

การบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน

3



ปวีณา ปรัชญาวสิน  
วริศรา เสาประธานนท์



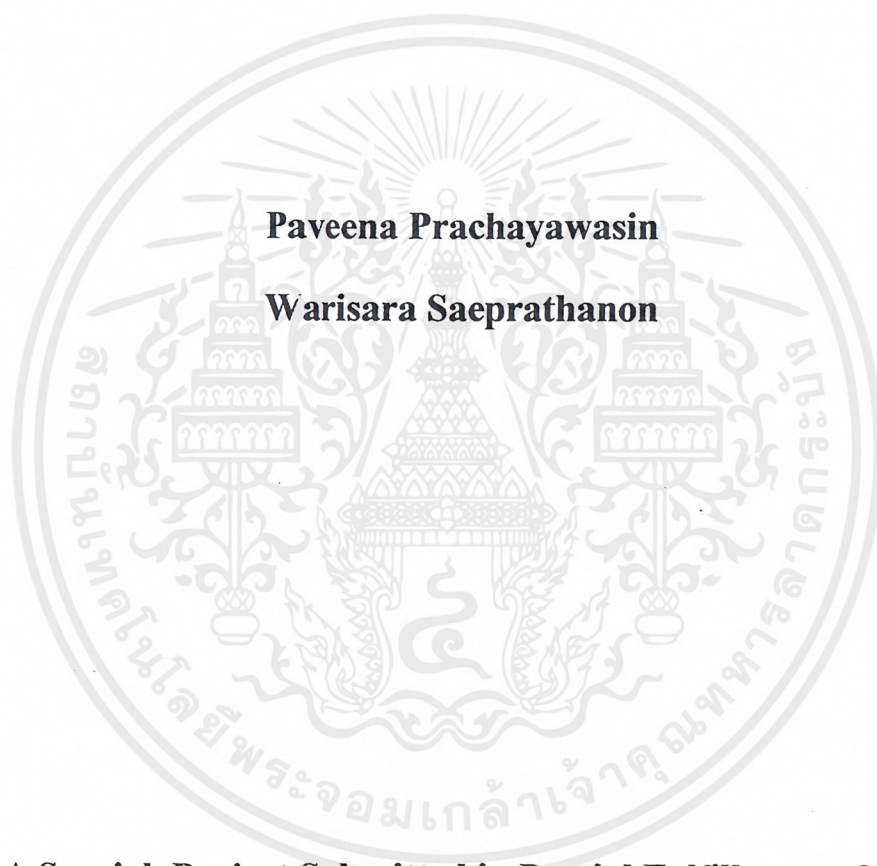
เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน...43887  
วัน, เดือน, ปี 17 ต.ค. 2545

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเอกสารไปใช้  
๒๕๔๕/๒๕๔๕

**Removal of Organic Compounds from Industrial Wastewater  
with  $\beta$ -cyclodextrin polymer**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the Degree of Bachelor of Science  
Department of Chemistry  
Faculty of Science  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**2001**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





<b>Project Title</b>	Removal of Organic Compounds from Industrial Wastewater with $\beta$ -Cyclodextrin Polymer
<b>Student</b>	Miss Paveena Prachayawasin Miss Warisara Saeprathanon
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Programme</b>	Industrial Chemistry
<b>Year</b>	2001
<b>Project Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Suwan Chaiyasith

### ABSTRACT

This project proposes the application of using  $\beta$ -cyclodextrin polymer ( $\beta$ -CDP) to remove organic compounds such as paracetamol and aspirin from pharmaceutical industrial wastewater. These polymers were prepared by polymerisation using epichlorohydrin (Epi) as a crosslinking agent. This  $\beta$ -CDP was characterized using NMR solid state technique. Several studies ( mole ratio between Epi and  $\beta$ -CD of  $\beta$ -CDP, pH, concentration, time and quantity of  $\beta$ -CDP) are present here. Efficiency of adsorption of organic compound was determined by UV-spectrophotometry and inclusion complex was characterized by IR spectrometry. The results indicated high adsorption capacity of  $\beta$ -CDP towards aspirin and paracetamol in wastewater and adsorption at optimum condition were 68.58 and 38.46% respectively. In addition adsorption efficiency was increased by multiple batch technique and  $\beta$ -CDP can be regenerated.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ได้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำสั่งสอนของ ผศ. ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษทั้งในด้านการทำโครงการพิเศษและแนวทางในการทำงานที่ทำให้ผู้เขียนได้แนวคิดที่ดีและเป็นประโยชน์มาโดยตลอด ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ตลอดจน ผศ. ดร. ตะวัน สุชน้อย ดร. ภัทรารุช มนต์วิเศษ อ. นพพร สงศ์อิม และอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งแนวทางในการศึกษาและวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆทุกคนที่เป็นผู้สนับสนุนและให้กำลังใจตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จลุล่วงความตั้งใจ

ปวีณา ปรัชญาสิน  
วริศรา เสประธานนท์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไซโคลเดกซ์ทริน	3
2.2 พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน	9
2.3 สารอินทรีย์	10
2.4 วิธีการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมยา	13
2.5 เทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินงาน	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	20
3.2 ตัวอย่างและสารเคมี	21
3.2 วิธีการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน	27
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์	31
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา	38
4.4 การนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่	39
4.5 ผลการตรวจวิเคราะห์หุ้ฟังกัซันของการเกิดสารประกอบอินคลูชัน	41
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	สารอินทรีย์ที่ใช้ในการตกตะกอน ไซโคลเดกซ์ทริน	3
ตารางที่ 2.2	ลักษณะทางกายภาพและเคมีที่สำคัญของ ไซโคลเดกซ์ทริน	5
ตารางที่ 2.3	สมบัติบางประการของพาราเซตามอล	11
ตารางที่ 2.4	สมบัติบางประการของแอสไพริน	13
ตารางที่ 4.1	สเปกตรัม $^{13}\text{C}$ MAS-NMR ของเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน	28
ตารางที่ 4.2	สเปกตรัม $^{13}\text{C}$ MAS-NMR ของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิกลอโรไฮครินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10	29
ตารางที่ 4.3	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิกลอโรไฮครินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ	30
ตารางที่ 4.4	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ	31
ตารางที่ 4.5	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์แอสไพรินต่างๆ	33
ตารางที่ 4.6	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์พาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์พาราเซตามอลต่างๆ	34
ตารางที่ 4.7	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ	35
ตารางที่ 4.8	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ปริมาณต่างๆ	37
ตารางที่ 4.9	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินในน้ำที่จากอุตสาหกรรม	38
ตารางที่ 4.10	แสดงประสิทธิภาพการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอล	40
ตารางที่ 4.11	แสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เลขคลื่นต่างๆ	41
ตารางที่ 4.12	แสดงหมู่ฟังก์ชันของแอสไพรินที่เลขคลื่นต่างๆ	43
ตารางที่ 4.13	แสดงหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์แอสไพรินที่เลขคลื่นต่างๆ	44
ตารางที่ 4.14	แสดงหมู่ฟังก์ชันของพาราเซตามอลที่เลขคลื่นต่างๆ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 4.15 แสดงหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคล-  
เดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์พาราเซตามอลที่เลขคลื่นต่างๆ

46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	โครงสร้างทางเคมีของไซโคลเดกซ์ทริน	4
รูปที่ 2.2	การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโคลเดกซ์ทรินกับ โมเลกุลที่ถูกดัดซับ	7
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของพาราเซตามอล	11
รูปที่ 2.4	โครงสร้างของแอสไพริน	12
รูปที่ 4.1	แสดงสเปกตรัม $^{13}\text{C}$ MAS-NMR ของเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน	27
รูปที่ 4.2	แสดงสเปกตรัม $^{13}\text{C}$ MAS-NMR ของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วน โดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10	28
รูปที่ 4.3	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วน โดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ	30
รูปที่ 4.4	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ	32
รูปที่ 4.5	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์แอสไพรินต่างๆ	33
รูปที่ 4.6	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์พาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์พาราเซตามอลต่างๆ	34
รูปที่ 4.7	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ	36
รูปที่ 4.8	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ	37
รูปที่ 4.9	แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินในน้ำที่จากอุตสาหกรรม	39
รูปที่ 4.10.1	แสดงประสิทธิภาพการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับสารอินทรีย์แอสไพริน	40
รูปที่ 4.10.2	แสดงประสิทธิภาพการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับสารอินทรีย์พาราเซตามอล	41
รูปที่ 4.11	แสดงสเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน	42
รูปที่ 4.12	แสดงสเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของแอสไพริน	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.13	แสดงสเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของสารประกอบ อินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์เอสไพริน	43
รูปที่ 4.14	แสดงสเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของพาราเซตามอล	44
รูปที่ 4.15	แสดงสเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของสารประกอบ อินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์พาราเซตามอล	45



## บทที่ 1

### ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

#### 1.1 บทนำ

ไซโคลเดกซ์ทริน ( cyclodextrin , CD ) เป็นสารในกลุ่มไซคลิกโกลิโกแซคคาไรด์ (cyclicoligosaccharide) ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์ มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกรวยตัด ซึ่งประกอบด้วยหน่วยกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1,4 ดีกลูโคไพราโนส (1,4 - linked D-glucopyranose) กับช่องว่างภายในแบบไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ไซโคลเดกซ์ทริน สามารถเกิดการรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน (inclusion) กับโมเลกุลของสารต่างๆ ได้อย่างดีเยี่ยม จากคุณลักษณะพิเศษนี้ ทำให้ ไซโคลเดกซ์ทริน เป็นสารประกอบที่ถูกนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆอย่างกว้างขวาง อาทิเช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น

