

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบำบัดพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)
ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน

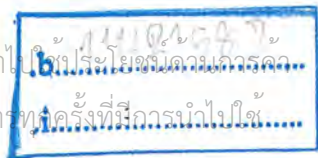


นางสาวดุษฎิ มั่นภักดิ์
นายวรุฒม์ ตากแสง
นางสาววิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 55573
วัน,เดือน,ปี 19 พ.ศ. 2548



Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs)

by Beta-Cyclodextrin Polymer



Miss Dudsadee Munpakdee

Mr. Waroot Taksaeng

Miss Wilawan Khanitchaidecha

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การบำบัดโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ด้วย
พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน

นักศึกษา นางสาว คุญฎี มั่นภักดี
นาย วรุศม์ ตากแสง
นางสาว วิลาวัลย์ กลดิษฐ์เฉชา

ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.ชชอ.จรัสสุทธิรักษ์
กรรมการ ดร.อุสารัตน์ ภักดีสุสุข
กรรมการ อาจารย์ภักดีนุสสุนท์ สุวรรณรัตน์
กรรมการ ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การบำบัดพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ด้วยพอลิเมอร์
บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน

นักศึกษา นางสาว คุษฎี มั่นภักดี
นาย วรุตม์ ตากแสง
นางสาว วิลาวัลย์ ภูมิพิชัยเดชา
ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา 2546
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัด PAHs ได้แก่ แนฟทาลีน, พีแนนทริน และ
ไพรีนออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน จากการศึกษาพบว่า พอลิเมอร์
บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้จากอีพิคลอโรไฮดรินและบีต้าไซโคลเดกซ์ทรินในสัดส่วนโดย
โมลเท่ากับ 10 สามารถดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทริน และไพรีนได้เท่ากับ 78.87 %, 90.88 % และ
64.42 % ตามลำดับ โดยใช้พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 15-20 มิลลิกรัม ต่อน้ำเสีย
สังเคราะห์ 10 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 60-180 นาที ทั้งนี้ พิเศษของสารละลายแนฟทาลีน, พีแนนทริน
และไพรีนไม่มีผลต่อการดูดซับ และพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ผ่านการดูดซับแล้ว จะมี
ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs)
by Beta-Cyclodextrin Polymer

Name Miss Dudsadee Munpakdee
Mr. Waroot Taksaeng
Miss Wilawan Khanitchaidecha

Department Chemistry

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2003

Special Project Advisor Asst.Prof. Dr. Suwan Chaiyasith

ABSTRACT

The purpose of this project is to study the removal of PAHs such as naphthalene, phenanthrene and pyrene from synthesis wastewater by beta-cyclodextrin polymer. It was found that beta-cyclodextrin polymer at a ratio of epichlorohydrin to beta-cyclodextrin of 10 exhibited the best performance regarding to adsorption capacity. The adsorption of naphthalene, phenanthrene and pyrene are 78.87 %, 90.88 % and 64.42 %, respectively at which beta-cyclodextrin polymer in the range of 15-20 milligrams for 60-180 mins. There is no effect of pH on adsorption. The recycle of beta-cyclodextrin polymer show the slightly decrease of percent removal of all PAHs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษสามารถลุล่วงไปด้วยดีในครั้งนี้ สืบเนื่องมาจากความร่วมมือ และความกรุณา ของทุกๆ ท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ที่กรุณาติดตาม ตรวจสอบ ดูแลเอาใจใส่ เป็นอย่างดี จนโครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย และ ดร.ภัทรารุช มนต์วิเศษ ที่ให้ ปรึกษาด้านต่างๆ รวมถึงอาจารย์ภาคเคมีทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง อีกทั้งเจ้าหน้าที่และอาจารย์ภาคฟิสิกส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการภาค เคมีทุกๆ ท่าน

ขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง เพื่อนๆ รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้องทุกๆ คนที่ทำให้กำลังใจ และ ช่วยเหลือในทุกๆ ด้านจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จในที่สุด

นางสาวดุษฎี มั่นภักดี

นายวรุตม์ ตากแสง

นางสาววิภาวัลย์ คณิตชัยเดชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โซโคเล็กซ์ทริน.....	4
2.1.1 โครงสร้างทางเคมี.....	6
2.1.2 สารประกอบอินคูลีน.....	7
2.1.3 การประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม.....	11
2.2 พอลิเมอร์บีต้าไซโคเล็กซ์ทริน.....	12
2.3 อีพิกลอโรไฮดริน.....	18
2.4 พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	20
2.4.1 แนฟทาลีน.....	21
2.4.2 ฟีนานทริน.....	25
2.4.3 ไพรีน.....	26
2.4.4 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม.....	27
2.4.5 การเป็นสารก่อมะเร็ง.....	27
2.4.6 ผลต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การดูดซับ	30
2.5.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์	30
2.5.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนดิช	31
2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	32
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	38
3.3 วิธีการทดลอง	38
3.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน เข้มข้น 100 ppm	38
3.3.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน	38
3.3.3 การตั้งเครื่องและทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	39
3.3.3.1 การตั้งเครื่องพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	39
3.3.3.2 การตรวจสอบพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้	40
3.3.3.2.1 ตรวจสอบความแข็งแรงของพันธะด้วยเทคนิค TGA เพื่อหาค่าอุณหภูมิการสลายตัว	40
3.3.3.2.2 ตรวจสอบความแข็งแรงของพันธะด้วยเทคนิค DSC เพื่อหาค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว	40
3.3.3.2.3 ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR	40
3.3.3.2.4 ตรวจสอบลักษณะพื้นที่ผิวด้วย SEM	40
3.3.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ	41
3.3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน	41
3.3.4.1 ศึกษาเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4.2 ศึกษาปริมาณบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินพอลิเมอร์ที่มีผลต่อการดูดซับ.....	42
3.3.4.3 ศึกษา pH ที่มีผลต่อการดูดซับ.....	42
3.3.4.4 ศึกษาความเข้มข้นที่มีผลต่อการดูดซับ	43
3.3.5 การศึกษาการนำพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การตรวจสอบพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน.....	45
4.1.1 อุณหภูมิการสลายตัว (TGA)	45
4.1.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว (DSC).....	48
4.1.3 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน	50
4.1.4 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิว.....	53
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ PAHs ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ.....	55
4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด PAHs.....	56
4.3.1 ศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม.....	56
4.3.2 ศึกษาปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่เหมาะสมต่อการดูดซับ.....	57
4.3.3 ศึกษา pH ที่มีผลต่อการดูดซับ	58
4.3.4 ศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ที่มีผลต่อการดูดซับ.....	59
4.4 การศึกษาการนำพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่.....	60
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก ก	67
ภาคผนวก ข	70
ภาคผนวก ค	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของไซโคลเด็กซ์ทริน	5
ตารางที่ 2.2 ข้อมูลพื้นฐานอื่นๆ ของอีพิคลอโรไฮดริน	19
ตารางที่ 2.3 เปอร์เซ็นต์การใช้แนฟทาลิน	23
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของ PAHs	27
ตารางที่ 2.5 การจัดกลุ่ม PAHs โดย International Agency for Research on Cancer	28
ตารางที่ 3.1 ความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการดูดกลืนแสงและคายแสงของ PAHs	44
ตารางที่ ก.1 การเตรียม PAHs ความเข้มข้นต่างๆ	68
ตารางที่ ก.2 ปริมาณอีพิคลอโรไฮดรินที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์ พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ	69
ตารางที่ ข.1 ผลการคายแสงของแนฟทาลินที่ความเข้มข้นต่างๆ	70
ตารางที่ ข.2 ผลการคายแสงของพีแนนทรินที่ความเข้มข้นต่างๆ	71
ตารางที่ ข.3 ผลการคายแสงของไพรีนที่ความเข้มข้นต่างๆ	73
ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ	73
ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองดูดซับพีแนนทรินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ	73
ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองดูดซับไพรีนด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ	73
ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน สูตร 10 ที่เวลาต่างๆ	74
ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองดูดซับพีแนนทรินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน สูตร 10 ที่เวลาต่างๆ	75
ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองดูดซับไพรีนด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน สูตร 10 ที่เวลาต่างๆ	76
ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	77
ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองดูดซับพีแนนทรินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	77
ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองดูดซับไพรีนด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	78
ตารางที่ ข.13 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของแนฟทาลิน	79
ตารางที่ ข.14 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของพีแนนทริน	80
ตารางที่ ข.15 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของไพรีน	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.16 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนิคซ์ของแนฟทาลีน	82
ตารางที่ ข.17 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนิคซ์ของพีแนนทริน	83
ตารางที่ ข.18 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนิคซ์ของไพรีน	84
ตารางที่ ข.19 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ pH ต่างๆ....	85
ตารางที่ ข.20 ผลการทดลองดูดซับพีแนนทรินด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ pH ต่างๆ...	86
ตารางที่ ข.21 ผลการทดลองดูดซับไพรีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ pH ต่างๆ	87
ตารางที่ ข.22 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	88
ตารางที่ ข.23 ผลการทดลองดูดซับพีแนนทรินความเข้มข้นต่างๆ ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	89
ตารางที่ ข.24 ผลการทดลองดูดซับไพรีนความเข้มข้นต่างๆ ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	90
ตารางที่ ข.25 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ที่นำกลับมาใช้ใหม่	91
ตารางที่ ข.26 ผลการทดลองดูดซับพีแนนทรินด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ที่นำกลับมาใช้ใหม่	91
ตารางที่ ข.27 ผลการทดลองดูดซับไพรีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ที่นำกลับมาใช้ใหม่	92
ตารางที่ ค.1 เปรูเซ็นต์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างเคมีของแอลฟา และบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	4
รูปที่ 2.2 ปริมาตรช่องว่างภายในของแอลฟา, บีต้า และแกมมาไซโคลเด็กซ์ทริน	5
รูปที่ 2.3 ลักษณะภายนอกของไซโคลเด็กซ์ทริน	6
รูปที่ 2.4 การเกิดสารประกอบอินclusion ระหว่างพอลิเมอร์ไซโคลเด็กซ์ทริน กับโมเลกุลของสารอินทรีย์	8
รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดสารประกอบอินclusion	9
รูปที่ 2.6 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินclusion	10
รูปที่ 2.7 กลไกการเกิดพอลิเมอร์ไซโคลเด็กซ์ทริน โดยมีอีพิคลอไฮดรินเป็นตัวเชื่อมโยง	14
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของพอลิเมอร์ไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้โดยมีอีพิคลอไฮดริน เป็นตัวเชื่อมโยง	15
รูปที่ 2.9 ประเภทต่างๆ ของพอลิเมอร์ไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้	16
รูปที่ 2.10 พอลิเมอร์ไซโคลเด็กซ์ทริน และการเชื่อมโยง	17
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของอีพิคลอโรไฮดริน	18
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโครงสร้างของ PAHS บางชนิด	21
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแนฟทาลิน	21
รูปที่ 2.14 การใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ จากแนฟทาลิน	24
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของฟีนานทริน	25
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของไพรีน	26
รูปที่ 2.17 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์	31
รูปที่ 2.18 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนิช	32
รูปที่ 3.1 แสดงชุดการสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	44
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	45
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10	46
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 20	46
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 30	47
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน	48
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การดูแลของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 20	49
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 30	49
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงหมู่ฟังก์ชันของบีต้าไซโคลเดกซ์ทริน	50
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 10	51
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 20	51
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 30	52
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 10 ที่ก้ำถึงขยาย 1500 เท่า	53
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 20 ที่ก้ำถึงขยาย 1500 เท่า	54
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 30 ที่ก้ำถึงขยาย 1500 เท่า	54
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทริน และไพรีน ที่ปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ	55
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทริน และไพรีน ที่เวลาสัมผัสต่างๆ	56
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทริน และไพรีน ที่ปริมาณ พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ	57
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทริน และไพรีน ที่ pH ต่างๆ	59
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทริน และไพรีน ที่ความเข้มข้นต่างๆ	60
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทริน และไพรีน ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ผ่านการดูดซับแล้ว	61
รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของแนฟทาลีน	70
รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของพีแนนทริน	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานของไพรีน	72
รูปที่ ข.4 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของแนฟทาลีน.....	79
รูปที่ ข.5 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของพีแนนทรีน	80
รูปที่ ข.6 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของไพรีน	81
รูปที่ ข.7 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนดิชของแนฟทาลีน.....	82
รูปที่ ข.8 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนดิชของพีแนนทรีน	83
รูปที่ ข.9 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนดิชของไพรีน.....	84
รูปที่ ค.1 พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้.....	93
รูปที่ ค.2 พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ผ่านการกรองและอบแล้ว.....	94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

PAHs	พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
β -CD	บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน
α -CD	แอลฟาไซโคลเด็กซ์ทริน
γ -CD	แกมมาไซโคลเด็กซ์ทริน
β -CDP	พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน
Epi	อีพิคลอไฮดริน
ml	มิลลิลิตร
rpm	รอบต่อนาที
ppm	หนึ่งในล้านส่วน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส
mmHg	มิลลิเมตรปรอท (หน่วยความดันไอ)
mg/L	มิลลิกรัมต่อ 1 ลิตร
kJmol^{-1}	กิโลจูลต่อ 1 โมล (หน่วยพลังงาน)
pKa	ค่าคงที่การแตกตัว
nm	นาโนเมตร
nm^3	ลูกบาศก์นาโนเมตร
LC_{50}	ความเข้มข้นของสารเคมีสูงสุดที่ทำให้สัตว์ทดลองตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น (Lethal Concentration)
pH	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
TGA	Thermogravimetric Analysis (หาอุณหภูมิการสลายตัว)
DSC	Differential Scanning Calorimetry (หาจุดหลอมเหลว)
SEM	Scanning Electron Microscope (หาพื้นที่ผิว)
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectrometry
Nap	แนฟทาลีน
Phe	ฟีแนนทริน
Pyr	ไพรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs) จัดเป็นสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดอันตรายชนิดหนึ่ง เนื่องจากว่ามีคุณสมบัติที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และแม้ว่าจะไม่มีข้อมูลจาก International Agency for Research on Cancer (IRAC) ยืนยันว่าเป็นมะเร็งในคนก็ตาม แต่ก็พบในสัตว์ทดลองหลายชนิด ส่วนข้อมูลทางระบาดวิทยาก็ยืนยันว่าเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดมะเร็งในคนด้วย สำหรับ PAHs นี้อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ในน้ำมันดิบ ถ่านหิน ครีวจากภูเขาไฟ และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ที่สำคัญคือการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม ยานพาหนะ กระจกชาย คิวบ์เสียดจากเผาถ่านหินหรือควีนบุหรี ซึ่งเหล่านี้มีผลมาจากการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนความก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรม ทำให้ PAHs หลายชนิดถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตมากขึ้น เช่น อุตสาหกรรมประเภทสี ย้อมตัวทำละลาย และยางแผ่น เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) และเนื่องจากขาดการจัดการหรือการบำบัดที่ดีพอ ตลอดจนไม่ตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้มีการตรวจพบ PAHs ปนเปื้อนตามแหล่งน้ำ ดิน อากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ และสัตว์โดยตรง

สำหรับ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงนักจะสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ แต่การย่อยสลายยังคงไม่สมบูรณ์ (Cuypers, Pancras และ Grotenhuis, 2001) ทำให้เกิดการตกค้างในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในแหล่งน้ำ และถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหารเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ศึกษาการบำบัด PAHs ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เพื่อให้มี PAHs เหลืออยู่ในปริมาณที่น้อยที่สุด และลดปัญหามลพิษอันจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการดูดซับ ซึ่งถือเป็นวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย (Crini, 2001) สำหรับตัวดูดซับที่เลือกทำการศึกษา คือ พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ และพบว่าให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูง มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ดังนั้นสมควรที่จะนำมาใช้เป็นตัวดูดซับในการดูดซับ PAHs ที่เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว และละลายน้ำได้น้อยได้ นอกจากถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีการศึกษาก่อนหน้านี้ (Mastral, Gracia และ Callen 2002) หรือสารจำพวก จีโอไทท์ (Geothite) หรือคาโอทิไนท์ (Kaotinite) (Anagore, Fernandes และ Ikhsan 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ PAHs ที่เลือกทำการศึกษาในครั้งนี้ แต่ละชนิดจะมีจำนวนวงอะโรมาติกแตกต่างกัน ได้แก่ แนฟทาลีน (Naphthalene: มีจำนวนอะโรมาติก 2 วง) ฟีนแอนทริน (Phenanthrene: มีจำนวนอะโรมาติก 3 วง) และ ไพรีน (Pyrene: มีจำนวนอะโรมาติก 4 วง) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs ที่มีขนาดโมเลกุลและโครงสร้างต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสัดส่วนโดยโมลของอีพิกลอสไตรอินในการสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด PAHs ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs แต่ละชนิด
4. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการนำพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. สังเคราะห์ β -CDP สูตรต่างๆ ได้แก่ สูตร 10, 20 และ 30 ซึ่งมีสัดส่วนโดยโมลของ Epi: β -CD เป็น 10:1, 20:1 และ 30:1 ตามลำดับ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs ด้วย β -CDP ที่สังเคราะห์ได้ในแต่ละสูตร
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด PAHs โดยเติม β -CDP ลงในน้ำเลี้ยงสังเคราะห์ของ แนฟทาลีน, ฟีนแอนทริน และไพรีน 10 mg เข้มด้วยความเร็วรอบ 100 rpm จากนั้นแยกเอา พอลิเมอร์ออกด้วยกรรกรองแบบสูญญากาศ โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณ PAHs ที่เหลือใน สารละลายด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังนี้
 - เวลาสัมผัส แปรค่าเป็น 5, 10, 20, 30, 60, 120 และ 180 นาที
 - ปริมาณ β -CDP แปรค่าเป็น 5, 10, 15, 20 และ 30 mg
 - pH แปรค่าเป็น 2, 4, 7, 10 และ 12
 - ความเข้มข้น PAHs แปรค่าเป็น 0.1, 0.5, 1, 5 และ 10 ppm
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs แต่ละชนิด
4. ศึกษาการนำ β -CDP กลับมาใช้ใหม่ โดยนำ β -CDP ที่ผ่านการดูดซับแล้ว มาล้างด้วย เอทานอล เมทานอล และน้ำกลั่น ตามลำดับ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำไปดูดซับ PAHs อีกครั้ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของพอลิเมอร์ที่ผ่านการดูดซับแล้ว จนครบ 5 ครั้ง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสัดส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของอีพิกลอโรไฮดรินต่อบีต้าไซโคลเดกซ์ทริน ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs สูงสุด
2. ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน
3. ทราบถึงผลของโครงสร้างที่ต่างกันของ PAHs ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ
4. ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัด PAHs แล้วนำพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่
5. สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

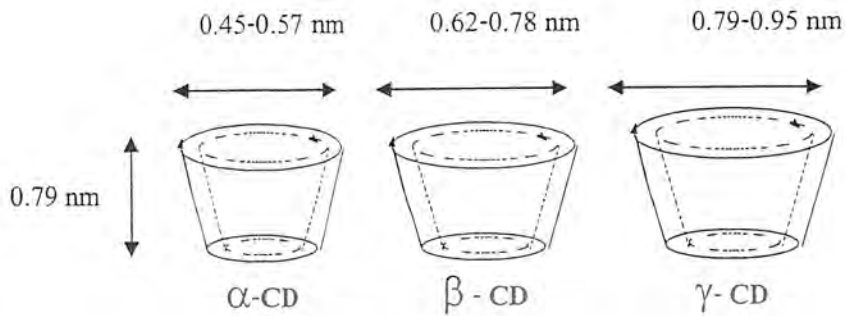
2.1 ไซโคลเด็กซ์ทริน (Cyclodextrin)

ไซโคลเด็กซ์ทรินมีชื่อทางการค้าว่า ไซโคลกลูโคอะไมโลส (Cycloglucoamylose) จัดเป็นสารจำพวกไซคลิกโอลิโกแซคคาไรด์ (Cyclic oligosaccharide) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว สามารถเตรียมได้จากการสลายโมเลกุลของแป้งด้วยเอนไซม์กลูโคซิลทรานเฟอเรส (Glucosyl transferase) จากแบคทีเรีย (Dondon และ Suzanne, 1999) โดยแต่ละหน่วยของกลูโคสจะเกิดการเชื่อมต่อกัน (Coupling) ด้วยพันธะแอลฟา 1, 4 (α -1, 4 bond) ดังรูปที่ 2.1 เกิดเป็นสารที่มีลักษณะเป็นโพรงและมีปริมาตรที่แน่นอนคล้ายถ้วย สำหรับไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้นั้น จะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น แอลฟา, บีต้า หรือแกมมาไซโคลเด็กซ์ทริน (α , β และ γ -CD) ขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยของกลูโคสที่เชื่อมต่อกัน โดยแอลฟา, บีต้า หรือแกมมาไซโคลเด็กซ์ทริน จะประกอบด้วยกลูโคส 6, 7 และ 8 หน่วย ตามลำดับ ส่งผลให้มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในต่างกันด้วย ดังรูปที่ 2.2 นอกจากนี้ยังมี σ , ϵ และ η -Cyclodextrin ที่ประกอบด้วยกลูโคสจำนวนมากตั้งแต่ 10 หน่วยขึ้นไป โดยมีตัวไซโคลเด็กซ์ทรินจัดเป็นไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด เนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง และมีราคาไม่แพง ส่วน σ , ϵ และ η -Cyclodextrin จะมีขนาดใหญ่เกินไป ตลอดจนคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ไม่เหมาะสม จึงไม่นิยมนำมาใช้ประโยชน์มากนัก (Szejtli, 1998 และ Beloshudov, 2002)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของแอลฟา และบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน (Dondon และ Suzanne, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ปริมาตรช่องว่างภายในของแอลฟา, บีต้า และแกมมาไซโคลเด็กซ์ทริน (Szejtli, 1998)

สำหรับลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของไซโคลเด็กซ์ทริน แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของไซโคลเด็กซ์ทริน (ปวีณา และวริศรา, 2544)

ลักษณะเฉพาะ	α -CD	β -CD	γ -CD	
จำนวนหน่วยกลูโคส	6	7	8	
น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	972	1135	1297	
ความสามารถในการละลายน้ำ (g/L)	14.5	18.5	23.2	
ค่าคงที่การแตกตัว (pKa)	12.33	12.2	12.08	
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (nm) (บริเวณปากถ้วย)	0.45-0.57	0.62-0.78	0.79-0.95	
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (nm) (บริเวณปากถ้วย)	1.37	1.53	1.69	
ความสูง (nm)	0.79	0.79	0.79	
ปริมาตรช่องว่างภายใน (nm ³)	0.174	0.262	0.427	
ปริมาตรช่องว่างภายใน (ml)	ต่อ 1 mol	104	157	256
	ต่อ 1 g	0.1	0.14	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 โครงสร้างทางเคมี

ลักษณะภายนอกของไซโคลเด็กซ์ทริน จะประกอบด้วยหน่วยกลูโคสที่มีโครงสร้างเป็นรูปเก้าอี้ (C_1 chair conformation) เชื่อมต่อกัน มีลักษณะเป็นถ้วยกลวง โดยด้านที่กว้างกว่าจะเกิดจากการจัดเรียงตัวของหมู่ 2-3-ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (Secondary 2-3-hydroxyl) ส่วนด้านที่แคบจะเกิดจากการจัดเรียงตัวของหมู่ 6-ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (Primary 6-hydroxyl) โดยโพรงภายในโมเลกุลไซโคลเด็กซ์ทรินจะเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เนื่องจากอิเล็กตรอนคู่ที่ไม่เกิดพันธะของออกซิเจนจะมีทิศทางเข้าสู่ด้านในของโมเลกุลมากกว่า ส่งผลให้มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง จึงแสดงคุณสมบัติเป็นลิวอิสเบส (Lewis base) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งต่างจากภายนอกที่เป็นส่วนชอบน้ำ (Hydrophilic) สำหรับรูปแสดงส่วนที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำของไซโคลเด็กซ์ทริน แสดงดังรูป 2.3



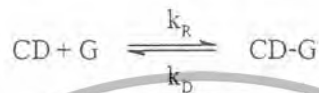
รูปที่ 2.3 ลักษณะภายนอกของไซโคลเด็กซ์ทริน (Dondon และ Suzanne, 1999)

และเนื่องจากไซโคลเด็กซ์ทรินมีลักษณะเป็นถ้วยกลวง จึงมีโอกาสที่โมเลกุลของสารอื่น เช่น สารประกอบอินทรีย์-อนินทรีย์ ทั้งที่เป็นกลางและมีประจุเคลื่อนที่เข้าสู่โพรงภายในช่องว่างดังกล่าว เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น เรียกสารประกอบดังกล่าวว่าสารประกอบอินคลูชัน (Belosludov, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สารประกอบอินclusion (Inclusion complex)

การเกิดสารประกอบอินclusion (Inclusion complex) จัดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญที่สุดของไซโคลเด็กซ์ทริน คือ โมเลกุลของสารอื่นหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Guest) จะเคลื่อนที่เข้าไปในโพรงของไซโคลเด็กซ์ทริน ที่ทำหน้าที่คล้ายหลักยึด (Host) โดยอาจเข้าไปทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนก็ได้ ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงการเกิดสารประกอบอินclusion ได้ ดังนี้



เมื่อ CD คือ ไซโคลเด็กซ์ทริน
 G คือ โมเลกุลตัวถูกดูดซับ
 CD-G คือ สารประกอบเชิงซ้อนอินclusion

สำหรับค่าคงที่ของปฏิกิริยาสามารถหาได้จาก

$$K = \frac{k_R}{k_D} = \frac{[\text{CD-G}][\text{CD}][\text{G}]}{[\text{CD}][\text{G}][\text{CD-G}]}$$

