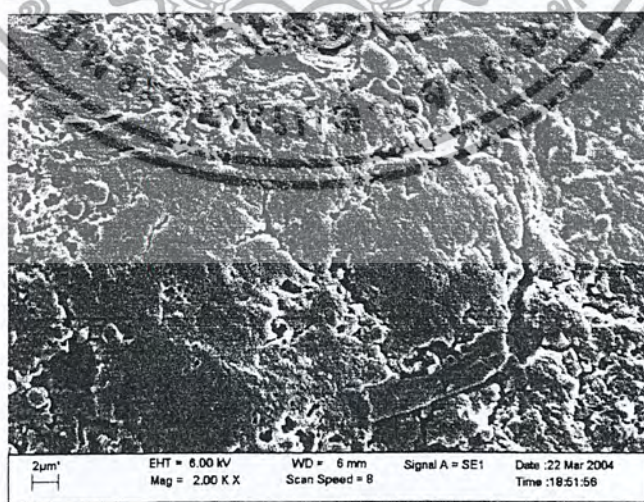


รูปที่ 4.21 แสดงภาพโพลิเมอร์ที่โพลีเอทิลีนที่ไม่ได้ปรับสภาพที่กำลังขยาย 400 เท่า



รูปที่ 4.22 แสดงภาพโพลีสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยาFriedel-Crafts Acetylationที่กำลังขยาย2000เท่า

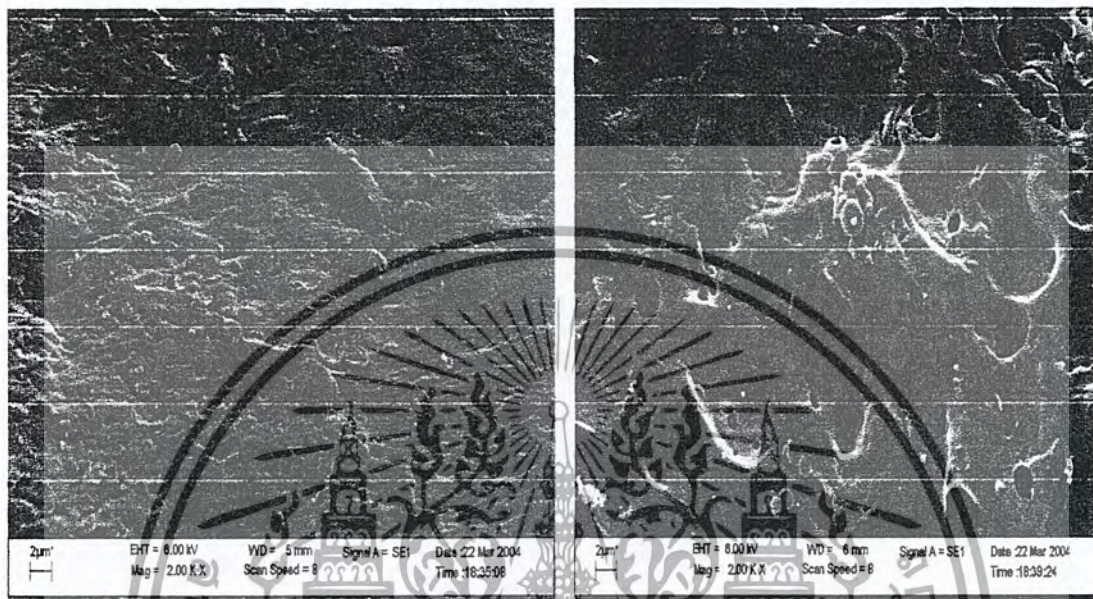
รูปที่ 4.21 แสดงรูพรุนของโพลีสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพนั้นมีขนาดใหญ่และมีความลึก แต่เมื่อรูปที่ 4.22 โพลีที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation นั้นส่วนใหญ่จะมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบที่ค่าถึงขยาย 2000 เท่าแต่รูพรุนจะมีขนาดเล็กกว่าโพลีสไตรีนที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ



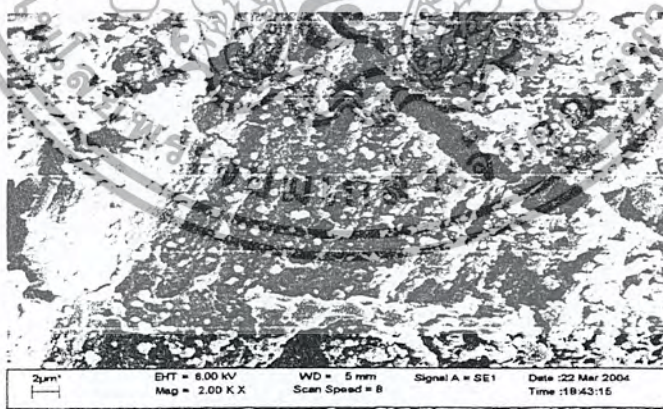
รูปที่ 4.23 แสดงภาพโพลีสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive

Amination ที่กำลังขยาย2000 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนรูปที่ 4.23 โฟมพอลิस्टาไรีนที่สังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation แล้วนำไปทำปฏิกิริยา Reductive Amination ต่อ ภาพที่เห็นส่วนใหญ่จะมีพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระ

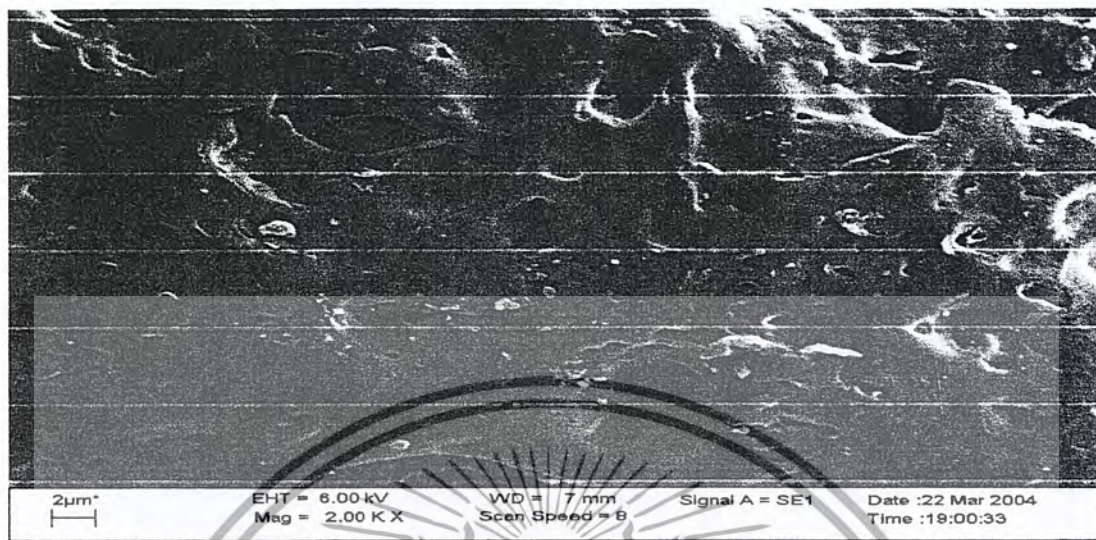


รูปที่ 4.24 แสดงภาพ โฟมพอลิस्टาไรีนผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

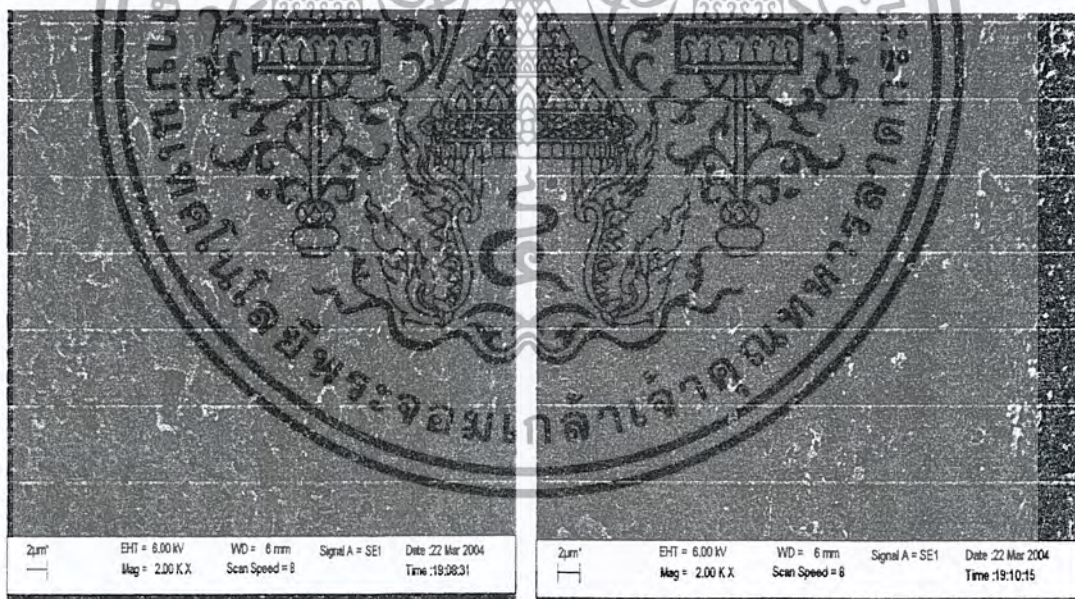


รูปที่ 4.25 แสดงภาพ โฟมพอลิस्टาไรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Craft Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงภาพ โฟมพอลิस्ट ไตรีนผ่านปฏิกิริยา Friedel – Craft Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีข้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 2000 เท่า



รูปที่ 4.27 แสดงภาพ โฟมพอลิस्ट ไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Craft Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีข้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโพนที่ปรับสภาพแล้วเมื่อนำไปบำบัดน้ำเสียสี่ข้อมทั้งสองชนิดนั้น จากรูปที่ 4.24 4.25 4.26 และ 4.27 จะเห็นว่าที่พื้นผิวของโพนทั้ง 2 ชนิดนั้นมีสีดำอยู่ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าโพนที่ผ่านการปรับปรุงสภาพแล้วนั้นสามารถนำไปใช้บำบัดน้ำเสียสี่ข้อมได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม โดยใช้โฟมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพ

การดูดซับสีย้อมของกลุ่ม Remazol Brilliant Blue R ไม่ขึ้นกับขนาดของโฟมและเวลาในการเขย่า โดยความเร็วที่ใช้ในการเขย่าที่ดีที่สุดเป็น 260 รอบต่อนาที ที่อัตราส่วนของโฟมกับน้ำเสียสีย้อม เท่ากับ 0.25 : 50

สำหรับการดูดซับสีของกลุ่ม C.I. Disperse Blue พบว่าโฟมขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าโฟมขนาดใหญ่ และเวลาที่เหมาะสมคือ 1 ชั่วโมง ความเร็วในการเขย่าเท่ากับ 260 รอบต่อนาที แต่เมื่อใช้อัตราส่วนของโฟมกับสีย้อมชนิดนี้ที่ 0.25 : 25 0.25 : 50 และ 0.25 : 100 พบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 0.25 : 25

โฟมที่ไม่ได้ปรับสภาพมีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม C.I. Disperse Blue ดีกว่าสีย้อม Remazol Brilliant Blue R เนื่องจากสีย้อม Remazol Brilliant Blue R โครงสร้างทางเคมีของสีมีขนาดใหญ่กว่าสีย้อม C.I. Disperse Blue และสีย้อม C.I. Disperse Blue มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ทำให้บำบัดได้ง่ายกว่า

##### 5.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม โดยใช้โฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิว

การปรับสภาพผิวของโฟมมี 2 แบบ คือ นำไปทำปฏิกิริยา Friedel - Crafts Acetylation (โฟม1) กับโฟมที่ทำปฏิกิริยา Friedel - Crafts Acetylation และ ปฏิกิริยา Reductive Amination (โฟม2) พบว่าโฟม2 มีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมกลุ่ม Remazol Brilliant Blue R และสีย้อมกลุ่ม C.I. Disperse Blue ดีกว่าโฟม1 เวลาที่เหมาะสมเท่ากับ 1 ชั่วโมง ความเร็วที่เหมาะสมเท่ากับ 150 รอบต่อนาที และอัตราส่วนระหว่างโฟมกับน้ำเสียสีย้อม เท่ากับ 0.25 : 50

โฟมที่ปรับสภาพผิวแล้วมีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ดีกว่าสีย้อม C.I. Disperse Blue เนื่องจากสีย้อม Remazol Brilliant Blue R โครงสร้างของสีมีความซับซ้อนกว่าสีย้อม C.I. Disperse Blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 เมื่อเปรียบเทียบ โฟมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพและ โฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิว

โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation และ Reductive Amination (โฟม2) มีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมดีที่สุด รองลงมาคือโฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation (โฟม1) และน้อยที่สุดคือโฟมที่ไม่ได้ปรับสภาพ

5.1.4 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความมีขั้วของโฟม ขนาดโมเลกุลของสีย้อม และการละลายน้ำ มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม

5.1.5 ลักษณะทางกายภาพ

โฟมพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพจะมีลักษณะเป็นแผ่น เมื่อนำมาบดจะได้เม็ด โฟมสีขาวที่มีน้ำหนักเบา สามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย ส่วนโฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิวโดยโฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation (โฟม1) จะมีกลิ่นฉุน ลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองอ่อน และ โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation และ Reductive Amination (โฟม2) จะมีลักษณะเป็นผงสีขาว และ ไม่มีกลิ่น

โฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิวและน้ำเสียสังเคราะห์หลังจากการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และสีย้อม C.I. Disperse Blue โฟม 2 จะมีสีติดอยู่บนผิวมากกว่า โฟม 1 ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่ได้ เมื่อเทียบสีก่อนและหลังบำบัดจะพบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดด้วยโฟมที่ปรับสภาพแล้วจะมีสีที่ลดลง และน้ำเสียที่บำบัดด้วย โฟม 1 จะมีสีเข้มกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย โฟม 2

5.1.6 จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง FT-IR

สามารถบอกได้ว่าโฟมพอลิสไตรีนที่ทำการปรับปรุงสภาพผิวสามารถทำได้โดยมี หมู่ฟังก์ชันปรากฏอยู่ แต่โฟมพอลิสไตรีนที่ปรับสภาพผิวแล้วเมื่อนำไปบำบัดสีย้อม ไม่สามารถบอกได้ว่าทำการดูดซับสีย้อมได้หรือไม่ เนื่องจากตำแหน่งพิกของสีย้อม และ โฟมมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

5.1.7 จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TGA

สามารถยืนยันได้ว่าโฟมพอลิสไตรีนที่ทำการปรับปรุงสภาพผิวเกิดการเปลี่ยนแปลงคือมีสารเข้าไปทำปฏิกิริยา และ โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation (โฟม1) เป็น โฟมที่ไม่ค่อยเสถียรเนื่องจากเมื่อนำโฟมไปบำบัดสีย้อมแล้วตำแหน่งพิกมีการเปลี่ยนแปลง รวมทั้ง จุดหลอมเหลวของ โฟม1 เมื่อนำไปบำบัดสีย้อมแล้วจะมีค่ามากกว่า โฟม1 ก่อนนำไปบำบัด ขณะที่ โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation และ Reductive Amination (โฟม2) มีความเสถียรมากกว่า โฟมที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation (โฟม1) เนื่องจากเมื่อนำโฟมไปบำบัดสีย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วตำแหน่งพิกัดไม่เปลี่ยนแปลง และจุดหลอมเหลวของโพลีเมอร์ 2 เมื่อนำไปบำบัดสีย้อมแล้วจะมีค่ามากกว่าโพลีเมอร์ 2 ก่อนนำไปบำบัด

#### 5.1.8 จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง SEM

โพลีเมอร์พอลิस्टาไดรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นที่ผิวจะมีลักษณะเป็นรูพรุน และมีความลึกส่วนโพลีเมอร์พอลิस्टาไดรีนที่ปรับสภาพผิวโดยโพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation (โพลีเมอร์ 1) พื้นที่ผิวถูกทำลายไป มีลักษณะพื้นผิวเรียบ และรูพรุนมีขนาดเล็กถึงกลาง ขณะที่โพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation และ Reductive Amination (โพลีเมอร์ 2) พื้นที่ผิวส่วนใหญ่ถูกทำลาย มีลักษณะพื้นผิวขรุขระเป็นรูพรุนที่มีขนาดเล็กและตัน

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น
2. ควรศึกษาค่าพีเอชของสารละลายสีย้อมซึ่งอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด
3. ควรศึกษาขนาดอนุภาคของโพลีเมอร์ที่ปรับสภาพผิวแล้วซึ่งอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด
4. ทำการปรับสภาพผิวโพลีเมอร์พอลิस्टาไดรีนให้มีประจุบวกอย่างแก่โดยปฏิกิริยา Quaternization
5. ทำการบำบัดสีย้อมโดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม
6. ทดลองนำโพลีเมอร์ที่ปรับสภาพผิวแล้วไปใช้ในการกำจัด โครเมต ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) ซึ่งมีประจุลบเช่นเดียวกับสีย้อม
7. ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ถ้านำน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมาบำบัด อาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีการปนเปื้อนสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม โรงงาน. 2542.  
คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน อุตสาหกรรมฟอกย้อม.
- กรณีการ์ สิริสิงห์. 2544. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3.  
เทียนศักดิ์ เมฆพรรณ โอภาส. ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์ เคมีอินทรีย์ : สำนักพิมพ์ท็อป.
- ปฏิเวธ ชินเชษฐ. 2543. การนำขี้เถ้าฟอกย้อมสีดีสเพอร์สโดยกระบวนการยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อุดม กักพล, โสภณ เรืองสำราญ, อมร เพชรสม. 2543. อินทรีย์เคมี 1. พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- A.S.Koparal, Y.Yavuz, Ü Bakir ÖGÜtveren. 2002. Electroadsorption of Acilan Blau Dye from Textile Effluents by Using Activated Carbon-Perlite Mixtures. **Water Environment Research**, 74(6) : 521-524.
- C.K. Lee, K.S.Low and P.Y.Gan. 1999. Removal of some organic dyes by acid-treated spent bleaching earth. **Environmental Technology**, 20 : 99-104.
- H.Xu,X.Hu. 1999. Preparation of anion exchangers by reductive amination of acetylated crosslinked polystyrene. **Reactive&Functional Polymers**, 42 : 235-242.
- J. Bell and C. A Buckley. 2003. Treatment of a textile dye in the anaerobic baffled reactor. **Water SA**, 29(2) : 129-133.
- R.M. Siverstein,etal. 1981. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**. 4<sup>th</sup> ed. New York : John Wiley&Sons.
- S.J.Ergas,E.N.Leshem and D.A.Reckhow. 2002. Zero discharge in the textile industry. **NETI Research Symposium**.
- S.Netpradit, P.Thiravetyan, S.Towprayoon. 2003. Application of 'waste' metal hydroxide sludge for adsorption pf azo reactive dyes. **Water Research**, 37 : 763-772.
- S.Papic, N.Koprivanac and A. Metes. 2000. Optimizing polymer-induced flocculation process to remove reactive dyes from wastewater. **Environmental Technology**, 21 : 97-105.

[www.Chem..ox.ac.uk](http://www.Chem..ox.ac.uk) / MSDS / Safety-phrases.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### การหาความเข้มข้นของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ C.I. Disperse Blue

#### ก.1 วิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

1. นำสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้นเจือจางมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นนำสเปกตรัมที่ได้มาหาค่าความยาวคลื่นที่ทำให้การดูดกลืนแสงสูงสุด
2. เตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ คือ 1, 3, 5, 7 และ 10 พีพีเอ็ม
3. นำสารละลายสีย้อมที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่  $\lambda_{max}$
4. นำข้อมูลที่ได้พลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมก็จะ ได้กราฟมาตรฐาน

#### ก.2 วิธีการหาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม

1. นำสารละลายสีย้อมที่ต้องการหาความเข้มข้น มาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่  $\lambda_{max}$
2. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาหาความเข้มข้น โดยใช้วิธีการเทียบกราฟมาตรฐาน

#### ก.3 กราฟมาตรฐาน

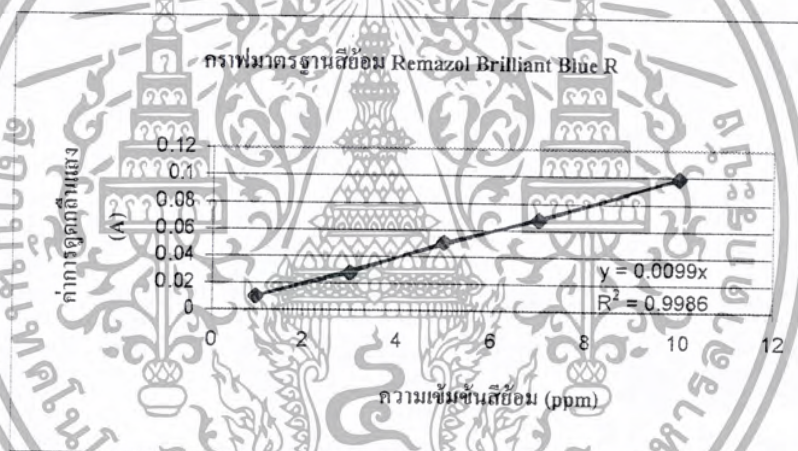
สีย้อม Remazol Brilliant Blue R  $\lambda_{max}$  คือ 587 นาโนเมตร

สีย้อม C.I. Disperse Blue  $\lambda_{max}$  คือ 759 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ( $\lambda_{\max} = 587$  นาโนเมตร )

ความเข้มข้นสีย้อม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.010
3	0.028
5	0.051
7	0.068
10	0.099

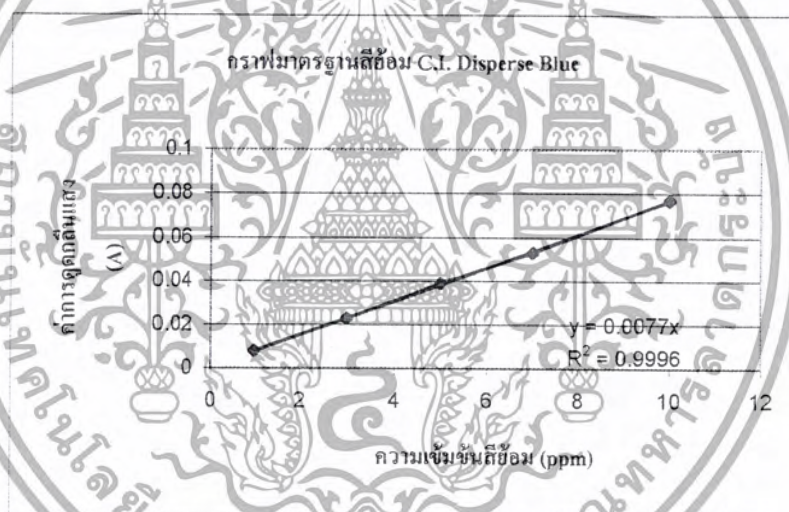


รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายสีย้อม C.I. Disperse Blue ( $\lambda_{\max} = 759$  นาโนเมตร )

ความเข้มข้นสีย้อม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.008
3	0.023
5	0.039
7	0.053
10	0.077



รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม C.I. Disperse Blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และการคำนวณที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol  
Brilliant Blue R และสีย้อม C.I. Disperse Blue

ข.1 เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

- สีย้อม Remazol Brilliant Blue R

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของโฟมที่เวลา 1 ชม. และ 3 ชม.

เวลา (ชม.)	1 ชม.				3 ชม.			
	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce
เล็ก	0.098	10	0.094	9.59	0.098	10	0.091	9.29
ใหญ่	0.098	10	0.090	9.18	0.098	10	0.097	9.90
โฟม1	0.081	7.57	0.033	3.08	0.083	7.56	0.014	1.31
โฟม2	0.081	7.57	0.002	0.19	0.083	7.56	0.014	1.31

การคำนวณ

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด(\%)} = \frac{\text{Co} - \text{Ce}}{\text{Co}} \times 100$$

เมื่อ Co = ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)

Ce = ความเข้มข้นที่เหลือ (ppm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีที่เวลา 1 ชม. และ 3 ชม.

เวลา(ชม.)	1 ชม.		3 ชม.	
	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	
เล็ก	4.10		7.10	
ใหญ่	8.20		1.00	
โพลี1	59.31		82.67	
โพลี2	97.49		82.67	

- หมายเหตุ
- เล็ก = โพลีพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพที่มีขนาดเล็ก (< 1.77 มม.)
  - ใหญ่ = โพลีพอลิสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพที่มีขนาดใหญ่ (> 1.77 มม.)
  - โพลี1 = โพลีที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation
  - โพลี2 = โพลีที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation และ Reductive Amination
  - สีย้อม C.I. Disperse Blue

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของโพลีที่เวลา 1 ชม. และ 3 ชม

เวลา (ชม.)	1 ชม.				3 ชม.			
	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce
เล็ก	0.062	8.16	0.047	6.18	0.057	7.50	0.052	6.84
ใหญ่	0.062	8.16	0.060	7.89	0.057	7.50	0.055	7.24
โพลี1	0.062	8.16	0.040	5.26	0.057	7.50	0.0385	5.07
โพลี2	0.062	8.16	0.0075	0.99	0.057	7.50	0.0095	1.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีที่เวลา 1 ชม. และ 3 ชม.