ในปัจจุบันมลพิษทางน้ำ อันเนื่องมาจากโรงงานอุตสาหกรรมปลดปล่อยน้ำทิ้งที่มีสารเคมีอันตรายปนเปื้อนเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องมีการแก้ไข และควบคุมให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้จึงขอเสนอการใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน (  $\beta$ -cyclodextrin polymer) ในการบำบัดสารอินทรีย์พาราเซตามอล และแอสไพรินในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม อันได้แก่ ค่าความเป็นกรดค่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง เวลาในการสัมผัส และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดสูงสุด รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ใช้เป็นแนวทางสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ในการประยุกต์ใช้สารพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง และการใช้ประโยชน์ของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ในรูปแบบอื่นๆต่อไป

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินในการบำบัดสารอินทรีย์ พาราเซตามอล และแอสไพรินในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การเตรียมพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน จากการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน กับ อีพิคลอโรไฮดริน (epichlorohydrin)
2. การตรวจวิเคราะห์การเกิดพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์
3. ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสารอินทรีย์ พาราเซตามอล และแอสไพริน ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ซึ่งมีปัจจัยดังนี้ (ก) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (ข) ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ (ค) เวลาในการสัมผัส และ (ง) ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ใช้
4. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์พาราเซตามอล และแอสไพรินในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยาโดยใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน
5. ศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ พาราเซตามอล และแอสไพริน ในน้ำทิ้งได้สูงสุด
2. ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับพาราเซตามอล และแอสไพรินด้วยพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน
3. ทราบถึงประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา โดยใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน
4. ทราบถึงความคุ้มค่าของการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินมาใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์พาราเซตามอล และแอสไพรินในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นๆต่อไป
5. ทราบถึงประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา
6. ทราบถึงผลของโครงสร้างของสารอินทรีย์พาราเซตามอล และแอสไพรินที่มีต่อความสามารถในการเกิดเป็นสารประกอบอินclusion กับพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrin) [1]

ไซโคลเดกซ์ทรินรู้จักกันในนามซาร์ดิเจอร์เดกซ์ทริน (schardinger dextrans) ไซโคลอะไมโลส (cycloamyloses) และไซโคลกลูโคอะไมโลส (cycloglucoamyloses) เป็นสารในกลุ่มไซคลิกโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งได้จากการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์ ซึ่งถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1891 โดย วิลเลอร์ (Villers) โดยการเตรียมและการแยกสารมีขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1903 โดยซาร์ดิเจอร์ (Schardinger) กระบวนการเตรียมเริ่มจากการนำแป้งมาปรับสภาพด้วยหมู่อะไมเลส (amylase) เรียกว่าไกลโคซิลทรานสเฟอเรส (glycosyltransferases) หรือไซโคลเดกซ์ทรินเนส (cyclodextrinases) โครงสร้างที่เป็นเกลียวของแป้งจะถูกย่อยสลายด้วยน้ำและนำไปเชื่อมต่อกันเป็นพันธะแอลฟา 1,4 ( $\alpha$ -1,4 linkage) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยแอลฟา เบต้า แกมมา และเดลต้า ไซโคลเดกซ์ทริน ( $\alpha$ -  $\beta$ -  $\gamma$ - และ  $\delta$ -cyclodextrins) ประกอบด้วยหน่วยกลูโคส 6 7 8 และ 9 หน่วยตามลำดับ อยู่รวมกันกับหน่วยย่อยของกลูโคสตั้งแต่ 13 หน่วยขึ้นไป ในการแยกผลิตภัณฑ์แต่ละตัวทำโดยตกตะกอนด้วยสารอินทรีย์ที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 2.1 ส่วนไซโคลเดกซ์ทรินที่ประกอบด้วยหน่วยกลูโคส 10-13 หน่วย สามารถชี้เฉพาะได้ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี และไซโคลเดกซ์ทรินที่ประกอบด้วยหน่วยกลูโคสที่ต่ำกว่า 6 หน่วยจะไม่สามารถแยกได้เนื่องจากมีหมู่เกาะก่อกวนและมีลักษณะแบบ 6 โฟลด์ (6-fold character) ของโครงสร้างเกลียวของแป้ง

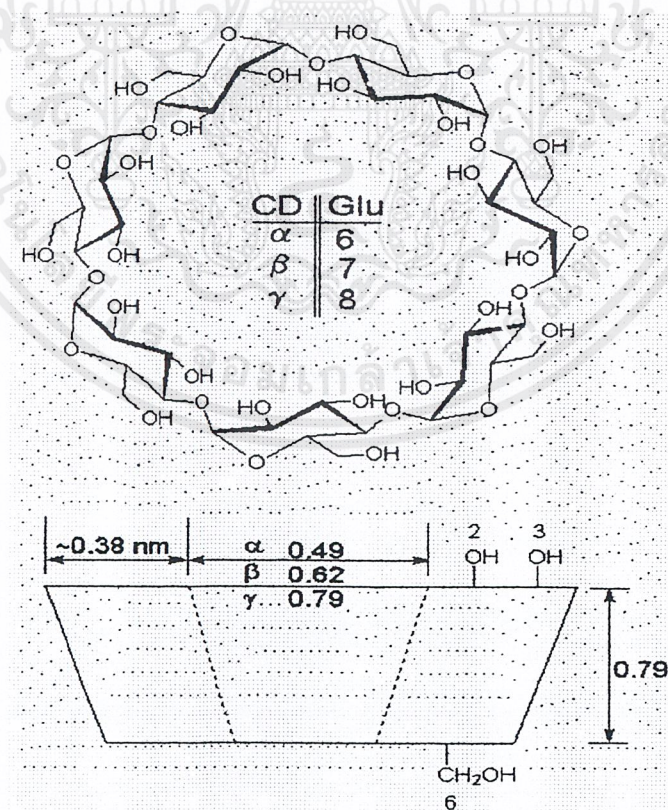
ตารางที่ 2.1 สารอินทรีย์ที่ใช้ในการตกตะกอนไซโคลเดกซ์ทริน

ไซโคลเดกซ์ทริน	สารที่ใช้ในการตกตะกอน	เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (% yield)
$\alpha$ -CD	1-เดคานอล (1-decanol)	40
$\beta$ -CD	โทลูอิน (toluene)	50-60
$\gamma$ -CD	ไซโคลเฮกซะเดค-8-อิน-1-ออล (cyclohexadec-8-en-1-ol)	40-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.1 โครงสร้างทางเคมี

ลักษณะภายนอกของไซโคลเดกซ์ทริน ประกอบด้วยหน่วยกลูโคส ซึ่งทั้งหมดจัดเป็น โครงแบบรูปเก้าอี้ ( $C_1$  chair conformation) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ( $\alpha$ -1,4 bond) รูปร่างของไซโคลเดกซ์ทรินมีลักษณะเป็นชามกลวงซึ่งด้านกว้างกว่าเกิดจากการจัดตัวของหมู่ 2- 3- ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (secondary 2- 3-hydroxyl) และด้านที่แคบกว่าเกิดจากการจัดตัวของหมู่ 6- ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (primary 6-hydroxyl) และจำนวนของหน่วยกลูโคสสามารถบอกมิติและขนาดของรูพรุนของแอลฟาเบต้า และแกมมาไซโคลเดกซ์ทรินได้ดังรูปที่ 2.1 รูพรุนถูกกำหนดโดยอะตอมของไฮโดรเจน และไกลโคซิดิกออกซิเจนบริดจ์ (glycosidic oxygen bridge) โดยอิเล็กตรอนคู่ที่ไม่เกิดพันธะของออกซิเจนตัวดังกล่าวถูกกำหนดทิศทางไปยังด้านในของรูพรุน ทำให้เกิดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่สูง ทำให้แสดงลักษณะเป็นลิวอิสเบส (Lewis base) ซึ่งผลของการจัดเรียงตัวที่เฉพาะเจาะจงของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลไซโคลเดกซ์ทริน รูพรุนภายในจะมีลักษณะเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ในขณะที่ภายนอกมีลักษณะที่ชอบน้ำ ในโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทริน พันธะไฮโดรเจนจะเกิดจากการจัดตัวของหมู่ 2-ไฮดรอกซิล และ 3-ไฮดรอกซิล ภายในหน่วยกลูโคสเดียวกัน ซึ่งวงของพันธะไฮโดรเจนนี้ส่งผลให้โครงสร้างของไซโคลเดกซ์ทรินมีลักษณะที่แข็งแรง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไซโคลเดกซ์ทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 คุณสมบัติของไซโคลเดกซ์ทริน

ไซโคลเดกซ์ทริน เป็นสารที่เสถียรในสภาวะเบส แต่จะถูกไฮโดรไลซิสได้ง่ายในสภาวะกรด ซึ่งทำให้เกิดการสร้างกลูโคส และอะไซคลิกมอลโตแซคคาไรด์ (acyclic maltosaccharides) ความเสถียรของไซโคลเดกซ์ทรินต่อการไฮโดรไลซิสในสภาวะกรด ขึ้นกับค่าความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิ โดยในสภาวะปกติที่ค่าความเป็นกรดต่างมากกว่า 3.5 และอุณหภูมิน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) ไซโคลเดกซ์ทรินจะมีความเสถียร นอกจากนั้นเบต้า และแกมมาไซโคลเดกซ์ทริน จะมีความต้านทานต่อแสงในช่วงอินฟราเรด และยูวีวีสิเบิลได้ แต่ไม่ทนทานต่อรังสีแกมมาเนื่องจากเมื่อฉายรังสีผ่านจะเกิดการแตกของพันธะ 1,4 ไกลโคซิดิก ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่สำคัญของไซโคลเดกซ์ทริน แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีที่สำคัญของไซโคลเดกซ์ทริน