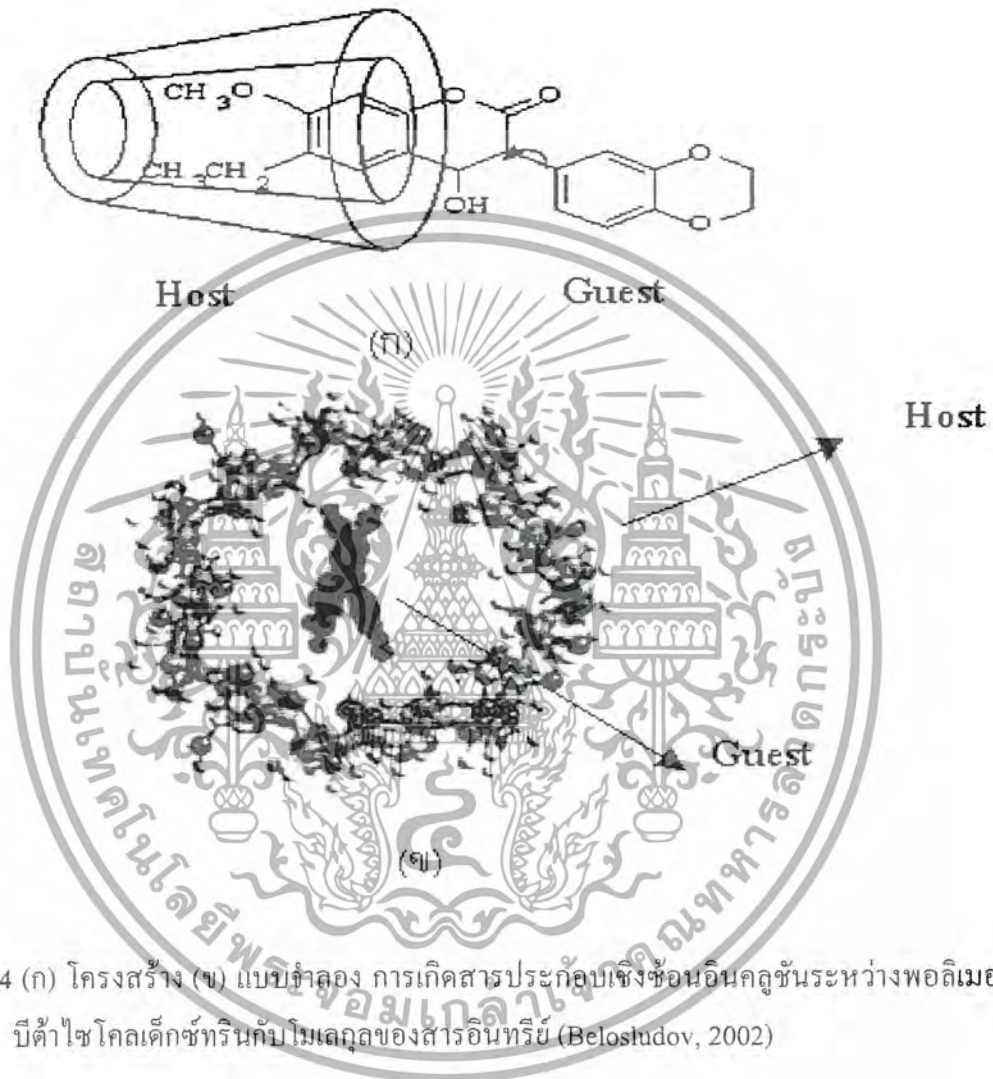
เมื่อ k_D คือ ค่าคงที่การแตกตัว (Dissociation)
 k_R คือ ค่าคงที่การรวมตัว (Recombination)

ซึ่งค่าคงที่ของปฏิกิริยา (K) จะมีค่าอยู่ในช่วง $10^0 - 10^5 \text{ L.mol}^{-1}$

หลังจากนั้นจะเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไซโคลเด็กซ์ทริน (Host) กับ โมเลกุลตัวถูกดูดซับ (Guest) โดยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงอย่างอ่อนๆ เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals forces มีค่าประมาณ 4 kJmol^{-1}) ระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำของไซโคลเด็กซ์ทรินกับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ นอกจากนี้หากโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วก็่จะเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding มีค่าประมาณ 40 kJmol^{-1}) กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของไซโคลเด็กซ์ทริน ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่มีการเกิดพันธะโควาเลนต์ขึ้นเลย (Covalent bonding มีค่าประมาณ 400 kJmol^{-1}) ดังนั้นสารประกอบอินclusionที่เกิดขึ้น จึงไม่ยึดติดกันอย่างถาวร แต่จะเกิดขึ้นอย่างชั่วคราว จนเข้าสู่สมดุลเท่านั้น โดยความแข็งแรงของพันธะจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งระหว่างพื้นผิวไซโคลเด็กซ์ทรินกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมที่เกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้าง, ประจุ และความมีขั้วของ โมเลกุลที่ ถูกดูดซับด้วย (Szejtli, 1998) ดังรูปที่ 2.4

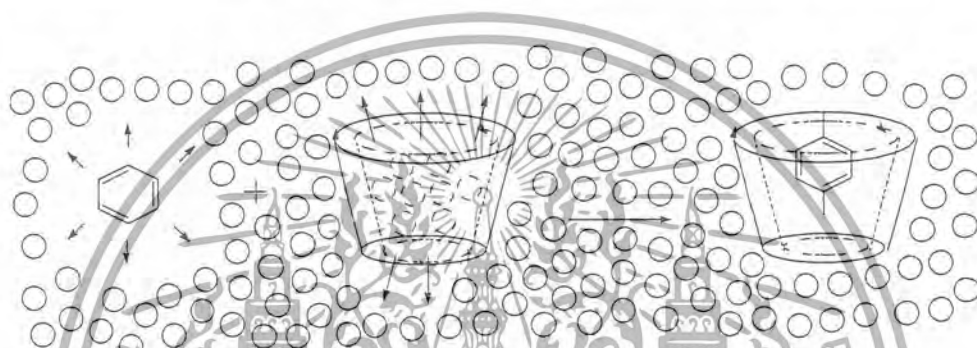


โดยกลไกการเกิดสารประกอบอินคลูชันเป็นดังนี้ คือ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเข้าไป แทนที่โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในโพรงของไซโคลเด็กซ์ทริน ดังรูป 2.5 ซึ่งแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอนคือ

1. โมเลกุลของน้ำในสถานะก๊าซจะหลุดออกจากโพรงของไซโคลเด็กซ์ทริน
2. ระดับพลังงานของไซโคลเด็กซ์ทรินจะลดลง
3. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ไม่มีขั้วจะไล่โมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบอยู่ออกไป และเกิดการ จัดเรียงตัวใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

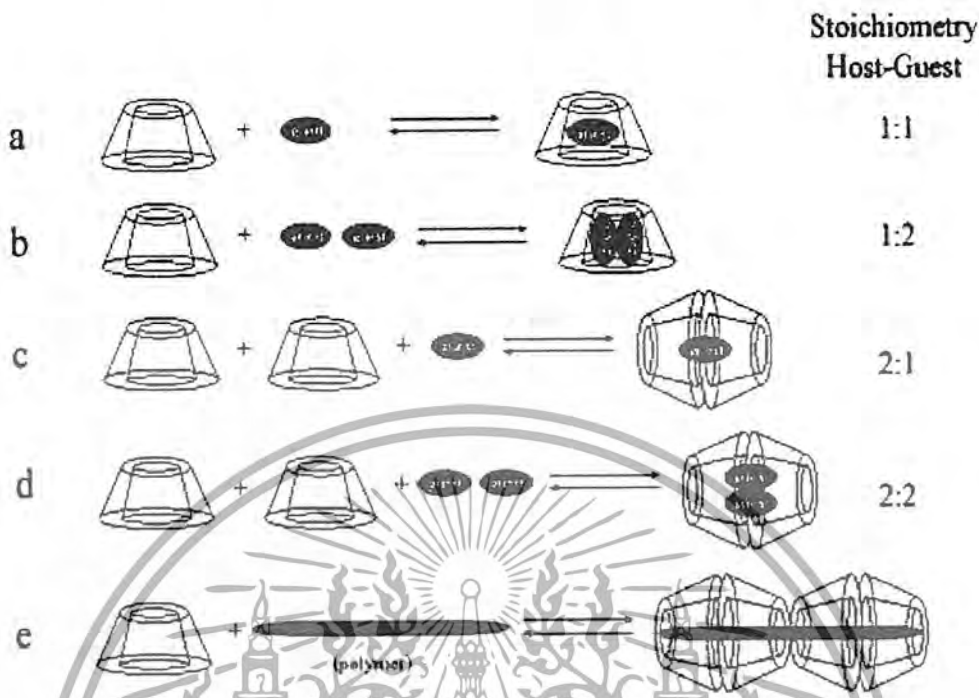
4. โมเลกุลของตัวถูกละลาย จะเข้าไปในโพรงของไซโคลเดกซ์ทรินที่ว่างอยู่ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น โดยอาศัยแรงแวนเดอร์วาลส์ และบางกรณีอาจจะเกิดพันธะไฮโดรเจนควบคู่ไปด้วย
5. โมเลกุลของน้ำจะเกิดการควบแน่น เปลี่ยนจากสถานะก๊าซกลับมาเป็นของเหลวอีกครั้ง โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปี (Enthalpy) และเอนโทรปี (Entropy)
6. โมเลกุลของน้ำจะล้อมรอบโมเลกุลของตัวถูกละลาย และเกิดพันธะกับไซโคลเดกซ์ทริน



รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดสารประกอบอินclusion (Szejtli, 1998)

ลักษณะโครงสร้างทางเรขาคณิตของ โมเลกุลตัวถูกละลาย จะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีผลต่อความเสถียรของสารประกอบเชิงซ้อนอินclusion ที่เกิดขึ้น ซึ่งถ้าโมเลกุลของตัวถูกละลายมีขนาดเล็กเกินไป เมื่อเทียบกับขนาดของโพรงหรือช่องว่างของไซโคลเดกซ์ทริน จะไม่เกิดแรงยึดเหนี่ยวใดๆ หรือเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากโมเลกุลของตัวถูกละลายสามารถผ่านเข้า-ออกจากโพรงของไซโคลเดกซ์ทรินได้อย่างง่ายดาย ส่วนในกรณีที่โมเลกุลของตัวถูกละลายมีขนาดใหญ่ จะไม่สามารถผ่านเข้าไปในโพรงของไซโคลเดกซ์ทรินได้ จึงไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น สำหรับรูปแสดงตัวอย่างการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินclusion แสดงดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน (เป็ริญา และ วริศรวิ, 2544)

กรณี a เป็นการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนโดยทั่วไปของแอลฟา และบีต้าไซโคลเดกซ์ทริน กับโมเลกุลของตัวถูกหุ้ดซึ่งจะเกิดขึ้นในสัดส่วน 1:1 โดยแอลฟาไซโคลเดกซ์ทรินจะเกิดเป็นสารประกอบอินคลูชันกับสายโซ่อะลิฟาติกขนาดเล็ก (Slim aliphatic) และบีต้าไซโคลเดกซ์ทรินมักเกิดสารประกอบอินคลูชันกับสารประกอบอะโรมาติกที่มีขนาดเล็กหรือไม่อิ่มตัว (มีพันธะคู่)

กรณี b สำหรับแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในใหญ่ และมีปริมาณมาก จึงเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชันในสัดส่วน 1:2

กรณี c และ d จะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกหุ้ดมีขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับช่องว่างของไซโคลเดกซ์ทริน โดยจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชันในสัดส่วน 2:1 หรือ 2:2

กรณี e พบในกรณีที่โมเลกุลตัวถูกหุ้ดมีขนาดยาวมากพอที่จะยึดกับไซโคลเดกซ์ทรินหลายๆโมเลกุลได้ เช่น สารจำพวกพอลิเมอร์

ข้อมูลจำเพาะของบีต้าไซโคลเดกซ์ทริน

- ชื่อการค้า Cycloheptamylose, β-Schardinger dextrin
- CAS NO 68168-23-0
- ลักษณะภายนอก ผงสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดหลอมเหลว	298 °C
- ค่าการละลายน้ำ	18.5 g/L ที่ 25 °C
- pH	6.87
- Chloride	0.018 %
- Glucose	0.2 %
- Loss on drying	11.2 %
- Specific optical rotation	+162
- Residual on ignition	0.002 %
- ขนาด	80 mesh
- การปนเปื้อนของโลหะหนัก	5 ppm
- ความเป็นพิษ	อาจเกิดการระคายเคืองต่อตาทางเดินหายใจ และผิวหนัง (ยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างจริงจัง)
- การป้องกัน	หลีกเลี่ยงการสัมผัสทางผิวหนังและตา

(ที่มา: <http://www.physchem.ox.ac.uk/MSDS/CV/beta-cyclodextrin/>)

2.1.3 การประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม

เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของไซโคลเด็กซ์ทรินที่ไม่ต่างจากสารประเภทอื่นๆ ทำให้มีการนำไซโคลเด็กซ์ทรินไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร, เครื่องดื่ม, ยา และอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- เครื่องสำอาง

ส่วนใหญ่มักจะใช้ไซโคลเด็กซ์ทรินในการรักษาเสถียรภาพ (Stabilization) ควบคุมกลิ่น และใช้ในกระบวนการปรับปรุงส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่ในรูปของเหลวให้เป็นของแข็ง นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งในการผลิตยาสีฟัน และครีมทาผิว

- อาหารและกลิ่น

โดยทั่วไปแล้วกลิ่น มักจะอยู่ในรูปของน้ำมันระเหย (Volatile oil) หรืออยู่ในรูปของของเหลว ซึ่งการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไซโคลเด็กซ์ทริน จะช่วยป้องกันกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในการกำจัดโคเลสเตอรอล (Cholesterol) จากผลิตภัณฑ์จำพวก

นม, เนย และไข่ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุตสาหกรรมเคมี

ไซโคลเด็กซ์ทรินถูกนำไปใช้อย่างกว้างในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเคมีทางการเกษตร เช่น ยา กำจัดวัชพืช, ยาฆ่าแมลง, ยาฆ่าเชื้อรา, สารไล่แมลงฟีโรโมน (Pheromone) และสารควบคุมการเจริญเติบโต สำหรับการใช้อย่างอื่น ๆ ได้แก่ การรักษาเสถียรภาพ (Stabilization) การช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายในอุตสาหกรรมเคมี ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และปัจจุบันเริ่มมีการนำไซโคลเด็กซ์ทรินมาใช้ในการกำจัดสารพิษที่ปนเปื้อนในของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

- กาว การเคลือบผิว และพอลิเมอร์

โดยไซโคลเด็กซ์ทรินจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูง สำหรับปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์จะทำให้พอลิเมอร์มีความหนืดสูงขึ้น และยังเป็นตัวขัดขวางผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์จากปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์

- ยา

เนื่องจากยาจะละลายในน้ำ และแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Cellular membrane) และจะมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มากพอที่จะแพร่ผ่านเมมเบรนได้ แต่ยาส่วนใหญ่จะเป็นอีกทีฟอเจนที่ ไม่ละลายในน้ำ สารละลายอินทรีย์และเซอร์แฟคแทนท์อื่นๆ หรือที่ pH ไม่เหมาะสม (สูงหรือต่ำเกินไป) อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการระคายเคือง และความไม่มีประสิทธิภาพของยา จึงได้นำไซโคลเด็กซ์ทรินไปใช้ในการผลิตยาด้วย (ที่มา: <http://www.peakchem.com/products/cyclodextrin.htm>)

2.2 พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน (β -Cyclodextrin Polymer)

การสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน เป็นวิธีหนึ่งในการนำบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินไปใช้ประโยชน์ โดยจะเติมสารเชื่อมโยง (Cross-linked agent) ลงในบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน โดยจะควบคุมสถานะให้เหมาะสม จากนั้นจะได้โมเลกุลที่มีลักษณะเป็นร่างแหสามมิติ ซึ่งเกิดจากบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินตั้งแต่ 2 โมเลกุลขึ้นไป เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้มีคุณสมบัติบางประการแตกต่างไปจากบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินในรูปของมอนอเมอร์ เช่น การละลายน้ำ เนื่องจากพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินจะไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่สามารถละลายน้ำได้ดี (Janus, 1999) ลักษณะภายนอกก็เปลี่ยนไปเช่นเดียวกัน จากผงละเอียดสีขาว เป็นแผ่นฟิล์มบาง หลังจากผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) เรียบร้อยแล้ว

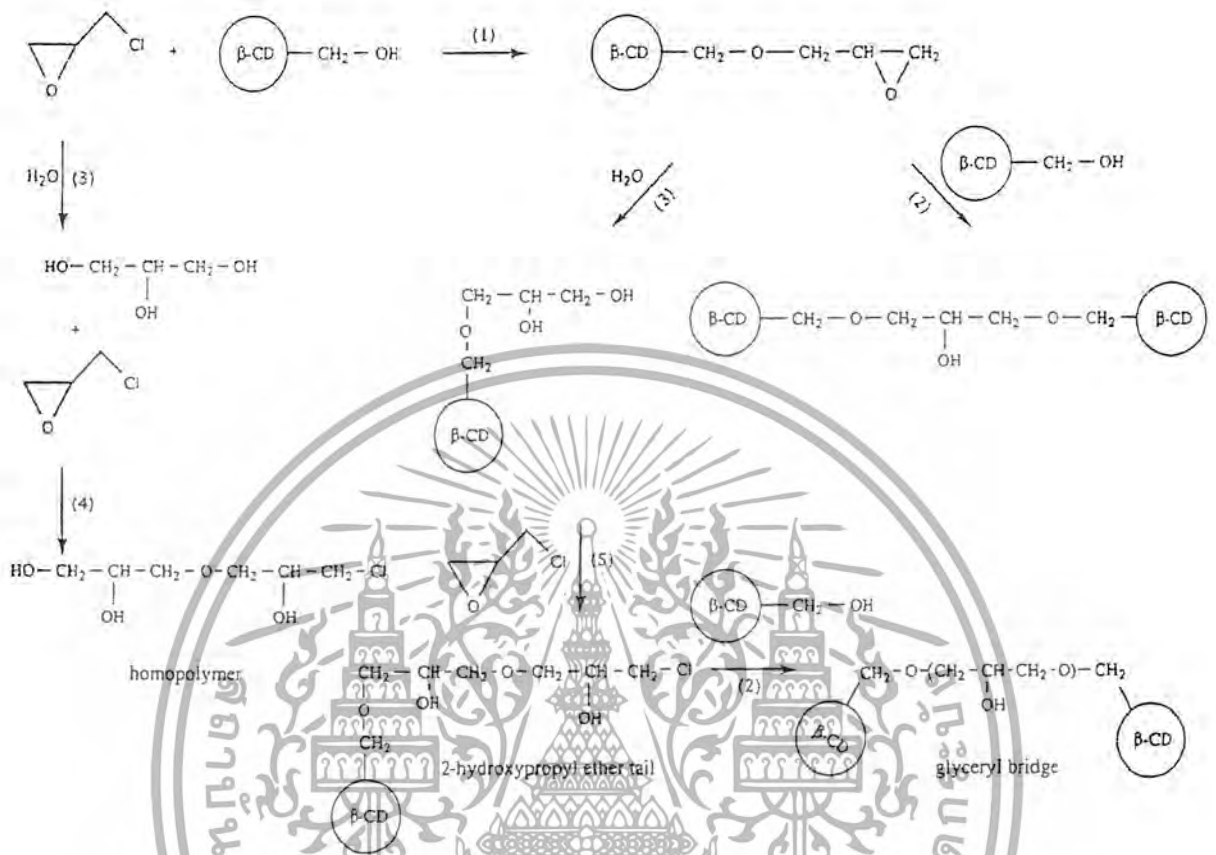
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. การเติมสารเชื่อมโยงมาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) ลงในสารละลาย บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน โดยมีแอนไฮไดรด์ไดเมทิลฟอร์มามาไมด์ (Anhydrous N, N-dimethyl formamide) เป็นตัวทำละลายที่อยู่ในรูปของโซเดียมไฮไดรด์ (NaH) ที่อุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนโดยโมลของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน:โซเดียมไฮไดรด์:มาลิกแอนไฮไดรด์ เป็น 1:7:7
2. จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันผ่านอนุมูลอิสระ โดยใช้ 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลท (2-hydroxymethyl methacrylate) เป็น โคมอนอเมอร์
3. การเติมสารเชื่อมโยงอีพอกไซด์โรไฮดรินลงในบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นอยู่ที่ 50 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งวิธีนี้ถือเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด โดยมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังรูป 2.7 และรูป 2.8 แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้ (ปรีตนา และวริศรา, 2544)

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า หลังจากเติมอีพอกไซด์โรไฮดรินที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงลงไป ปฏิกิริยาของอีพอกไซด์โรไฮดรินที่อาจเกิดขึ้นได้มี 2 กรณี คือ กรณีแรก อีพอกไซด์โรไฮดรินจะเข้าทำปฏิกิริยากับบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินทันที ดังปฏิกิริยาที่ 1 โดยตำแหน่งอีพอกไซด์ริงค์ (Epoxide ring) ของอีพอกไซด์โรไฮดรินจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งถือเป็นหมู่จังก์ว (Reactive group) ในการเกิดปฏิกิริยาของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ส่วนอีกกรณีหนึ่ง คือ อีพอกไซด์โรไฮดรินจะถูกไฮโดรไลส์ (Hydrolyse) โดยโมเลกุลของน้ำก่อน ดังปฏิกิริยาที่ 3 เป็นผลให้อีพอกไซด์แตกออก จากนั้นจึงเข้าทำปฏิกิริยากับบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดเป็น 2-ไฮดรอกซีโพรพิลอีเทอร์เทล (2-hydroxypropyl ether tail) ซึ่งถือเป็นพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสายสั้นๆ ก่อนเข้าทำปฏิกิริยากับบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินอีกครั้ง ดังปฏิกิริยาที่ 2 เกิดเป็นพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินในรูป ไกลซ์ซีริลส์บริดจ์ (Glyceryl bridge) ทั้งนี้อีพอกไซด์โรไฮดรินยังมีโอกาสทำปฏิกิริยากันเองด้วย ดังปฏิกิริยาที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

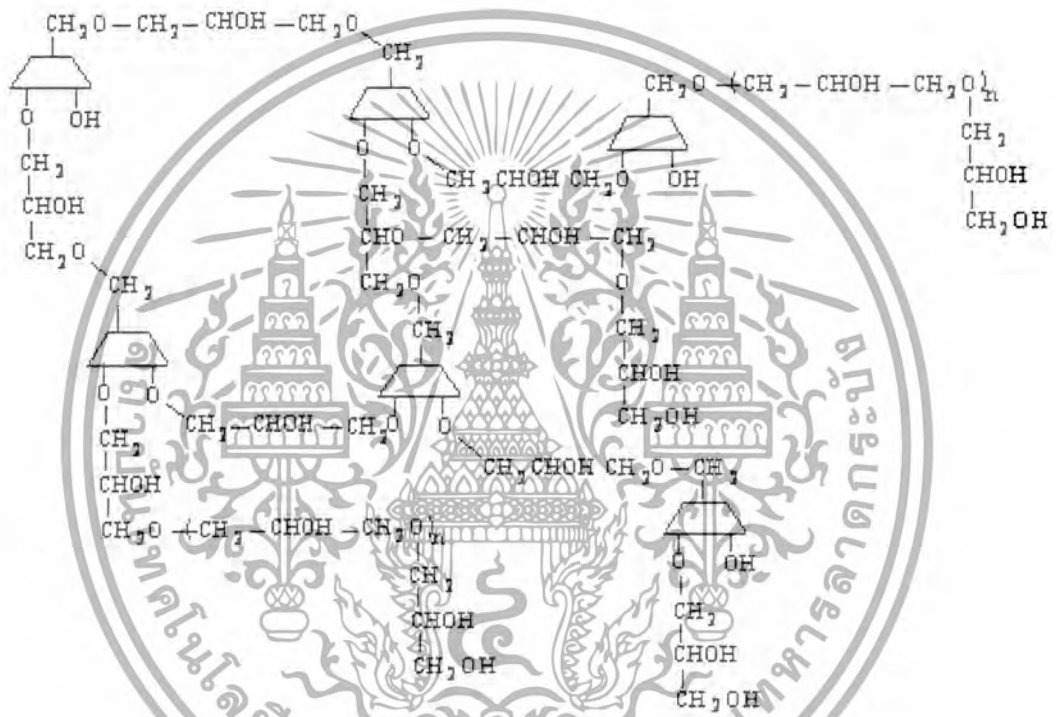


รูปที่ 2.7 กลไกการเกิดพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน โดยมีฟิคลอโรไฮดรินเป็นตัวเชื่อมโยง (Renard, 1997)

สำหรับปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดการเกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ว่าจะอยู่ในรูปของ 2-ไฮดรอกซีโพรพิลอีเทอร์เทิล หรือโกลัยซีรอลบรีดจ์ ได้แก่ สัดส่วนของฟิคลอโรไฮดรินต่อบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ซึ่งถ้าสัดส่วนเหมาะสมการเชื่อมโยงจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดโกลัยซีรอลบรีดจ์ ซึ่งเหมาะต่อการเกิดสารประกอบอินคลูชัน เมื่อสัดส่วนของฟิคลอโรไฮดรินต่อบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมากเกินไป จะทำให้พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้อยู่ในรูป 2-ไฮดรอกซีโพรพิลอีเทอร์เทิล เนื่องจากมีบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินไม่เพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อเป็นโกลัยซีรอลบรีดจ์ได้ โดยฟิคลอโรไฮดรินส่วนเกินจะเชื่อมโยงกันเอง เป็นผลให้เกิดพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นโครงร่างตาข่ายที่มีความพรุนมาก แต่ขนาดของรูพรุนจะเล็ก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเกิดสารประกอบอินคลูชันของสารโมเลกุลใหญ่ที่จะไม่สามารถแทรกผ่านโครงร่างตาข่ายไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

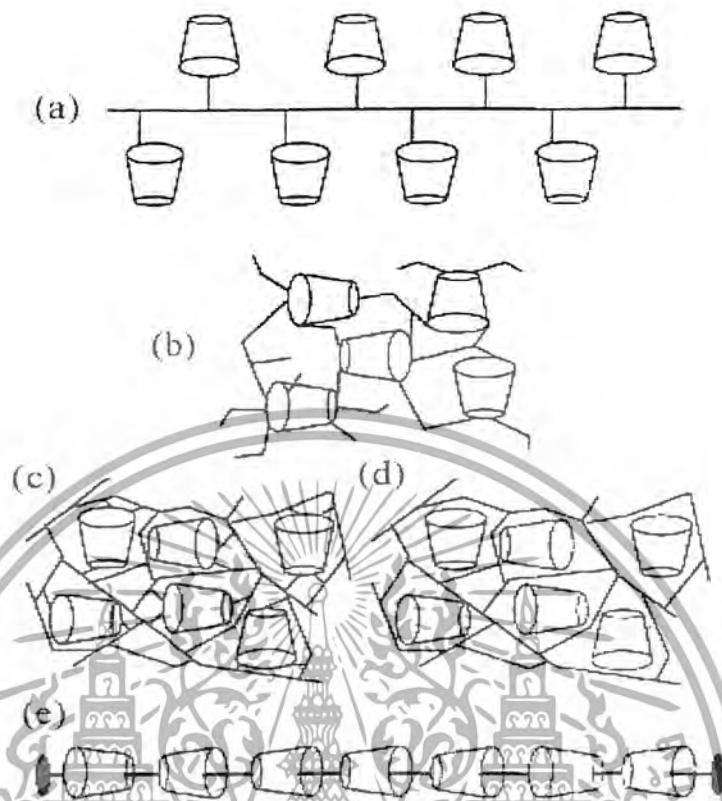
ทั้งนี้จากการศึกษาของ Renard พบว่าในการสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินใน สัดส่วนของอีพิคลอโรไฮดรินต่อบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมากกว่า 10 ซึ่งถือว่ามึปริมาณอีพิคลอโรไฮดริน มากเกินไป ดังนั้นจึงเกิด 2-ไฮดรอกซีโพรพิลอีเทอร์เทสต่อบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมากเกินไป และ ถ้าสัดส่วนของอีพิคลอโรไฮดรินต่อบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินน้อยกว่า 7 จะเกิดพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ที่ละลายน้ำได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณอีพิคลอโรไฮดรินน้อยเกินไป (Renard, 1997)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้ โดยมีอีพิคลอโรไฮดริน เป็นตัวเชื่อมโยง (Crini, 2000)

โดยเราสามารถแบ่งประเภทของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้ ด้วยวิธี ต่างๆ กัน ดังรูป 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ประเภทต่างๆ ของพอลิเมอร์ไอโซไซเลตเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้ (Jiesinszky, Hashimoto และ Uena 1998)