เวลา(ชม.)	1 ชม.	3 ชม.
ชนิดโพลี	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
เล็ก	24.26	8.80
ใหญ่	3.31	3.47
โพลี1	35.54	32.40
โพลี2	87.87	83.33

ข.2 ความเร็วที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

- 150 รอบ/นาที

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R				สีย้อม C.I. Disperse Blue			
	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce
ชนิดโพลี								
เล็ก	0.084	8.75	0.081	8.44	0.051	7.39	0.050	7.25
ใหญ่	0.084	8.75	0.080	8.33	0.051	7.39	0.052	7.54
โพลี1	0.084	8.75	0.023	2.40	0.051	7.39	0.0345	5.00
โพลี2	0.084	8.75	0	0	0.051	7.39	0.0005	0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R		สีย้อม C.I. Disperse Blue	
	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	
เล็ก	3.54		1.89	
ใหญ่	4.80		0	
โพลีเมอร์1	72.57		32.34	
โพลีเมอร์2	100		98.11	

- 260 รอบ/นาที

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R				สีย้อม C.I. Disperse Blue			
	Abs.		Conc.		Abs.		Conc.	
	(A)	(ppm)	(A)	(ppm)	(A)	(ppm)	(A)	(ppm)
เล็ก	0.081	7.57	0.094	9.59	0.062	8.16	0.047	6.18
ใหญ่	0.081	7.57	0.090	9.18	0.062	8.16	0.060	7.89
โพลีเมอร์1	0.081	7.57	0.033	3.08	0.062	8.16	0.040	5.26
โพลีเมอร์2	0.081	7.57	0.002	0.19	0.062	8.16	0.0075	0.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม ชนิดโพลีเมอร์	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R	สีย้อม C.I. Disperse Blue
	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
เล็ก	4.10	24.26
ใหญ่	8.20	3.31
โพลีเมอร์1	59.31	35.54
โพลีเมอร์2	97.49	87.87

- 400 รอบ/นาที

ตารางที่ ข.9 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม ชนิดโพลีเมอร์	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R				สีย้อม C.I. Disperse Blue			
	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce
	เล็ก	0.078	8.13	0.076	7.92	0.052	7.54	0.051
ใหญ่	0.078	8.13	0.083	8.65	0.052	7.54	0.052	7.54
โพลีเมอร์1	0.078	8.13	0.0235	2.45	0.052	7.54	0.039	5.65
โพลีเมอร์2	0.078	8.13	0.0025	0.52	0.052	7.54	0.0065	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R		สีย้อม C.I. Disperse Blue	
	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	
เล็ก	2.58		1.99	
ใหญ่	0		0	
โพลีเมอร์ 1	69.86		25.07	
โพลีเมอร์ 2	93.60		87.53	

ข.3 อัตราส่วนที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue (โพลีเมอร์ : สีย้อม)

- 0.25 g : 25 ml

ตารางที่ ข.11 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R				สีย้อม C.I. Disperse Blue			
	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce
เล็ก	0.073	7.60	0.077	8.02	0.052	7.54	0.050	7.25
ใหญ่	0.073	7.60	0.077	8.02	0.052	7.54	0.049	7.10
โพลีเมอร์ 1	0.073	7.60	0.029	3.02	0.052	7.54	0.0275	3.99
โพลีเมอร์ 2	0.073	7.60	0.013	1.36	0.052	7.54	0.012	1.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R	สีย้อม C.I. Disperse Blue
ชนิดโพลีเมอร์	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
เล็ก	0	3.85
ใหญ่	0	5.84
โพลีเมอร์1	60.26	47.08
โพลีเมอร์2	82.11	76.92

- 0.25 g : 50 ml

ตารางที่ ข.13 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R				สีย้อม C.I. Disperse Blue			
	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce	Abs. (A)	Conc. (ppm) Co	Abs. (A)	Conc. (ppm) Ce
เล็ก	0.084	8.75	0.081	8.44	0.051	7.39	0.050	7.25
ใหญ่	0.084	8.75	0.080	8.33	0.051	7.39	0.052	7.54
โพลีเมอร์1	0.084	8.75	0.023	2.40	0.051	7.39	0.0345	5.00
โพลีเมอร์2	0.084	8.75	0	0	0.051	7.39	0.0005	0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม ชนิดโพลีเมอร์	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R	สีย้อม C.I. Disperse Blue
	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
เล็ก	3.54	1.89
ใหญ่	4.80	0
โพลีเมอร์1	72.57	32.34
โพลีเมอร์2	100	98.11

- 0.25 g : 100 ml

ตารางที่ ข.15 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม ชนิดโพลีเมอร์	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R				สีย้อม C.I. Disperse Blue			
	Abs. (A)	Conc. (ppm)	Abs. (A)	Conc. (ppm)	Abs. (A)	Conc. (ppm)	Abs. (A)	Conc. (ppm)
	Co	Ce	Co	Ce	Co	Ce	Co	Ce
เล็ก	0.091	9.48	0.094	9.79	0.055	7.97	0.055	7.97
ใหญ่	0.091	9.48	0.091	9.48	0.055	7.97	0.055	7.97
โพลีเมอร์1	0.091	9.48	0.020	2.08	0.055	7.97	0.037	5.37
โพลีเมอร์2	0.091	9.48	0.001	0.10	0.055	7.97	0.001	0.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.16 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดของโพลีเมอร์ในการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant Blue R และ สีย้อม C.I. Disperse Blue

ชนิดสีย้อม ชนิดโพลีเมอร์	สีย้อม Remazol Brilliant Blue R	สีย้อม C.I. Disperse Blue
	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
เล็ก	0	0
ใหญ่	0	0
โพลีเมอร์ 1	78.06	32.62
โพลีเมอร์ 2	98.95	96.36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### มาตรฐานน้ำทิ้งที่เหมาะสมสำหรับโรงงานฟอกย้อม

มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับน้ำทิ้งที่ออกจากโรงงานฟอกย้อมนั้น ได้พิจารณาจากข้อมูลแหล่งต่างๆ ร่วมกัน ซึ่งได้แก่

- มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิดของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในปัจจุบัน

สำหรับดัชนีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และปริมาณดีในน้ำทิ้ง

#### มาตรฐานน้ำทิ้งของหน่วยงานต่างๆ

มาตรฐานน้ำทิ้งปัจจุบันที่ควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งของ โรงงานฟอกย้อมก่อนที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจากกรม โรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกรมเจ้าท่า สรุปได้ดังตารางที่ ค.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อม ลำดับที่ 22(1), 22(2) และ 22(3) ก่อนที่จะปล่อยลงสู่  
แหล่งน้ำสาธารณะ

ดัชนีวิเคราะห์	มาตรฐานน้ำทิ้ง			
	กรมโรงงานอุตสาหกรรม กรรม <sup>1</sup>	กรมควบคุมมลพิษ <sup>2</sup>	กรมชลประทาน <sup>3</sup>	กรมเจ้าท่า <sup>4</sup>
พีเอช	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	6.5 - 8.5	5 - 9
บีโอดี (มก./ล.)	ไม่เกิน 60	ไม่เกิน 60	ไม่เกิน 20	-
ซีโอดี (มก./ล.)	ไม่เกิน 400	ไม่เกิน 400	-	-
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 30	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ไม่เกิน 100	ไม่เกิน 100	-	-
ไขมัน และน้ำมัน (มก./ล.)	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5	-
ปริมาณสี	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	-

หมายเหตุ : ที่มา "1" ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน และประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงานให้มีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

"2" ประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม 2539 และประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ ฉบับที่ 3 (2539) เรื่องกำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

"3" มาตรการป้องกันและแก้ไขการระบายนี้อาจมีคุณภาพต่ำลงทางชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน

"4" กรมเจ้าท่า ม. 119 เรื่องห้ามระบายของเสีย ขยะมูลฝอยลงแหล่งน้ำที่กีดขวางการเดินเรือและทำลายสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

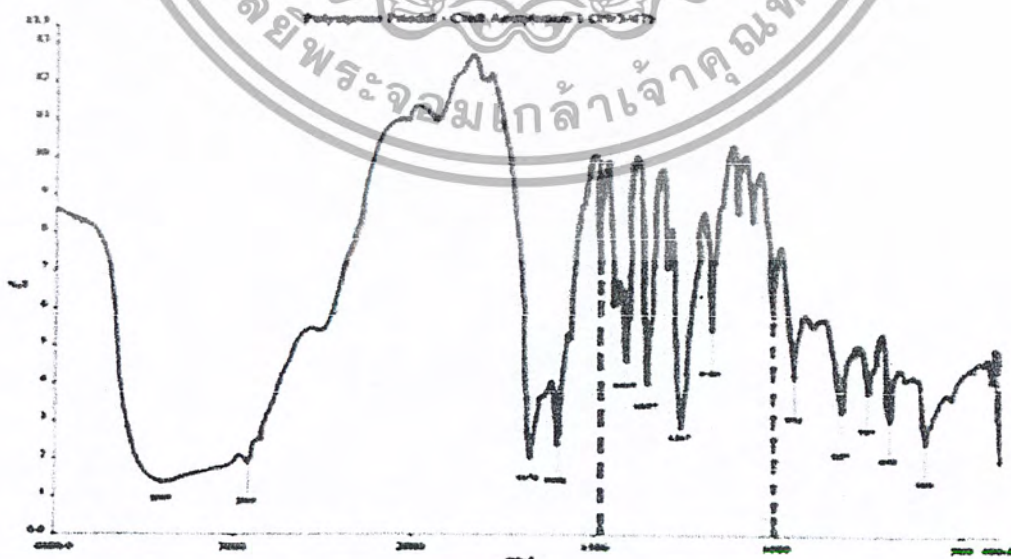
ภาคผนวก ง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR

ง.1 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR

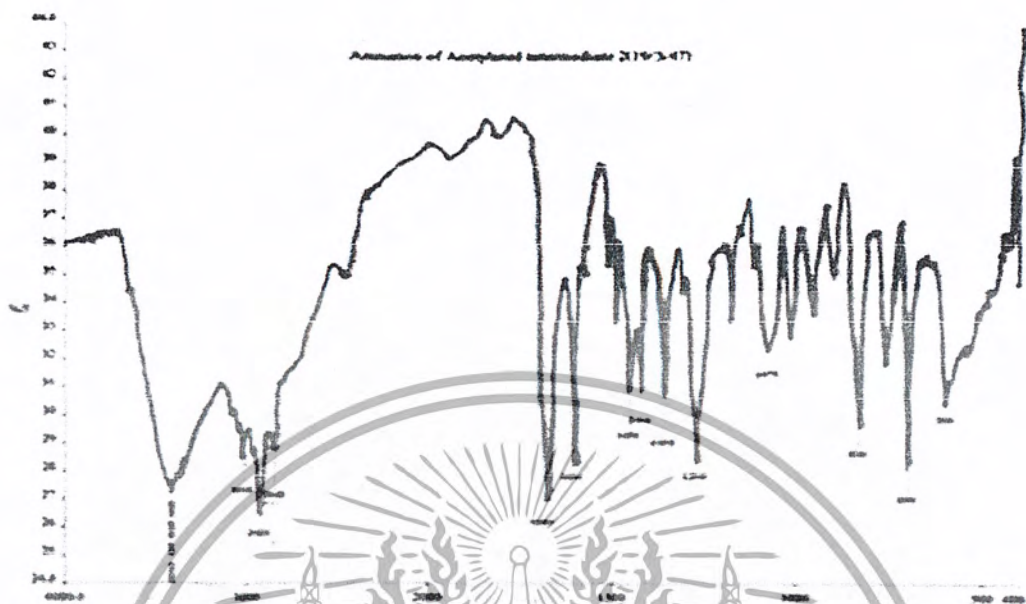


รูปที่ ง.1 แสดงตำแหน่งพิกของ โปมพอลิสไตรีนที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ

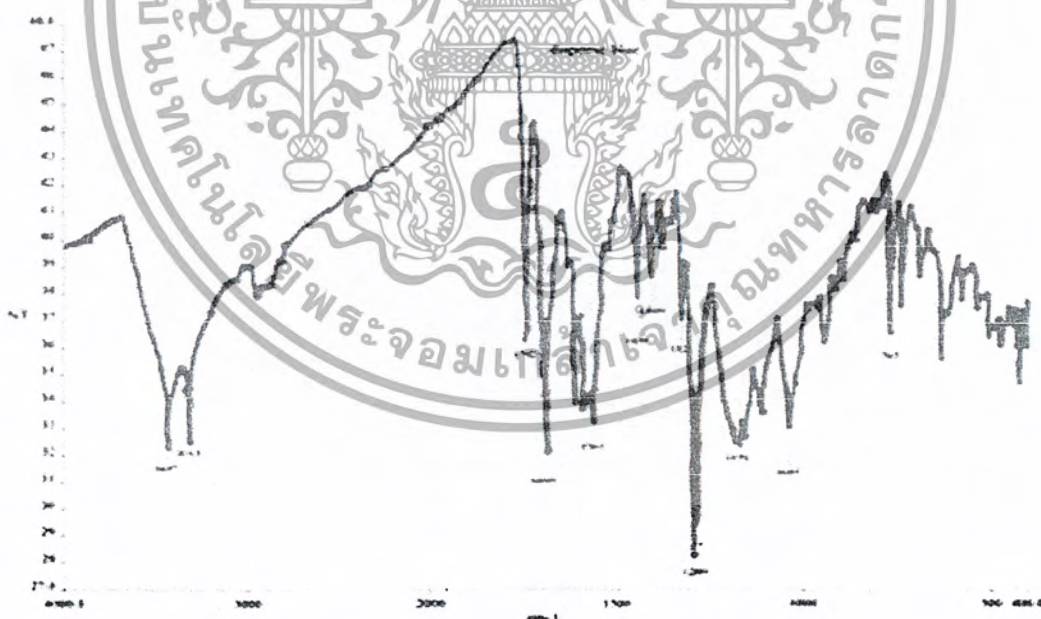


รูปที่ ง.2 แสดงตำแหน่งพิกของ โปมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

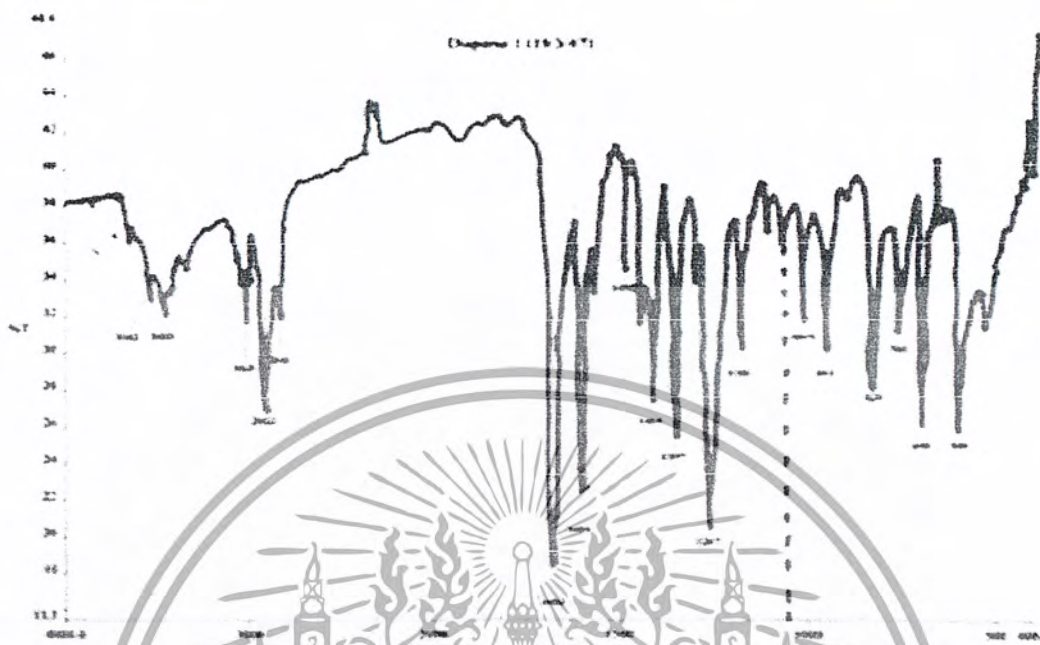


รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งพิกของโพรพอลิต ไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และปฏิกิริยา Reductive Amination

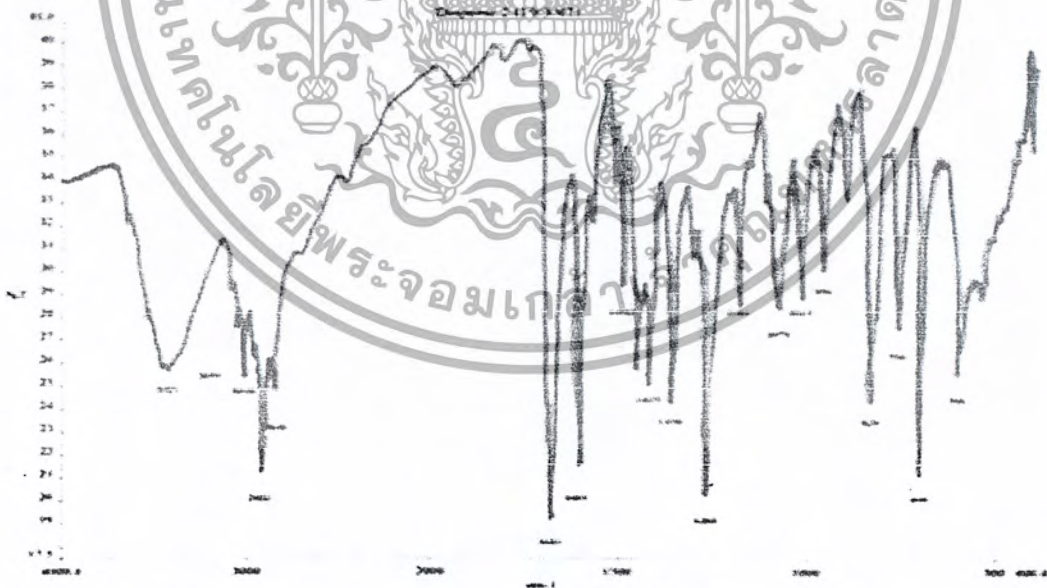


รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งพิกของสีย้อม C.I Disperse Blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

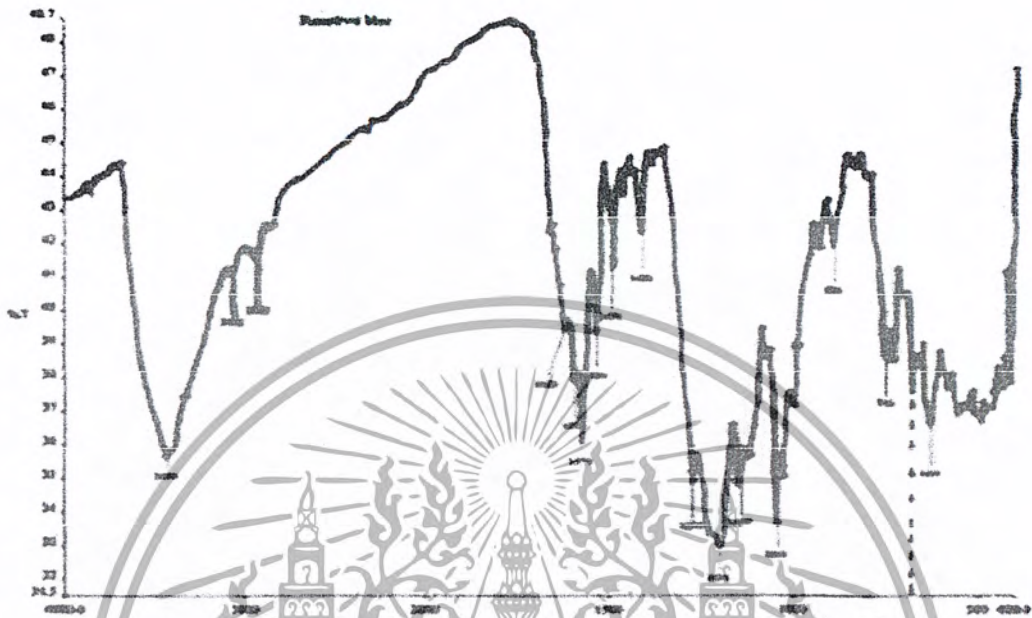


รูปที่ 5.5 แสดงตำแหน่งพิกของโพลีพอสติไตรีนผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue

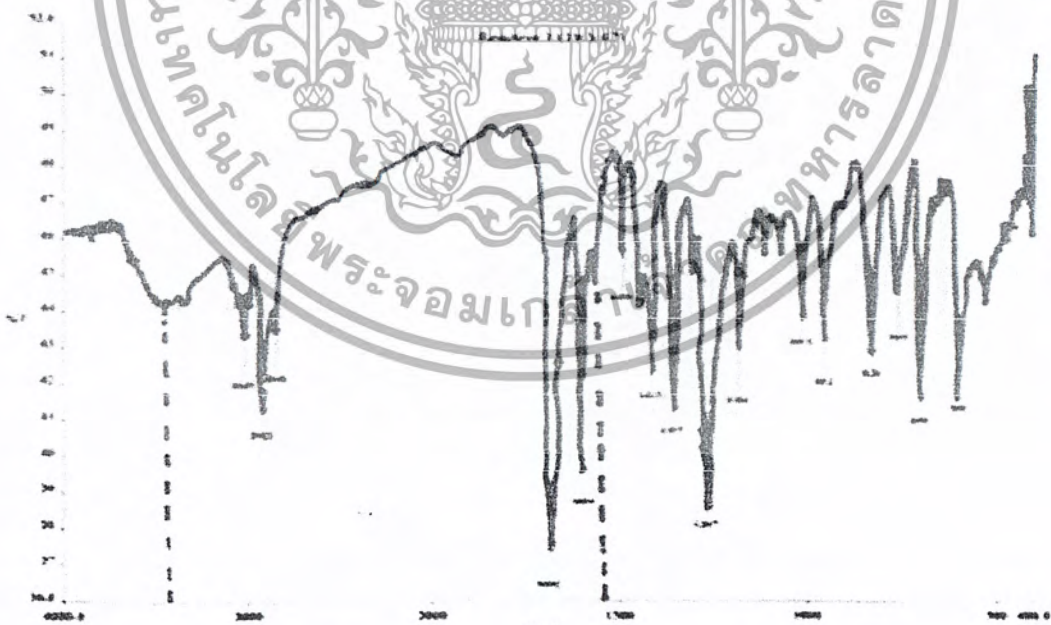


รูปที่ 5.6 แสดงตำแหน่งพิกของโพลีพอสติไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และปฏิกิริยา Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

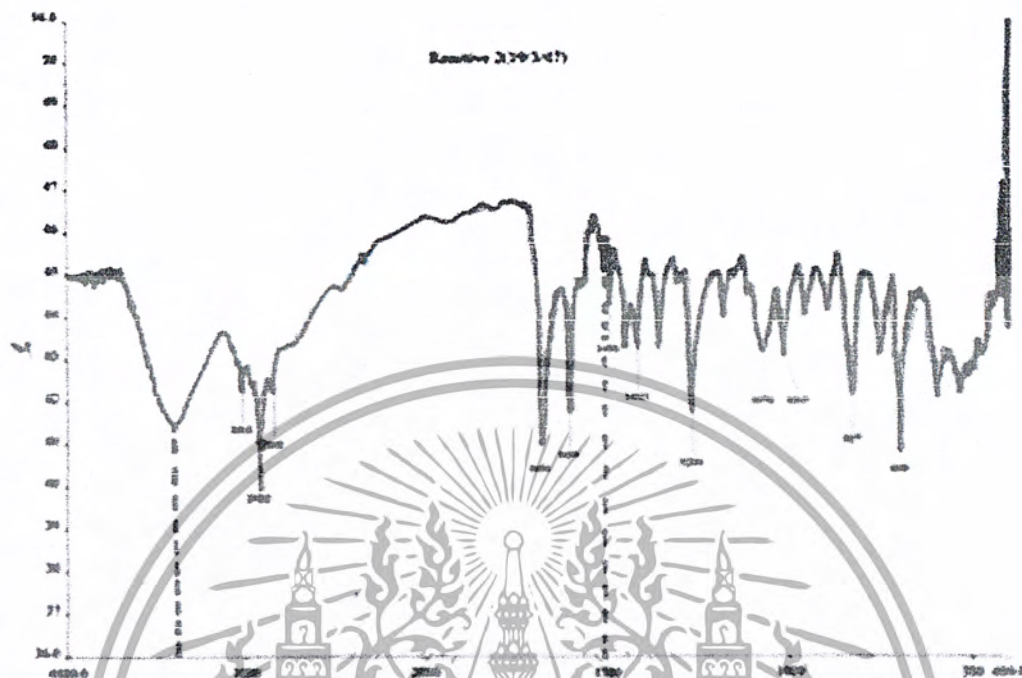


รูปที่ ๗.7 แสดงตำแหน่งพิกของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R