ลักษณะเฉพาะ	$\alpha$ -CD	$\beta$ -CD	$\gamma$ -CD	
จำนวนหน่วยกลูโคส	6	7	8	
น้ำหนักโมเลกุล (กรัม/โมล)	972	1135	1297	
ความสามารถในการละลายน้ำ (กรัม/มิลลิลิตร)	14.5	18.5	23.2	
ค่าคงที่การแตกตัว (pKa)	12.33	12.2	12.08	
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (นาโนเมตร)	0.45-0.57	0.62-0.78	0.79-0.95	
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (นาโนเมตร)	1.37	1.53	1.69	
ความสูง (นาโนเมตร)	0.79	0.79	0.79	
ปริมาตรรูพรุน (ลูกบาศก์นาโนเมตร)	0.174	0.262	0.472	
ปริมาตรรูพรุน (มิลลิลิตร)	ต่อ 1 โมล	104	157	256
	ต่อ 1 กรัม	0.1	0.14	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 สารประกอบอินclusion (Inclusion compound) [2]

คุณสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญที่สุดของไซโคลเดกซ์ทริน คือสามารถเกิดการจับตัวเป็นสารประกอบอินclusion ได้อย่างกว้างขวางกับ โมเลกุลที่ถูกคูดซับ (guest molecule) ต่างๆ ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์ สารประกอบอนินทรีย์ ทั้งที่เป็นกลางและมีประจุ ซึ่งราวกับว่าโมเลกุลที่ถูกคูดซับ จะถูกยึดลงในรูพรุนของไซโคลเดกซ์ทริน ถึงแม้ว่าจะลงไปเพียงบางส่วนก็ตาม การจับตัวของสารประกอบเชิงซ้อนอินclusion สามารถแสดงกระบวนการสมดุลได้ดังสมการที่ 1



เมื่อ CD คือ ไซโคลเดกซ์ทริน  
G คือ โมเลกุลที่ถูกคูดซับ  
CD-G คือ สารประกอบเชิงซ้อนอินclusion

ค่าความคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อนอินclusion สามารถอธิบายได้โดยทอมของค่าคงที่การจับตัว ( $K_f$ ) หรือค่าคงที่การแตกตัว ( $K_d$ ) ดังสมการที่ 2 และ 3

$$K_f = [CD-G] / ([CD][G]) \quad (2)$$

$$K_d = 1/K_f = ([CD][G]/[CD-G]) \quad (3)$$

ซึ่งการจับตัวของสารประกอบเชิงซ้อนอินclusion ขึ้นกับแรงยึดเหนี่ยวดังนี้ คือ

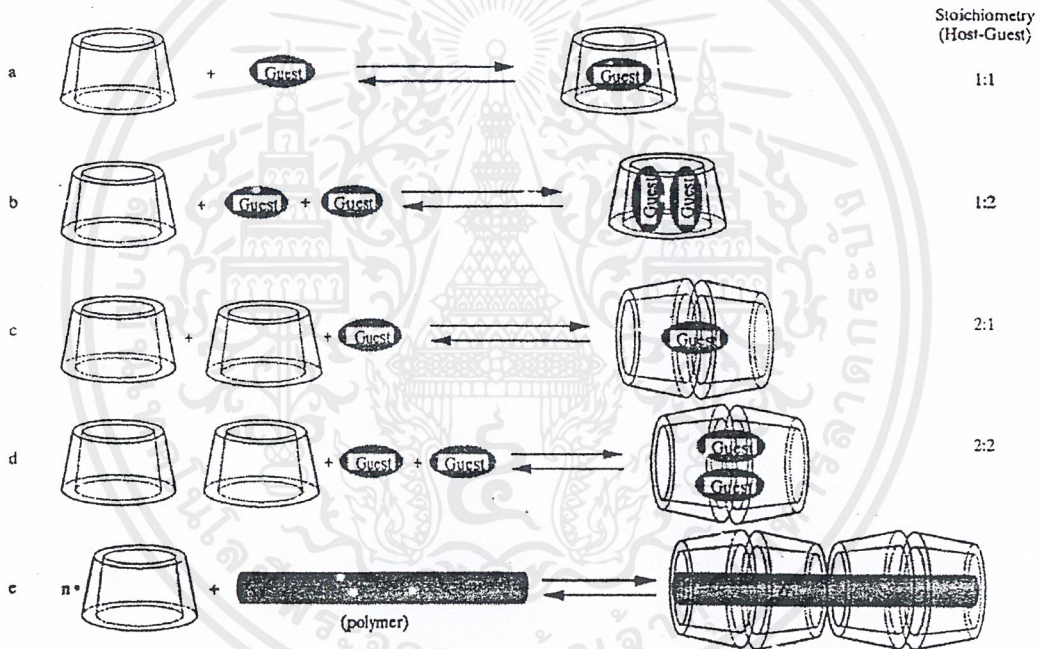
- อันตรกิริยาแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) ระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโมเลกุลที่ถูกคูดซับกับรูพรุนของ ไซโคลเดกซ์ทริน
- พันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วของโมเลกุลที่ถูกคูดซับ กับหมู่ไฮดรอกซิลของ ไซโคลเดกซ์ทริน
- การลดลงของโมเลกุลน้ำที่มีพลังงานสูงจากรูพรุน ในกระบวนการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน
- การลดลงของพลังงานความเครียดในระบบวงของไซโคลเดกซ์ทริน

แรงขับเคลื่อนอันดับแรกในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโคลเดกซ์ทริน กับโมเลกุลที่ถูกคูดซับ คือ อันตรกิริยาแบบไม่ชอบน้ำ และอันตรกิริยาแบบแวนเดอร์วาลส์ แต่อย่างไรก็ตาม การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไซโคลเดกซ์ทรินเกิดจากหลายๆอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน อันได้แก่ พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และอันตรกิริยาแบบไดโพล-ไดโพล (dipole-dipole interaction) ซึ่งอาจเป็นจุดเปลี่ยนแปลงในแต่ละกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะ โครงสร้างทางเรขาคณิต ความมีขั้วของ โมเลกุลที่ถูกดูดซับ ตัวกลางและอุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญต่อผลของความเสถียรของสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน ซึ่งลักษณะ โครงสร้างทางเรขาคณิตมีผลมากกว่าปัจจัยอื่นๆ หากโมเลกุลที่ถูกดูดซับมีขนาดเล็กเกินไป จะเกิดการผ่านเข้าไป และออกมาจากโมเลกุลได้อย่างง่ายดายโดยไม่เกิดพันธะหรือเกิดเพียงเล็กน้อย สำหรับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ โมเลกุลที่ถูกดูดซับที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูพรุน จะเกิดเฉพาะการจัดตัวหมู่หรือสายโซ่ข้างเคียงที่ผ่านเข้าไปรูพรุนของไซโคลเดกซ์ทริน

ความคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นอยู่กับความมีขั้วของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ โดยเฉพาะถ้าพื้นผิวมีความเป็นขั้วน้อยกว่าน้ำ จะสามารถจัดตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ ไซโคลเดกซ์ทริน ได้ดี ความคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อนเป็นสัดส่วน โดยตรงกับลักษณะความไม่ชอบน้ำของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ กล่าวคือ โมเลกุลที่ชอบน้ำมากจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้น้อยหรือไม่เกิดเลย



รูปที่ 2.2 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโคลเดกซ์ทรินกับ โมเลกุลที่ถูกดูดซับ

โดยทั่วไป แอลฟา และเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ โมเลกุลที่ถูกดูดซับในสัดส่วน 1:1 ดังรูป 2.2 a โดยแอลฟาเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินจะชอบเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชันกับสายโซ่อะลิฟาติก และเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินจะชอบเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารประกอบอะโรมาติกที่มีขนาดเล็ก อย่างไรก็ตาม แกมมาไซโคลเดกซ์ทรินซึ่งมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ โมเลกุลที่ถูกดูดซับที่เป็นสารประกอบอะโรมาติกในสัดส่วน 1:2 ดังรูป 2.2b

สำหรับ โมเลกุลที่ถูกดูดซับที่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับรูพรุนของไซโคลเดกซ์ทริน ในสัดส่วน 2:1 และ 2:2 จะแสดงดังรูป 2.2 c และ 2.2 d และถ้าโมเลกุลที่ถูกดูดซับ มีขนาดยาวพอที่จะยึดกับโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทรินหลายๆ โมเลกุล เช่นแอลฟาไซโคลเดกซ์ทรินถูกร้อยด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล ดังรูป 2.2 e

ตามหลักการ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน สามารถเกิดได้ทั้งในสารละลายและสถานะผลึก แต่อย่างไรก็ตาม การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนส่วนใหญ่จะเกิดในน้ำ และความเสถียรจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวกลางที่ใช้ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน นอกจากนี้ความคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

#### 2.1.4 การประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม

จากคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวของไซโคลเดกซ์ทริน ที่ไม่เหมือนสารประเภทอื่นๆ จึงมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้

- อุตสาหกรรมยา
- อุตสาหกรรมอาหาร
- อุตสาหกรรมรองเท้า
- อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง
- อุตสาหกรรมเคมีเกษตร
- งานด้านเคมีวิเคราะห์
- ตัวเร่งปฏิกิริยา และแบบจำลองของเอนไซม์