- พอลิเมอร์ที่ลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear polymer) มักพบในไอโซไซเลตเด็กซ์ทรินที่มีหมู่อนุพันธ์ไวนิลเกาะอยู่ เช่น อะคริลิกเอสเตอร์ (Acrylic ester) หรือการเชื่อมต่อกันระหว่างไอโซไซเลตเด็กซ์ทรินกับไวนิลพอลิเมอร์ที่เป็นเส้นตรง เช่น พอลิคอลลิลาไมน์ (Polycallylamine)
- โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบนี้ เกิดจากไอโซไซเลตเด็กซ์ทรินทำปฏิกิริยากับไบหรือพอลิฟังก์ชันรีเอเจนท์ ที่ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยง เช่น การเชื่อมโยงด้วยอีพอกซิโพลีเอสเตอร์ นอกจากนี้ยังนิยมใช้สารจำพวกไดเอพอกไซด์ (Diepoxides) หรือไดไอโซไซไซยานท์ (Diisocyanates) ซึ่งจะไม่สามารถละลายได้ในน้ำและสารละลายใดๆ ได้
- การเกิดพอลิเมอร์ลักษณะนี้เกิดจากการสังเคราะห์โดยโมเลกุลของไอโซไซเลตเด็กซ์ทรินจะอยู่หนึ่ง ไม่มีการเคลื่อนที่จากการเขย่า มักเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยไอโซไซเลตเด็กซ์ทรินมักมีหมู่ฟังก์ชันของ $-CO_2H$, $-COH$ หรือ $-CHCH_2O$ เกาะอยู่ หรืออาจมีการทำให้เกิดหมู่ $-NH_2$ ก่อนที่จะเกิดการเชื่อมต่อกันของไอโซไซเลตเด็กซ์ทรินก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- d. พอลิเมอร์ที่ได้จะประกอบด้วยไซโคลเต็กซ์ทรินอยู่ภายใน แต่ไม่ได้จัดเป็นพอลิเมอร์ไซโคลเต็กซ์ทริน เนื่องจากแต่ละ โมเลกุลของพอลิเมอร์ไซโคลเต็กซ์ทรินไม่เกิดพันธะโควาเลนต์เชื่อมกัน
- e. เกิดไซโคลเต็กซ์ทรินชนิดพิเศษประกอบกันเป็นพอลิเมอร์ มีลักษณะคล้ายสายสร้อย โดยมีไซโคลเต็กซ์ทรินแต่ละ โมเลกุลอยู่บนสายโซ่ของพอลิเมอร์



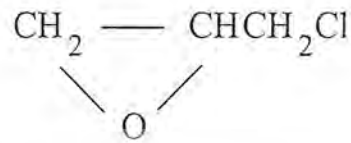
รูปที่ 2.10 พอลิเมอร์ไซโคลเต็กซ์ทริน และการเชื่อมโยง (Belosludov, 2002)

สำหรับพอลิเมอร์ไซโคลเต็กซ์ทรินจะมีพื้นผิวภายนอกประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ และช่องว่างภายในเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ โดยมีช่องว่างหรือรูพรุนขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้ดี โดยสามารถลดสารปนเปื้อนในระดับหนึ่งส่วนในล้านส่วนได้ และหลังจากนำพอลิเมอร์ไซโคลเต็กซ์ทริน ไปบำบัดสารอินทรีย์จนเต็มแล้วก็สามารถเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนดังกล่าวออกได้ โดยการล้างด้วยแอลกอฮอล์ ทำให้สามารถพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่ได้ (ปวีณา และวริศรา, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อีพิกลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin)

อีพิกลอโรไฮดริน มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คลอโรเมทิลออกไซเรน (Chloromethyloxirane)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของอีพิกลอโรไฮดริน

- น้ำหนักโมเลกุล	92.53
- จุดเดือด	115-117 °C
- จุดหลอมเหลว	57 °C
- ความหนาแน่น	1.183 g/cm ³
- ค่าการละลายน้ำ	6.6 wt %

อีพิกลอโรไฮดรินนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งเป็นตัวเชื่อมโยงในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ เช่น โคลิตซานโครงร่างตาข่าย (Cross-linked chitosan) และยังนำไปใช้เป็นตัวดักจับ (Trapping agent) เช่น HCl, HBr หรือแอลกอฮอล์ที่ผลิตขึ้นระหว่างการขึ้นรูป ซึ่งอีพิกลอโรไฮดรินนั้นจะไม่มีพิษ และไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับอากาศ (จักรพล, 2545 และ Mark, 1999) สำหรับข้อมูลพื้นฐานอื่นๆ ของอีพิกลอโรไฮดริน แสดงดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลพื้นฐานอื่นๆ ของอีพ็อกไซโพลีเมอร์ (Mark, 1999)

Property	Units	Condition	Value
- Molecular weight (repeat unit)	g.mol^{-1}	-	92.5
- Polymerization	-	-	Ring-opening
- Typical copolymers	- Epichlorohydrin (EPI)- ethylene oxide (EO) - EPI-allyl glycidyl ether (AGE) copolymer - EPI-EO-AGE terpolymer	-	copolymer
- Glass transition temperature	K	$n = 5,000-20,000$ Heating rate = 20 Kmin^{-1}	258.5 251
- Tensile strength	MPa	-	17
- Elongation	%	-	280
- Engineering modulus	MPa	Elongation = 100 % Elongation = 200 %	5.1 12.6
- Hardness	Shore A	-	72
- Tear strength	kNm	-	36
- Compression set	%	70 h at 100°C	26
- Volume change	%	70 h at 150°C	57
		70 h, ASTM Fuel A, 20°C	0
		70 h, ASTM Fuel A, 20°C	25
		70 h, ASTM Oil #1, 150°C	0
		70 h, ASTM Oil #3, 150°C	1
- Surface tension	mNm^{-1}	$M = 1,500, T = 293.5 \text{ K}$	43.2
- Fractionation	-	Extraction; precipitation	Acetone (cold), acetone/methanol, methanol/water

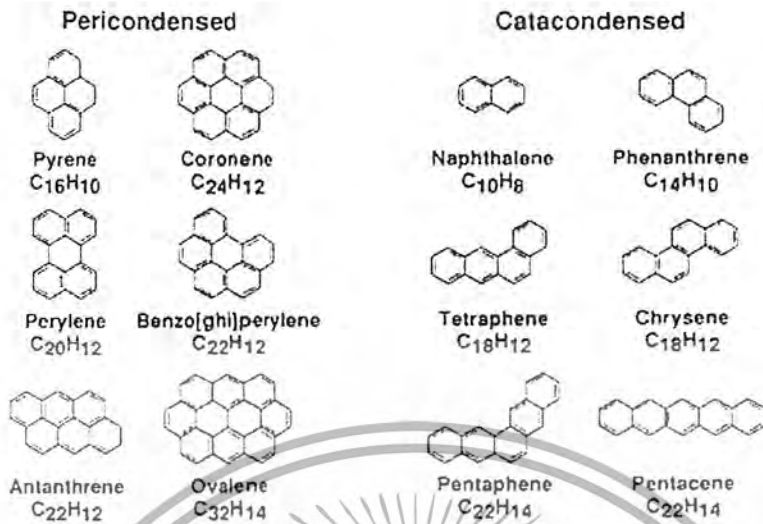
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) จัดเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงอะโรมาติก (Aromatic ring) ตั้งแต่ 2 วงเชื่อมต่อกัน ซึ่งลักษณะการเชื่อมต่อกัน คือวงอะโรมาติก 2 วงที่อยู่ติดกันจะใช้คาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน โดยวงอะโรมาติกอาจมีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ ดังนั้นจึงเป็นสารเคมีที่มีความเสถียรมาก ลักษณะโครงสร้างคล้ายแกรไฟต์หรือถ่าน PAHs ประกอบด้วยสารที่มีสูตร โครงสร้างหลักแตกต่างกันทั้งหมด 35 ชนิด ดังรูปที่ 2.12 และแต่ละสูตรโครงสร้างหลักจะประกอบด้วยอนุพันธ์ต่างๆ มากมาย โดย PAHs มีทั้งที่ปรากฏอยู่ในธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ, ถ่านหิน และควันจากภูเขาไฟ เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของภาคอุตสาหกรรม นอกจากนี้ PAHs ยังอาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์อีกด้วย ที่สำคัญคือเกิดจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เกิดมาจากรถยนต์ หรือเครื่องบิน, การเผาไหม้กระดาษ และยางรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเคมีหลายชนิดที่ใช้วัตถุดิบเหล่านี้ในการผลิต เช่น ไฟเบอร์และพลาสติก เป็นต้น โดย PAHs จัดเป็นสารที่ก่อให้เกิดมลพิษที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ที่สำคัญยังจัดเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งอีกด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) ทั้งนี้ในหลายหน่วยงานที่คำนึงถึงอันตรายและผลเสียที่อาจเกิดขึ้นจากการมี PAHs ปริมาณมากเกินไป จึงได้กำหนดมาตรฐาน PAHs ที่ยอมให้มีได้ เช่น The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่า PAHs ที่ยอมให้มีได้ในอากาศเท่ากับ 0.2 mg/m^3 และ The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ได้กำหนดค่าเฉลี่ยของอากาศในสถานที่ทำงานที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันดิน (Coal tar) ต้องมี PAHs ในอากาศไม่เกิน 0.1 mg/m^3 เป็นเวลา 10 ชั่วโมงของทำงานต่อวัน หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ (Crini, 2001) สำหรับ PAHs ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโครงสร้างของ PAHs บางชนิด (ที่มา: <http://www.astrochem.Org/PAHs.JPG>)

2.4.1 แนฟทาลิน (Naphthalene)

รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแนฟทาลิน

- สูตรโมเลกุล : C₁₀H₈
- น้ำหนักโมเลกุล : 128.17
- จุดเดือด : 217.95 °C
- จุดหลอมเหลว : 80.29 °C

โดยแนฟทาลินจัดเป็น PAHs ที่มีการผลิตมากที่สุดในปี พ.ศ. 2530 พบว่ามีการผลิตแนฟทาลินในยุโรป 410,000 ตัน, ญี่ปุ่น 170,000 ตัน และสหรัฐอเมริกา 110,000 ตัน และในปี พ.ศ. 2538 มีข้อมูลการผลิตอะซีแนฟทีน (Acenaphthene) 25,000 ตัน และแอนทราซีน (Anthracene) 20,000 ตัน นอกจากนี้แนฟทาลิน ยังเป็น PAHs บริสุทธิ์เพียงสารเดียวที่มีข้อมูลการนำเข้าจากต่างประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538-2542 โดยประเทศไทยมีการนำเข้าประมาณ 3-4.5 ล้านกิโลกรัม (กรมควบคุม

มลพิษ, 2543 และที่มา: <http://www.zoo.utoronto.ca/zoo3446/2003Group19/NAPHTALENE.htm>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยู่อเห็นเห็นขอใช้ประโยชน์อื่นการคำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538-2542 โดยประเทศไทยมีการนำเข้าประมาณ 3-4.5 ล้านกิโลกรัม (กรมควบคุม
มลพิษ, 2543 และที่มา: <http://www.zoo.utoronto.ca/zoo3446/2003Group19/NAPHTALENE.htm>.)

สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ของเนฟทาลิน (Elver, Hawkins และ Schulz 1991)
เป็นดังนี้

Density (20 °C)	1.1789 g/cm ³
Refractive index (99.5 °C)	1.5829
Heat capacity (25 °C)	1.294 kJ/kg
Heat of fusion	148 kJ/kg
Heat of evaporation	352 kJ/kg
Vapor pressure at 70 °C	0.525 kPa
at 88 °C	1.33 kPa
at 181 °C	40 kPa
at 270 °C	295 kPa
Critical temperature	475 °C
Flash point (closed cup)	80 °C
Ignition temperature	540 °C
Explosion limits in air	
upper	5.9 vol %
lower	0.88 vol %
Dielectric constant (20 °C)	2.47
Odor threshold	0.004 mg/cm ³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เปอร์เซ็นต์การใช้เนฟทาลินในปี ค.ศ. 1987 (Elver, Hawkins และ Schulz 1991)

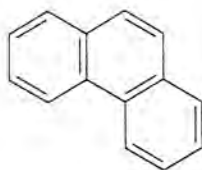
การใช้ประโยชน์	ยุโรปตะวันตก	สหรัฐอเมริกา	ญี่ปุ่น
Phthalic anhydride	40	65	71
Dry	29	-	10
Surfactant, Tanning agent, Dispersants	15	14	5
Moth repellent, Fumigant	9	5	2
Insecticides	-	14	-
Solvents and other uses	7	2	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ จากเนฟทาลิน (Eiler, Hawkins และ Schulz, 1991)
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท อีอีซี จำกัด (มหาชน) ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ฟีนแอนทริน (Phenanthrene)



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของฟีนแอนทริน

- สูตรโมเลกุล : $C_{14}H_{10}$
- น้ำหนักโมเลกุล : 178.23
- ลักษณะภายนอก : เป็นของแข็ง ไม่มีสี

ฟีนแอนทรินเป็นสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ แต่ก็สามารถเกิดได้จากการกระทำของมนุษย์ด้วย เช่น ควันทันจากยานพาหนะ, ยางมะตอย, ไฟป่า, การสูบบุหรี่, การปิ้ง หรือการย่างอาหาร, การเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือพืชผลทางการเกษตร ตลอดจนของเสียอันตรายที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งฟีนแอนทรินสามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้หลายทาง โดยสำหรับการหายใจเอาฟีนแอนทรินที่ปนเปื้อนในอากาศเข้าไป มักพบในผู้ที่ทำงานอยู่ในบริเวณที่มีของเสียอันตรายที่ฟีนแอนทรินปนเปื้อนอยู่ นอกจากนี้ยังสามารถได้รับผ่านทาง การรับประทานอาหาร หรือดื่มน้ำที่ได้รับการปนเปื้อน, การรับประทานพืชผลที่เจริญเติบโตในดินที่มีการปนเปื้อนของฟีนแอนทริน ทั้งนี้ อาหารประเภทย่าง หรืออาหารที่ไหม้เกรียม พบว่าจะมี PAHs ปนเปื้อนมาก ส่วนการได้รับผ่านทางผิวหนัง ได้แก่ การสัมผัสกับดิน หรือผลิตภัณฑ์ที่ปนเปื้อนน้ำมันดิน น้ำมันดิน โดยฟีนแอนทรินสามารถแพร่กระจายและเกิดการสะสมที่อวัยวะเป้าหมาย ได้แก่ ไต ตับ และไขมันในร่างกาย แต่ร่างกายก็สามารถขับสารนี้ออกมาได้ด้วยตัวเอง โดยจะขับออกมาทางปัสสาวะ หรืออุจจาระ

จากการทดลองกับหนูทดลอง พบว่าฟีนแอนทรินสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผิวหนัง ระบบป้องกันเชื้อโรค และอาจทำให้ไตอักเสบได้ โดยถ้าได้รับปริมาณ 308 ppm จากอาหารเป็นเวลา 10 วัน จะมีผลต่อน้ำหนักของลูกหนูรุ่นต่อไป และถ้าได้รับปริมาณ 923 ppm จากอาหารเป็นระยะเวลา 1 เดือน จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับตับและระบบเลือด แต่อย่างไรก็ตาม ผลกระทบนี้ยังไม่มีปรากฏในมนุษย์โดย US.EPA ได้ระบุไว้ว่า ไม่มีข้อมูลมากพอที่จะระบุได้ว่าฟีนแอนทรินเป็นสารก่อมะเร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปพีแนนทรินจะถูกนำมาใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับสื่อไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์พลาสติก ยาน้ำแมลง วัตถุระเบิด และยา (ที่มา: <http://www.nature.nps.gov/toxic/phenanth.pdf> และ <http://www.cira.ornl.gov/documents/PHENANTH.pdf>)

2.4.3 ไพรีน (Pyrene)

รูปที่ 2.16 โครงสร้างของไพรีน

- สูตรโมเลกุล : $C_{16}H_{10}$

- น้ำหนักโมเลกุล : 202.36

ลักษณะภายนอก : เป็นของแข็ง ไม่มีสี เช่นเดียวกับพีแนนทริน

ไพรีนสามารถพบได้ตามธรรมชาติ และอาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของถ่านหิน, น้ำมัน, ก๊าซ และขยะ โดยทั่วไปไพรีนถูกนำมาใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับสื่อไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์พลาสติก และยาน้ำแมลง สำหรับข้อมูลทางด้านกายภาพทั่วไป การได้รับไพรีนของมนุษย์ และข้อมูลความเป็นพิษต่างๆ จะเหมือนกับพีแนนทริน ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

เนื่องจาก PAHs ประกอบด้วยสารต่างๆ มากมาย โดย PAHs ที่พบบ่อยและมีปริมาณการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมาก จะมีการศึกษากันอย่างละเอียด ทำให้มีข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพค่อนข้างสมบูรณ์ ในทางตรงข้าม PAHs ที่พบไม่บ่อย หรือมีปริมาณการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อย ข้อมูลดังกล่าวจะมีค่อนข้างจำกัด โดยข้อมูลทางเคมีและกายภาพของ PAHs ที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ แสดงดังตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของ PAHs (ชนากรณ์ และภควันต์, 2545 และ Cuypers, Pancras และ Grotenhuis 2001)

	แนฟทาลีน	ฟิแนนทริน	ไพรีน
จุดหลอมเหลว (°C)	80.2	100	156
จุดเดือด (°C)	217.9	340	404
ปริมาตร (cm ³ / mol)	73.97	107.80	132.23
เส้นผ่านศูนย์กลาง (nm)	0.50-0.71	0.58-0.78	0.71-0.89
ความถ่วงจำเพาะ	-	1.179	1.271
ความดันไอ (mmHg)	1	6.8×10^{-4}	6.8×10^{-7}
การละลายน้ำ (mg/L)	31.5	1.49	0.175
Henry 's law constant (atm.m ³ /L)	4.83×10^{-4}	4.83×10^{-4}	-

2.4.4 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง ทั้งทางธรรมชาติ เช่น การซึมของน้ำมันดิบจากแหล่งน้ำมันใต้ดิน ทำให้ PAHs ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติและดิน ไฟไหม้ป่า ภูเขาไฟระเบิด และจากการกระทำของมนุษย์ ที่สำคัญ คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งนับว่าเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ปล่อย PAHs สู่อากาศ ในปัจจุบันรถยนต์นับเป็นแหล่งกำเนิด PAHs สู่อากาศที่สำคัญ ปริมาณ PAHs ที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ และการปล่อยน้ำเสียที่มี PAHs ปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ PAHs เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2.4.5 การเป็นสารก่อมะเร็ง

PAHs แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ กลุ่มที่ก่อมะเร็ง และกลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็ง จัดแยกกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.5 และเป็นที่น่าสังเกตว่าไม่มี PAHs ใดที่ International Agency for Research on Cancer (IARC) จัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในคน (Group 1) แม้ว่า PAHs หลายสารเป็นสารก่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเร็งในสัตว์ทดลองเป็นส่วนประกอบอยู่ในสารผสมที่ได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยาแล้วว่าเป็นสาเหตุหรือมีส่วนทำให้เกิดมะเร็งในคน เช่น คิวโนฟรีน, น้ำมันดิน, เขม่า, คิวโนเสียจากเตาเผาถ่านหิน หรือจากท่อไอเสียรถยนต์ เนื่องจากการยากที่จะตรวจยืนยันปริมาณหรือความเข้มข้นของ PAHs แต่ละสารที่มนุษย์ได้รับจากสารผสมที่มนุษย์ได้รับจากสารผสมเหล่านี้ นอกจากนี้ยังมีสารก่อมะเร็งอื่นๆ ปะปนอยู่ในสารผสมดังกล่าวด้วย

ตารางที่ 2.5 การจัดกลุ่ม PAHs โดย International Agency for Research on Cancer (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

Group 2A	สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน (probably carcinogenic to humans) มี 3 สาร Benzo[a]anthracene Benzo[a]pyrene Dibenzo[a,h]anthracene
Group 2B	สารที่อาจก่อมะเร็งในคน (possibly carcinogenic to humans) มี 11 สาร Benzo[b]fluoranthene Benzo[i]fluoranthene Benzo[k]fluoranthene Dibenzo[a,e]pyrene Dibenzo[a,b]pyrene Dibenzo[a,l]pyrene Dibenzo[a,h]pyrene Dibenzo[a,j]acridine Dibenzo[a,h]acridine Indeno[1,2,3-cd]pyrene Naphthalene
Group 3	สารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน (unclassifiable as to carcinogenic to humans) มี 23 สาร Anthracene Benz[a]acridine Benz[c]acridine Benzo[ghi]fluoranthene Benzo[a]fluorine Benzo[b]fluorine Benzo[c]fluorine Benzo[ghi]perylene Benzo[c]phenanthrene Benzo[e]pyrene Chrysene Coronene Cyclopenta[c,d]pyrene Dibenzo[a,e]fluoranthene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Group 3	Dibenzo[h,r,s,t]pentaphene	Fluoranthene
	Fluorene	Perylene
	Phenanthrene	Pyrene
	Triphenylene	

2.4.6 ผลของ PAHs ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม

- สิ่งมีชีวิตในน้ำ

PAHs มีความเป็นพิษในสัตว์น้ำหลายสปีชีส์ เมื่อทำการทดลองภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต สมมติฐานที่ใช้อธิบายผลการทดลองดังกล่าว คือ พลังงานแสงอัลตราไวโอเลตที่ถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของ PAHs ถูกถ่ายทอดไปยังโมเลกุลของออกซิเจน ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนอยู่ในสภาพถูกกระตุ้นมีพลังงานสูง จึงสามารถทำปฏิกิริยาได้กับชีวโมเลกุลต่างๆ เช่น กรดอะมิโนทำให้เกิดความผิดปกติภายในเซลล์ ซึ่งนำไปสู่การทำงานของอวัยวะต่างๆ ผิดปกติ และทำให้สัตว์ทดลองตายในที่สุด และความรุนแรงที่เกิดขึ้นในกรณีนี้มากกว่าในสถานะที่ไม่มีแสงอัลตราไวโอเลต ความเป็นพิษที่เพิ่มขึ้นนี้แสดงให้เห็นได้จากค่า LC₅₀ ซึ่งลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับการศึกษาภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์

แสงอัลตราไวโอเลตทำให้ไพรินมีความเป็นพิษเพิ่มขึ้นใน Mysid shrimp (*Mysidopsis bahia*) และหอยสองฝา (*Mulinia lateralis*)

- สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

PAHs มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำในสัตว์ทดลอง การได้รับ PAHs ในระยะเวลาสั้นมักไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของทางร่างกายอย่างเด่นชัดหรือรุนแรง

เนฟทาลินทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง เนื่องจากเม็ดเลือดแดงแตก และต่อกระจก ความผิดปกติทั้ง 2 อย่างนี้ เกิดได้ทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง มีรายงานการตายของคนที่ยืนถูกหมื่นในขนาด 5 กรัม ผลการชันสูตรร่างผู้ตายพบว่าที่ปอดมีการคั่งของโลหิตและบวมน้ำที่ตับ พร้อมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเซลล์ตับ นอกจากนี้ยังมีรายงานการตายของเด็กอายุ 6 ปีที่ยืนเนฟทาลินในขนาด 2 กรัม โดยการคำนวณพบว่า ปริมาณของเนฟทาลินที่ทำให้คนตายได้มีค่าเท่ากับ 71.4-214.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว โดยคิดจากน้ำหนักตัว โดยเฉลี่ย 70 กิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

สำหรับวิธีการวิเคราะห์ PAHs นอกจากจะใช้เทคนิคสเปกโตรฟลูออโรเมทรีแล้ว ยัง

สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีอื่นๆ อีก เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธี 6040B Closed-loop stripping GC/MS เป็นการใช้น้ำถ่านกัมมันต์ (Activated carbon filter) ดูดซับ PAHs จากน้ำตัวอย่าง จากนั้นสกัด PAHs ออกด้วยคาร์บอนไดซัลไฟด์ โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometer (GC/MS)
2. วิธี 6410B Liquid-liquid extraction GC/MS เป็นการสกัด PAHs ออกจากน้ำตัวอย่างด้วยเมทิลีนคลอไรด์ 2 ครั้ง ที่ pH 2 และ 11 วิเคราะห์ปริมาณ PAHs ในเมทิลีนคลอไรด์โดยใช้ GC/MS
3. วิธี 6440B Liquid-liquid chromatographic method เป็นการสกัดน้ำตัวอย่างด้วยเมทิลีนคลอไรด์ จากนั้น Cleaned-up ด้วยคอลัมน์ที่บรรจุด้วยซิลิกาเจล วิเคราะห์ PAHs ด้วย HPLC (ที่มา: <http://www.astrochem.Org/PAHs.JPG>)

2.5 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (Adsorption) จะมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ

1. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Exchange Adsorption) การดูดซับแบบนี้อาศัยการดูดติดด้วยไฟฟ้าสถิตกับบริเวณผิว
2. การดูดซับแบบเคมี (Chemical Adsorption) การดูดซับแบบนี้อาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่อกัน ทำให้โมเลกุลของสารเคมีที่ถูกดูดซับไม่เกิดการเคลื่อนที่บริเวณผิว
3. การดูดซับแบบกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับแบบนี้อาศัยการเกิดการดูดติดด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งไม่ยึดติดกันแน่นเหมือนกับ 2 แบบแรก (เกรียงศักดิ์, 2539)

การดูดซับที่สถานะสมดุล (Adsorption Equilibrium) สามารถอธิบายปรากฏการณ์กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นว่า ณ จุดสมดุลของการดูดซับ สมรรถนะของตัวดูดซับ (Adsorption capacity) สามารถเขียนอยู่ในรูปความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในน้ำที่อุณหภูมิคงที่ โดยเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

ซึ่งในที่นี้จะนำเสนอสมการทั่วไป สำหรับ ไอโซเทอมการดูดซับ ดังนี้

2.5.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

มีสมมติฐานพื้นฐานที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model ดังนี้

1. เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น
2. โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่สามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระบนพื้นผิวของตัวดูดซับได้
3. เอนทัลปีของการดูดซับมีค่าเดียวกันสำหรับทุกๆ โมเลกุล
4. พลังงานการดูดซับแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ แสดงดังสมการที่ (1)

$$q = \frac{q_m K_A C}{1 + K_A C} \quad \dots(1)$$

เมื่อ q = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่จุดสมดุล (mg/g)

q_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวอย่างสมบูรณ์ (mg/g)

C = ความเข้มข้นของตัวดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล (mg/L)

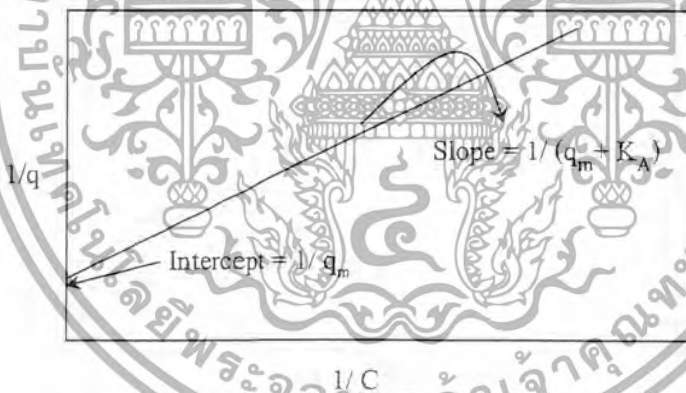
K_A = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