รูปที่ ๗.8 แสดงตำแหน่งพิกของโพลิอะทิลีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้ว  
นำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.9 แสดงตำแหน่งพีคของโพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และปฏิกิริยา Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียด้วย Remazol Brilliant Blue R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

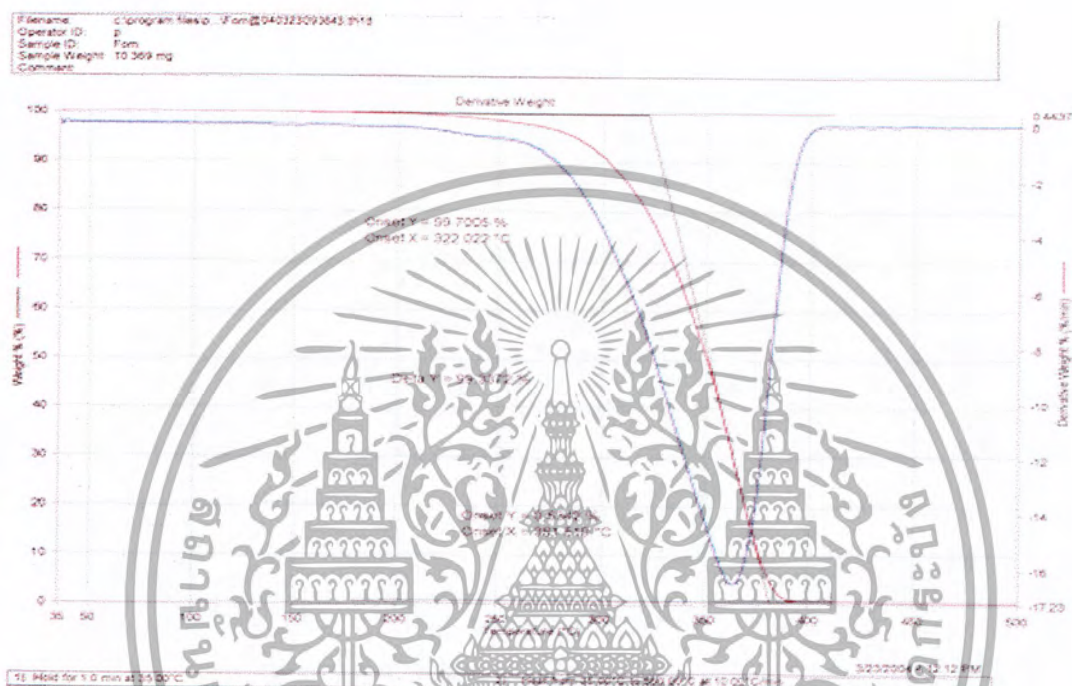


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

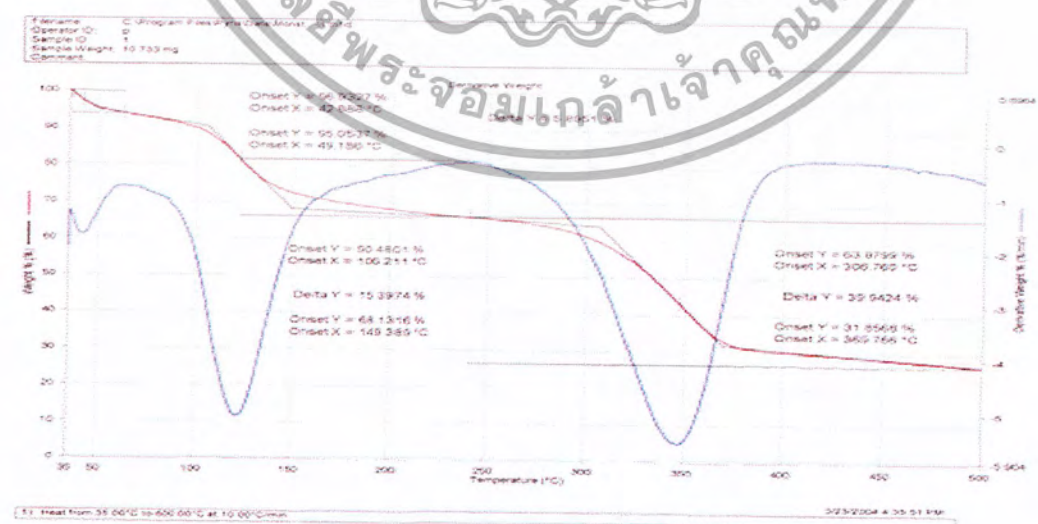
## ภาคผนวก จ.

## ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA

## จ.1 แสดงผลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง TGA

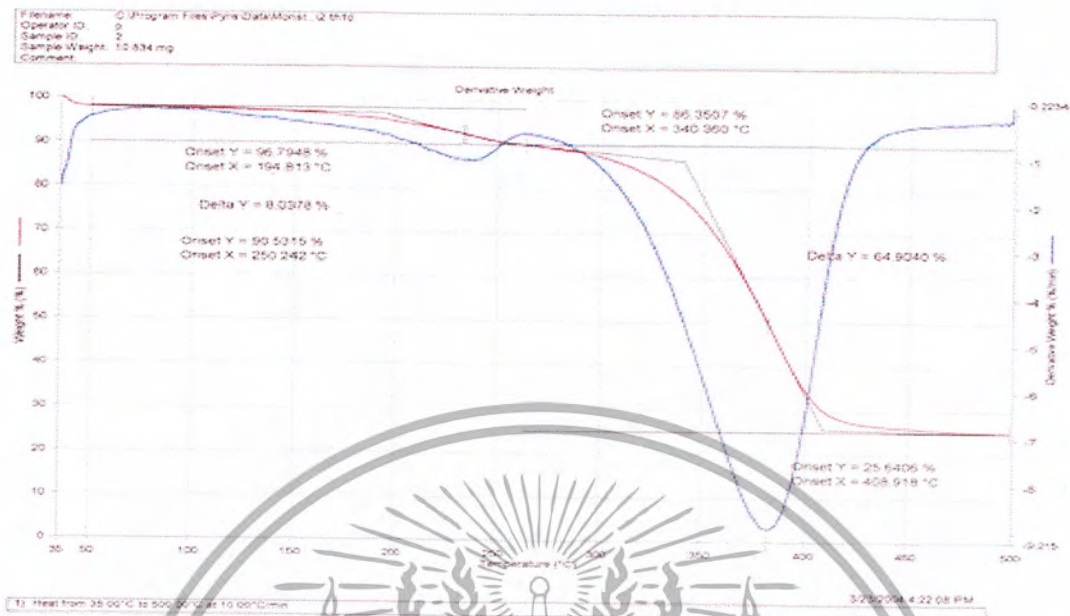


รูปที่ จ.1 แสดงกราฟของการสลายตัวของพอลิไคโตรอิน

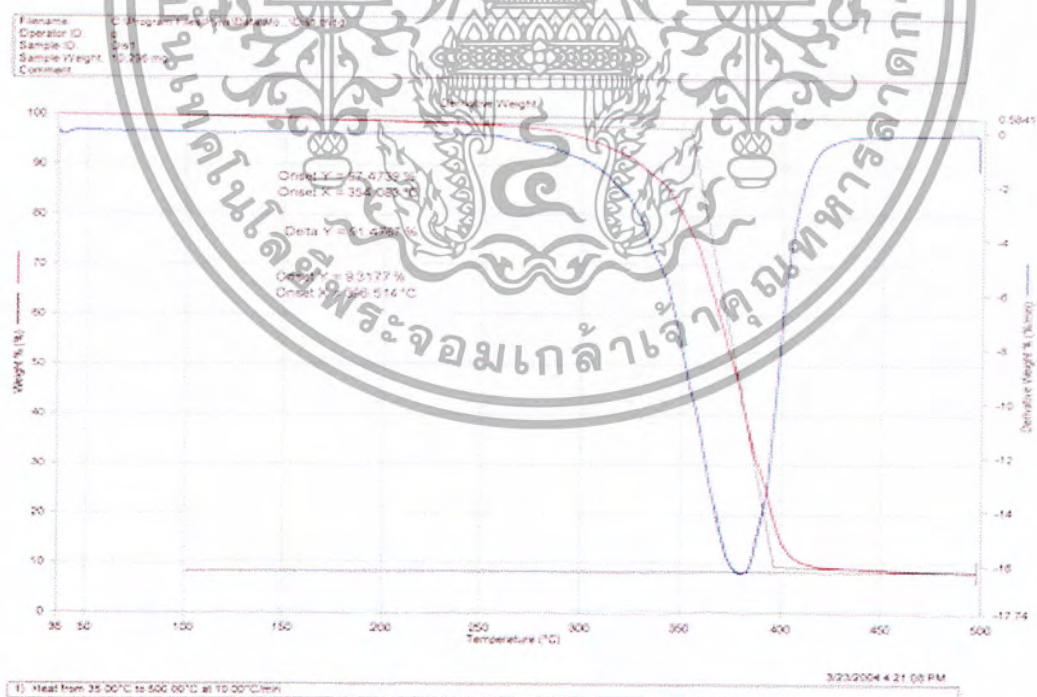


รูปที่ จ.2 แสดงการสลายตัวของพอลิไคโตรอินที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

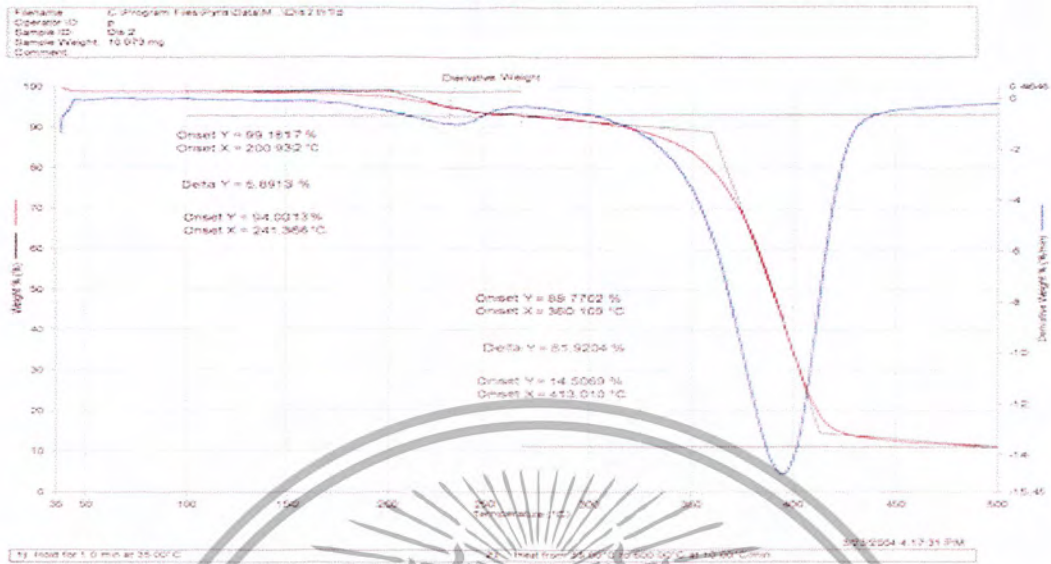


รูปที่ จ.3 แสดงการสลายตัวของโฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และปฏิกิริยา Reductive Amination