#### 2.1.5 คุณสมบัติที่นำไปใช้งาน

- สามารถเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพและทางเคมีโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน
- เพิ่มความสามารถในการละลายของสารที่ละลายน้ำได้น้อย เช่น ในตัวยาประเภทโปรสแตแกลนดินส์ (prostaglandins) และ ไพโรซิแคม (piroxicam)
- เพิ่มความเร็วในการละลายของตัวยา
- เพิ่มความเสถียรให้กับสารประกอบที่ไวต่อปฏิกิริยา
- ทำให้สารที่ระเหยกลายเป็นสารที่ไม่ระเหย เพิ่มความเสถียรต่อความชื้น และการเกิดออกซิเดชันของยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเพิ่มความคงรูปของรสชาติ และกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์อาหาร และเครื่องสำอาง
- เปลี่ยนสถานะของสารจากของเหลวเป็นของแข็ง
- สร้างสารผสมจากสารที่ไม่สามารถเข้ากันได้
- ใช้ในการเจือจางสารประกอบ
- ใช้ในการแยกสารประกอบโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เช่น การตกตะกอน
- ควบคุมการหลุดลอกของสารประกอบ เช่น ในตัวยา และน้ำหอม

## 2.2 พอลิเมอร์ เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ( $\beta$ -cyclodextrin polymer) [3]

การใช้ประโยชน์ไซโคลเดกซ์ทริน ในอีกรูปแบบหนึ่ง ได้แก่การใช้งานในรูปของพอลิเมอร์ โดยการเตรียมพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน สามารถเตรียมผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยการเติมสารเชื่อมโยง (Crosslinking Agent) ทำให้ได้โมเลกุลเป็นร่างแหสามมิติ โดยการใช้งานจะนำมาใช้ในลักษณะฟิล์มบาง เส้นใย ผงละเอียด หรือ เมมเบรน [4]

การเตรียมพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน สามารถทำได้หลายวิธี อาทิเช่น การเติมสารเชื่อมโยงมาลิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride) ลงในเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินในแอนไฮไดรด์ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (anhydrous N,N-dimethyl formamide) ที่อยู่ในรูปของโซเดียมไฮไดรด์ (NaH) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน : โซเดียมไฮไดรด์ : มาลิกแอนไฮไดรด์ เป็น 1:7:7 หรือเตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันผ่านอนุมูลอิสระ โดยใช้ 2-ไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริเลท (2-hydroxyethyl methacrylate) เป็นโคมอนอเมอร์ และสำหรับวิธีที่นิยมมากในการเตรียม พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน [5] คือ การเติมสารเชื่อมโยงอีพิคลอโรไฮดริน ลงในเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

สำหรับพอลิเมอร์ชนิดนี้ ลักษณะพื้นผิวภายนอกจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และช่องว่างภายในเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยมีรูพรุนขนาดนาโนเมตร ซึ่งทำให้พอลิเมอร์ชนิดนี้ดูดซับสารอินทรีย์ได้ดีโดยสามารถลดสารปนเปื้อนในระดับล้านล้านล้านส่วนได้ และหลังจากพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินบำบัดสารอินทรีย์บรรจุนเต็มแล้ว สามารถเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนออกโดยล้างด้วยแอลกอฮอล์ และสามารถนำพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่ได้

นอกเหนือจากวิธีการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง อันได้แก่ ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (carbon adsorption) ระบบออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ฯลฯ จะเห็นว่าพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน มีลักษณะเด่นในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง และเป็นแนวทางในการเลือกใช้ในอนาคต

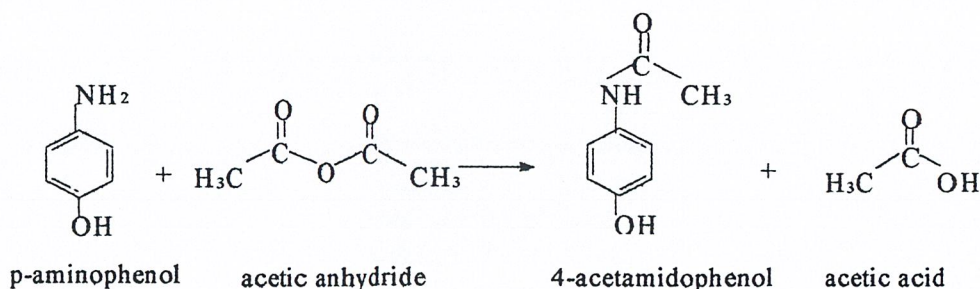
## 2.3 สารอินทรีย์

สารอินทรีย์ (organic compounds) คือสารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยโมเลกุลของสารอินทรีย์มีธาตุอื่นเพียงไม่กี่ธาตุเท่านั้นเป็นองค์ประกอบ ซึ่งธาตุที่พบมากที่สุด ได้แก่ ไฮโดรเจน รองลงมา ได้แก่ ไนโตรเจน ออกซิเจน เฮโลเจน และลดน้อยลงไปอีกได้แก่ กำมะถัน ฟอสฟอรัสและอื่นๆ สารประกอบอินทรีย์ที่ถูกค้นพบตามธรรมชาติและการสังเคราะห์ขึ้นจนถึงปัจจุบันนี้มีมากมายหลายล้านตัว เนื่องจากลักษณะพิเศษของธาตุคาร์บอนที่สามารถเกิดพันธะโควาเลนต์กับธาตุคาร์บอนเองเป็นโซ่ยาว เป็นโซ่ที่มีกิ่งก้านสาขา เป็นวงแหวน พันธะโควาเลนต์เป็นได้พันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม นอกจากนี้คาร์บอนยังสามารถเกิดพันธะโควาเลนต์กับธาตุอื่นๆ เช่น ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และคลอรีน เป็นต้น และจำนวนกว่า 90 % ของทั้งหมดพบโดยการสังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการ สารประกอบอินทรีย์ต่างๆเหล่านี้มีประโยชน์และเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันอย่างมาก โดยได้นำมาประยุกต์ให้เป็นประโยชน์ในชีวิตประจำวัน เช่น ผลผลิตจากปิโตรเลียมและเชื้อเพลิง เส้นใยสังเคราะห์ต่างๆ สารเคมีทางการเกษตร สารตัวเติมในอาหารหรือสารถนอมอาหาร ยารักษาโรค ฮอร์โมน แป้ง สบู่ ผงซักฟอก ดี วัฏธนะเบ็ด เป็นต้น

สำหรับสารอินทรีย์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ พาราเซตามอล และแอสไพริน ซึ่งแต่ละตัวมีลักษณะดังนี้

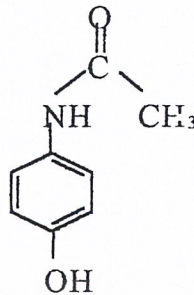
### 2.3.1 พาราเซตามอล [6]

พาราเซตามอล มีชื่อทางเคมี คือ 4-อะซิตามิโดฟีโนล (4-Acetamidophenol) 4-ไฮดรอกซีเฟนิลอะซิตามิโด (N-(4-Hydroxyphenyl)acetamide) อะซิทิล-4-อะมิโนฟีโนล (N-Acetyl-4-aminophenol) 4-ไฮดรอกซีอะซิตามิโด (4-Hydroxyacetanilide) และชื่อทางการค้า คือ ไทลินอล (Tylenol) อะซิตามิโนเฟน (Acetaminofen) พานาดอล (Panadol) นาฟาเฟน (napafen) เป็นต้น ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของพาราอะมิโนฟีโนล (p-aminophenol) ที่เกิดจากปฏิกิริยาอะซิทิเลชัน (acetylation) ระหว่างพาราอะมิโนฟีโนล และอะซิติกแอนไฮไดรด์ (acetic anhydride) ที่ 80 องศาเซลเซียส ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาราเซตามอลมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีสูตร โมเลกุล คือ  $C_8H_9NO_2$  และน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 151.1646



4-acetamidophenol

### รูปที่ 2.3 โครงสร้างของพาราเซตามอล

พาราเซตามอลไม่มีกลิ่น มีรสขมเล็กน้อย เป็นผลึกสีขาว มีลักษณะผลึกเป็น โมโนคลินิก (monoclinic) พาราเซตามอลสามารถละลายได้ดีในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (dimethylformamide) 1,2- ไดคลอโรอีเทน (dichloroethane) และเอทิลอะซิเตต (ethyl acetate) สามารถละลายได้เล็กน้อยในสารละลายอัลคาไลน์ไฮดรอกไซด์ (alkaline hydroxide) อีเทอร์ (ether) และ น้ำเย็น และไม่ละลายในเบนซีน (benzene) ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) เมทิลีนคลอไรด์ (methylene chloride) และเพนทีน (pentane) ความเสถียรของพาราเซตามอลจะลดลงในสภาวะกรด และอัลคาไลน์ โดยจะสลายตัวอย่างช้าๆ ให้อะซิติกแอซิด (acetic acid) และพาราอะมิโนฟีโนล สำหรับคุณสมบัติอื่นๆแสดงดังตารางที่ 2.3

### ตารางที่ 2.3 สมบัติบางประการของพาราเซตามอล

สมบัติ	ค่าที่ได้
ค่าความเป็นกรดค่า	5.5-6.5
ค่าคงที่การแตกตัว	9.5
ครึ่งชีวิต	20 ปี
จุดหลอมเหลว	168-172 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	1.29 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