จากสมการที่ (1) สามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการเชิงซ้อน ได้ดังนี้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m + K_A C} \quad \dots(2)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C$ ดังแสดงในรูป และเราสามารถหาค่าคงที่ K_A และ q_m

ได้จากความชันและจุดตัดของกราฟ



รูปที่ 2.17 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์

2.5.2. ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich adsorption isotherm)

สมการนี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจาง และมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

$$q = K_f C^{1/n} \quad \dots(3)$$

เมื่อ K_f และ n = ค่าคงที่ ($n > 1$)

$1/n$ = ความชันของกราฟ

K_f = ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับ

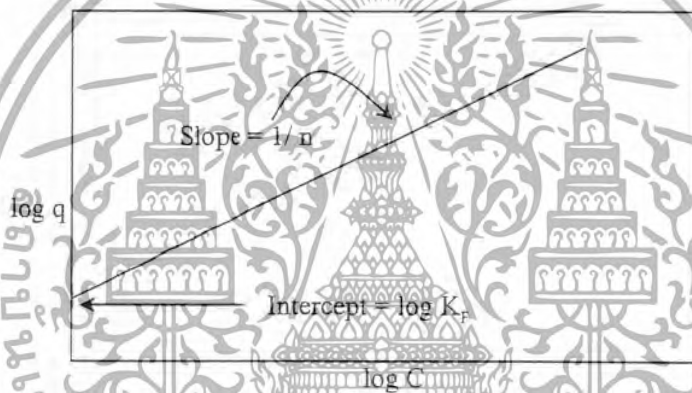
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

q = ปริมาณของตัวถูกละลายต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่จุดสมดุล
(mg/g)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะสามารถหาค่า K_F และ n ได้

$$\log q = \log K_F + (1/n) \log C \quad \dots(4)$$

จากสมการนี้จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งบางครั้งกราฟอาจไม่ได้เป็นเส้นตรงก็ได้ เนื่องจากสาเหตุต่างๆ คือ มีการเปลี่ยนแปลงในสารละลายที่จะบำบัด โดยทำให้มีตัวที่ถูกละลาย 2 ตัว ซึ่งส่งผลให้อัตราการดูดซับเปลี่ยนไป



รูปที่ 2.18 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูอิดซ์

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and surface area)

เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ผิวของตัวดูดซับ ดังนั้นการดูดซับจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้น กล่าวคือ ในกรณีที่น้ำหนักเท่ากันตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าตัวดูดซับที่มีขนาดใหญ่ และมีผลทำให้ตัวดูดซับขนาดเล็กเกิดการดูดซับได้เร็วกว่า

2. ลักษณะของสารถูกดูดซับ (Nature of adsorbent)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น ถ้าความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง

เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายใน โพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

3. ความปั่นกววน (Mixing speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การขนส่ง โมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัด อัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นกววนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นกววนต่ำ ฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีการปั่นกววนสูง ทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลง จะส่งผลให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับ ได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

4. เวลาสัมผัส (Contact time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้ จะต้องมีความเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมจะต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนจะนำไปใช้งานจริง

5. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนจะสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรงค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออน และการละลายของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับ (เกรียงศักดิ์, 2539)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จะเห็นได้ว่าอันตรายจากการปนเปื้อน PAHs ในสิ่งแวดล้อม และการประยุกต์ใช้พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินในทางสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่มีผู้ให้ความสนใจศึกษาค้นคว้าและวิจัยกันอย่างกว้างขวาง ดังรายงานการวิจัยที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

Mastral, Garcia และ Callen (2002) ศึกษาการดูดซับ PAHs ที่ปล่อยจากเตาเผาถ่าน โดยจะ

ศึกษา PAHs 4 ชนิด คือ อะซีแนฟทีน (Acenaphthene: Ac), ฟีนแอนทรีน (Phenanthrene: Phe), เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลูออรีน (Fluorene: Fu) และ แอนทราซีน (Anthracene: An) ซึ่งต่างมีจำนวนวงอะโรมาติก 3 วงเท่ากัน สำหรับตัวดูดซับที่ใช้จะเป็นคาร์บอนที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน 16 ชนิด พบว่าปริมาณของ Micropore เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการดูดซับและ PAHs ที่กลายเป็นไอได้ดีที่อุณหภูมิห้องจะถูกดูดซับได้ดี ดังนั้น Ac ที่มีจุดเดือดต่ำกว่า Fu, Phe และ An ตามลำดับ จึงสามารถถูกดูดซับจนถึงจุดอิ่มตัวได้เร็วที่สุด ซึ่งสามารถบอกถึงอัตราเร็วของการดูดซับได้ และเมื่อแปรค่าความเข้มข้นของ PAHs พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ An และ Phe สูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับก็จะสูงขึ้นด้วย โดยการดูดซับช่วงแรกจะเกิดขึ้นที่รูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับแบบหลายชั้น ซึ่งจะเกิดขึ้นที่ส่วนที่ไม่ใช่รูพรุนขนาดเล็ก (Non-micropore) เช่น รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore), รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) และพื้นผิวด้านนอก (External surface) ซึ่งต่างจาก Ac และ Fu ที่ความเข้มข้นสูงจนถึงระดับหนึ่ง ความสามารถในการดูดซับจะคงที่ไม่เพิ่มตามความเข้มข้น เนื่องจากไอระเหยของ Ac และ Fu จะไม่เกิดการดูดซับแบบหลายชั้นในช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง

Mastral, Garcia และ Callen (2002) ศึกษาความสามารถในการดูดซับ PAHs ที่มีจำนวนวงอะโรมาติกแตกต่างกัน คือ 2, 3 และ 4 วง ที่ได้จากเตาเผา โดยศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ของคาร์บอนที่ใช้เป็นตัวดูดซับ ดังนั้นปริมาณของรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore), รูพรุนขนาดเล็กที่แคบ (Narrow micropore), รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) และตำแหน่งที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยา (Free active site) สำหรับ PAHs ที่เลือกทำการศึกษาคือ แนฟทาซีน (Nap: 2 วง), ฟีนานทริน (Phe: 3 วง) และ ไพรีน (Pyr: 4 วง) พบว่าความสามารถในการดูดซับ PAHs แต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุล และอุณหภูมิที่ระเหยกลายเป็นไอ เมื่อใช้ตัวดูดซับเดียวกันสามารถดูดซับแนฟทาซีนได้ 60 % โดยจะถูกดูดซับได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับปริมาตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนขนาดเล็กที่แคบ ในขณะที่ฟีนานทรินจะถูกดูดซับได้ 86 % ขึ้นอยู่กับรูพรุนขนาดเล็กและรูพรุนขนาดกลาง ส่วนไพรีนจะถูกดูดซับได้ถึง 88 % โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของรูพรุนขนาดเล็กและรูพรุนขนาดกลาง การที่สามารถดูดซับ PAHs โมเลกุลใหญ่ได้ดี เนื่องจากว่าสามารถเกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวถูกดูดซับ และมีขนาดใกล้เคียงกับรูพรุนขนาดเล็กได้ เมื่อความเข้มข้นของ PAHs สูงขึ้น จะสามารถดูดซับได้เพิ่มขึ้นยกเว้นแนฟทาซีนที่จะไม่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น

Crini (2001) ศึกษาการดูดซับสีย้อมด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน โดยใช้แป้งและพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน 3 อัตราส่วน คือ 150, 200 และ 400 มิลลิกรัม/กรัมพอลิเมอร์มาผสมกับอีพิคลอโรไฮดริน เพื่อทำให้เกิดเป็นโครงร่างแห โดยในการทดลองจะใช้พอลิเมอร์ที่ทำเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างแหแล้ว 20 กรัม มาผสมกับโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร จำนวน 4 มิลลิลิตร แล้วนำไปดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมชนิดต่างๆ ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน และปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นตรวจวัดความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณความจุในการดูดซับออกมาเป็นค่า % R โดยจากผลการทดลองพบว่า ความจุในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น เมื่ออัตราส่วนของบีต้าไซโคลเดกซ์ทรินในพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้น และเวลาที่ทำให้เกิดการดูดซับดีที่สุด คือ หลังจากผ่านการดูดซับไปแล้ว 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความจุในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นด้วย

Crini (2000) ศึกษาการสังเคราะห์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน โดยใช้อีพิคลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยงที่ปัจจัยต่าง ๆ กัน และศึกษาถึงโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่ได้ โดยเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างบีต้าไซโคลเดกซ์ทริน และการจับตัวเป็นพอลิเมอร์ของอีพิคลอโรไฮดริน โดยใช้ NMR และนำเทคนิคนี้มาใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ภายใน โมเลกุลของพอลิเมอร์ บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน ทั้งในโมเลกุลที่แห้งและมีน้ำปนอยู่ โดยจะพิจารณาที่ฟลักของ ^{13}C ซึ่งพบว่าเมื่อมีน้ำอยู่ในโมเลกุลจะส่งผลให้มีการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น โดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะแสดงอยู่ในรูป T_1 ซึ่งเป็น ^{13}C Spin lattice relaxation และ $T_{1\rho}$ ซึ่งเป็น ^1H Spin lattice relaxation ภายในโรเตตติ้งเฟรม สำหรับ T_1 ทำให้ทราบว่า บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินจะถูกจับอยู่ภายในของพอลิเมอร์ การเคลื่อนที่จึงไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณอีพิคลอโรไฮดรินที่ใช้ นอกจากนี้ T_1 ยังแสดงถึงความแข็งแรงของพันธะระหว่างบีต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารละลายในกรณีที่มีน้ำปนอยู่ ส่วน $T_{1\rho}$ จะแสดงถึงความเหมือนกันตามธรรมชาติของสารที่วิเคราะห์

Janus (1999) ศึกษาการผลิตและประสิทธิภาพของตัวดูดซับชนิดใหม่ คือ 2-ไฮดรอกซี-3-เมทาคริลอซีโพรพิลบีต้าไซโคลเดกซ์ทริน (2-Hydroxy-3-Methacryloyloxy-Propyl- β -Cyclodextrin) ซึ่งถือเป็นอนุพันธ์ของบีต้าไซโคลเดกซ์ทรินชนิดหนึ่ง ได้จากการนำบีต้าไซโคลเดกซ์ทรินมาสังเคราะห์ร่วมกับ 2-ไฮดรอกซีเมทาคริลเลท (2-Hydroxy Methacrylate :HEMA) ที่ทำหน้าที่เป็นโคมอนอเมอร์ สำหรับคุณสมบัติเฉพาะตัวต่างๆ การจัดเรียงตัว และโครงสร้างจะใช้ IR และ ^{13}C NMR เป็นตัววิเคราะห์ จากนั้นนำไปศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายอินทรีย์ 4-เทอร์ทิวทิลเบนซอยแอซิด (4-Tert-Butyl Benzoic Acid:TBBA) และใช้ยูวีสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 930 nm เป็นตัววิเคราะห์ปริมาณ TBBA ที่เหลือ โดยจะทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง และพบว่าสามารถนำไปดูดซับ TBBA ได้ผลดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simko และ Khunova (1999) ศึกษาการกำจัด PAHs จากน้ำโดยใช้การเคลื่อนที่ของ PAHs เข้าไปสู่พอลิเอทีลีน ทำการทดลองโดยนำน้ำที่สะอาดมาเติม PAHs 3 ชนิด คือ ฟลูออรีนทีน (Fluoranthene: Fl), ไพรีน (Pyrene: Pyr) และเบนโซไพรีน (Benzo[a]pyrene: BaP) ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน แล้วเติมสารละลายที่เตรียมได้ลงในสตีลดิฟฟิชั่นแชมเบอร์ โดยตลอดการทดลอง จะรักษาอุณหภูมิของแชมเบอร์ไว้ที่ 24 °C และนำแผ่นพอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำมาผสมกับพอลิเอทีลีนฟอสล์ 5 แผ่น แล้วนำไปใส่ไว้ในแชมเบอร์ เพื่อให้เกิดการดูดซับ จากนั้นปล่อยให้เกิดการดูดซับเป็นเวลา 143 ชั่วโมง สกัด PAHs ออกจากแผ่นฟอสล์ และตรวจวัดความเข้มข้นด้วย HPLC โดยใช้การตรวจวัดแบบ Selective fluorimetric ผลการทดลองที่ได้ คือ ความเข้มข้นของ Fl ลดลงจาก 1350 µg/kg ไปเป็น 1054 µg/kg, ความเข้มข้นของ Pyr ลดลงจาก 537 µg/kg ไปเป็น 417 µg/kg, ความเข้มข้นของ BaP ลดลงจาก 191 µg/kg ไปเป็น 165 µg/kg

Belosludov (2002) ศึกษาลักษณะโครงสร้าง และการจัดวางตัวของพอลิเอทีลีนที่ถูกดูดซับด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินด้วยวิธี Two-Layered Integrated Molecular Orbital and Molecular Mechanics (ONIOM) โดยอาศัยหลักของควอนตัมเมคคานิกส์และกรรคำนวณเกี่ยวกับโมเลกุลเคมีคานิกส์แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของพอลิเอทีลีนจะถูกบรรจุอยู่ภายในบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินในลักษณะแบบราบ ไม่มีการเคลื่อนที่ระหว่างประจุของอิเล็กตรอนระหว่างบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกับพอลิเอทีลีน ดังนั้น โมเลกุลของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินจึงแยกออกจากโครงสร้างที่แบนราบของพอลิเอทีลีน ซึ่งถือว่าเป็นสถานะที่เสถียรที่สุด โดยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินจะจับตัวกับพอลิเอทีลีนเกิดเป็นสารประกอบอินคลูชันแบบ 1:1 และข้อมูลจากเครื่องมือโมเลกุลไดนามิกส์ก็สนับสนุนข้อความดังกล่าวด้วย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ รุ่น RF-5301 PC บริษัท Shimadza
2. เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) รุ่น 1455 VP บริษัท EDAX
3. เครื่องคิฟเฟอเรนเชียลแคลอริมิเตอร์ (DSC) รุ่น Pyris Diamond บริษัท Perkin Elmer
4. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (TGA) รุ่น Pyris 1 บริษัท Perkin Elmer
5. เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR) รุ่น Spectrum Gx บริษัท Perkin Elmer
6. เครื่องเขย่า รุ่น A 007452 บริษัท Gallenkamp
7. เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง รุ่น 215 บริษัท Denver Instrument
8. เครื่องปั่นกวนแบบให้ความร้อน รุ่น M21/T บริษัท Fisher Scientific
9. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียด รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument Company
10. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 L
11. บีกเกอร์ ขนาด 50, 150, 250 และ 500 ml
12. เซลล์ควอตซ์
13. แท่งแม่เหล็ก
14. กระจกกรองเบอร์ 42 บริษัท วอทมแมน
15. ซ้อนตักสาร
16. แท่งแก้วคน
17. กระจกบดวง 50 ml
18. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml
19. บีเปต 1, 5 และ 10 ml
20. หลอดหยด
21. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
22. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ
23. แผ่นพาราฟิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. ขวดกั้นกลม
25. เทอร์โมมิเตอร์
26. คีมหนีบ
27. กระจกนาฬิกา
28. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) รุ่น Ikatron ETS D3 บริษัท Kika Labortechnik

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. แนฟทาลีน เกรดการค้า บริษัท Merck
2. ฟีนแอนทรีน เกรดการค้า บริษัท Merck
3. ไพรีน เกรดการค้า บริษัท Merck
4. บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka
5. อีพ็อกซีโรไฮดรีน เกรดการค้า บริษัท Thai Epoxy and Allied Product
6. เฮกเซน เกรดการค้า บริษัท Merck
7. อะซิโตน เกรดวิเคราะห์ บริษัท Merck
8. เอทานอล เกรดวิเคราะห์ บริษัท Merck
9. เมทานอล เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Merck
10. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % w/w
11. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 N
12. น้ำกลั่น

3.1 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแนฟทาลีน, ฟีนแอนทรีน และไพรีน เข้มข้น 100 ppm

ชั่งแนฟทาลีน, ฟีนแอนทรีน และไพรีน อย่างละ 100 mg ละลายด้วยอะซิโตนจนผง PAHs ละลายหมด จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น

3.3.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานแนฟทาลีน เข้มข้น 0, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5 และ 1 ppm
2. นำไปวัดค่าการคายแสงด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.1 จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐาน เพื่อใช้เทียบหาความเข้มข้นของแนฟทาลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น แต่เปลี่ยนจากแนฟทาลีนเป็นพีแนนทรีน และไพรีน ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการดูดกลืนแสงและคายแสงของ PAHs

PAHs	Excitation wavelength (nm)	Emission wavelength (nm)
แนฟทาลีน	232	360
พีแนนทรีน	250	363
ไพรีน	335	372

3.3.3 การสังเคราะห์และทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทรีน และไพรีน ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน

3.3.3.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน

การสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน โดยมีอีพิกလိုโรไฮดรีนเป็นสารเชื่อมโยงซึ่งใช้สัดส่วนโดยโมลของอีพิกလိုโรไฮดรีนต่อบีต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ กัน เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทรีน และไพรีน สำหรับวิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินในแต่ละสูตร มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ ซึ่งบรรจุน้ำกลั่นภายในบีกเกอร์ 1 L ปริมาณ 300 ml ดังรูปที่ 3.1 เติม NaOH 40 % w/w จำนวน 18 ml ลงในขวดก้นกลม และควบคุมอุณหภูมิสารละลายให้เป็น 75 °C จากนั้นเติม β -CD 3 g ลงในขวดก้นกลม กวนด้วยแท่งแม่เหล็ก จากนั้นเติมน้ำกลั่น 6 ml จน β -CD ละลายหมด จะได้สารละลายใส ไม่มีสี

สูตร	Epi (g)	β -CD (g)
10	2.445	3
20	4.890	3
30	7.335	3

2. เติม Epi ลงไป และปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยจุกยาง กวนด้วยแท่งแม่เหล็กความเร็ว

100 rpm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที จะได้สารละลายใส สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลือง และเมื่อครบ 2 ชั่วโมง จะสังเกตเห็นพอลิเมอร์จับตัวอยู่ในสารละลาย ซึ่งมีลักษณะคล้ายรังนก

3. นำขวดก้นกลมออกจากอุปกรณ์สังเคราะห์พอลิเมอร์ ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน ที่อุณหภูมิห้อง
4. แยกพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ออกจากสารละลายด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 นำพอลิเมอร์ที่กรองได้มาล้างด้วยเฮกเซน 200 ml ที่บรรจุอยู่ในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วกวนเป็นเวลา 30 วินาที และกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศอีกครั้ง จากนั้นล้างด้วยอะซิโตน และน้ำกลั่น อย่างละ 200 ml ตามลำดับ โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับการล้างด้วยเฮกเซนทุกขั้นตอน
5. นำ β -CDP ที่สังเคราะห์ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 1 วัน

3.3.3.2 การตรวจสอบพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรีนที่สังเคราะห์ได้

3.3.3.2.1 ตรวจสอบความแข็งแรงของพันธะด้วยเทคนิค TGA เพื่อหาค่าอุณหภูมิการสลายตัว

ซึ่ง β -CD 0.5 g นำไปวัดอุณหภูมิการสลายตัว โดยใช้เครื่อง TGA ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50°C และให้ความร้อนด้วยอัตรา 10°C ต่อนาทีจนถึง 500°C ทิ้งให้เย็นตัวลงด้วยอัตราเดียวกัน และปฏิบัติตามเช่นเดียวกับข้างต้นแต่เปลี่ยนจาก β -CD เป็น β -CDP สูตร 10, 20 และ 30 ตามลำดับ

3.3.3.2.2 ตรวจสอบความแข็งแรงของพันธะด้วยเทคนิค DSC เพื่อหาค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว

ซึ่ง β -CD 5 mg นำมาอัดลงในอะลูมิเนียมขนาดเล็ก (Aluminium Pan) จากนั้นนำไปวัดอุณหภูมิการหลอมเหลว โดยใช้เครื่อง DSC ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50°C และให้ความร้อนด้วยอัตรา 20°C ต่อนาทีจนถึง 300°C และทิ้งให้เย็นตัวลงด้วยอัตราเดียวกัน และปฏิบัติตามเช่นเดียวกับข้างต้นแต่เปลี่ยนจาก β -CD เป็น β -CDP สูตร 10, 20 และ 30 ตามลำดับ

3.3.3.2.3 ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR

ซึ่ง β -CD 5 mg ผสมกับผง KBr 1 g บดให้ละเอียด จากนั้นอัดเป็นแผ่น (KBr Disc) นำไปหาค่าหมู่ฟังก์ชัน และปฏิบัติเช่นเดียวกับข้างต้นแต่เปลี่ยนจาก β -CD เป็น β -CDP สูตร 10, 20 และ 30 ตามลำดับ

3.3.3.2.4 ตรวจสอบลักษณะพื้นที่ผิวด้วย SEM

บด β -CDP ให้ละเอียด และนำไปหาขนาดพื้นที่ผิวโดยใช้กำลังขยาย 1500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน ด้วยพอลิเมอร์ บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ

1. เติม β -CDP สูตร 10 ปริมาณ 10 mg ลงในน้ำเสียดังเคราะห์แนฟทาลินเข้มข้น 1 ppm ปริมาณ 10 ml ที่บรรจุอยู่ภายในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml จากนั้นให้นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 100 rpm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อแยก β -CDP ออก
3. วิเคราะห์ปริมาณแนฟทาลินที่เหลือในสารละลายด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.1
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนจาก β -CDP สูตร 10 เป็นสูตร 20 และ 30 ตามลำดับ
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนจากสารละลายแนฟทาลินเป็นพีแนนทริน และไพรีน ตามลำดับ
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4-5 อีก 2 ครั้ง

3.3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน

ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน ในน้ำเสียดังเคราะห์ โดยใช้ β -CDP สูตรที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุดจากข้อ 3.3.3.3 โดยสภาวะที่ศึกษา มีดังนี้

3.3.4.1 ศึกษาเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับ

1. เติม β -CDP สูตรที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.3.3 ปริมาณ 10 mg ลงในน้ำเสียดังเคราะห์แนฟทาลินเข้มข้น 1 ppm แล้วนำไปเขย่าด้วยความเร็ว 100 rpm เป็นเวลา 5 นาที
2. กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อแยก β -CDP ออก
3. วิเคราะห์ปริมาณแนฟทาลินที่เหลือในสารละลาย ด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.1
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น โดยเปลี่ยนเวลาสัมผัสจาก 5 นาที เป็น 10, 20, 30, 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนจากสารละลายแนฟทาลินเป็นพีแนนทริน และไพรีน ตามลำดับ
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 อีก 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ในการทดลองแต่ละครั้ง จะต้องทำชุดควบคุมควบคู่ไปด้วย โดยชุดควบคุมจะต่างจากชุดทดลองตรงที่ไม่ต้องเติม β -CDP

3.3.4.2 ศึกษาปริมาณบีต้าไซโคลเดกซ์ทรินพอลิเมอร์ที่มีผลต่อการดูดซับ

1. เติม β -CDP สูตรที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.3.3 ปริมาณ 5 mg ลงในน้ำเสียดังเคราะห์ แนนพาทาลินเข้มข้น 1 ppm เขย่าด้วยความเร็ว 100 rpm เป็นเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.1
2. กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อแยก β -CDP ออก
3. วิเคราะห์ปริมาณแนนพาทาลินที่เหลือในสารละลาย ด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.1
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น โดยเปลี่ยนปริมาณ β -CDP จาก 5 mg เป็น 10, 15, 20 และ 30 mg ตามลำดับ
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนจากสารละลายแนนพาทาลินเป็นพีแนนทรินและไพรีน ตามลำดับ
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 อีก 2 ครั้ง
7. ในการทดลองแต่ละครั้ง จะต้องทำชุดควบคุมควบคู่ไปด้วย โดยชุดควบคุมจะต่างจากชุดทดลองตรงที่ไม่ต้องเติม β -CDP

3.3.4.3 ศึกษา pH ที่มีผลต่อการดูดซับ

1. เติม β -CDP สูตรที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.3.3 ปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.2 ลงในน้ำเสียดังเคราะห์แนนพาทาลินเข้มข้น 1 ppm ที่มี pH เป็น 2 เขย่าด้วยความเร็ว 100 rpm เป็นเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.1
2. กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อแยก β -CDP ออก
3. วิเคราะห์ปริมาณแนนพาทาลินที่เหลือในสารละลาย ด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.1
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น แต่เปลี่ยนค่า pH ของน้ำเสียดังเคราะห์ก่อนการดูดซับ จาก 2 เป็น 4, 7, 10 และ 12 ตามลำดับ
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนจากสารละลายแนนพาทาลินเป็นพีแนนทรินและไพรีน ตามลำดับ
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 อีก 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ในการทดลองแต่ละครั้ง จะต้องทำชุดควบคุมควบคู่ไปด้วย โดยชุดควบคุมจะต่างจากชุดทดลองตรงที่ไม่ต้องเติม β -CDP

3.3.4.4 ศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ที่มีผลต่อการดูดซับ

1. เติม β -CDP สูตรที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.3.3 ปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.2 ลงในน้ำเสียสังเคราะห์แนฟทาลินเข้มข้น 0.1 ppm ที่มี pH เป็นค่าที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.3 เขย่าด้วยความเร็ว 100 rpm เป็นเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.1
2. กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อแยก β -CDP ออก
3. วิเคราะห์ปริมาณแนฟทาลินที่เหลือในสารละลาย ด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.1
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์จาก 0.1 ppm เป็น 0.5, 1, 5, 10 และ 15 ppm ตามลำดับ
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนจากสารละลายแนฟทาลินเป็นพีแนนทรีนและไพรีน ตามลำดับ
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 อีก 2 ครั้ง
7. ในการทดลองแต่ละครั้ง จะต้องทำชุดควบคุมควบคู่ไปด้วย โดยชุดควบคุมจะต่างจากชุดทดลองตรงที่ไม่ต้องเติม β -CDP

3.3.5 การศึกษาการนำพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่

1. ล้าง β -CDP ที่ผ่านการดูดซับแล้ว ด้วยเอทานอล 200 ml ที่บรรจุในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วกวนเป็นเวลา 30 วินาที และกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 และล้างต่อด้วยเมทานอล และน้ำกลั่น อย่างละ 200 ml ตามลำดับ โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับการล้างด้วยเอทานอลทุกขั้นตอน โดยแยก β -CDP ที่ใช้ในการดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทรีน และไพรีนออกจากกัน
2. นำ β -CDP ไปอบที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 1 คืน
3. เติม β -CDP จากข้อ 2 ปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.2 ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ แนฟทาลินเข้มข้น 1 ppm ที่มี pH เป็นค่าที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.3 เขย่าด้วยความเร็ว 100 rpm เป็นเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.4.1
4. กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อแยก β -CDP ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วิเคราะห์ปริมาณแอฟทาลินที่เหลือในสารละลาย ด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.1
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น โดยเปลี่ยนจากสารละลายแอฟทาลินเป็นพีแนนทรินและไพรีน ตามลำดับ
7. ล้าง β -CDP ที่ได้จากข้อ 4 ด้วยเอทานอล เมทานอล และน้ำกลั่น เช่นเดียวกับข้อ 1 และนำไปใช้ในการดูดซับอีกครั้ง
8. ล้าง β -CDP ที่ได้จากข้อ 7 ด้วยเอทานอล เมทานอล และน้ำกลั่น เช่นเดียวกับข้อ 1 และนำไปใช้ในการดูดซับอีก จนครบ 5 ครั้ง