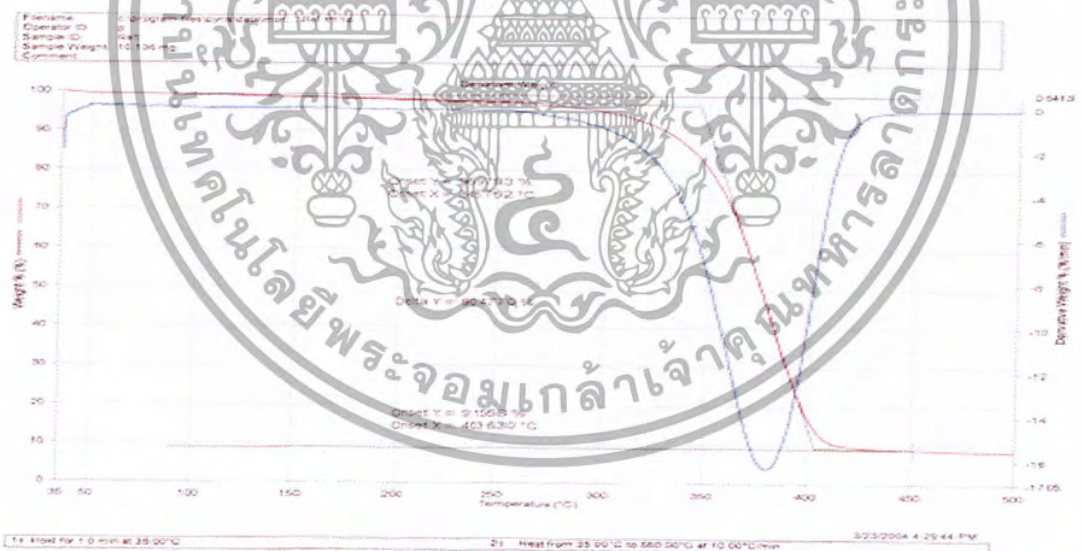


รูปที่ จ.4 แสดงการสลายตัวของโฟมพอลิสไตรีนผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation ที่ไปบำบัดน้ำเสียสีข้อม C.I. Disperse Blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.5 แสดงการสลายตัวของโพลิอะครีไนด์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และปฏิกิริยา Reductive Amination แล้ว ไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue



รูปที่ จ.6 แสดงการสลายตัวของโพลิอะครีไนด์ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation ที่ไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



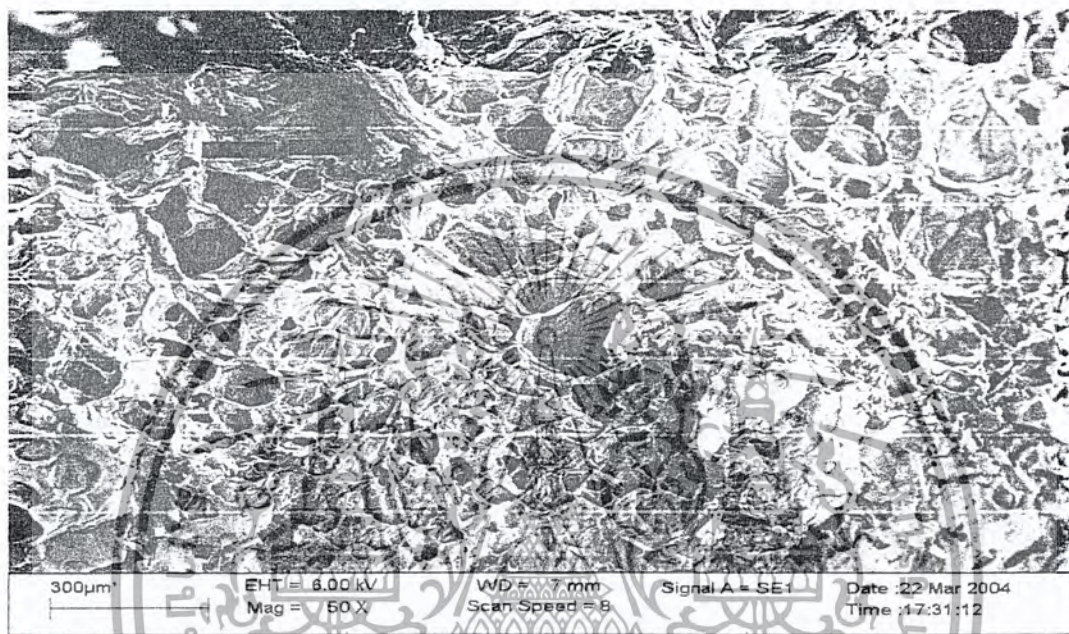


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

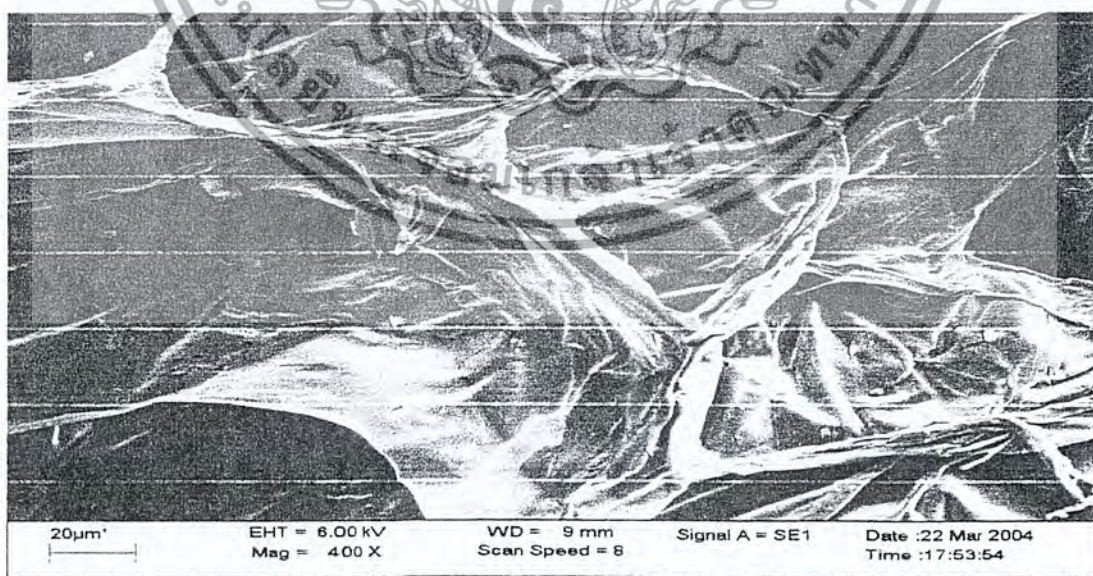
## ภาคผนวก ฉ

### ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

#### ฉ.1 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

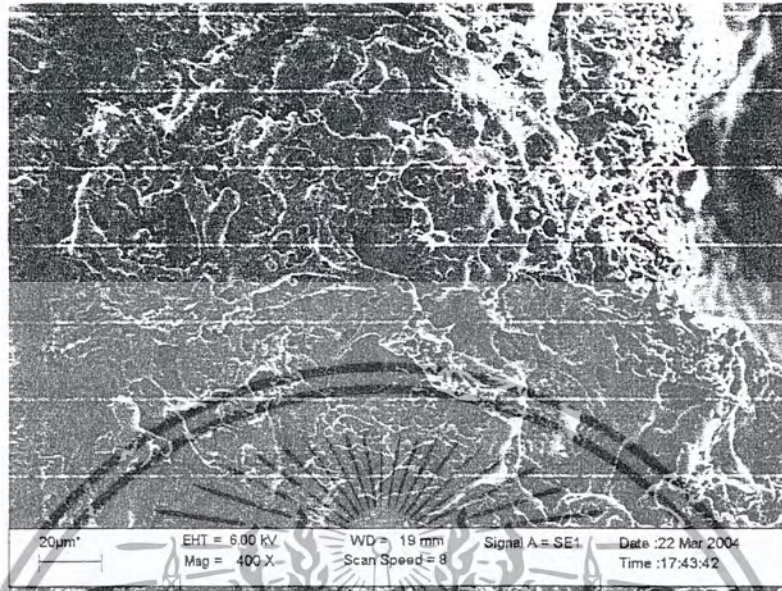


รูปที่ ฉ.1 แสดงภาพโพลิมิดีสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพที่กำลังขยาย 50 เท่า

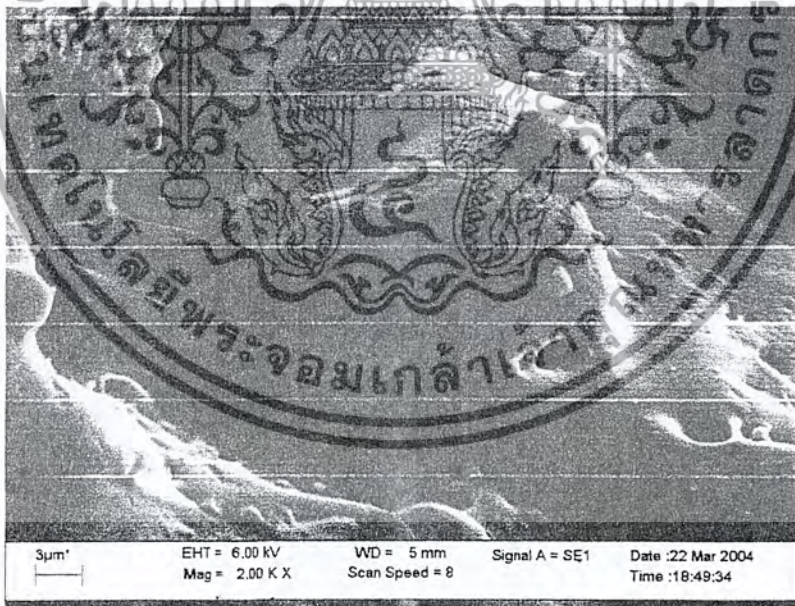


รูปที่ ฉ.2 แสดงภาพโพลิมิดีสไตรีนที่ไม่ได้ปรับสภาพที่กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

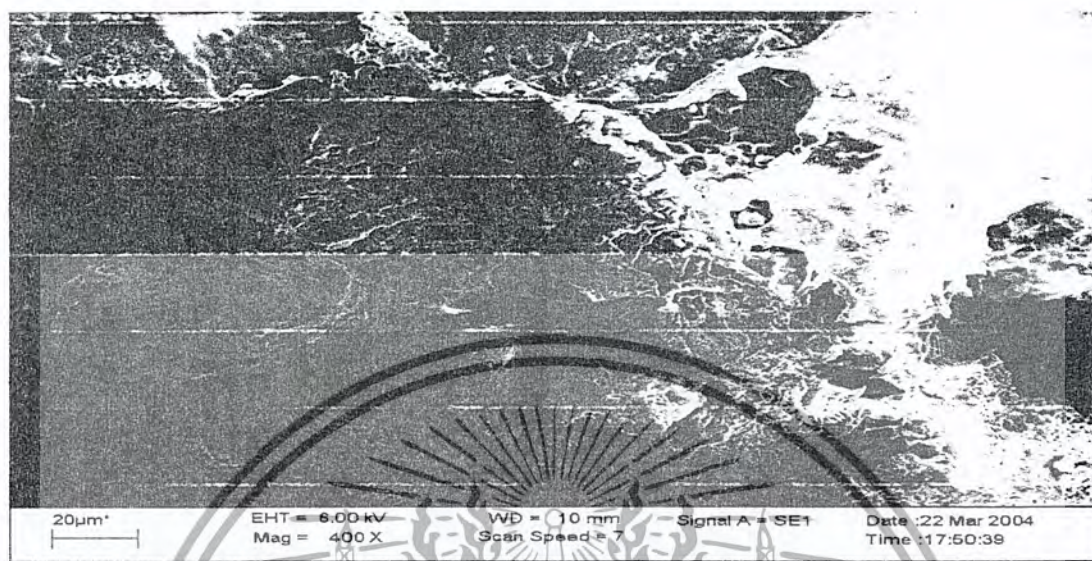


รูปที่ ๓.3 แสดงภาพโพลิเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation ที่กำลังขยาย 400 เท่า

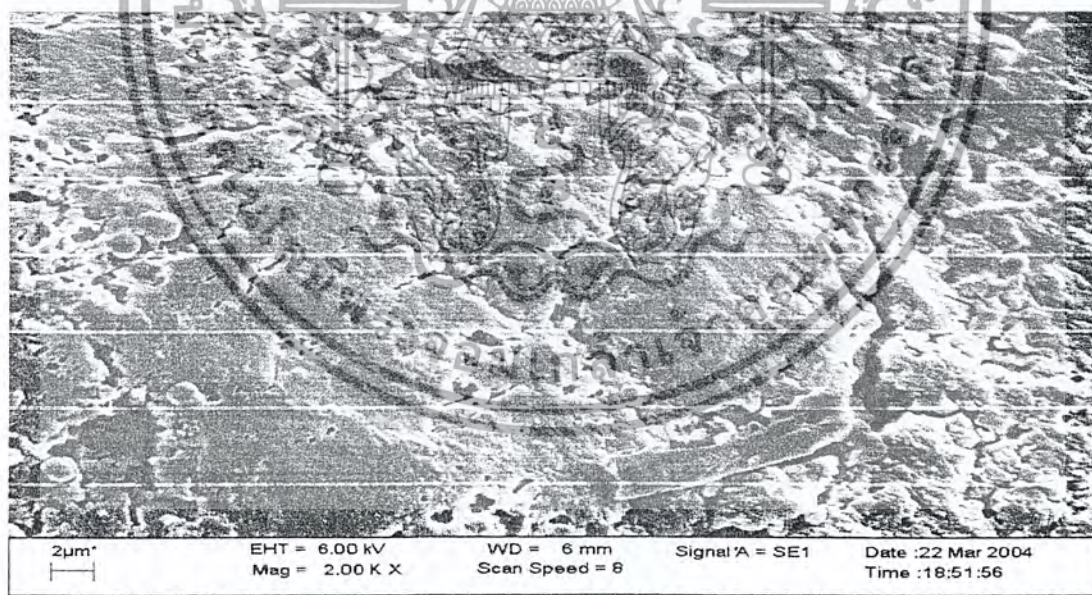


รูปที่ ๓.4 แสดงภาพโพลิเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel-Crafts Acetylation ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