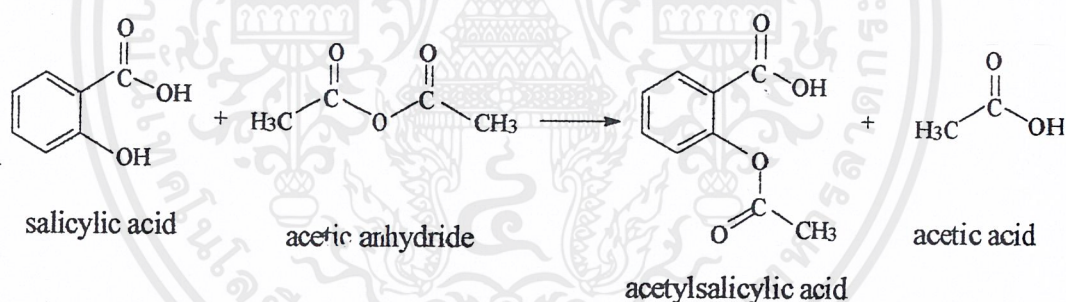
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาราเซตามอลถูกใช้ในทางการแพทย์โดยเป็นยาบรรเทาปวดและยาลดไข้ โดยจะมีการผสมยาที่ทำให้มีอาการง่วงหลับ เพื่อใช้ลดอาการเจ็บปวด นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารมัธยันต์ในการผลิตยา ตี ย่อมเอโซ เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) และ สารที่ใช้ในภาพถ่าย

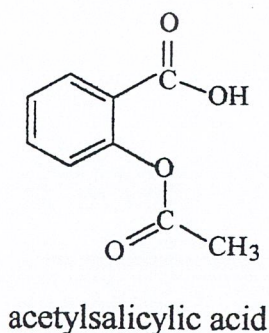
### 2.3.2 แอสไพรีน [7]

แอสไพรีน มีชื่อทางเคมี คือ อะซิติลซาลิไซลิกแอซิด (acetylsalicylic acid) และชื่อทางการค้าต่างๆ ดังนี้ โซลไพรอน (Solpyron) อีโคทริน (Ecotrin) อะซิโตเฟน (Acetophen) และโรห์ดีน (Rhodine) เป็นต้น ซึ่งเป็นสารในกลุ่มอนุพันธ์ของซาลิไซลิกแอซิด (salicylic acid) โดยฮิปโปเครทส์ (Hippocrates) พบว่า ในเปลือกต้นหลิวสามารถใช้เป็นตัวยาในการลดไข้และบรรเทาปวด จากการวิเคราะห์พบว่า มีตัวยาอะซิติลซาลิไซลิกแอซิด ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแอสไพรีนในปัจจุบัน

การสังเคราะห์แอสไพรีนเป็นครั้งแรกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1859 โดยเตรียมซาลิไซลิกแอซิด จากฟีนอล จากนั้นนำซาลิไซลิกแอซิด มาทำปฏิกิริยาอะซิติลเลชันด้วยอะซิติลแอนไฮไดรด์ จะได้เป็นแอสไพรีนดังสมการ



แอสไพรีนมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.4 ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ  $C_9H_8O_4$  และน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 180.16



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของแอสไพรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอสไพริน เป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น มีความเป็นกรดอย่างอ่อน ละลายน้ำได้เล็กน้อย แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์และกลีเซอริน เป็นสารที่เสถียรเมื่ออยู่ในที่แห้ง ถ้ามีความชื้นจะถูกไฮโดรไลส์อย่างช้าๆ ให้อะซิติลิกแอซิด และซาลิไซลิกแอซิด สำหรับคุณสมบัติอื่นๆแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติบางประการของแอสไพริน

สมบัติ	ค่าที่ได้
ความเป็นพิษ (LD <sub>50</sub> )	200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
จุดหลอมเหลว	136 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	140 องศาเซลเซียส
ความสามารถในการละลายน้ำ	1 กรัม / 100 มิลลิกรัม
ความถ่วงจำเพาะ	1.33

แอสไพริน เป็นยาที่เตรียมง่าย ราคาถูก และใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากเป็นยาที่บรรเทาปวด ไมเกรน แก้อักเสบ ลดไข้ การติดเชื้อ โรคอย่างอ่อน ยาต้านทานการจับตัวของลิ่มเลือด เป็นยาแก้ปวดกล้ามเนื้อ และโรคไขข้อกระดูก นอกจากนี้ แอสไพรินยังถูกใช้เป็นสารตัวเติมในอาหาร ยา และเครื่องสำอาง

## 2.4 วิธีการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม [8-9]

กระบวนการที่ใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่นิยมใช้มีหลายวิธี ซึ่งในการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในด้านต่างๆ อันได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ลักษณะของน้ำทิ้งก่อนการบำบัด คุณภาพน้ำทิ้งที่ต้องการ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการลงทุน สามารถสรุปกระบวนการที่นิยมใช้ได้ดังนี้

### 2.4.1 ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process)

วิธีการนี้เป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการทางชีวภาพ โดยมีการควบคุมให้มีก๊าซออกซิเจนในระบบเพื่อเร่งเกิดสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ (activated sludge) ในระบบนี้ คือ พวกแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่ และอาจมีสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ได้แก่ โปรโตซัว โรติเฟอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตะกอนเร่ง ประกอบด้วยถังปฏิกริยา ซึ่งเป็นถังเติมอากาศ (aeration Tank) และถังตกตะกอน โดยน้ำเสียจะถูกนำเข้าสู่ถังปฏิกริยาที่มีตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบที่ได้รับออกซิเจนอย่างทั่วถึง หลังจากทำให้ระยะเวลาในการผสมผสานกัน ในระยะเวลาที่เหมาะสมจนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์จะทำให้เกิดส่วนผสมระหว่างเซลล์ใหม่และเซลล์เก่าขึ้น ซึ่งสามารถนำไปแยกเอาตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ ด้วยการผ่านน้ำตะกอนจากถังปฏิกริยาไปยังถังตกตะกอน ตะกอนที่แยกได้จากถังตกตะกอนนั้นส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับเข้าสู่ถังปฏิกริยาใหม่อีกครั้ง เพื่อรักษาความเข้มข้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยา และตะกอนอีกส่วนหนึ่งซึ่งมากเกินไปความต้องการ จะถูกกำจัดออกจากถังตกตะกอนเพื่อนำไปบำบัดให้อยู่ในสภาพคึกก่อนที่จะนำไปบำบัดต่อไป การนำตะกอนจุลินทรีย์กลับเข้าสู่ถังปฏิกริยาขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลล้นออกจากรางรอบๆถังตกตะกอน ในอุตสาหกรรมต่างๆ การบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งนั้น วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการบำบัดแบบอื่นๆ

สำหรับการบำบัดสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีวภาพยังมีอีกหลายวิธี เช่น บ่อเติมอากาศ (aeration - lagoon) ระบบโปรยกรอง (trickling filter) ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (rotating biological contactors) ระบบบ่อธรรมชาติ (natural pond) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีหลักการในการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยสิ่งมีชีวิตเป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนแปลงสภาพสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสียในรูปคอลลอยด์ และสารละลายให้อยู่ในรูปก๊าซ น้ำและเซลล์ใหม่ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำ

#### 2.4.2 การแยกด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugation)

ระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางกายภาพ เป็นการแยกของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางด้วยการหมุนมวลของน้ำเสียในถังรูปทรงกระบอกด้วยความเร็วสูง ซึ่งจะทำให้ส่วนที่เป็นของแข็งแยกตัวออกมาจากน้ำเสียแล้วตกตะกอนลงสู่ก้นถัง โดยอาศัยพลังงานที่ใช้ในการเหวี่ยง การนำวิธีการบำบัดน้ำเสียวิธีนี้ไปใช้งานได้แก่ การแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย การแยกตะกอนจุลินทรีย์หรือตะกอนอื่น ๆ ออกจากน้ำเสีย

#### 2.4.3 การตกตะกอน (Sedimentation)

ระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางกายภาพ เป็นการแยกของแข็งที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำ ออกจากน้ำทิ้งโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก การตกตะกอนถูกนำมาใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมากที่สุด คือ การกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เช่น ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) หรือเพื่อทำให้ตะกอนมีความเข้มข้นขึ้น (sludge thickening) เป็นการนำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำทิ้ง ซึ่งยังคงมีปริมาณน้ำมากอยู่ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกอน แล้วกำจัดน้ำออกมา

#### 2.4.4 การกรอง (Filtration)

ระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางกายภาพ เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยการผ่านส่วนผสมของของแข็งและของเหลวไปยังตัวกลางที่มีรูพรุน เช่น ทราย เยื่อเลือกผ่าน (membrane) หรืออาจมีลักษณะเป็นเม็ดยา เช่น ทราย หรือ ถ่านแอนทราไซต์ ฯลฯ โดยส่วนที่เป็นของแข็งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าขนาดของรูกรอง เช่น ทรายแวนดรอยด์ หรือสารคอลลอยด์ จะถูกกั้นไว้ ส่วนของแข็งหรือของเหลวที่มีขนาดเล็กกว่ารูกรองจะไหลผ่านออกไปได้ การกรองเกิดขึ้นจากกลไกหลายอย่าง อันได้แก่ การสกัดกั้น การระแทก การตกตะกอน การดูดซับ หรือการคั่งคูดประจุ ซึ่งการกรองสารแต่ละประเภทอาจเกิดจากกลไกใดกลไกหนึ่ง หรืออาจเกิดจากกลไกหลายๆอย่างรวมกัน