หมายเหตุ : ในขั้นตอนการนำกลับ β -CDP มาใช้ใหม่

β -CDP ที่ได้จากการดูดซับแอฟทาลิน จะนำไปดูดซับเฉพาะแอฟทาลินเท่านั้น เช่นเดียวกับพีแนนทริน และไพรีน



รูปที่ 3.1 แสดงชุดการสังเคราะห์พอลิเมอร์บิตาไซโคลเด็กซ์ทริน (ใช้บิตาไซโคลเด็กซ์ทริน 3 g, NaOH 40% w/w 18 ml และน้ำกลั่น 6 ml) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

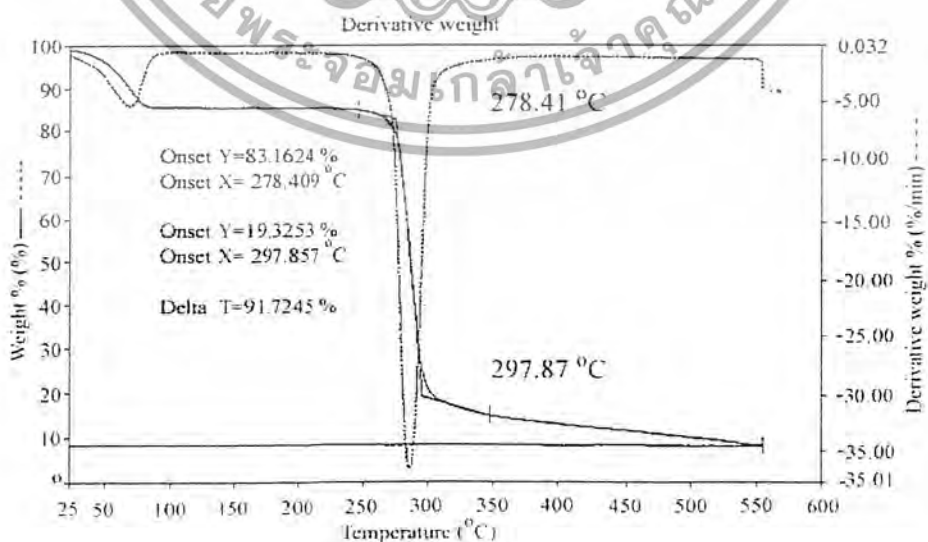
ผลการทดลองและอภิปรายผล

การนำเสนอโครงการพิเศษ เรื่องการบำบัด PAHs ออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินนี้ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนแรก การสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน เพื่อหาสัดส่วนของอีพิกลอโรไฮดรินต่อบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่เหมาะสมต่อการดูดซับเนฟทาลิน, พีแนนทริน และฟริน ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ เวลาสัมผัส, ปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน, pH และความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ และขั้นตอนสุดท้าย ศึกษาประสิทธิภาพการนำพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งผลการศึกษาเป็นดังนี้

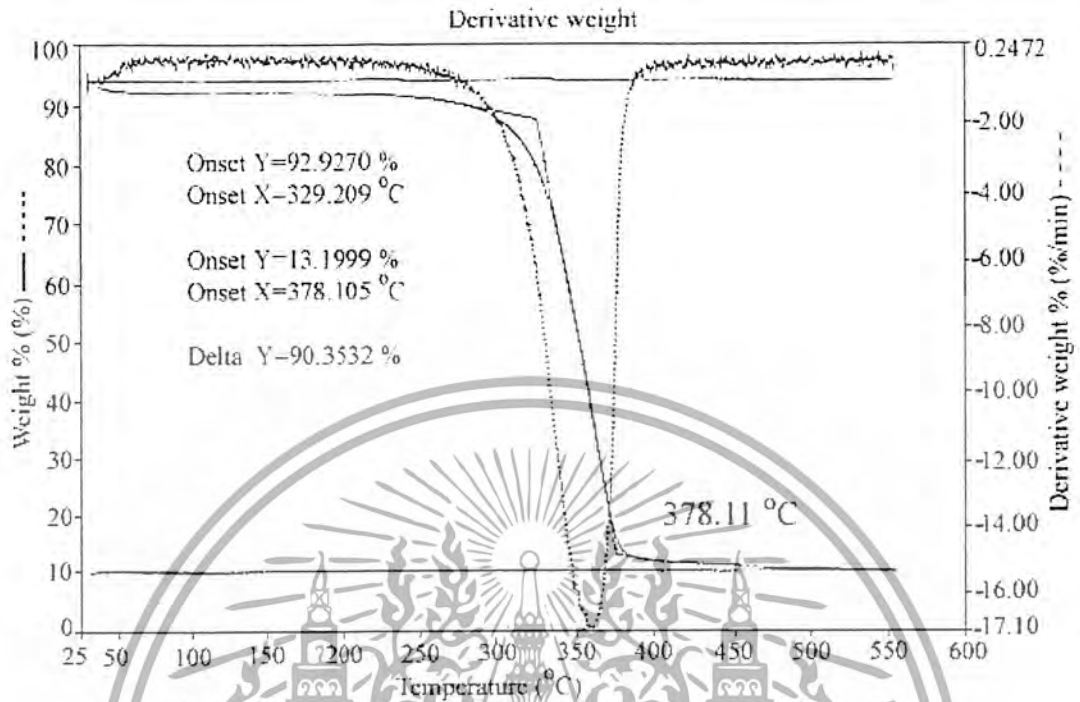
4.1 การตรวจสอบคุณสมบัติพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน

จากการศึกษาความแข็งแรงของพันธะของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเทียบกับบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน โดยการหาอุณหภูมิการสลายตัวและอุณหภูมิการหลอมเหลว ด้วยเทคนิค TGA และ DSC ตามลำดับ ได้ผลดังรูปที่ 4.1-4.8

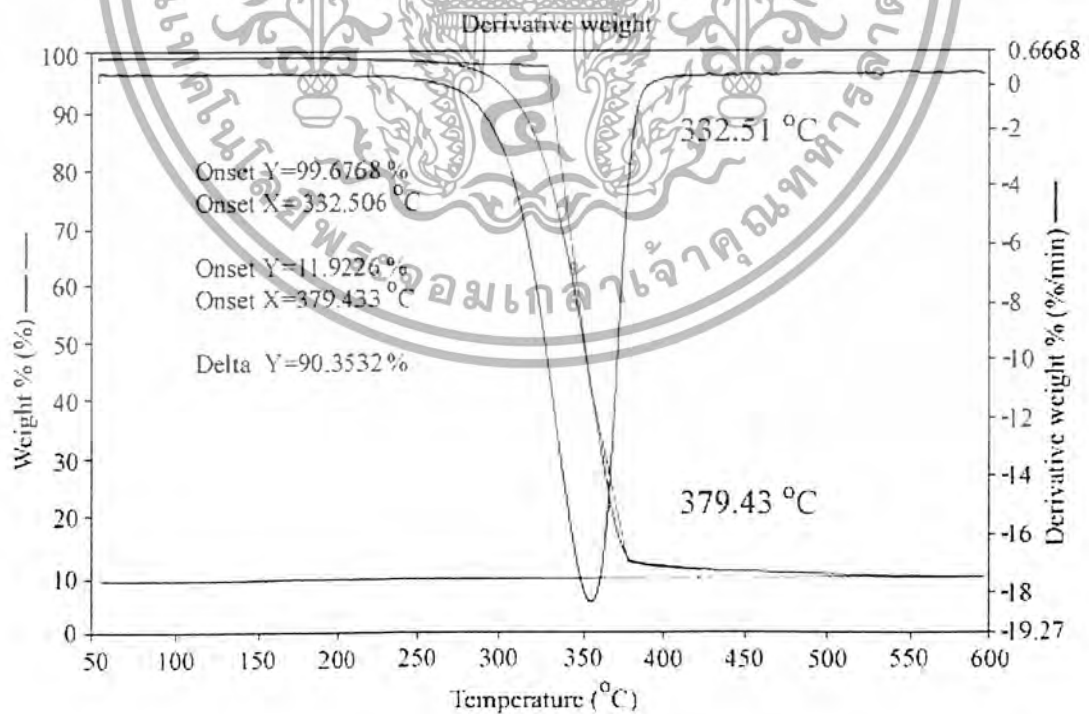
4.1.1 อุณหภูมิการสลายตัว (TGA)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

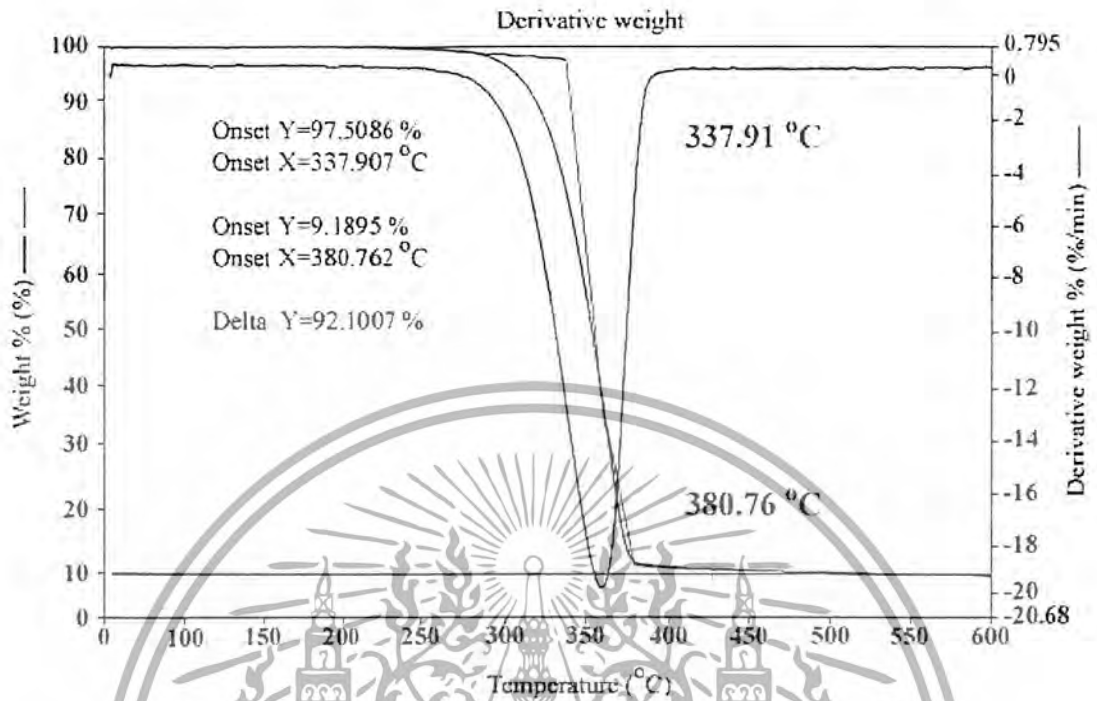


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 20

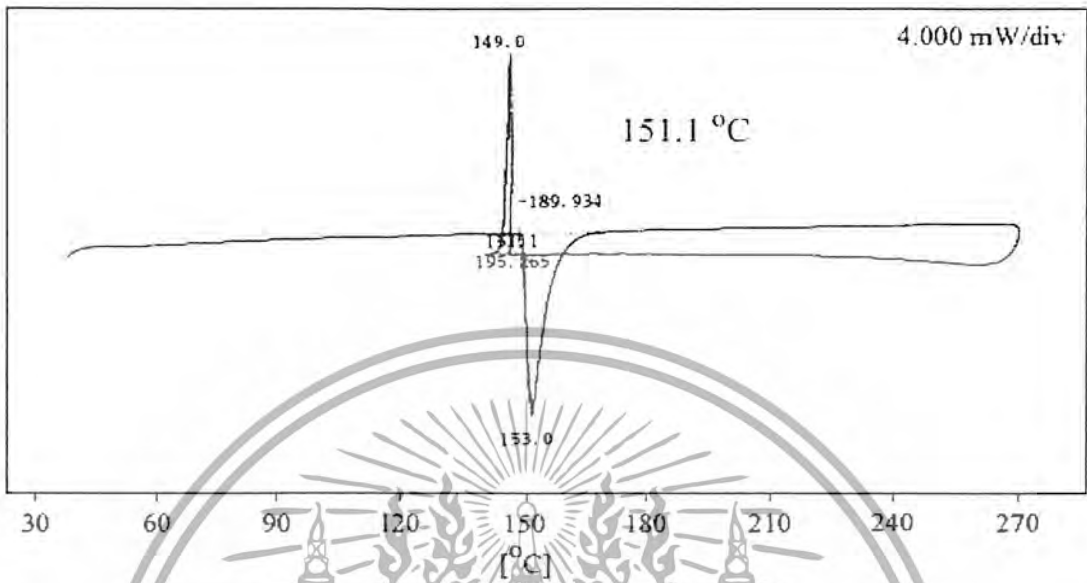
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



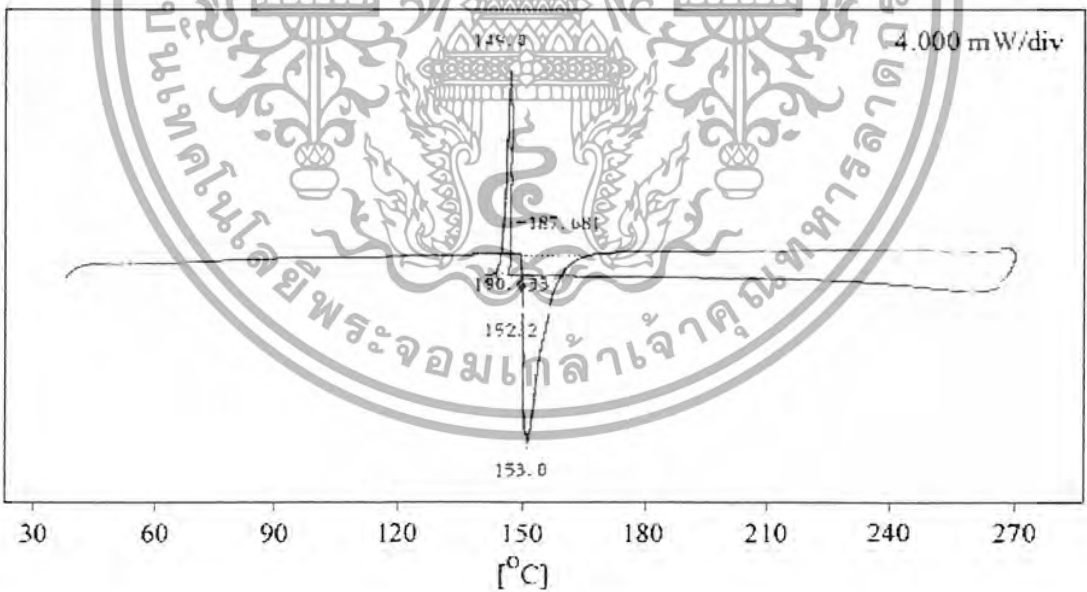
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 30

จากการตรวจสอบคุณสมบัติการสลายตัวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเทียบกับ บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินด้วยเทคนิค TGA พบว่าหลังจากพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกับอีพิกลอโรไฮดริน จะให้อุณหภูมิการสลายตัว (T_d) สูงขึ้นจากการเริ่มสลายตัวที่ 278.41 °C และสิ้นสุดที่ 297.87 °C (บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน) มาเป็นเริ่มสลายตัวที่ 329.21 °C และสิ้นสุดที่ 378.11 °C (พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10) ทั้งนี้เนื่องจากอีพิกลอโรไฮดรินที่เติมลงไป จะเชื่อมโยงกับโมเลกุลของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินส่งผลให้ความแข็งแรงของพันธะสูงขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้เพื่อให้เกิดการสลายตัวจึงสูงขึ้น เมื่อเทียบกับ บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน และเมื่อมีการเชื่อมโยงระหว่างอีพิกลอโรไฮดรินด้วยกันเองมากขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 30 จะสูงกว่าสูตร 20 และ 10 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอีพิกลอโรไฮดรินที่มากเกินไปในสูตร 20 และ 30 จะเกิดการเชื่อมโยงกันเองมากขึ้น โดยเฉพาะในสูตร 30 จึงต้องใช้พลังงานสูงขึ้นในการทำลายพันธะที่เกิดจากการเชื่อมโยงของอีพิกลอโรไฮดริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 20



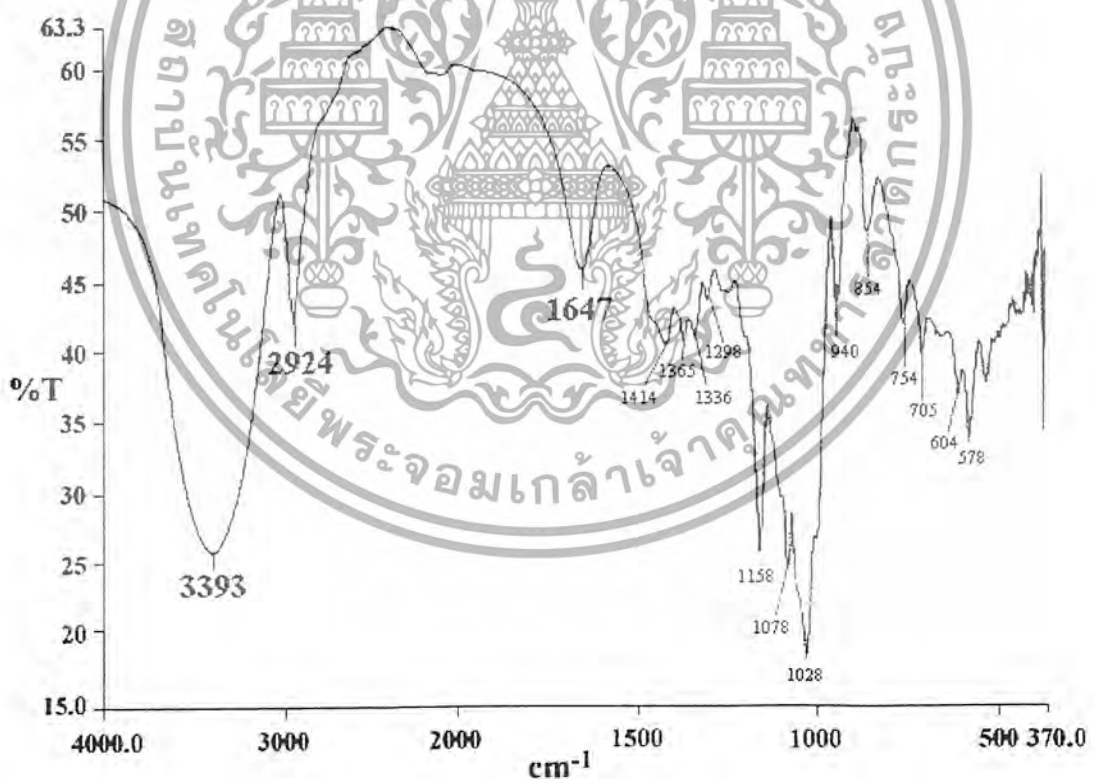
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 30

จากการตรวจสอบหาอุณหภูมิการหลอมเหลวของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน (T_m) และพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ ด้วยเทคนิค DSC พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์เอกสารบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมีค่าสูงกว่าบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินไม่ใช่อุณหภูมิการหลอมเหลวของเอกสารใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินและอีพิกลอโรไฮดริน ทำให้ความแข็งแรงของพันธะสูงขึ้นด้วย และเมื่อปริมาณสารเชื่อมโยงมากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของพันธะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 30 จึงสูงกว่าสูตร 20 และ 10 ตามลำดับ โดยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมีอุณหภูมิการหลอมเหลวเท่ากับ 147 °C และพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10, 20 และ 30 มีอุณหภูมิการหลอมเหลวเท่ากับ 150.9 °C, 151.1 °C และ 152.2 °C ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ได้จากการศึกษาของ Gao และ Zhao (Gao และ Zhao, 2002)

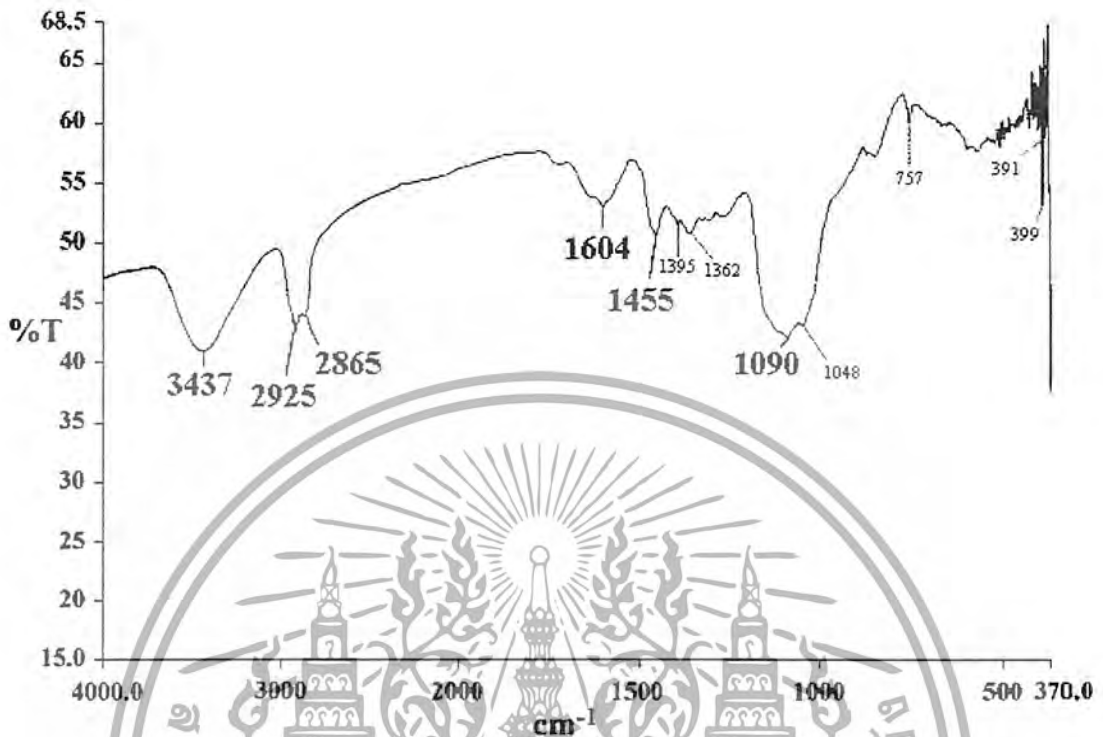
4.1.3 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเทียบกับบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน โดยใช้ FT-IR ได้ผลดังรูปที่ 4.9-4.12

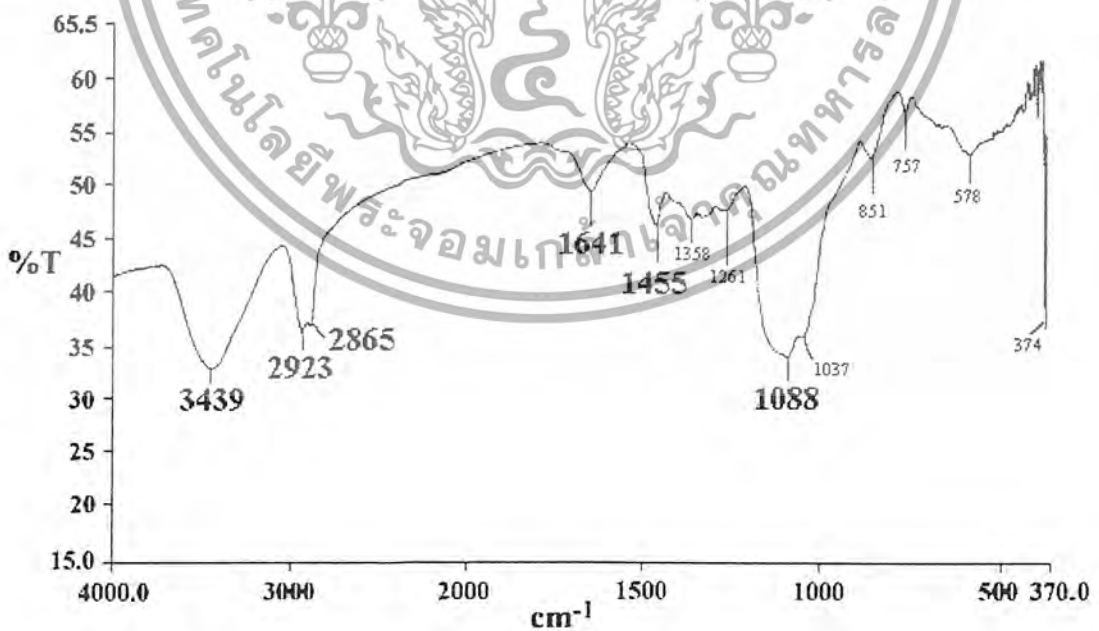


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงหมู่ฟังก์ชันของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

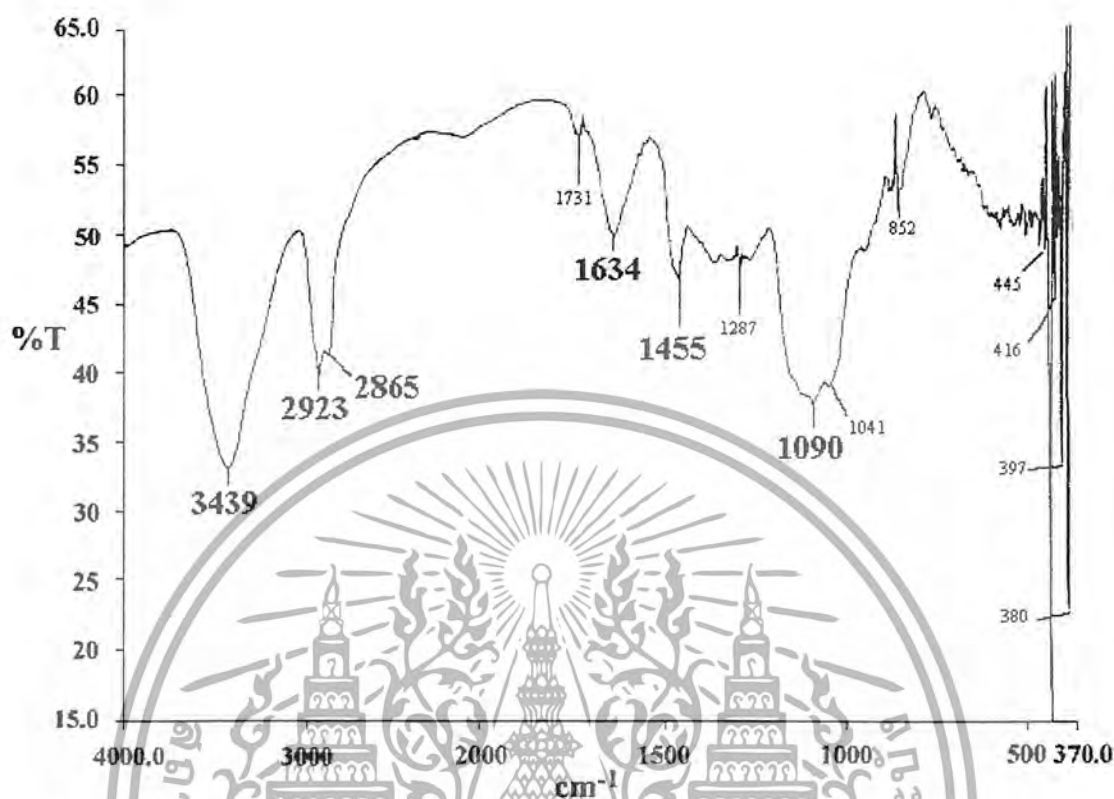


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 30

จากการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินและพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน พบว่ามีตำแหน่งฟังก์ชันที่สำคัญขึ้น ดังนี้