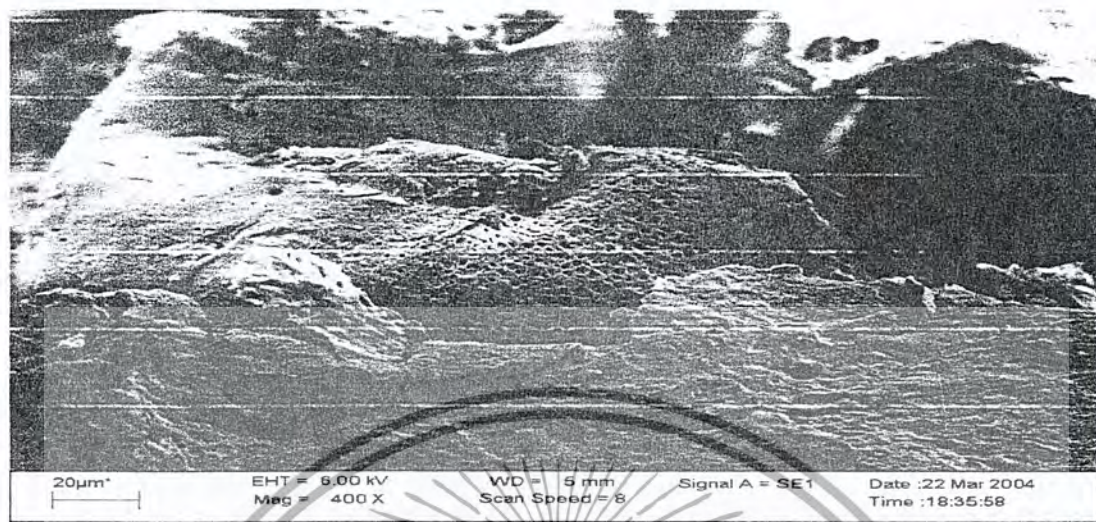


รูปที่ ๓.5 แสดงภาพโพรไฟล์สไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination ที่กำลังขยาย 400 เท่า

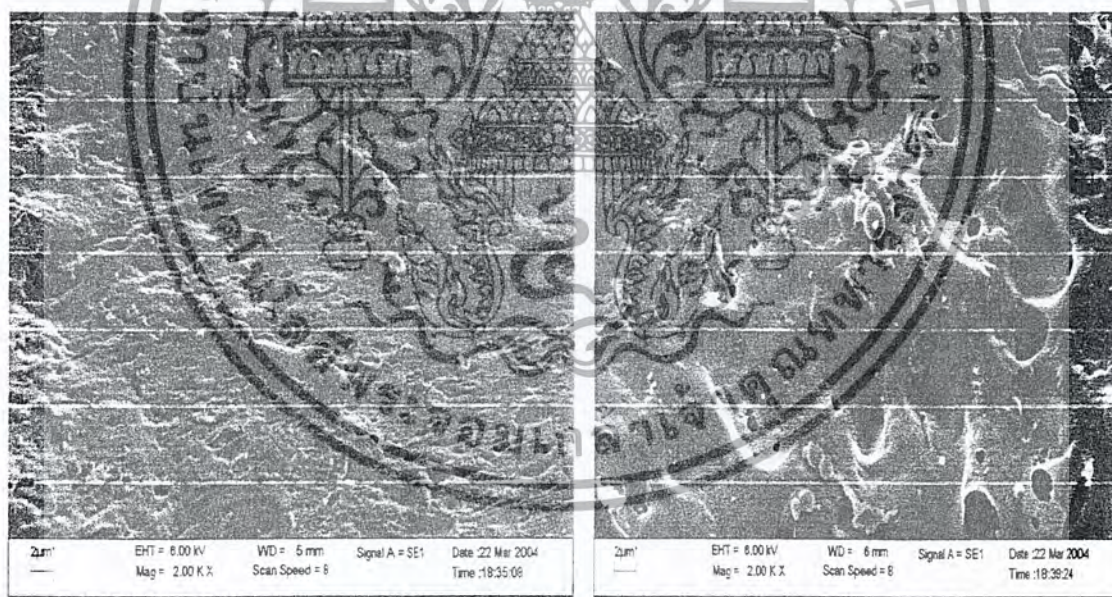


รูปที่ ๓.6 แสดงภาพโพรไฟล์สไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

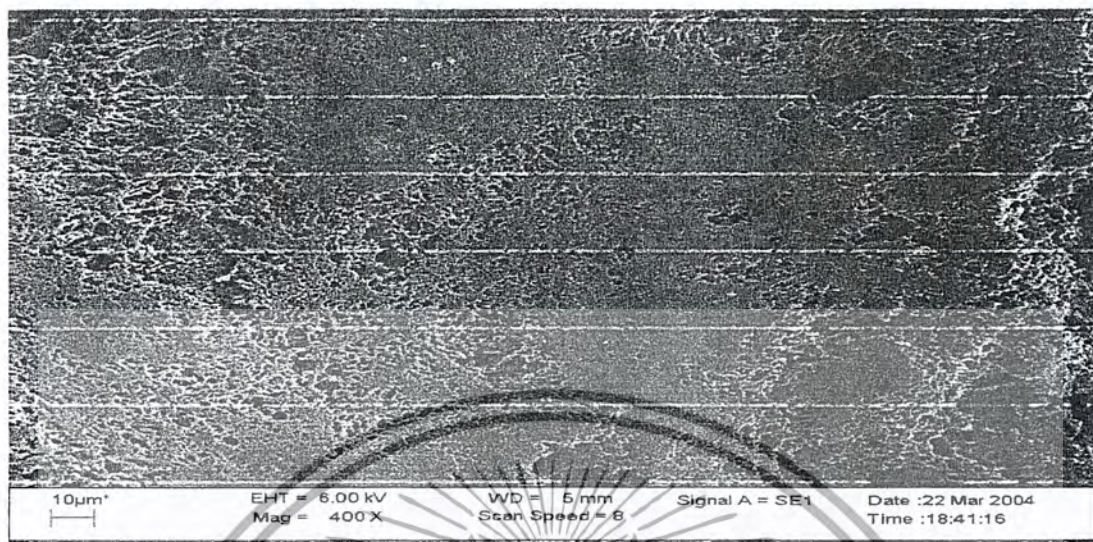


รูปที่ ๗.7 แสดงภาพโพรไฟล์สไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียด้วย Remazol Brilliant Blue R ที่กำลังขยาย 400เท่า



รูปที่ ๗.8 แสดงภาพโพรไฟล์สไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียด้วย Remazol Brilliant Blue R ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

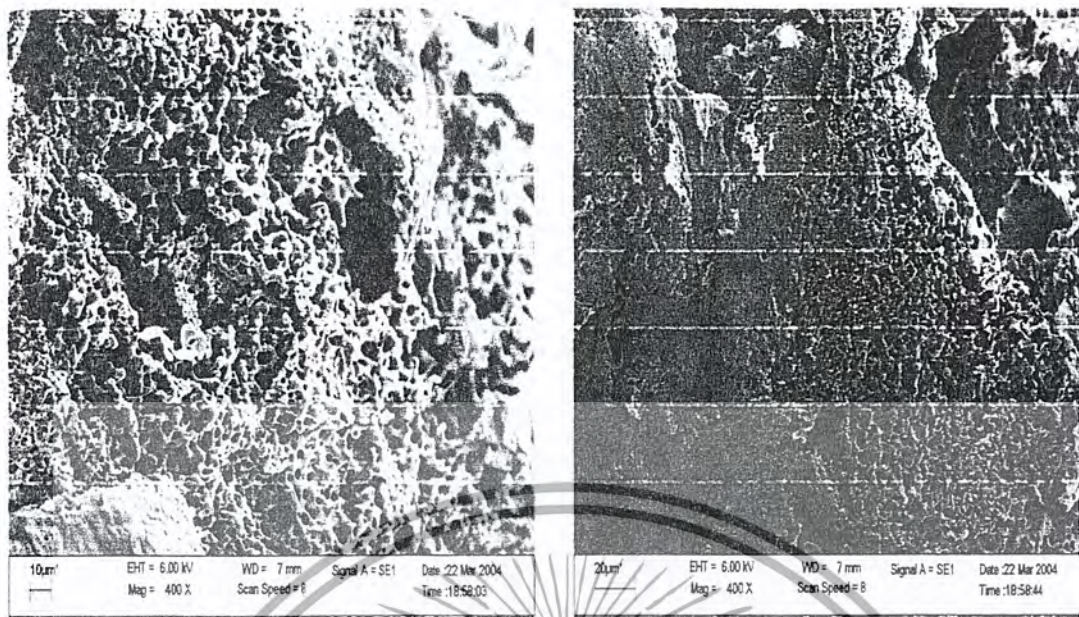


รูปที่ ๑.๙ แสดงภาพ โฟมพอลิไคโตรินที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียด้วย Remazol Brilliant Blue R ที่กำลังขยาย 400 เท่า

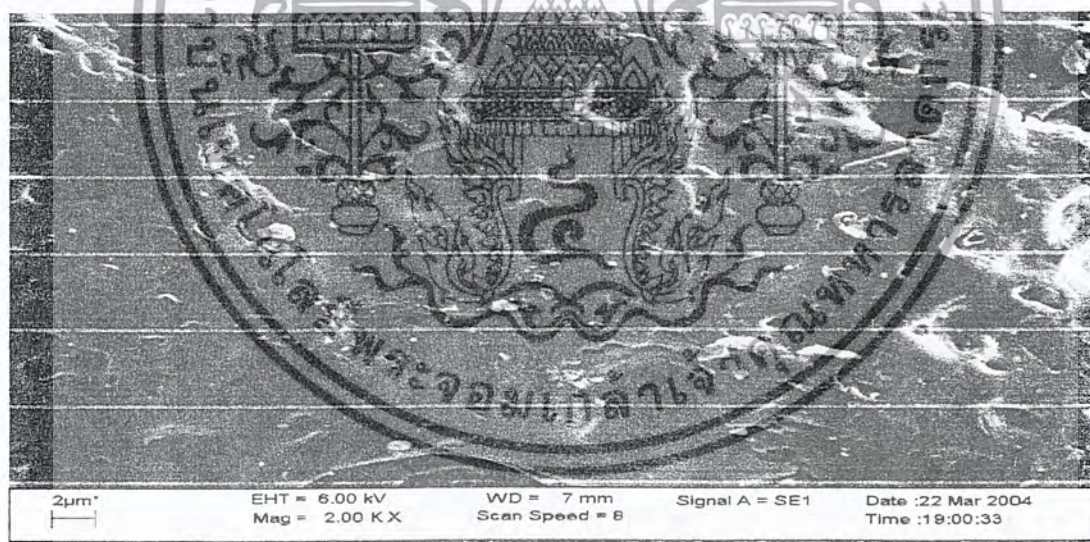


รูปที่ ๑.๑๐ แสดงภาพ โฟมพอลิไคโตรินที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียด้วย Remazol Brilliant Blue R ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