#### 2.4.5 การปรับสภาพให้เป็นกลาง (Neutralization)

ระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางเคมี เป็นการปรับสภาพความเป็นกรดค้างให้อยู่ในสภาพเป็นกลาง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมที่จะนำไปบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียในขั้นอื่นต่อไป โดยเฉพาะกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งต้องการน้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรดค้าง ในช่วง 6.5-8.5 และก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำ โดยถ้ามีค่าความเป็นกรดค้างต่ำ จะต้องทำการปรับสภาพโดยใช้ด่าง (base) ด่างที่นิยมใช้ในการปรับสภาพ ได้แก่ โซดาไฟ (NaOH) ปูนขาว (CaO) เป็นต้น แต่ถ้ามีค่าความเป็นกรดค้างสูง ต้องทำการปรับสภาพด้วยกรด โดยกรดที่ใช้ได้แก่ กรดกำมะถัน ( $H_2SO_4$ ) กรดเกลือ (HCl) เป็นต้น

#### 2.4.6 การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption)

ระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางกายภาพ-เคมี โดยอาศัยหลักการดูดซับด้วยคาร์บอน เพื่อต้องการแยกสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนละลายอยู่ในน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งขั้นต้นมาแล้ว พวกถ่านที่ใช้กันมี 2 ลักษณะ คือ แบบคาร์บอนเป็นเม็ดๆ (granular carbon) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 มิลลิเมตร และแบบคาร์บอนเป็นผง (powder carbon) ที่มีขนาดเล็กกว่า 200 เมส ซึ่งนิยมรวมเรียกว่า ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งทำมาจากเมล็ดอัลมอนด์ (almond walnut hulls) มะพร้าว ไม้ไผ่ ฯลฯ หรือถ่านทั่วไป นำมาเผาที่อุณหภูมิสูงมาก โดยพยายามทำให้ได้พื้นที่ผิวของคาร์บอนมากๆ โดยทั่วไปพวกผงถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้จะมีขนาดพื้นที่ผิวตั้งแต่ 500 ถึง 1500 ตารางเมตรต่อกรัม และในบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบอาจใช้ผงถ่านกัมมันต์ (powder activated carbon) ผสมกับน้ำทิ้งในถังเติมอากาศของระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) เพื่อช่วยกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก นอกจากนี้การใช้ถ่านดูดซับไประยะเวลาหนึ่ง ถ่านที่เริ่มหมดสภาพจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยฟื้นฟูสภาพได้โดยใช้วิธีการเคมี วิธีการความร้อน และวิธีการเผา

#### 2.4.7 การกรองแบบอัลตราฟิลเทรชัน (Ultrafiltration)

ระบบนี้เป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการกายภาพ-เคมี ซึ่งเป็นระบบกรองที่ใช้เยื่อเลือกผ่าน (porous membrane) อดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันพอประมาณ จะทำให้เกิดการแยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนเล็กได้ โดยปกติเป็นสารปนเปื้อนที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 500 ถึง 500,000 กรัมต่อโมล และขนาดตั้งแต่  $2 \times 10^6$  ถึง  $1 \times 10^{-2}$  มิลลิเมตร และชนิดของเยื่อกรองที่ใช้ได้แก่ พอลิเซลลูโลสอะซิเตต (cellulose acetate) และพอลิเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ระบบนี้อาจใช้เป็นระบบขั้นต้นก่อนที่จะให้น้ำทิ้งไหลเข้าสู่ระบบออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis)

#### 2.4.8 ระบบออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)

ระบบนี้อาจเรียกว่าระบบไฮเพอร์ฟิลเทรชัน (hyperfiltration) เป็นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการกายภาพ-เคมี สามารถแยกสารปนเปื้อนขนาดตั้งแต่  $4 \times 10^{-7}$  ถึง  $6 \times 10^{-5}$  มิลลิเมตร นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ด้วยการกรองผ่านเยื่อกรองแบบเยือกึ่งซึมผ่านได้ (semipermeable membrane) ความดันสูงกว่าความดันขนาดความดันออสโมติก (osmotic pressure) ระบบนี้ประกอบด้วยแผ่นเยื่อกรองที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตต (cellulose acetate) และ ไนลอน (nylon) โดยจะนำไปใช้บำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพน้ำทิ้งได้มาตรฐานสูง หรือต้องการนำน้ำทิ้งนี้กลับมาใช้ใหม่อีกสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท หรือแม้กระทั่งอาจเพื่อไปใช้เป็นน้ำประปาสำหรับอุปโภคและบริโภค การนำไปใช้งานนั้น พบว่า การใช้เยื่อกรองเซลลูโลสอะซิเตต เหมาะสมกับการกำจัดสารอินทรีย์ที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแล้ว

สำหรับการใช้สารพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งเป็นวิธีการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการเคมี อาศัยหลักการดูดซับเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชันระหว่างสารอินทรีย์ กับพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน โดยเกิดแบบอันตรกิริยาระหว่างไซโคลเดกซ์ทริน กับโมเลกุลที่ถูกดูดซับ (host-guest interaction) ดังที่อธิบายไว้ในตอนต้น ซึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งในการใช้ประโยชน์ไซโคลเดกซ์ทริน และนอกจากนั้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการบำบัดสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ ในน้ำทิ้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ [10-11]

### 2.5.1 อุลตราไวโอเลตสเปกโทรสโกปี

อุลตราไวโอเลตสเปกโทรสโกปี เป็นการวัดพลังงานที่ดูดกลืนไป เมื่ออิเล็กตรอนถูกเลื่อนไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงขึ้น ซึ่งสารอินทรีย์จำนวนมากสามารถดูดกลืนรังสีในช่วงอุลตราไวโอเลต ส่วนรังสีที่เหลือจะผ่านทะลุสารนั้น ได้จึงปรากฏให้เราเห็นเป็นสี

ส่วนของโครงสร้างของโมเลกุลที่เป็นสาเหตุทำให้มองเห็นเป็นสีเรียกว่า โครโมฟอร์ (chromophore) โครโมฟอร์ส่วนมากจะมีพันธะชนิดไม่อิ่มตัว เช่น  $C=C$   $C=O$   $-N=N-$  และ  $-NO_2$  เป็นต้น ส่วนหมู่ฟังก์ชันอื่นๆ เช่น  $-OH$   $-NH_2$   $-Cl$  และ  $-Br$  ไม่สามารถทำให้ปรากฏเป็นสีได้ด้วยตนเอง แต่มีอิทธิพลของโครโมฟอร์ เมื่อหมู่เหล่านี้ใช้อิเล็กตรอนที่ไม่ได้สร้างพันธะคอนจูเกตกับโครโมฟอร์ เรียกหมู่เหล่านี้ว่า ออกโซโครม (auxochrome) หมู่เหล่านี้จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งความยาวคลื่นและความเข้มของการดูดกลืนแสง

### 2.5.2 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ สเปกโทรสโกปี ตรวจสอบพิสูจน์ และศึกษาเกี่ยวกับ โมเลกุลของสาร ซึ่งอาจอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สก็ได้เมื่อ โมเลกุลของสารดูดกลืนแสงอินฟราเรด โมเลกุลจะถูกกระตุ้นเป็น โมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าอยู่ที่สภาวะพื้น โดยมีพลังงานเปลี่ยนแปลงอยู่ราว 2-10 กิโลแคลอรีต่อ โมล ซึ่งเป็นพลังงานที่เพียงพอจะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น (vibration) หรือเกิดการหมุน (rotation) เท่านั้น

โดยทั่วไปแล้ว อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีนิยมใช้เป็นเทคนิคสำหรับหาและพิสูจน์เกี่ยวกับโครงสร้างของสารอินทรีย์ เช่น หาหมู่ฟังก์ชันต่างๆซึ่งจะปรากฏออกมาที่ความถี่ต่างๆกัน โดยข้อมูลจะแสดงออกมาในลักษณะของแผนภูมิที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของหมู่ฟังก์ชันกับความถี่ หรือความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด

### 2.5.3 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี

นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการวัดระดับพลังงานที่แตกต่างกันของนิวเคลียสที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์มากในการศึกษาเกี่ยวกับสูตรโครงสร้างของสาร เทคนิคทางนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง สารตัวอย่างดังกล่าวอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือแก๊สก็ได้ แต่ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงข้อมูลหรือข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยมมากที่สุดคือ สารตัวอย่างอยู่ในลักษณะของสารละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องไม่มีโปรตอน ที่นิยมใช้ได้แก่  $CCl_4$  ใช้กับสารที่ไม่มีขั้ว เป็นตัวทำละลายที่มีราคาถูก นอกจากนี้ยังใช้  $CDCl_3$ ,  $CD_3OD$ ,  $C_6D_6$  และ  $CD_3COCD_3$  ถ้าเป็นของแข็ง ต้องใช้เทคนิค NMR ของแข็ง ที่เรียกว่า เทคนิค MAS ( Magic Angle Spinning) ซึ่งมีประโยชน์มากในการศึกษาสูตร โครงสร้างของสารประกอบจำพวกพอลิเมอร์ ถ่านหิน และหินน้ำมัน เป็นต้น

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งถูกใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆหลายประเภทดังนี้

*G. Crini et. al.* [12] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ในการบำบัดสารประกอบอะโรมาติกในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ในการทดลองทำการเตรียมพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ด้วยการเติมสารเชื่อมโยงอีพิกลอโรไฮดริน โดยใช้ปริมาณเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ในช่วง 20-80 เปอร์เซ็นต์โดยมวล จากนั้นศึกษาสภาวะ อัตราเร็วในการดูดซับ เวลาในการสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง และค่าความเป็นกรดค่าที่เหมาะสม โดยวิธีแบบกะ (batch method) และการใช้คอลัมน์ (column method) ในการใช้บำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยตรวจสอบความเข้มข้นที่เหลือของสารอินทรีย์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี พบว่าการดูดซับมีค่าสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ  $5 \times 10^{-4}$  โมลต่อลิตร และค่าความเป็นกรดค่า ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2 – 7