O-H stretching	3500-3300	cm ⁻¹
O-H bending	1624	cm ⁻¹
C-H stretching (sat.)	3000-2800	cm ⁻¹
C-H bending	1470-1400	cm ⁻¹
C-O stretching (primary)	~ 1050	cm ⁻¹
C-O-C bending	~ 1624	cm ⁻¹

จากการศึกษาของ Gao และ Zhao (Gao และ Zhao, 2002) พบว่าหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญๆ ของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินยังคงตำแหน่งเดิมเช่นเดียวกับบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน โดยขนาดฟังก์ชันพบอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณอีพิคลอโรไฮดรินที่เติมลงไป จากรูปที่ 4.9-4.12 จะเห็นได้ว่าฟังก์ชัน O-H ของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินจะใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน เนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่ฟังก์ชัน -OH ของบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกับอีพิคลอโรไฮดริน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในพอลิเมอร์ ทำให้พีคแสดงปริมาณ O-H ลดลง ส่วนพีคของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 30 ใหญ่กว่าสูตร 20 และ 10 ตามลำดับ เนื่องจากเกิดการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของวงอีพอกไซด์ของอีพอกซิโพลิเมอร์เกิดเป็นหมู่ -OH เพิ่มขึ้น ดังรูป 2.7 และ 2.8

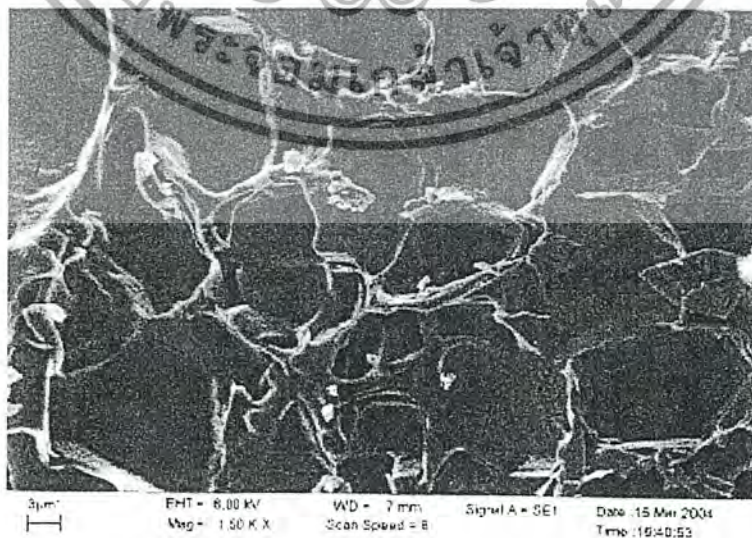
เช่นเดียวกับพีค C-H ของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ใหญ่ขึ้นเมื่อปริมาณอีพอกซิโพลิเมอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจาก C-H เป็นหมู่ฟังก์ชันที่ได้จากอีพอกซิโพลิเมอร์ ดังนั้นพีค C-H ของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 30 จึงใหญ่กว่าสูตร 20 และ 10 ตามลำดับ

ส่วนฟังก์ชัน C-O และ C-O-C ของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ C-H เนื่องจากเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างบีต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับอีพอกซิโพลิเมอร์ ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8

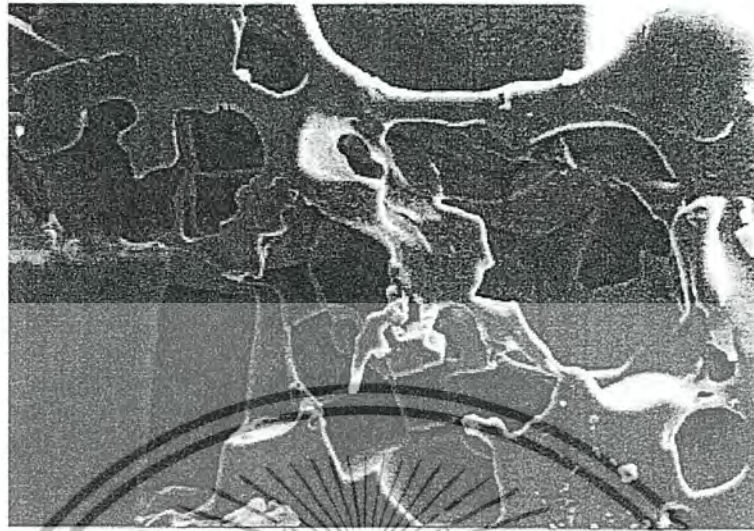
หมู่ฟังก์ชัน	β -CDP เทียบกับ β -CD
O-H	ลดลง
C-H	เพิ่มขึ้น
C-O และ C-O-C	เพิ่มขึ้น

4.1.4 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิว

จากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตรต่างๆ โดยใช้เทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 1500 เท่า ได้ผลดังรูปที่ 4.13-4.15



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูตร 10 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 20 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า



รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 30 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

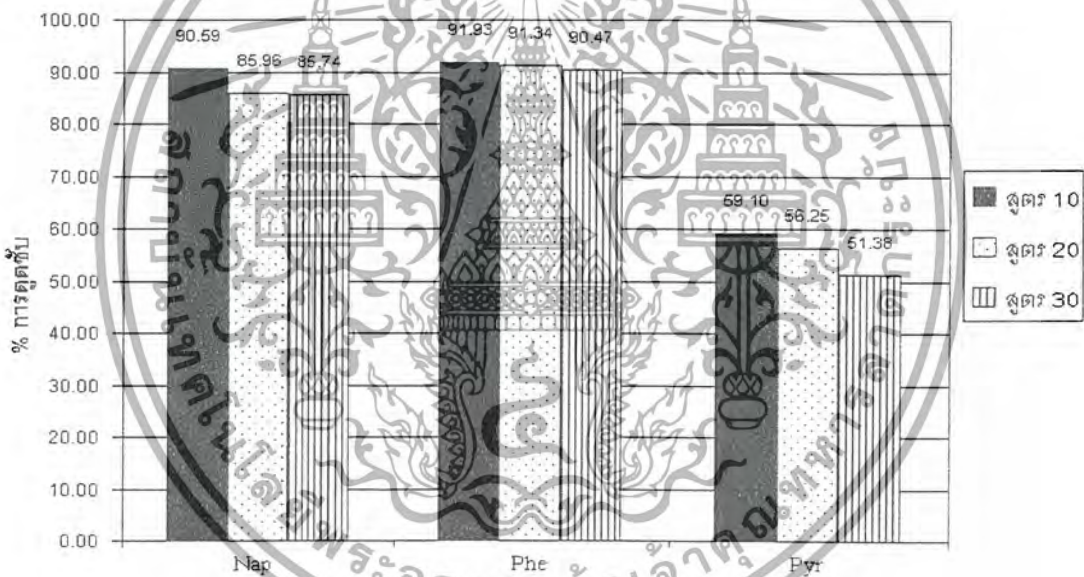
จากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน สูตร 10, 20 และ 30 พบว่าสูตร 10 จะเห็นพื้นผิวที่เป็น โพรง ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดสารประกอบอินคลูชัน ได้อย่างชัดเจน ทำให้สามารถดูดซับสารอื่นหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้ดี ส่วนสูตร 20 และ 30 จะมีอิทธิพลไรโซทริน เอกสาร์เรียมโยงกับบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินและมีบางส่วนที่เชื่อมโยงกันเองเกิดเป็นแผ่นฟิล์มปิดบังโพรงของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้าไปในโพรงของพอลิเมอร์ได้ยาก และยังขัดขวางการเกิดสารประกอบอินclusion ดังนั้นการดูดซับจึงเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่

และจากผลการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถยืนยันได้ว่า การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกับอีพิคลอโรไฮดริน ได้เป็นพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดขึ้นจริง

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ PAHs ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ

ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10, 20 และ 30 พบว่าพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ในแต่ละสูตรจะสามารถดูดซับของแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีนได้แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 สามารถดูดซับแนฟทาลินได้ถึง 90.59 % ซึ่งสูงกว่าสูตร 20 และ 30 ที่สามารถดูดซับแนฟทาลินได้ 85.96 % และ 85.74 % ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณอีพิคลอโรไฮดรินที่มากเกินไปในสูตร 20 และ 30 ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างอีพิคลอโรไฮดรินด้วยตัวเองมากขึ้น จึงขัดขวางการเคลื่อนที่ของแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน ที่เข้าไปยังโพรงของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ซึ่งเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณที่เกิดการดูดซับ และเมื่อพิจารณาการดูดซับพีแนนทรินและไพรีน พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับ แนฟทาリン คือ สูตร 10 สามารถดูดซับได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นสูตร 20 และ 30 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับระหว่างแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน พบว่าทั้งสูตร 10, 20 และ 30 สามารถดูดซับพีแนนทรินได้สูงสุด รองลงมาเป็นแนฟทาลิน และไพรีน ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากขนาด โครงสร้าง และความสามารถในการละลายน้ำของแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน โดยพีแนนทรินจะมีขนาด และโครงสร้างของโมเลกุลใกล้เคียงกับโพรงของพอลิเมอร์ บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีค่าการละลายน้ำต่ำ จึงสามารถดูดซับออกจากน้ำได้ดี (β -CDP: เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.62-0.78 nm ปริมาตรช่องว่างภายใน 157 cm³/mol

Nap: เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50-0.71 nm ปริมาตร 73.97 cm³/mol ค่าการละลายน้ำ 31.5 mg/L

Phe: เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.58-0.78 nm ปริมาตร 107.80 cm³/mol ค่าการละลายน้ำ 1.49 mg/L

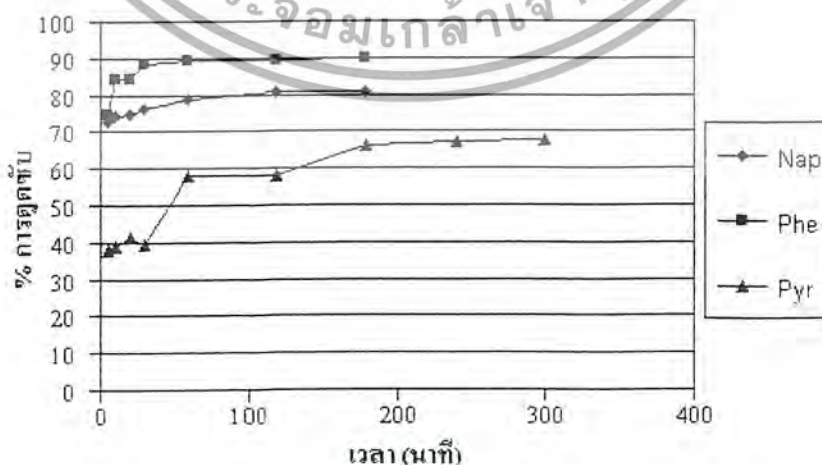
Pyr: เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.71-0.89 nm ปริมาตร 132.23 cm³/mol ค่าการละลายน้ำ 0.175 mg/L)

ดังนั้นพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 จึงเหมาะสมที่สุดในการนำไปดูดซับ แนฟทาリン, พีแนนทริน และไพรีน

4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด PAHs

4.3.1 ศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน ที่เวลา 5, 10, 20, 30, 60, 120 และ 180 นาที โดยใช้พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 เป็นตัวดูดซับ พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีนที่เวลาสัมผัสต่างๆ

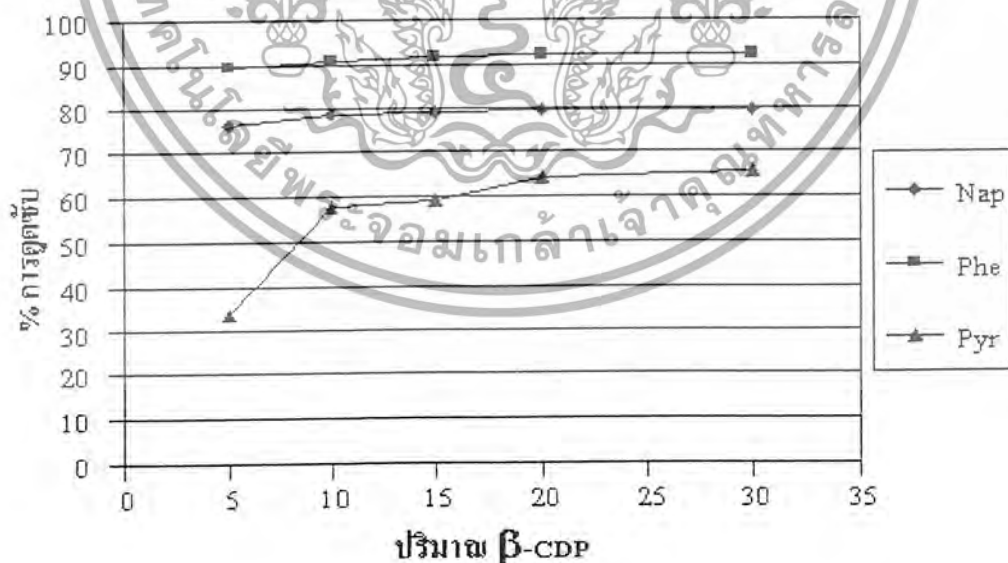
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้เห็นว่าใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า อัตราการดูดซับสูงสุดของแนฟทาลินและฟีแนนทรินอยู่ในช่วง 30 นาทีแรก โดยแนฟทาลินดูดซับได้ 76.46 % และฟีแนนทรินดูดซับได้ 90.91 % จากนั้น อัตราการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงนาทีที่ 60 หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การดูดซับจะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยจนเกือบคงที่ ดังนั้นจึงถือว่าเวลาเข้าสู่สมดุลของแนฟทาลินและฟีแนนทรินเป็น 60 นาที ส่วนไพรีนจะใช้เวลาในการเข้าสู่ภาวะสมดุลช้ากว่า โดยใช้เวลาราว 180 นาที ทั้งนี้เป็นเพราะไพรีนมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าแนฟทาลินและฟีแนนทริน ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าสู่โพรงของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินเกิดขึ้นได้ช้ากว่า

ดังนั้นเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับแนฟทาลิน และฟีแนนทรินเข้มข้น 1 ppm คือ 60 นาที ส่วนไพรีนอยู่ที่ 180 นาที

4.3.2 ศึกษาปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาลิน ฟีแนนทริน และไพรีน เมื่อใช้ปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน สูตร 10 ปริมาณ 5, 10, 15, 20 และ 30 mg เป็นตัวดูดซับ พบว่าปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับของแนฟทาลิน, ฟีแนนทริน และไพรีน ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาลิน, ฟีแนนทริน และไพรีนที่ปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมากขึ้น เบอร์เซนต์การดูดซับจะสูงขึ้นด้วย โดยพีแนนทรินจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุด เมื่อปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็น 15 mg เช่นเดียวกับแนฟทาลีน ซึ่งสามารถดูดซับได้ 91.83 % และ 78.87 % ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็น 20 และ 30 mg พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับจะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนไพรีนจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุดที่ปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน 20 mg เนื่องจากไพรีนเป็นสารโมเลกุลใหญ่ จึงเกิดสารประกอบอินคลูชันในสัดส่วน 2:1 จึงใช้ปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินในการดูดซับมากกว่าแนฟทาลีน และพีแนนทริน

ดังนั้นปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่เหมาะสมในการดูดซับแนฟทาลีน และพีแนนทรินเข้มข้น 1 ppm คือ 15 mg ส่วนปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับไพรีน คือ 20 mg

และเมื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ (ดังภาคผนวก ข การทดลองที่ 5) พบว่าการดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทริน และไพรีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นการดูดซับแบบฟลูนิช แสดงผลการศึกษาได้ดังนี้

PAHs	K_F	$1/n$
แนฟทาลีน	0.214	0.090
พีแนนทริน	0.079	0.180
ไพรีน	0.479	0.056

จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพในการดูดซับ (K_F) ที่ได้จากการคำนวณของไพรีน > แนฟทาลีน > พีแนนทริน โดยค่า K_F นี้จะแสดงถึงความสามารถในการดูดซับ PAHs แต่ละชนิด ซึ่งจากการศึกษาทางทฤษฎีแล้วพบว่า K_F ของพีแนนทรินควรสูงกว่าแนฟทาลีน และไพรีน ตามลำดับ ซึ่งจะสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองที่พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสามารถดูดซับพีแนนทรินได้สูงสุด และดูดซับไพรีน ได้น้อยสุด ซึ่งขัดแย้งกับค่าที่คำนวณได้ ส่วนค่า $1/n$ ของ PAHs ทั้ง 3 ชนิด น้อยกว่า 1 แสดงว่าพื้นที่ที่เกิดการดูดซับของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมีอยู่จำกัด

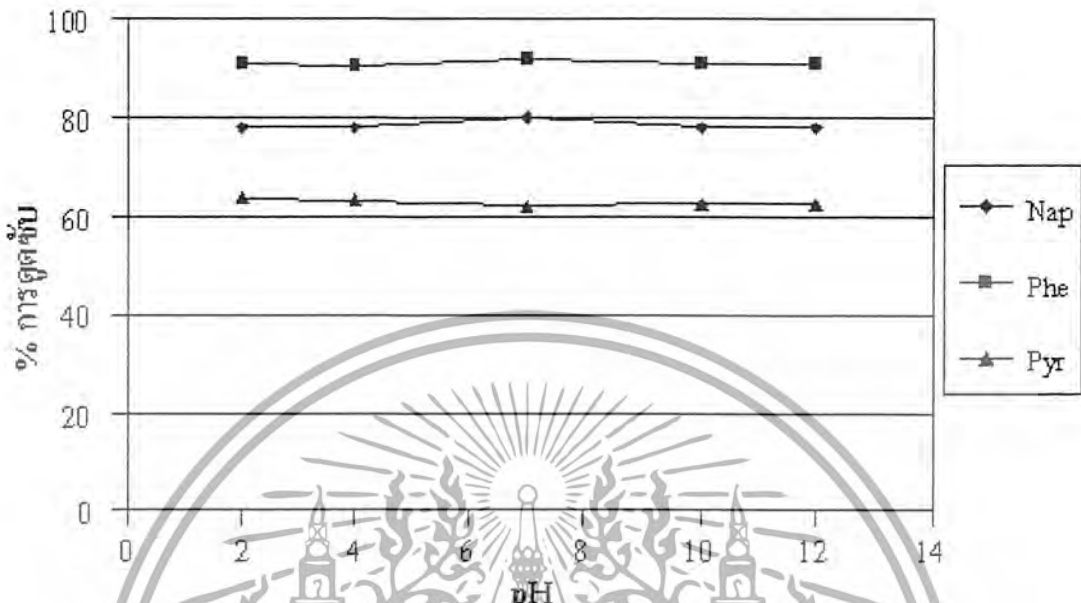
4.3.3 ศึกษา pH ที่มีผลต่อการดูดซับ

ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทริน และไพรีน จากน้ำเสีย สัณเคราะห์ที่ปรับ pH ให้มีค่าเป็น 2, 4, 7, 10 และ 12 ซึ่งพบว่า pH ที่แตกต่างกันนั้นไม่มีผลต่อ

ความสามารถในการดูดซับแนฟทาลีน, พีแนนทริน และไพรีน ดังรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการละเมิดลิขสิทธิ์หากท่านใดมีข้อมูลหรือข้อสงสัย กรุณาติดต่อเจ้าหน้าที่ศูนย์บริการลูกค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาไลน์, ฟีนเนทรีน และไพรีนที่ pH ต่างๆ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่ pH ต่างๆ ทั้งในสถานะที่เป็นกรด, กลาง และเบส จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ใกล้เคียงกัน ทั้งแนฟทาไลน์, ฟีนเนทรีน และไพรีน โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับอยู่ในช่วง 78-80 %, 88-90 % และ 62-64 % ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากแนฟทาไลน์, ฟีนเนทรีน และไพรีน จัดเป็นสารในกลุ่มอะโรมาติกที่ปราศจากหมู่ฟังก์ชันที่ไวต่อปฏิกิริยา และการเปลี่ยนแปลง pH ทั้งนี้ยังมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนแบบกลับๆไปกลับมา (Resonance) ภายในวงอะโรมาติกอีกด้วย ส่งผลให้การแตกตัวเป็นไอออนบวก หรือลบตาม pH ที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดขึ้นได้ยาก

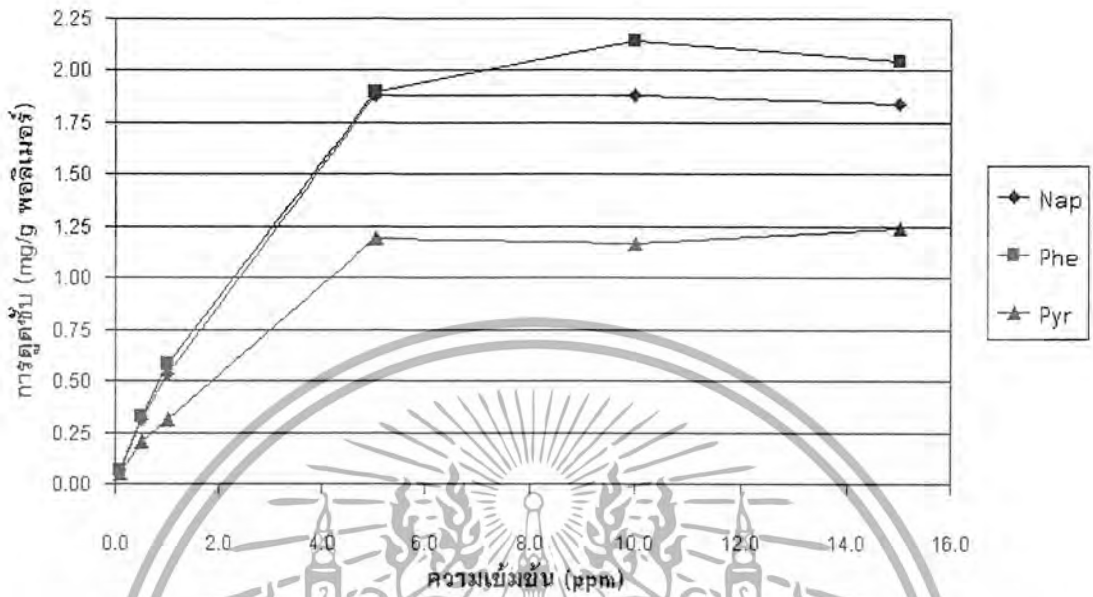
ดังนั้นในการดูดซับแนฟทาไลน์, ฟีนเนทรีน และไพรีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินจึงไม่จำเป็นต้องปรับค่า pH ให้เหมาะสมก่อนการดูดซับ สามารถใช้ค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีค่า pH ประมาณ 8 ได้เลย

4.3.4 ศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ที่มีผลต่อการดูดซับ

ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาไลน์, ฟีนเนทรีน และไพรีน จากน้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 0.5, 1, 5, 10 และ 15 ppm พบว่าความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์มีผลต่อ

ปริมาณ PAHs ที่ดูดซับ ดังรูปที่ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



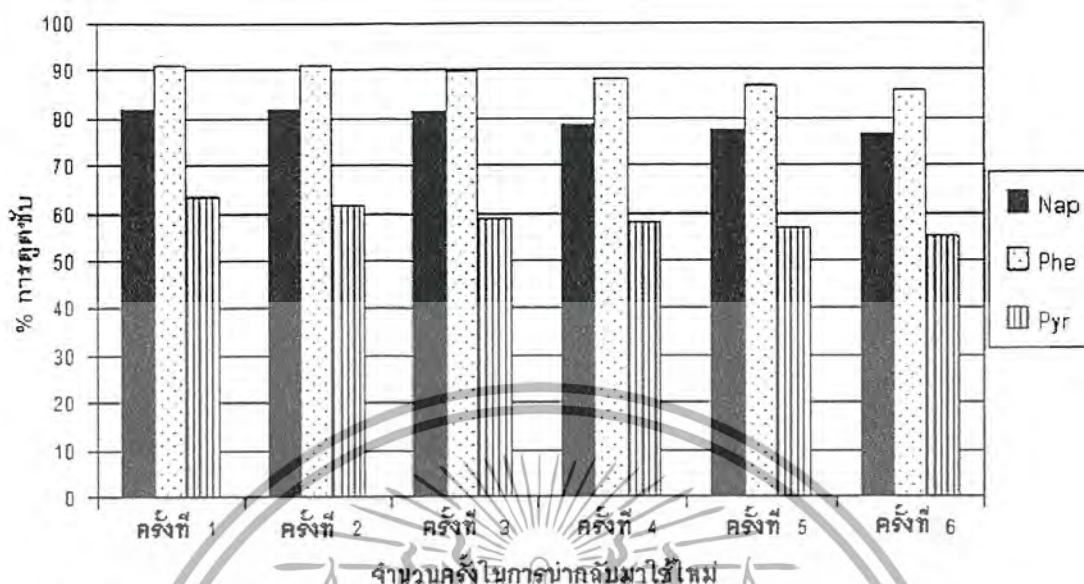
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแนฟทาลิน, ฟีนานทริน และไพรีนที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ปริมาณแนฟทาลิน, ฟีนานทริน และไพรีนที่ถูกดูดซับได้ (mg) ต่อหน่วยน้ำหนักพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน (g) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากจำนวน โมเลกุลของแนฟทาลิน, ฟีนานทริน และไพรีนที่เพิ่มขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าสู่โพรงของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมากขึ้น โดยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสามารถดูดซับฟีนานทรินได้สูงสุด 2.141 mg ต่อ 1 g พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 แนฟทาลินสามารถดูดซับได้ 1.880 mg ต่อ 1 g พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 และไพรีนสามารถดูดซับได้เท่ากับ 1.194 mg ต่อ 1 g พอลิเมอร์สูตร 10 ทั้งนี้เนื่องจากขนาด และ โครงสร้างของฟีนานทรินเหมาะสมต่อดูดซับมากกว่าแนฟทาลิน และไพรีน ซึ่งมีขนาดเล็กและใหญ่เกินไปทำให้เกิดการดูดซับได้ไม่ดีดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

4.4 การศึกษาการนำพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่

จากการทดลองศึกษาประสิทธิภาพการนำพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ หลังจากการดูดซับแล้ว 1, 2, 3, 4 และ 5 ครั้ง พบว่าจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับในครั้งต่อไป ดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับเนฟทาลิน, พีแนนทริน และ ไพรีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ผ่านการดูดซับแล้ว