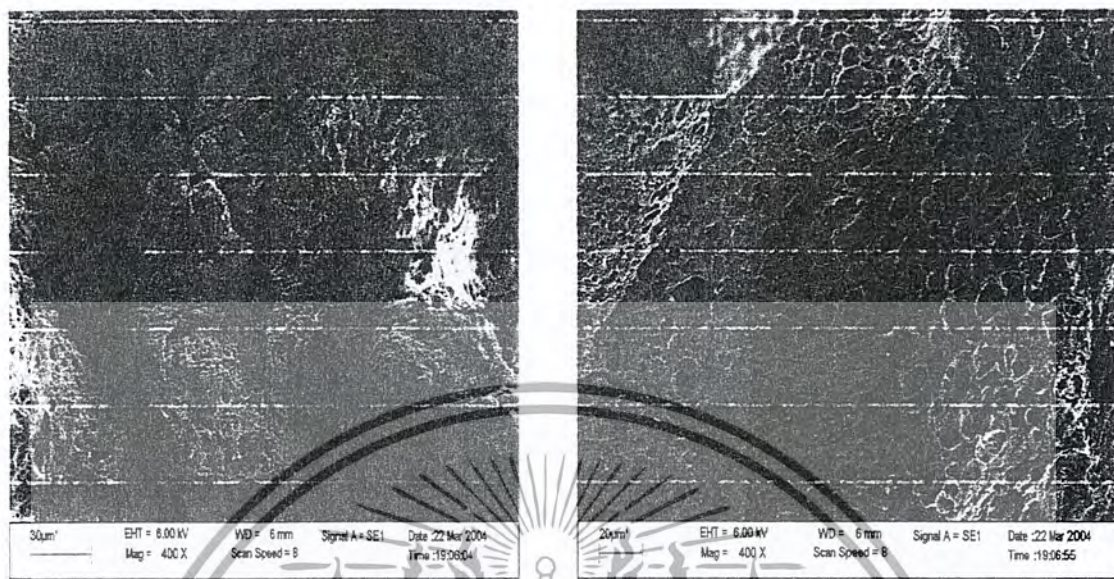


รูปที่ ๑.11 แสดงภาพโพรพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 400 เท่า

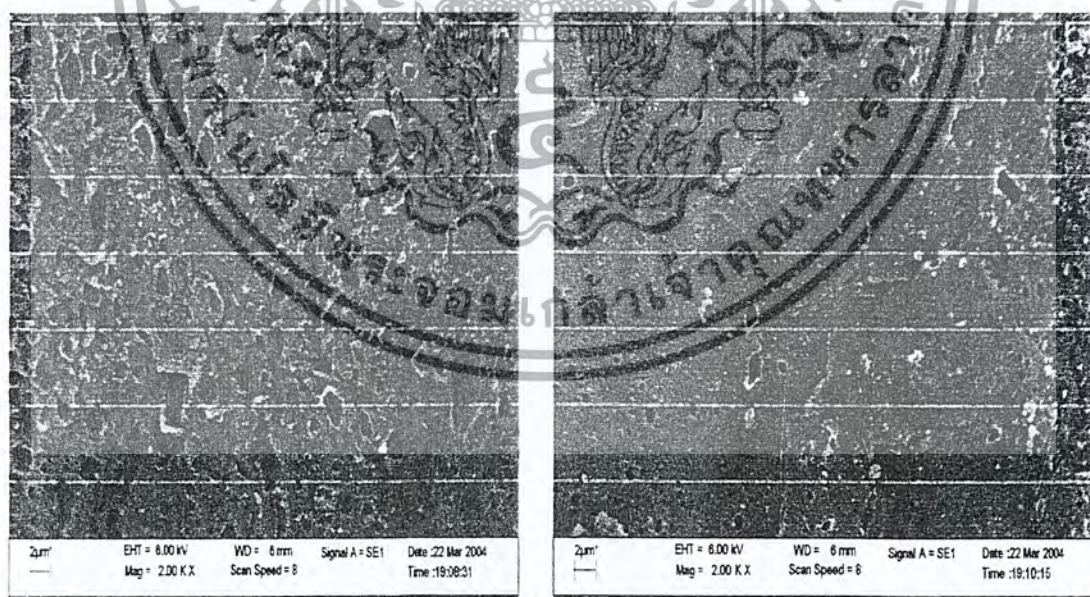


รูปที่ ๑.12 แสดงภาพโพรพอลิสไตรีนที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.13 แสดงภาพโพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีข้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 400 เท่า



รูปที่ ๑.14 แสดงภาพโพลีเมอร์ที่ผ่านปฏิกิริยา Friedel – Crafts Acetylation และ Reductive Amination แล้วนำไปบำบัดน้ำเสียสีข้อม C.I. Disperse Blue ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ข้อมูล MSDS ของสารเคมี

#### ข.1 MSDS ของ Acetyl Chloride

##### ข.1.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ : acetic chloride, ethanoyl chloride, acetic acid chloride

สูตร โมเลกุล :  $\text{CH}_3\text{COCl}$

CAS. NO : 75-36-5

##### ข.1.2 Physical Data

Appearance : เป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน ใส มีกลิ่นรุนแรง

Melting point :  $-112^\circ\text{C}$

Boiling point :  $51^\circ\text{C}$

Vapour density : 2.7

Vapour pressure : 315 mbar at  $20^\circ\text{C}$

Density ( $\text{g cm}^{-3}$ ) : 1.104

Flash point :  $4^\circ\text{C}$  (closed cup)

Explosion limits : 7.3% - 19%

Autoignition temperature:  $390^\circ\text{C}$

Water solubility : สลายตัวได้

##### ข.1.3 Toxicology

การกัดกร่อน ทำให้เกิดแผลพุพอง เป็นอันตรายถ้าหายใจเข้าไปหรือสัมผัสกับผิวหนัง เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดก๊าซที่ไม่มีสี (phosgene) ซึ่งมีความเป็นพิษสูงมาก ถ้าถูกดวงตาเป็นสาเหตุที่ทำให้ตาถูกทำลาย ถ้าเข้าทางปากจะทำให้เกิดการพุพองที่ปากและกระเพาะอาหาร

Toxicology Data : ORL-RAT LD50  $910 \text{ mg kg}^{-1}$

Irritation Data : IHL-HMN TCLO 1 ppm/1m

Risk phase : ติดไฟง่าย เกิดปฏิกิริยากับน้ำอย่างรุนแรง เป็นสาเหตุ

ของแผลพุพอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ข.1.4 Personal protection

สวมแว่นตานิรภัย ถุงมือ อยู่ในที่มีอากาศระบายทั่วถึง หลีกเลี่ยงอยู่ใกล้ถ้ามีการเกิดเพลิงไหม้ ถ้ารู้สึกไม่สบายให้รีบพบแพทย์ทันที

### ข.2 MSDS ของ Carbon disulfide

#### ข.2.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ : bisulphide, carbon bisulfide, carbon disulphide, carbon sulfide, dithiocarbonic anhydride, NCI-C04591, weeviltox, sulphocarbonic anhydride  
 วิธีใช้ : เป็นสารฆ่าเชื้อ ยามั่วแมลง สารทำลายแบคทีเรีย เป็นตัวทำละลาย ใช้ในกระบวนการเคมี

สูตร โมเลกุล :  $CS_2$

CAS. No. : 75-15-0

#### ข.2.2 Physical Data

Appearance : เป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน ใส มีกลิ่นที่ก่อให้เกิดความรำคาญ

Melting point :  $-112^{\circ}C$

Boiling point :  $46^{\circ}C$

Vapour density : 2.67 (air = 1)

Vapour pressure : 300 mm Hg at  $20^{\circ}C$

Density ( $g\ cm^{-3}$ ) : 1.26

Flash point :  $-30^{\circ}C$

Explosion limits : 1 - 50%

Autoignition temperature :  $90^{\circ}C$

Water solubility : ละลายน้ำได้เล็กน้อย

#### ข.2.3 Toxicology

ความเป็นพิษ อาจทำให้ถึงแก่ชีวิตถ้ากินหรือหายใจเข้าไปในปริมาณมาก เป็นอันตรายต่อ

สุขภาพ เป็นสาเหตุการเกิดมะเร็ง สามารถซึมผ่านผิวหนังได้ ถ้าได้รับสารเป็นสาเหตุการทำลายตับ ไต และเป็นโรคมะเร็ง หรือถ้าถูกดวงตาจะทำลายการมองเห็น เป็นสาเหตุการเกิดพุพอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IHL-HMN LCLO 4000 ppm/30m

IPR-GPG LDLO 400 mg kg<sup>-1</sup>

IHL-MAM LCLO 2000 ppm/5m

ORL-RAT LD50 3188 mg kg<sup>-1</sup>

ORL-MUS LD50 2780 mg kg<sup>-1</sup>

ORL-RBT LD50 2550 mg kg<sup>-1</sup>

IHL-MUS LC50 10000 mg/m<sup>3</sup>/2h

#### ข.2.4 Personal protection

สารนี้เป็นสารที่ระเหยได้ง่ายควรหลีกเลี่ยงการเกิดประกายไฟ วัสดุร้อน หลอดไฟ แผ่นความร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโอ ควรรวมแว่นตานิรภัยและถุงมือประเภท Viton หรือ PVA และอยู่ในที่ระบายอากาศสะดวก

### ข.3 MSDS ของ Methylamine hydrochloride

#### ข.3.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ : methylamine hydrochloride

สูตร โมเลกุล : CH<sub>3</sub>N.HCl

น้ำหนักโมเลกุล : 67.52

CAS.No. : 593-51-1

#### ข.3.2 Physical Data

Physical State	: ผลึก
Appearance	: สีขาว
Odor	: None reported.
pH	: Not available.
Vapor Pressure	: Not available.
Vapor Density	: Not available.
Evaporation Rate	: Not available.
Viscosity	: Not available.
Boiling Point	: 225-230 deg °C @ 15.00mm Hg
Freezing/Melting Point	: 231.00 - 233.00 deg °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการคุ้มครองทางปัญญาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solubility	: soluble
Specific Gravity/Density	: Not available.

### ซ.3.3 Toxicology

เป็นสาเหตุให้เกิดระคายเคืองตาและผิวหนัง เป็นอันตรายถ้าเข้าทางปาก ก่อให้เกิดการระคายเคืองที่กระเพาะอาหารและลำไส้ ทำให้เกิดอาเจียนและท้องร่วง ถ้าหายใจเข้าไปในปริมาณมากทำให้ปวดบวม

Dermal, guinea pig : LD50 = >2 gm/kg

Oral, rat : LD50 = 1600 mg/kg

### ซ.3.4 First Aid Measures

ตา : ให้ล้างด้วยน้ำสะอาดมากๆ

ผิวหนัง : ล้างน้ำสะอาด แล้วเปลี่ยนเสื้อผ้า และนำไปซักล้างก่อนที่จะนำมาใช้ใหม่

ทางปาก: ให้กินนมหรือน้ำเปล่า 2-4 แก้วแล้วนำส่งแพทย์

หายใจ : รีบไปอยู่ในที่ระบายอากาศได้ดี ถ้าหายใจติดขัดให้ใช้เครื่องช่วยหายใจ

หรือทำการผายปอดและรีบนำส่งแพทย์ทันที

## ซ.4 MSDS ของ Sodium Cyanoborohydride

### ซ.4.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ : Sodium cyanotrihydridoborate

สูตรโครงสร้าง :  $\text{NaBH}_2\text{CN}$

น้ำหนักโมเลกุล : 62.84

CAS.No. : 25895-60-7

### ซ.4.2 Physical Data

Appearance	: ค่อนข้างขาวมีลักษณะเป็นผง
Odor	: No information found.
Solubility	: ละลายน้ำ.
Specific Gravity	: 1.20
pH	: No information found.
% Volatiles by volume @ 21C (70F)	: 0
Boiling Point	: No information found.

Melting Point : 240-242°C (464-468°F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Decomposes.

Vapor Density (Air=1) : Not applicable.

Vapor Pressure (mm Hg) : Not applicable.

Evaporation Rate (BuAc=1) : No information found.

#### ซ.4.3 Toxicology Data

ไม่พบข้อมูล

#### ซ.4.4 Potential Health Effect

การหายใจ : การกักร้อน มีผลทำลายเนื้อเยื่อเกี่ยวกับระบบหายใจ อาการอาจมีการพุดอง ไอ จาม กล้องเสียงอักเสบ หายใจติดขัด ปวดศีรษะ อาเจียน

ทางปาก : เกิดการพุดองที่ปาก คอ และกระเพาะอาหาร เป็นสาเหตุให้ออกซิเจนในกระแสเลือดไม่พอ คื่นและริมฝีปากเปลี่ยนสี ปวดศีรษะ อาเจียน วิงเวียน ช็อคและอาจตายได้

ผิวหนัง : มีอาการบวมแดง และแผลพุดองที่ผิวหนัง

ตา : มองภาพไม่ชัด แผลพุดองที่ตา

#### ซ.4.5 First Aid Measure

หายใจ : อยู่ในที่ระบายอากาศได้ดี ถ้าหายใจติดขัดให้รีบให้ออกซิเจนและนำส่งแพทย์ทันที

ทางปาก : ดื่มน้ำมากๆ แล้วนำส่งแพทย์ทันที

ผิวหนัง : อาบน้ำมากๆ แล้วนำเสื้อผ้าไปซักก่อนนำมาใช้ใหม่

ตา : ล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วนำส่งแพทย์ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้