*Murai et. al.* [13] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ในการบำบัดสารประกอบพทาติกแอซิดเอสเทอร์ (phthalic acid ester) ชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด ในการทดลองทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งแบบกะ และระบบคอลัมน์ที่ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ โดยตรวจสอบความเข้มข้นที่เหลือของสารอินทรีย์ด้วยเทคนิคยูวีสเปกโทรโฟโตเมทรี และตรวจสอบการฟอร์มตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของพทาติกแอซิดเอสเทอร์ กับพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ และนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี จากการทดลองพบว่าของผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำในสัดส่วน 8:2 จะให้เปอร์เซ็นต์การนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินสูงสุด

*G. Wenz et. al.* [14] ได้ทำการศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชันระหว่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซโคลเดกซ์ทรินกับยาชนิดต่างๆ โดยตรวจสอบด้วยเทคนิคไทเทรชันไมโครแคลอริเมตรี (Titration-Microcalorimetry) สำหรับยาที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่ เทอเทียริบิวทิลเบนโซอิกแอซิด (t-butyl benzoic acid) ไอบูโพรเฟน (Ibuprofen) อัลพรีโนโลล (Alprenolol) และโฮมาโทรไพน์ (Homatropine) จากการทดลองพบว่าอนุพันธ์ของไซโคลเดกซ์ทรินชนิดเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับยาชนิดต่างๆ โดยให้ค่าคงที่ความคงตัว (stability constant) สูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินงาน

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องยววิวิธิลิตสเปกโทรโฟโตเมทรี รุ่น UV-160 (UV/visible spectrophotometer model UV-160)
2. เครื่องเขย่า รุ่น A007452 (Gallenkamp orbital shaker model A007452)
3. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง รุ่น 215 (Denver pH meter model 215)
4. เครื่องปั่นกวนแบบให้ความร้อน (fisher stirring hotplate)
5. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียด รุ่น 205A (Precisa analytical balance model 205A)
6. เซลล์ควอทซ์ (quartz cell)
7. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)
8. หลอดแก้ว (centrifuge tube)
9. บีกเกอร์ (beaker)
10. กระบอกตวง (cylinder)
11. ปิเปต (pipette)
12. กระจกนาฬิกา
13. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
14. แท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer)
15. หลอดหยด (dropper)
16. เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
17. เครื่องกรองสุญญากาศ
18. กระดาษกรอง เบอร์ 42 ของบริษัทวอทแมน (whatman)
19. กระดาษลิตมัส
20. แท่งแก้วคน
21. ซ้อนตักสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ตัวอย่างและสารเคมี

1. ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานยูเมต้า จำกัด
2. ตัวอย่างน้ำเสียจากบริษัท โอติก (ประเทศไทย) จำกัด
3. ตัวอย่างน้ำเสียจากบริษัท เขวราช จำกัด
4. เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Fluka
5. อีพ็อกซีโรไฮดริน เกรดการค้า ของบริษัท Thai Epoxy and Allied Product
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Merck
7. แอสไพรีน เกรด HPLC ของบริษัท Fluka
8. พาราเซตามอล เกรด HPLC ของบริษัท Fluka
9. บัฟเฟอร์ pH 2 4 7 และ 10
10. เฮกเซน เกรดการค้า ของบริษัท Merck
11. เอทานอล เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Merck
12. อะซีโตน เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Merck
13. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การสังเคราะห์และการตรวจวิเคราะห์การเกิดพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน

##### 3.3.1.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน

ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเตรียมตามอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ดังนี้ 10 20 และ 30 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการดูดซับแอสไพรินและพาราเซตามอลที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป สำหรับการสังเคราะห์พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน สามารถทำได้ดังนี้

- 1) ชั่งเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน และอีพิคลอโรไฮดรินในอัตราส่วนโดยโมลที่ต้องการลงในขวดรูปชมพู่
- 2) เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ลงในสารข้อ 1)
- 3) ปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส
- 4) ทิ้งไว้ค้างคืน
- 5) ต้มเม็ดพอลิเมอร์ที่ได้ด้วยเฮกเซน อะซิโตน และน้ำกลั่นมากกว่า 3 ครั้ง
- 6) อบพอลิเมอร์ที่ได้ให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส

##### 3.3.1.2 การตรวจวิเคราะห์การเกิดพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน

ตรวจสอบ โครงสร้างของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับสารตั้งต้นเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ในสภาวะของแข็ง (solid state NMR)

#### 3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์

ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์จะเลือกใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์ได้สูงสุด โดยสภาวะที่ศึกษามีดังนี้

##### 3.3.2.1 การศึกษาค่าความเป็นกรด่างที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ แอสไพรินและพาราเซตามอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมสารละลายมาตรฐานแอสไพริณความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้  $2 \times 10^{-4}$   $4 \times 10^{-4}$   $6 \times 10^{-4}$   $8 \times 10^{-4}$   $1 \times 10^{-3}$   $2 \times 10^{-3}$   $3 \times 10^{-3}$   $4 \times 10^{-3}$   $5 \times 10^{-3}$   $6 \times 10^{-3}$   $7 \times 10^{-3}$   $8 \times 10^{-3}$   $9 \times 10^{-3}$  และ  $1 \times 10^{-2}$  โมลต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 2 4 7 และ 10 สำหรับพาราเซตามอล ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆดังนี้  $2 \times 10^{-4}$   $4 \times 10^{-4}$   $6 \times 10^{-4}$   $8 \times 10^{-4}$   $1 \times 10^{-3}$   $2 \times 10^{-3}$   $3 \times 10^{-3}$   $4 \times 10^{-3}$   $5 \times 10^{-3}$  และ  $6 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 2 4 7 และ 10 แล้วนำสารละลายมาตรฐานทั้งสองที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร จากนั้นทำเป็นกราฟมาตรฐานเพื่อใช้เทียบหาความเข้มข้นของสารอินทรีย์

ศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่างที่ใช้สำหรับบับคแอสไพริณที่มีความเข้มข้น  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร และพาราเซตามอลที่มีความเข้มข้น  $2 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร โดยทำการศึกษการบับคสารอินทรีย์ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) นำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม เติมนลงในน้ำเสียสังเคราะห์ 10 มิลลิลิตร
- 2) ปรับค่าความเป็นกรดต่างของสารในข้อ 1) ด้วยบัฟเฟอร์ให้เป็น 2 4 7 และ 10
- 3) เขย่าสารในข้อ 2) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที
- 4) กรองเก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
- 5) วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เหลือด้วยเทคนิคยูวีสเปกโทรโฟโตเมตรีที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

### 3.3.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหมาะสมในการบับคสารอินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่แอสไพริณและพาราเซตามอล

ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในการบับคแอสไพริณ โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำเสียสังเคราะห์ให้เท่ากับ  $1 \times 10^{-3}$   $2 \times 10^{-3}$   $5 \times 10^{-3}$  และ  $1 \times 10^{-2}$  โมลต่อลิตร ทำการศึกษการบับคสารอินทรีย์แอสไพริณตามขั้นตอนดังนี้

- 1) นำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม เติมนลงในน้ำเสียสังเคราะห์ 10 มิลลิลิตร โดยปรับค่าความเป็นกรดต่างที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.3.2.1
- 2) เขย่าสารในข้อ 1) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที
- 3) กรองเก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
- 4) วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เหลือด้วยเทคนิคยูวีสเปกโทรโฟโตเมตรี ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวถูกละลาย ในการบับคพาราเซตามอลโดยทำการทดลองเช่นเดียวกับกรณีแอสไพริณ โดยปรับความเข้มข้นของตัวถูกละลายให้เท่ากับ  $5 \times 10^{-4}$   $1 \times 10^{-3}$   $2 \times 10^{-3}$  และ  $3 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.3 การศึกษาเวลาในการสัมผัสที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ แอสไพรีนและพาราเซตามอล

ศึกษาผลของเวลาในการสัมผัสในการบำบัดสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอล โดยปรับเปลี่ยนเวลาในการเขย่าเป็นดังนี้ 5 10 15 30 60 90 120 180 และ 240 นาที ทำการศึกษาการบำบัดสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอล ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) นำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม เติมลงในน้ำเสียสังเคราะห์ 10 มิลลิลิตร โดยปรับค่าความเป็นกรดค่า และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.3.2.1 และ 3.3.2.2
- 2) เขย่าสารในข้อ 1) ตามเวลาในการสัมผัสทำการปรับเปลี่ยน ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที
- 3) กรองเก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
- 4) วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เหลือ ด้วยเทคนิคยูวีสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

### 3.3.2.4 การศึกษาปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ แอสไพรีนและพาราเซตามอล

ศึกษาผลของปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เหมาะสม ในการบำบัดสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอล โดยปรับเปลี่ยนปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเป็น 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัม ทำการศึกษาการบำบัดสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลตามขั้นตอนดังนี้

- 1) นำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม เติมลงในน้ำเสียสังเคราะห์ 10 มิลลิลิตร โดยปรับค่าความเป็นกรดค่า และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.3.2.1 และ 3.3.2.2
- 2) นำสารในข้อที่ 1) ไปเขย่าด้วยเวลาในการสัมผัสที่ทำให้การดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองข้อ 3.3.2.3 ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที
- 3) กรองเก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
- 4) วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เหลือ ด้วยเทคนิคยูวีสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