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า หลังจากล้างพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ผ่านการดูดซับด้วยเอทานอล และเมทานอลแล้ว สามารถนำกลับมาดูดซับเนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีนได้อีก โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับของพีแนนทรินจะลดลงตามจำนวนครั้งของการนำพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การดูดซับจะลดลง 5.517% เมื่อเปรียบเทียบการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 กับพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ยังไม่ผ่านการดูดซับ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การดูดซับของเนฟทาลินและไพรีนจะลดลงเพียงเล็กน้อยคิดเป็น 5.14% และ 8.39% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากประสิทธิภาพการล้างพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินด้วยเอทานอล, เมทานอลและน้ำ สามารถกำจัด PAHs ที่ถูกดูดซับอยู่ในพอลิเมอร์ออกได้เป็นอย่างดี จึงทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในครั้งต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาสัดส่วนของอิพิคลอโรไฮดรินต่อบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่เหมาะสมในการดูดซับ PAHs 3 ชนิด ที่มีจำนวนวงอะโรมาติกแตกต่างกัน ได้แก่ แนฟทาลิน (2 วง), พีแนนทริน (3 วง) และไพรีน (4 วง) ออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ตลอดจนสถานะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการดูดซับ PAHs ดังกล่าว นอกจากนี้ยังต้องการทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เพลอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้สำหรับสูตร 10 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.52 % และพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 20 และสูตร 30 มีค่าเพลอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้เฉลี่ยเท่ากับ 7.77 % และ 4.46 % ตามลำดับ
2. พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 (สัดส่วนโดยโมลของอิพิคลอโรไฮดรินต่อบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเท่ากับ 10:1) จะสามารถดูดซับแนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีนได้สูงสุด รองลงมาเป็นสูตร 20 และ 30 ตามลำดับ
3. PAHs แต่ละชนิดจะมีสถานะที่เหมาะสม ในการดูดซับด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ต่างกัน โดยสถานะที่สามารถดูดซับแนฟทาลิน คือ ใช้พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 ปริมาณ 15 mg เขย่าด้วยความเร็ว 100 rpm เป็นเวลา 60 นาที และสามารถดูดซับแนฟทาลินได้สูงสุด 1.880 mg/g พอลิเมอร์ ส่วนการดูดซับพีแนนทริน ใช้ปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 ปริมาณ 15 mg เขย่าด้วยความเร็ว 100 rpm เป็นเวลา 60 นาที และสามารถดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์พีแนนทรินได้ 2.141 mg/g พอลิเมอร์ และการดูดซับไพรีน จะใช้พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 ปริมาณ 20 mg เขย่าด้วยความเร็ว 100 rpm เป็นเวลา 180 นาที จะสามารถดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ไพรีนได้สูงสุด 1.194 mg/g พอลิเมอร์ ส่วนค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์จะไม่มีผลต่อเพลอร์เซนต์การดูดซับ PAHs ทั้ง 3 ชนิด
4. โครงสร้าง และจำนวนวงอะโรมาติกที่แตกต่างกันของ PAHs มีผลต่อการดูดซับด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน โดยพีแนนทริน (3 วง) จะถูกดูดซับได้สูงสุด รองลงมาเป็นแนฟทาลิน (2 วง) และไพรีน (4 วง) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ผ่านการดูดซับแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก โดยประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลงตามจำนวนครั้งที่นำกลับมาใช้ใหม่

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการตรวจสอบพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้ ควรวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NMR เทียบกับบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเพิ่มเติม เพื่อยืนยันผลให้แน่ชัดยิ่งขึ้น รวมถึงการหาปริมาตรและพื้นที่ผิวของพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินด้วยวิธี Swell
2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับแมนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีน ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อการดูดซับเพิ่มเติม เช่น อุณหภูมิ ความเร็วในการเขย่า เป็นต้น
3. ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมาก ต่อเปอร์เซ็นต์พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ จึงต้องควบคุมให้คงที่ตลอดการสังเคราะห์ และเมื่อใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็น 75°C จะสังเคราะห์พอลิเมอร์ได้ประมาณ 6-11 % ซึ่งถ้าต้องการสังเคราะห์ให้ได้เปอร์เซ็นต์พอลิเมอร์สูงขึ้น อาจใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น
4. ควรเพิ่มความเข้มข้นของแมนฟทาลิน, พีแนนทริน และไพรีนที่ใช้ในการศึกษาให้สูงขึ้น ตลอดจนปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง
5. ควรศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ PAHs ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน เทียบกับตัวดูดซับอื่นๆ ด้วย
6. ควรนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2543. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง เรื่อง พีเอเอช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม: กรุงเทพฯ, ประเทศไทย. หน้า 7-34
- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์: กรุงเทพฯ, ประเทศไทย. หน้า 71-82.
- จักรพล จันทรวัด. 2545. การสะสมสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะด้วยโคโคซานโครงร่างตาข่าย. โครงการงานพิเศษ ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชนากรณ์ เรืองศรี และภควันต์ กาญจนพาที. 2545. การบำบัดสารพอลิอะโรมาติก (PAHs) ในน้ำด้วย แหนเปิด. โครงการงานพิเศษ ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปวีณา ปรัชญาวสิน และวิศราเสประธานนท์. 2544. การบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยพอลิเมอร์ บิต้าไซโคลเดกซ์ทริน. โครงการงานพิเศษ ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Anagore, M.J., Fernandes, M.B and Ikhsan, J. 2002. The Sorption of Anthracene onto Goethite and Kaolinite in the Presence of Some Benzene-Carboxylic Acids. *J. Colloid Interface Sci* 247: 282-289.
- Belosludov, R. 2002. Theoretical Study on Inclusion Complex of Polyaniline Covered by Cyclodextrin for Molecular Device. *The Japan Society of Applied Physics*. 41:2739-2741.
- Cuyper, C., Pancras, T. and Grotenhuis, T. 2001. The Estimation of PAH Bioavailability in Contaminated Sediments Using Hydroxypropyl- β -Cyclodextrin and Triton x-100 Extraction Techniques. *Chemosphere*. 46: 1235-1245.
- Crini, G. 2000. Solid State NMR Spectroscopy Study of Molecular Motion in Cyclomaltoheptaose (β -cyclodextrin) Crosslinked with Epichlorohydrin. *Carbohydr Res*. 38: 37-45.
- Crini, G. 2001. Studies on Adsorption of Dyes on Beta-cyclodextrin Polymer. *Bioresource Technology*. 90: 193-198.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Dondon, R. and Suzanne. 1999. Fery-Forgues Spectroscopy in Molecular Assemblies. Structure of Inclusion Complex in β -Cyclodextrin Highlighted by Fluorescent Coumerin Derivatives. Toulouse Cedex, France: 258-262.
- Elvers, B., Hawkins S. and Schulz, G. 1991. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. The Federal Republic, Germany, A17: 1-7
- Gao, Z. and Zhao, X. 2002. Electrorheological Properties of Inclusion Complex of β -Cyclodextrin Polymer. *Polymer*. 57: 615-618.
- Janus, L. 1999. New Sorbents Containing Beta-Cyclodextrin. Synthesis Characterization and Sorption Properties. *React. Funct. Polym.* 42: 173-180.
- Jicsinszky, L., Hashimoto, H. and Ueno, A. 1998. Cyclodextrin Derivatives. Hungary: Budapest, 138-149.
- Mark, J.E. 1999. *Polymer Data Handbook*. New York: Oxford University Press: 455-456.
- Mastral, A.M., Garcia, T. and Callen, M.S. 2002. Characteristics on the Adsorption of PAC I. Adsorption of PAH with the Same Numbers of Rings. *Fuel Processing Technology*. 77-78: 373-379.
- Mastral, A.M., Garcia, T. and Callen, M.S. 2002. Influence of Sorbent Characteristics on the Adsorption of PAC II. Adsorption of PAH with Different Numbers of Rings. *Fuel Processing Technology*. 77-78: 365-372.
- Renard, E. 1997. Preparation and Characterization of Water Soluble High Molecular Weight β -Cyclodextrin-Epichlorohydrin Polymers. *Eur Polym J*. 33: 49-57.
- Simko, P. and Khunova, V. 1999. Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Water by Migration into Polyethylene. *Food Chemistry*. 64: 157-161.
- Szejtli, J. 1998. Inclusion of Guest Molecules, Selectivity and Molecular Recognition by Cyclodextrins. John Wiley & Sons, Inc., Hungary: 189-203.
- [Online]. Available: <http://cira.ornl.gov/documents/PHENANTH.pdf>
- [Online]. Available: <http://www.astrochem.Org/PAHs.JPG>
- [Online]. Available: <http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/CY/beta-cyclodextrin>.
- [Online]. Available: <http://www.nature.nps.gov/toxic/phenanth.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

[Online].Available: <http://www.peakchem.com/products/cyclodextrin.htm>

[Online].Available: [http://www.zoo.utoronto.ca/zoo3446/2003Group 19/NAPHTHALENE.htm](http://www.zoo.utoronto.ca/zoo3446/2003Group%2019/NAPHTHALENE.htm).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. การเตรียมสารละลาย PAHs ความเข้มข้นต่างๆ

1.1 สารละลายมาตรฐาน Nap เข้มข้น 100 ppm

- เตรียมสารละลาย Nap เข้มข้น 1 ppm จากสารละลายมาตรฐาน Nap เข้มข้น 100 ppm

$$\text{จากความสัมพันธ์} \quad N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$\text{จะได้} \quad 1 \times 100 = 100 \times V_2$$

$$\therefore V_2 = 1 \text{ ml}$$

\therefore ปิเปต Nap เข้มข้น 100 ppm 1 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

- เตรียมสารละลาย Nap เข้มข้น 0.5 ppm จากสารละลายมาตรฐาน Nap เข้มข้น 1 ppm

$$\text{จากความสัมพันธ์} \quad N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$\text{จะได้} \quad 0.5 \times 25 = 1 \times V_2$$

$$\therefore V_2 = 12.5 \text{ ml}$$

\therefore ปิเปต Nap เข้มข้น 1 ppm 12.5 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

สำหรับสารละลาย Nap ความเข้มข้นอื่นๆ รวมทั้งสารละลาย Phe และ Pyr คำนวณเช่นเดียวกับข้างต้น ได้ผลดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 การเตรียม PAHs ความเข้มข้นต่างๆ

[PAHs] สุดท้าย (ppm)	[PAHs] เริ่มต้น (ppm)	ปริมาตร PAHs เริ่มต้น ที่ใช้ (ml)	ปริมาตรสุทธิ (ml)
1.00	100	1.00	100
0.5	1	12.25	25
0.25	1	6.25	25
0.10	1	2.50	25
0.05	1	1.25	25

2. การเตรียมสารละลาย NaOH 40%w/w

ละลาย NaOH (เกรควิเคราะห์) 40 g ด้วยน้ำกลั่น 60 g และนำไปใช้ เมื่อสารละลาย NaOH เย็นตัวลง

หมายเหตุ : การเก็บสารละลาย NaOH ต้องเก็บในภาชนะพลาสติกเท่านั้น ห้ามเก็บในภาชนะที่ทำด้วยแก้ว

3. การคำนวณปริมาณ Epi- β -CD ที่ใช้ในพอลิเมอร์สูตรต่างๆ

$$\text{สูตรพอลิเมอร์} = \text{โมลของ Epi} / \text{โมลของ } \beta\text{-CD}$$

$$\text{มวลโมเลกุล Epi} = 92.5 \text{ g/mol}$$

$$\text{มวลโมเลกุล } \beta\text{-CD} = 1135 \text{ g/mol}$$

- สูตร 10

$$10 = (\text{g/M})_{\text{Epi}} / (\text{g/M})_{\beta\text{-CD}}$$

$$10 = \frac{(\text{g}/92.5)}{(1/1135)}$$

$$\therefore \text{g} = 0.815$$

\therefore ในการเตรียมพอลิเมอร์สูตร 10 เมื่อใช้ β -CD 1 g จะใช้ Epi 0.815 g และ β -CD 3 g จะใช้ Epi 2.445 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สูตร 20

$$20 = (g/M)_{Epi} / (g/M)_{\beta-CD}$$

$$20 = \frac{(g/92.5)}{(1/1135)}$$

$$\therefore g = 1.630$$

\therefore ในการเตรียมพอลิเมอร์สูตร 20 เมื่อใช้ β -CD 1 g จะใช้ Epi 1.630 g และ β -CD 3 g จะใช้ Epi 4.890 g

สำหรับพอลิเมอร์สูตรอื่นๆ ก็ใช้การคำนวณเช่นเดียวกับข้างต้น ได้ผลดังตาราง ก.2

ตาราง ก.2 ปริมาณ Epi ที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์บีค้ำไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ

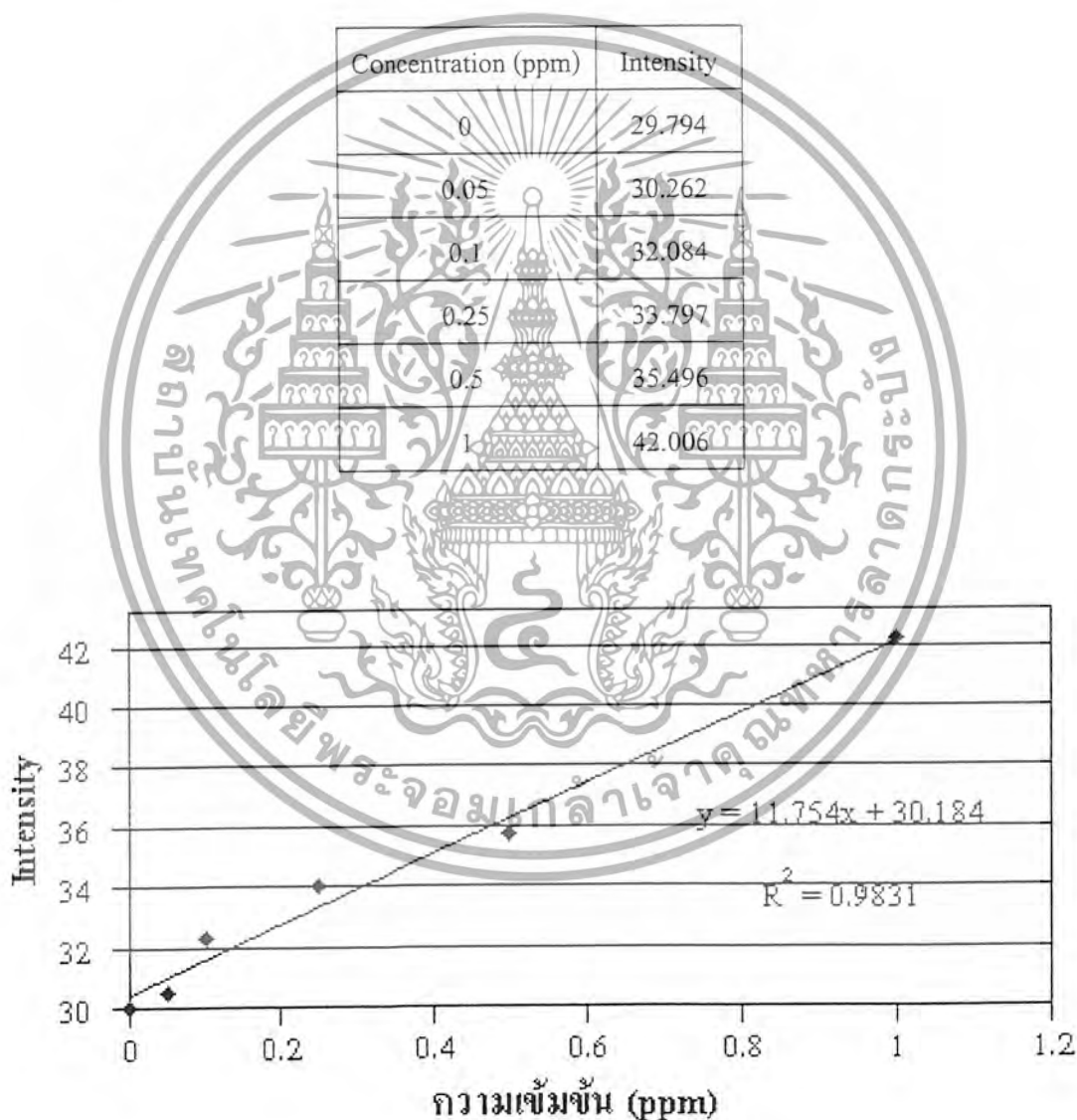
สัดส่วนโดยโมล Epi- β -CD	Epi (g)	β -CD (g)
10	0.816	1
20	1.630	1
30	2.445	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลจากการทดลอง

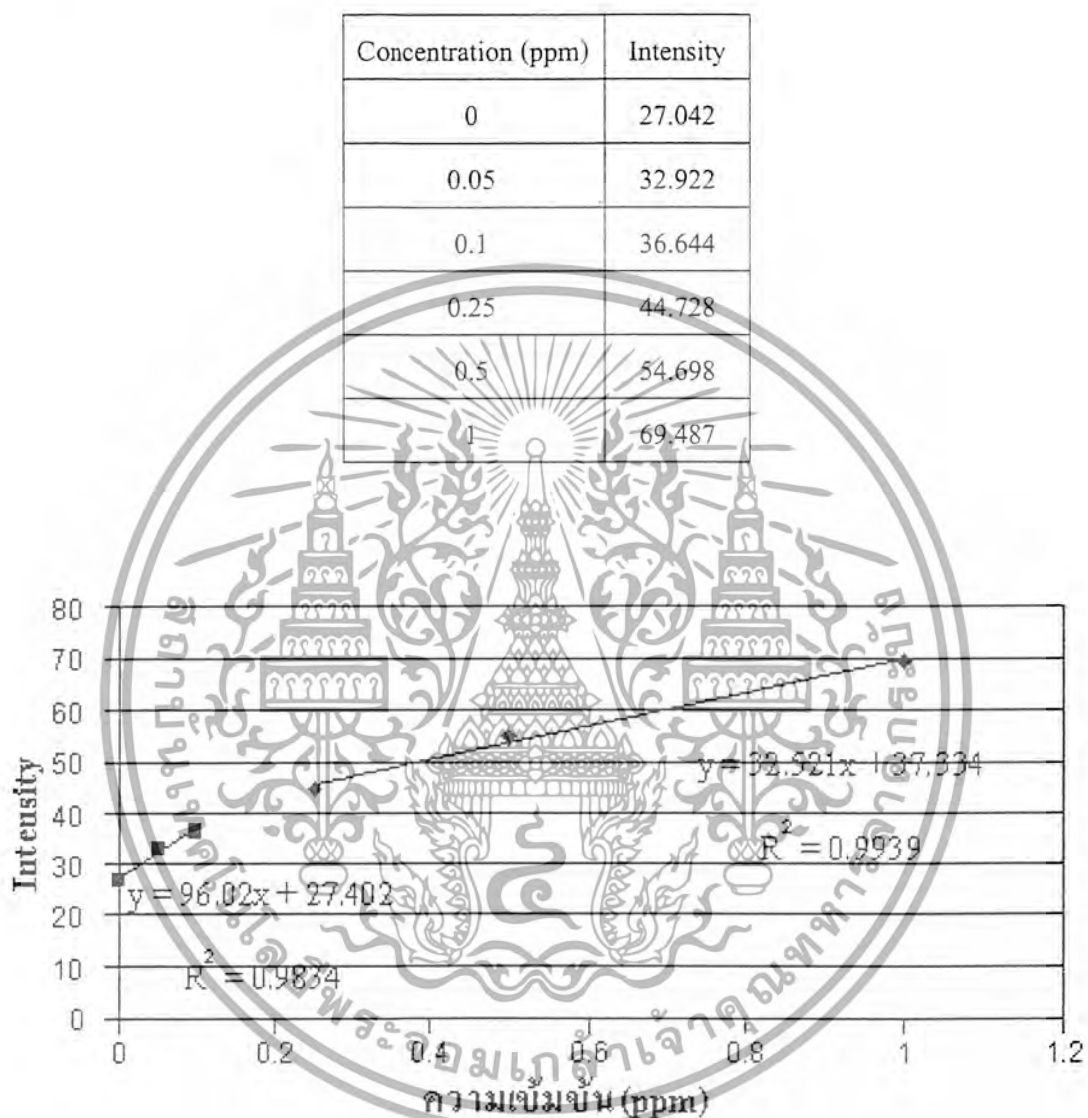
การทดลองที่ 1 การศึกษากราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของ PAHs แต่ละชนิด
ตารางที่ ข.1 ผลการคายแสงของแนฟทาลีนที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของแนฟทาลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลการกายแสงของพีแนนทรินที่ความเข้มข้นต่างๆ



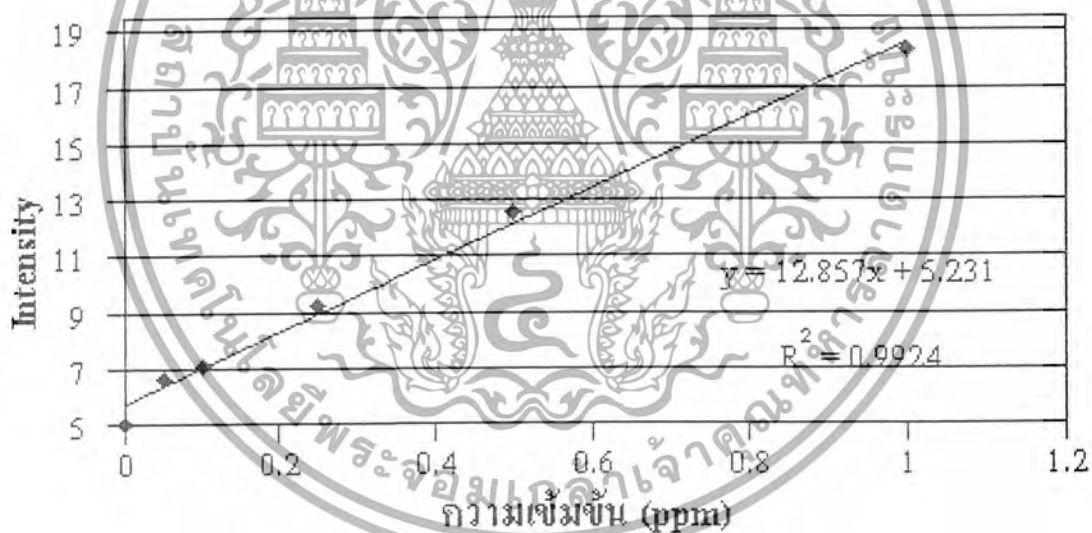
รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของพีแนนทริน

หมายเหตุ เนื่องจากความเข้มแสงที่วัดได้ทำให้เกิดเป็นกราฟมาตรฐานที่เป็นเส้นตรง 2 ช่วง ดังนั้นเมื่อต้องการที่จะแสดงถึงความเข้มข้นจึงใช้สมการที่ต่างกันตามความเหมาะสมของความเข้มแสงที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการคายแสงของไพรีนที่ความเข้มข้นต่างๆ

Concentration (ppm)	Intensity
0	4.511
0.05	6.087
0.1	6.596
0.25	8.782
0.5	12.047
1	17.792



รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานของไพรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ PAHs ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร
ต่างๆ

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองดูดซับเบนฟลาเกินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ

	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เกลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
สูตร 10	31.366	31.203	31.302	31.290	0.09	90.59
สูตร 20	32.075	31.683	31.744	31.834	0.14	85.96
สูตร 30	31.701	32.13	31.748	31.860	0.14	85.74

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองดูดซับฟิแนนทรินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ

	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เกลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
สูตร 10	35.192	35.08	35.186	35.153	0.08	91.93
สูตร 20	35.712	35.609	35.827	35.716	0.09	91.34
สูตร 30	36.561	36.612	36.494	36.556	0.10	90.47

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองดูดซับไพรีนด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตรต่างๆ

	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เกลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
สูตร 10	10.503	10.488	10.476	10.489	0.41	59.10
สูตร 20	10.911	10.846	10.81	10.856	0.44	56.25
สูตร 30	11.695	11.347	11.405	11.482	0.49	51.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3 การศึกษาเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับ PAHs ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน
ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 ที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
5	33.442	33.507	33.228	33.392	0.27	72.48
Control	41.933	41.845	41.742	41.840	0.99	-
10	33.166	33.215	33.082	33.154	0.25	74.13
Control	41.73	41.515	41.749	41.665	0.98	-
20	33.024	33.011	33.139	33.058	0.25	74.68
Control	41.433	41.528	41.636	41.532	0.97	-
30	32.801	32.705	32.856	32.787	0.22	76.46
Control	41.391	41.132	41.211	41.245	0.94	-
60	32.532	32.526	32.413	32.490	0.20	78.91
Control	41.015	41.204	41.132	41.117	0.93	-
120	32.164	32.273	32.295	32.244	0.18	80.77
Control	40.845	41.034	40.802	40.894	0.91	-
180	32.179	32.242	32.191	32.204	0.17	80.95
Control	40.563	40.845	40.957	40.788	0.90	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองดูดซับฟิแนนทรินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 ที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
5	41.143	40.799	41.052	40.998	0.14	85.64
Control	69.483	69.285	69.441	69.403	0.99	-
10	37.166	37.492	37.282	37.313	0.10	89.48
Control	69.321	69.116	69.266	69.234	0.98	-
20	37.123	37.363	37.285	37.257	0.10	89.46
Control	69.021	68.903	69.118	69.014	0.97	-
30	36.178	35.642	35.856	35.892	0.09	90.91
Control	68.915	68.842	69.101	68.953	0.97	-
60	35.642	35.431	35.24	35.438	0.08	91.25
Control	68.377	68.542	68.41	68.441	0.96	-
120	35.614	34.748	35.542	35.301	0.08	91.31
Control	68.126	67.981	68.224	68.110	0.95	-
180	35.585	34.732	35.015	35.110	0.08	91.44
Control	67.645	68.021	67.879	67.848	0.94	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองดูดซับไพรีนด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสูตร 10 ที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
5	12.945	13.021	12.874	12.947	0.60	37.90
Control	17.647	17.688	17.632	17.656	0.97	-
10	12.864	12.826	12.745	12.812	0.59	38.99
Control	17.635	17.644	17.692	17.657	0.97	-
20	12.636	12.58	12.214	12.477	0.56	41.58
Control	17.64	17.611	17.649	17.633	0.97	-
30	12.883	12.724	12.731	12.779	0.59	39.21
Control	17.638	17.662	17.641	17.647	0.97	-
60	10.385	10.429	10.406	10.407	0.40	58.26
Control	17.642	17.621	17.63	17.631	0.96	-
120	10.412	10.423	10.397	10.411	0.40	58.16
Control	17.612	17.623	17.601	17.612	0.96	-
180	9.252	9.645	9.392	9.430	0.33	66.06
Control	17.607	17.591	17.611	17.603	0.96	-
240	9.243	9.36	9.334	9.312	0.32	67.00
Control	17.591	17.624	17.58	17.598	0.96	-
300	9.278	9.204	9.125	9.202	0.31	67.89
Control	17.643	17.538	17.612	17.598	0.96	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 การศึกษาปริมาณพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีผลต่อการดูดซับ PAHs
ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลินด้วยบีต้าไซโคลเดกซ์ทริน

ปริมาณ β -CDP (mg)	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
5	32.875	32.793	32.811	32.826	0.23	76.04
10	32.447	32.655	32.651	32.584	0.20	78.23
15	32.413	32.591	32.537	32.514	0.20	78.87
20	32.384	32.497	32.512	32.464	0.19	79.32
30	32.379	32.482	32.491	32.451	0.19	79.44
control	41.315	41.184	41.132	41.210	0.94	-

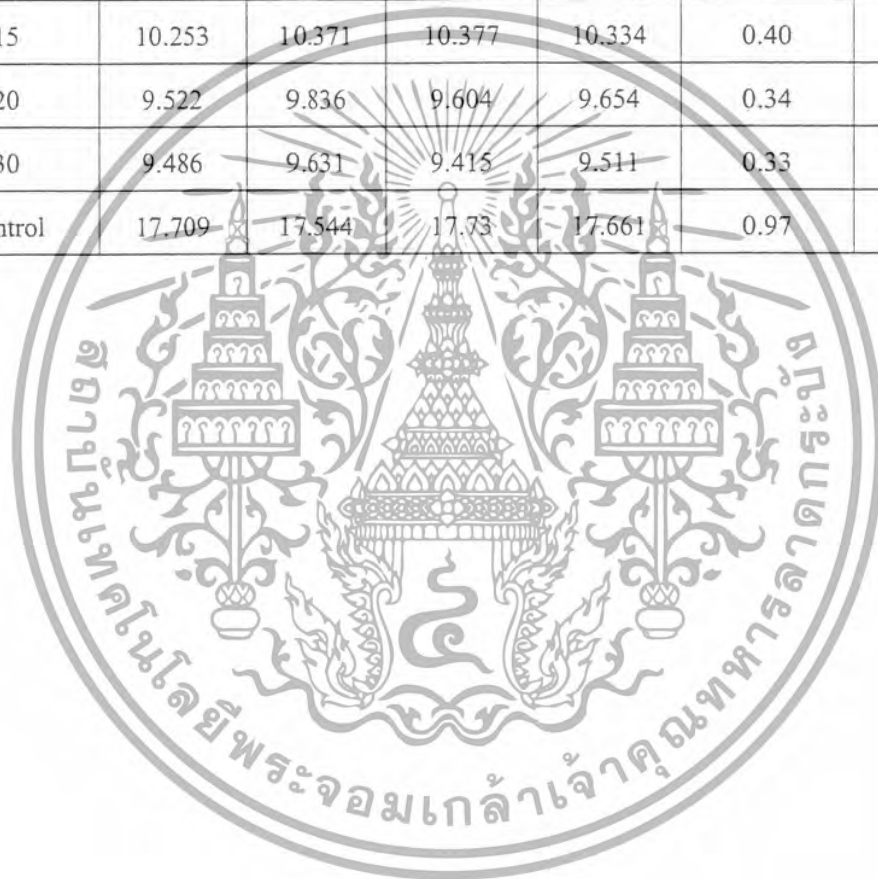
ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองดูดซับพีแนนทรินด้วยบีต้าไซโคลเดกซ์ทริน

ปริมาณ β -CDP (mg)	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
30	34.342	34.575	34.503	34.473	0.07	92.16
20	34.336	34.744	34.812	34.631	0.08	91.98
15	34.685	34.84	34.786	34.770	0.08	91.83
10	35.347	35.955	35.851	35.718	0.09	90.77
5	37.042	36.887	36.815	36.915	0.10	89.45
control	68.035	67.742	67.813	67.863	0.94	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองดูดซับไพรินด้วยบีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน

ปริมาณ β -CDP (mg)	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
5	13.485	13.592	13.404	13.494	0.64	33.53
10	10.44	10.573	10.501	10.505	0.41	57.57
15	10.253	10.371	10.377	10.334	0.40	58.95
20	9.522	9.836	9.604	9.654	0.34	64.42
30	9.486	9.631	9.415	9.511	0.33	65.57
control	17.709	17.544	17.73	17.661	0.97	-

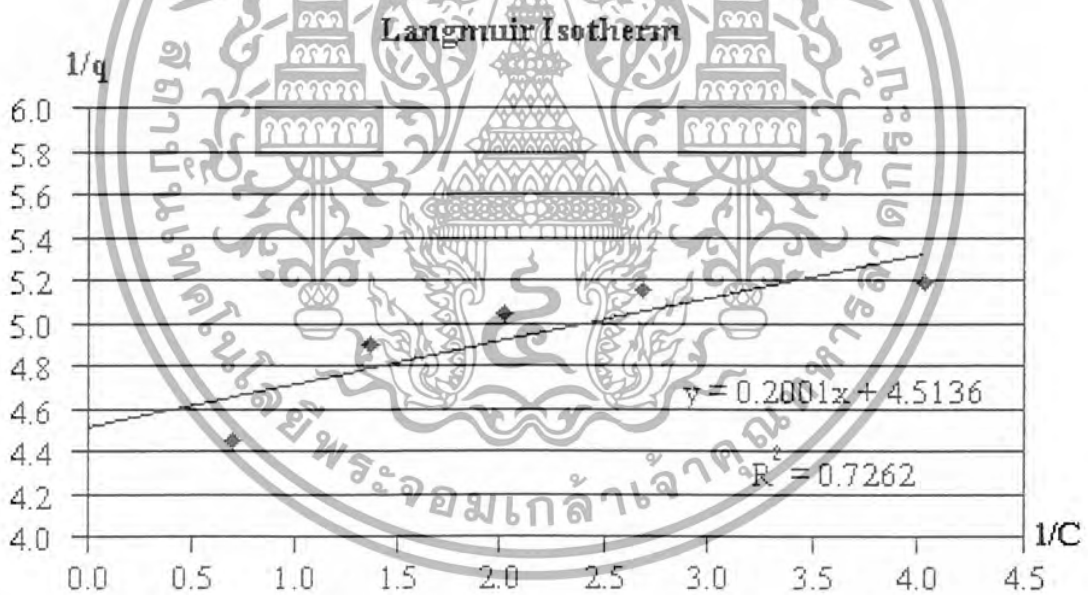


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ ของ PAHs ด้วยพอลิเมอร์
 บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน

ตารางที่ ข.13 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของเนฟทาลีน

m (g/L)	C_0 (mg/L)	C (mg/L)	q (mg/g)	1/q	1/C
0.5	0.938	0.225	1.43	0.70	4.45
1	0.938	0.204	0.73	1.36	4.90
1.5	0.938	0.198	0.49	2.03	5.05
2	0.938	0.194	0.37	2.69	5.16
3	0.938	0.193	0.25	4.03	5.19



รูปที่ ข.4 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของเนฟทาลีน

$1/q_m$	q_m	$1/q_m K_A$	$q_m K_A$	K_A
4.50	0.22	0.20	5.00	22.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของพีแนนทริน

m (g/L)	C_0 (mg/L)	C (mg/L)	q (mg/g)	1/q	1/C
3	0.939	0.074	0.288	3.467	13.579
2	0.939	0.075	0.432	2.316	13.283
1.5	0.939	0.077	0.575	1.740	13.031
1	0.939	0.087	0.852	1.173	11.547
0.5	0.939	0.099	1.680	0.595	10.094



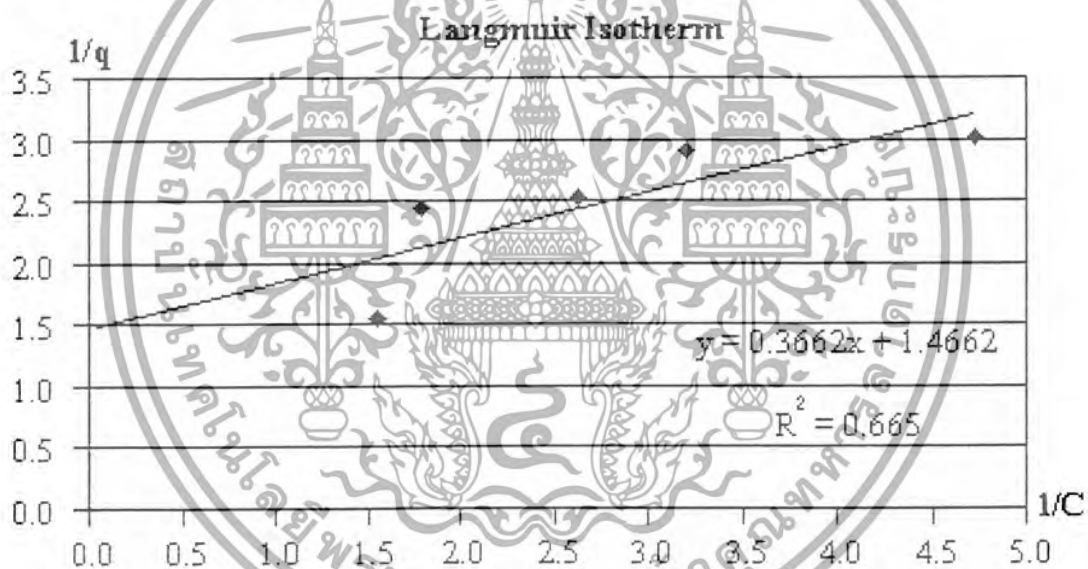
รูปที่ ข.5 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของพีแนนทริน

$1/q_m$	q_m	$1/q_m K_A$	$q_m K_A$	K_A
10.0	0.1	1.174	0.852	8.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของไพริน

m (g/L)	C_0 (mg/L)	C (mg/L)	q (mg/g)	1/q	1/C
0.5	0.967	0.643	0.65	1.54	1.56
1	0.967	0.410	0.56	1.80	2.44
1.5	0.967	0.397	0.38	2.63	2.52
2	0.967	0.344	0.31	3.21	2.91
3	0.967	0.333	0.21	4.73	3.00



รูปที่ ข.6 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของไพริน

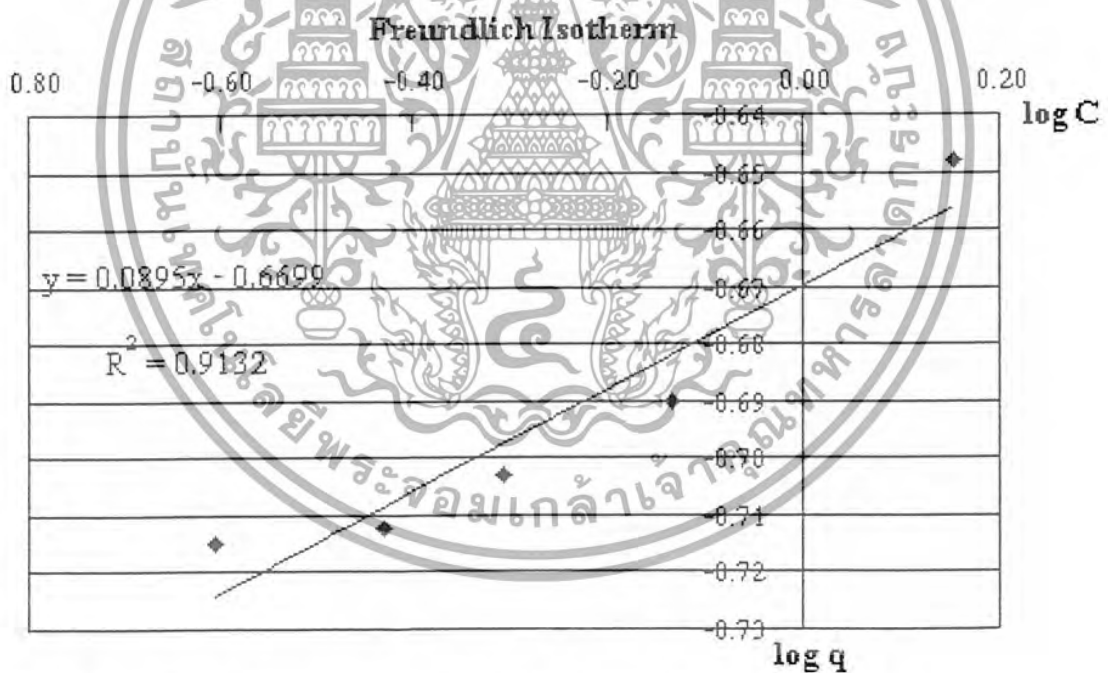
$1/q_m$	q_m	$1/q_m K_A$	$q_m K_A$	K_A
1.50	0.67	0.37	2.73	4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 6 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนิคซ์ ของ PAHs ด้วยพอลิเมอร์
 บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน

ตารางที่ ข.16 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนิคซ์ของแนฟทาลิน

m (g/L)	C ₀ (mg/L)	C (mg/L)	q (mg/g)	log q	log C
0.5	0.938	0.225	1.43	0.15	-0.65
1	0.938	0.204	0.73	-0.13	-0.69
1.5	0.938	0.198	0.49	-0.31	-0.70
2	0.938	0.194	0.37	-0.43	-0.71
3	0.938	0.193	0.25	-0.61	-0.72



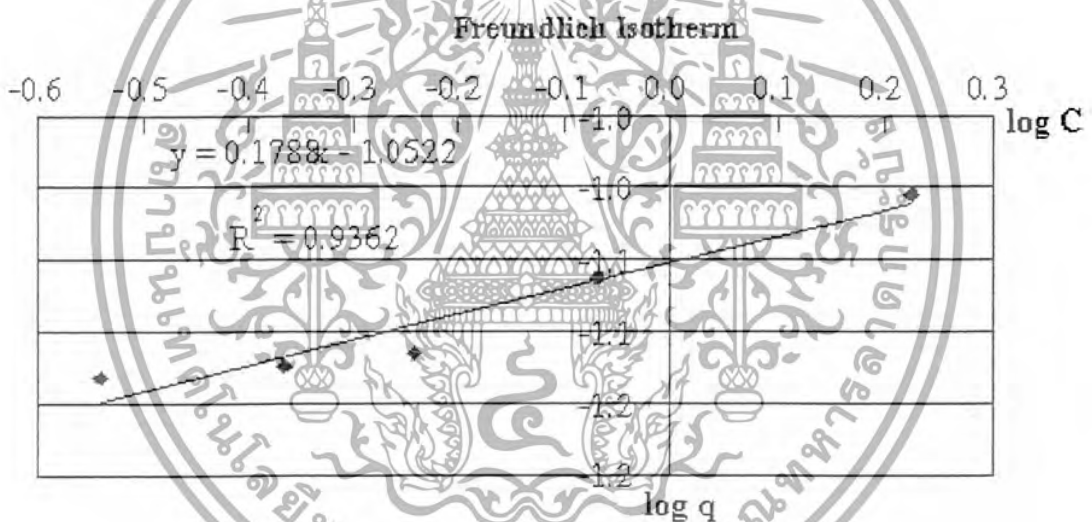
รูปที่ ข.7 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนิคซ์ของแนฟทาลิน

log K _F	K _F	1/n	n
-0.67	0.21	0.09	11.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.17 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนคติของพีแนนทริน

m (g/L)	C ₀ (mg/L)	C (mg/L)	q (mg/g)	log q	log C
3	0.939	0.074	0.288	-0.540	-1.133
2	0.939	0.075	0.432	-0.365	-1.123
1.5	0.939	0.077	0.575	-0.240	-1.115
1	0.939	0.087	0.852	-0.069	-1.062
0.5	0.939	0.099	1.680	0.225	-1.004



รูปที่ ข.8 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนคติของพีแนนทริน

log K _F	K _F	1/n	n
-1.10	0.08	0.18	5.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.18 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของไพริน

m (g/L)	C ₀ (mg/L)	C (mg/L)	q (mg/g)	log q	log C
0.5	0.967	0.643	0.65	-0.19	-0.19
1	0.967	0.410	0.56	-0.25	-0.39
1.5	0.967	0.397	0.38	-0.42	-0.40
2	0.967	0.344	0.31	-0.51	-0.46
3	0.967	0.333	0.21	-0.68	-0.48



รูปที่ ข.9 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของไพริน

log K _F	K _F	1/n	n
-0.32	0.48	0.056	17.919

หมายเหตุ ค่า m เท่ากับ 0.5 ทำให้เกิดค่า log C ที่ห่างจากค่าอื่นๆมากจึงตัดทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 7 การศึกษา pH ที่เหมาะสมของ PAHs ในการดูดซับด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน
ตารางที่ ข.19 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลินด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ pH ต่างๆ

pH	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
2	32.591	32.63	32.612	32.611	0.21	78.06
control	41.172	41.284	41.278	41.245	0.94	-
4	32.541	32.608	32.674	32.608	0.21	78.14
control	41.301	41.285	41.22	41.269	0.94	-
7	32.282	32.416	32.443	32.380	0.19	80.07
control	41.237	41.184	41.194	41.205	0.94	-
10	32.588	32.603	32.655	32.615	0.21	78.02
control	41.166	41.357	41.209	41.244	0.94	-
12	32.601	32.624	32.66	32.628	0.21	77.80
control	41.276	41.033	41.281	41.197	0.94	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.20 ผลการทดลองดูดซับฟิเนนทรินด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ pH ต่างๆ

pH	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
2	36.109	35.772	35.767	35.883	0.09	90.87
control	69.025	68.844	68.513	68.794	0.97	-
4	35.787	36.116	35.952	35.952	0.09	90.71
control	68.411	68.326	68.749	68.495	0.96	-
7	34.907	34.893	35.029	34.943	0.08	91.82
control	68.711	68.403	68.511	68.542	0.96	-
10	35.194	36.04	35.998	35.744	0.09	91.02
control	69.026	68.745	68.643	68.805	0.97	-
12	35.269	36.84	35.657	35.922	0.09	90.75
control	68.742	68.591	68.214	68.516	0.96	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.21 ผลการทดลองดูดซับไพรีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ pH ต่างๆ

pH	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
2	9.841	9.657	9.711	9.736	0.35	63.90
control	17.663	17.677	17.794	17.711	0.97	-
4	9.818	9.746	9.853	9.806	0.36	63.37
control	17.652	17.708	17.795	17.718	0.97	-
7	9.852	10.184	9.811	9.949	0.37	62.23
control	17.809	17.715	17.644	17.723	0.97	-
10	9.749	9.915	9.992	9.885	0.36	62.56
control	17.634	17.702	17.651	17.662	0.97	-
12	9.951	9.83	9.871	9.884	0.36	62.67
control	17.773	17.624	17.685	17.694	0.97	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 8 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ PAHs ในการดูดซับด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน
 ตารางที่ ข.22 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลินความเข้มข้นต่างๆ ด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน

ความเข้มข้น Nap (ppm)	ความเข้มข้น Nap (mg/10ml)	Intensity 4	Intensity 2	Intensity 3	Intensity	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ	ปริมาณ Nap ที่ดูดซับได้ (mg/g polymer)
0.1	0.001	30.185	30.193	30.204	30.194	0.00	99.10	0.066
control	-	31.384	31.289	31.211	31.295	0.09	-	-
0.5	0.005	30.344	30.516	30.722	30.527	0.03	93.52	0.312
control	-	35.481	35.532	35.43	35.481	0.45	-	-
1	0.010	32.277	32.293	32.435	32.335	0.18	80.33	0.536
control	-	41.015	41.204	41.132	41.117	0.93	-	-
5	0.050	53.095	53.911	52.206	53.071	1.95	56.51	1.884
control	-	82.772	82.944	82.715	82.810	4.48	-	-
10	0.100	108.237	106.845	105.479	106.854	6.52	28.20	1.880
control	-	136.912	137.125	136.881	136.973	9.09	-	-
15	0.150	161.946	162.274	162.411	162.210	11.2	18.40	1.840
control	-	191.59	191.742	192.588	191.973	13.77	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.23 ผลการทดลองดูดซับที่แน่นอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยพอลิเมอร์บีตาไซโคลเด็กซ์ทริน

ความเข้มข้น Phe (ppm)	ความเข้มข้น Phe (mg/10ml)	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ	ปริมาณ Phe ที่ดูดซับได้ (mg/g polymer)
0.1	0.001	31.546	31.778	31.045	31.456	0.00	99.83	0.067
control	-	35.144	35.285	34.931	35.12	0.09	-	-
0.5	0.005	32.017	31.717	31.849	31.861	0.01	97.77	0.327
control	-	49.831	49.749	50.032	49.871	0.46	-	-
1	0.010	33.971	34.267	34.241	34.160	0.07	92.56	0.585
control	-	68.035	67.742	67.813	67.863	0.90	-	-
5	0.050	105.361	112.229	127.269	114.953	2.07	56.86	1.895
control	-	233.024	214.135	227.861	225.007	4.79	-	-
10	0.100	298.289	302.69	285.339	295.439	6.53	32.12	2.141
control	-	425.326	413.796	421.93	420.351	9.62	-	-
15	0.150	501.311	499.363	502.251	500.975	11.61	20.44	2.044
control	-	626.259	618.223	620.256	621.579	14.60	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.24 ผลการทดลองดูระดับโพรินความเข้มข้นต่างๆ ด้วยพอลิเมอริกพีทาโซโคเลคทีทรีน

ความเข้มข้น Pyr (ppm)	ความเข้มข้น Pyr (mg/10ml)	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ	ปริมาณ Pyr ที่ดูดซับได้ (mg/g polymer)
0.1	0.001	5.437	5.279	5.301	5.339	0.01	91.28	0.046
control	-	6.415	6.509	6.484	6.469	0.10	-	-
0.5	0.005	6.376	6.376	6.216	6.331	0.09	82.46	0.206
control	-	11.561	11.574	11.361	11.499	0.49	-	-
1	0.010	9.78	9.942	9.988	9.903	0.36	62.64	0.313
control	-	17.713	17.826	17.677	17.739	0.97	-	-
5	0.050	37.088	37.252	37.024	37.121	2.48	47.77	1.194
control	-	66.304	66.615	65.942	66.287	4.75	-	-
10	0.100	100.362	100.034	101.739	100.712	7.43	23.37	1.169
control	-	128.711	130.386	130.412	129.836	9.69	-	-
15	0.150	155.512	156.135	156.624	156.090	11.73	16.50	1.237
control	-	182.674	190.325	184.698	185.899	14.05	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 9 การศึกษาการนำพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ ข.25 ผลการทดลองดูดซับแนฟทาลีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่นำกลับมาใช้ใหม่

	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
ครั้งที่ 0	32.277	32.293	32.435	32.335	0.18	81.70
ครั้งที่ 1	32.231	32.413	32.398	32.347	0.18	81.60
ครั้งที่ 2	32.359	32.451	32.239	32.350	0.18	81.56
ครั้งที่ 3	32.786	32.573	32.748	32.702	0.21	78.58
ครั้งที่ 4	32.69	32.813	32.988	32.830	0.23	77.49
ครั้งที่ 5	32.796	32.913	33.108	32.939	0.23	76.56

ตารางที่ ข.26 ผลการทดลองดูดซับพีแนนทรินด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่นำกลับมาใช้ใหม่

	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
ครั้งที่ 0	35.871	36.067	35.741	35.893	0.088	91.157
ครั้งที่ 1	35.908	35.927	36.115	35.983	0.089	91.063
ครั้งที่ 2	37.042	37.104	37.381	37.176	0.102	89.821
ครั้งที่ 3	38.811	38.738	38.804	38.784	0.119	88.146
ครั้งที่ 4	39.93	40.046	40.182	40.053	0.132	86.825
ครั้งที่ 5	41.197	41.114	41.26	41.190	0.144	85.640

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.27 ผลการทดลองดูดซับไพรีนด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ที่นำกลับมาใช้ใหม่

	Intensity 1	Intensity 2	Intensity 3	Intensity เฉลี่ย	ความเข้มข้น (ppm)	% การดูดซับ
ครั้งที่ 0	9.78	9.942	9.988	9.903	0.36	63.66
ครั้งที่ 1	10.016	10.215	10.246	10.159	0.38	61.67
ครั้งที่ 2	10.437	10.588	10.556	10.527	0.41	58.81
ครั้งที่ 3	10.728	10.576	10.561	10.622	0.42	58.07
ครั้งที่ 4	10.863	10.784	10.702	10.783	0.43	56.82
ครั้งที่ 5	10.937	10.991	11.018	10.982	0.45	55.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

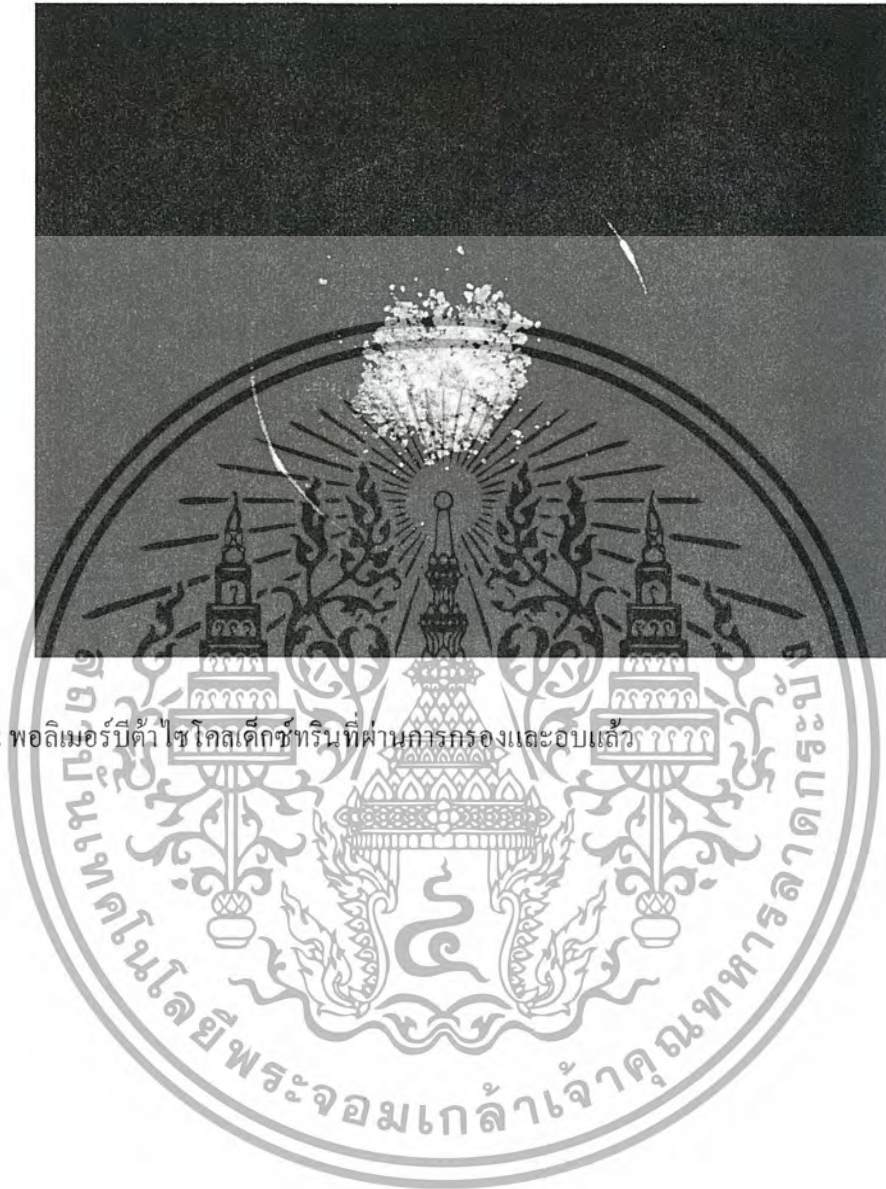
ภาคผนวก ก
รูปพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทริน



รูปที่ ค.1 พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่สังเคราะห์ได้ (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.2 พอลิเมอร์บีต้าไซโคลเด็กซ์ทรินที่ผ่านการกรองและอบแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 เปอร์เซ็นต์ β -CDP ที่สังเคราะห์ได้

สูตร	ปริมาณ β -CD (g)	ปริมาณ β -CDP (g)	% สารผลิตภัณฑ์
10*	3	0.1512	5.04
10*	3	0.1371	4.57
10*	3	0.1689	5.63
10	3	0.4083	13.61
10	3	0.3069	10.23
10	3	0.2865	9.55
20*	1	0.0811	8.11
20*	1	0.0676	6.76
20*	1	0.0645	6.45
20	1	0.1134	11.34
20	1	0.1438	14.38
20	1	0.1002	10.02
30*	1	0.0381	3.81
30*	1	0.0473	4.73
30*	1	0.0283	2.83
30	1	0.0632	6.32
30	1	0.0585	5.85
30	1	0.0744	7.44

หมายเหตุ *ใช้วิธีสังเคราะห์แบบเดียวกัน (ไม่มีการใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้