### 3.3.3 การทดลองหาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา

นำสถานะที่ได้การทดลองข้อ 3.3.2 มาทำการทดลองหาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา ทำการทดลองดังนี้

- 1) นำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเดิมลงในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม 10 มิลลิลิตร ที่ปรับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุด
- 2) นำสารในข้อที่ 1) มาปรับค่าความเป็นกรดด่างที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุด
- 3) นำสารในข้อที่ 2) ไปเขย่าด้วยเวลาในการสัมผัสที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุด ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที
- 4) กรองเก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
- 5) วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เหลือด้วยเทคนิคยูวีสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

### 3.3.4 การทดลองหาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา โดยใช้เทคนิคการดูดซับแบบหลายชั้น

นำสถานะที่ได้การทดลองข้อ 3.3.2 มาทำการทดลองหาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยาด้วยเทคนิคการดูดซับแบบหลายชั้น ทำการทดลองดังนี้

- 1) นำสถานะของเวลาในการสัมผัส และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุดจากการทดลองข้อ 3.3.2.3 และ 3.3.2.4 แบ่งเป็น 3 ส่วน
- 2) นำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินส่วนที่ 1 เดิมลงในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม 10 มิลลิลิตร ที่ปรับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุด
- 3) นำสารในข้อที่ 2) มาปรับค่าความเป็นกรดด่างที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุด
- 4) นำสารในข้อที่ 3) ไปเขย่าด้วยเวลาในการสัมผัสส่วนที่ 1 ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อ นาที
- 5) กรองเก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
- 6) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 5) ถึงข้อ 7) จนครบทั้ง 3 ส่วน
- 7) วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เหลือด้วยเทคนิคยูวีสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

### 3.3.5 การนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน กลับมาใช้ใหม่

นำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่ผ่านการใช้ในข้อ 3.3.3 นำมาล้างด้วยเอทานอล มากกว่า 3 ครั้ง แล้วนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินไปอบเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำมาทำการทดลองหาประสิทธิภาพในบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง โดยเทคนิคการดูดซับแบบธรรมดา และการดูดซับแบบหลายชั้น ในข้อ 3.3.3 และ 3.3.4 ตามลำดับ

### 3.3.6 การตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของการเกิดสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์ แอสไพรินและพาราเซตามอล

นำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน สารอินทรีย์แอสไพรินและพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่ผ่านการดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินมาทดสอบด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี เพื่อยืนยันการเกิดสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์แอสไพริน

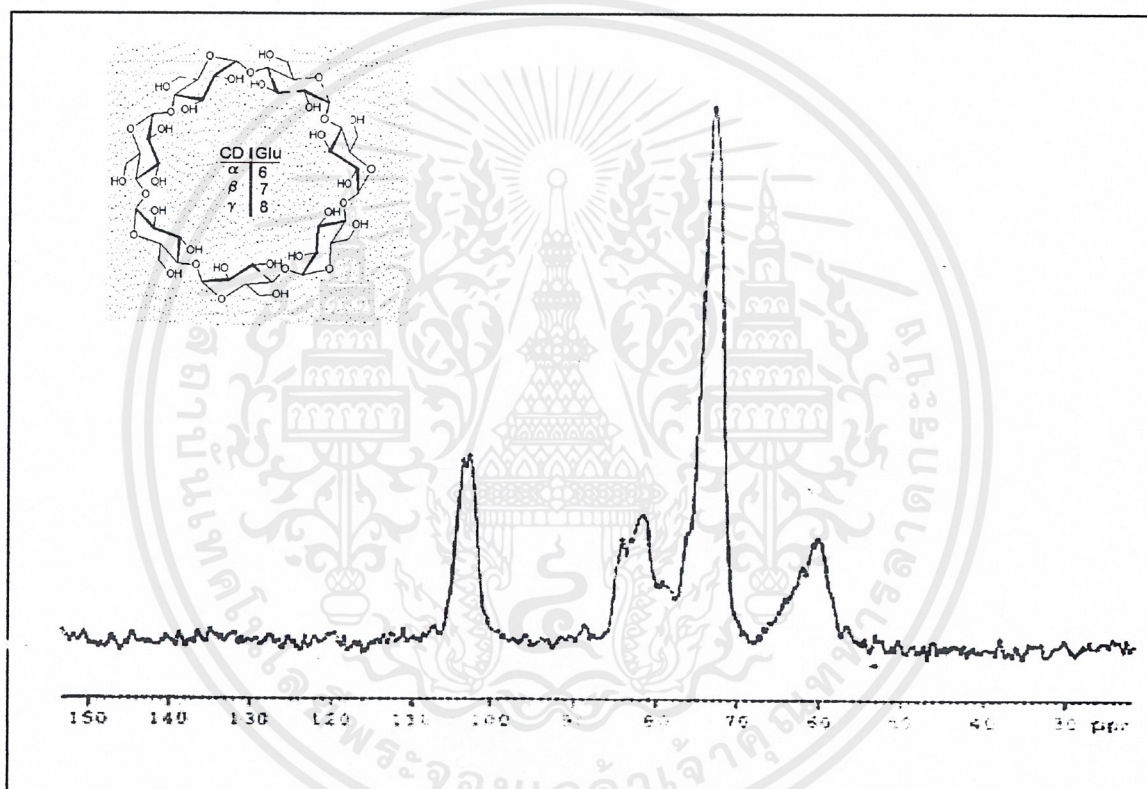
นำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน สารอินทรีย์พาราเซตามอล และพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ผ่านการดูดซับสารอินทรีย์พาราเซตามอล มาทดสอบด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี เพื่อยืนยันการเกิดสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์พาราเซตามอล

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน

ผลการตรวจวิเคราะห์การเกิดพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัม  $^{13}\text{C}$  MAS-NMR ของเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน

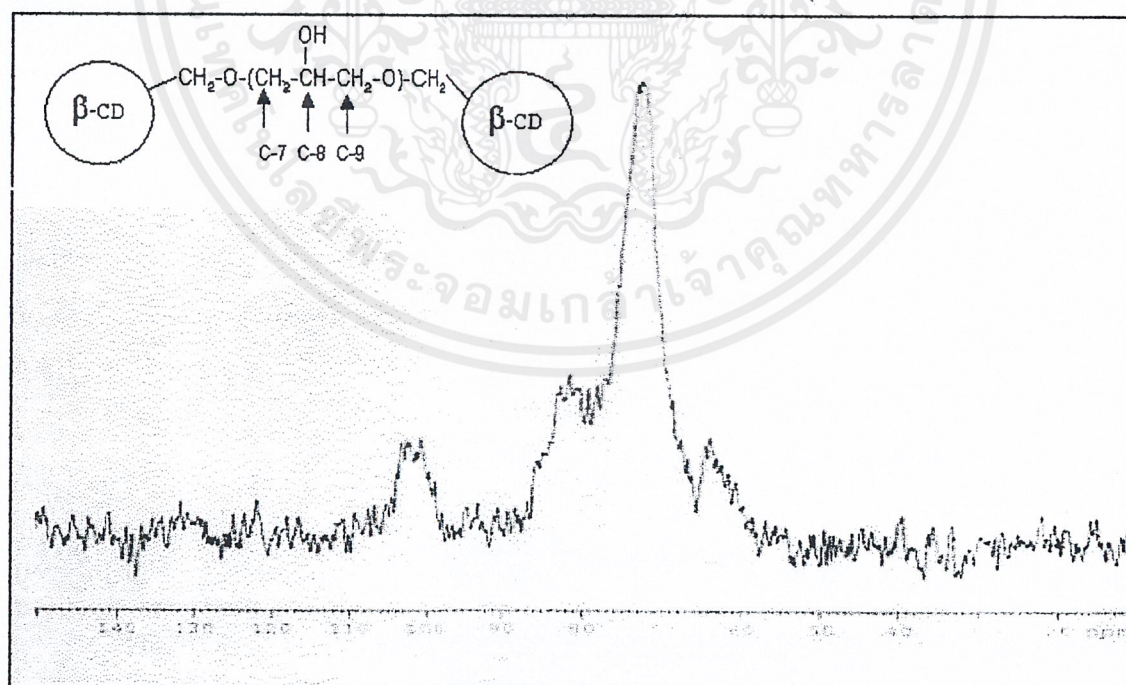
จากผลการทดลอง สเปกตรัมของเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินในรูปที่ 4.1 สามารถอธิบายโครงสร้างของไซโคลเดกซ์ทริน ได้ดังตารางที่ 4.1

ในการเกิดพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิกလိုโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน เท่ากับ 10 สามารถอธิบายโครงสร้างจากสเปกตรัมในรูปที่ 4.2 ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 สเปกตรัม  $^{13}\text{C}$  MAS-NMR ของเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน

Assignments	ตำแหน่งสัญญาณ (ppm)
C-1	103.1
C-2	76.5
C-3	73.9
C-4	81.7
C-5	73.9
C-6	60.0

หมู่ที่ว่องไวของเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่อการเกิดเชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน คือหมู่ 2- 3-ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (secondary 2- 3-hydroxyl) และหมู่ 6- ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (primary 6-hydroxyl) ซึ่งทำให้คาร์บอนตำแหน่งดังกล่าวในโมเลกุลพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินมีตำแหน่งของสัญญาณเปลี่ยนไป รวมทั้งคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ด้วย เพื่อความเข้าใจได้ง่ายขึ้น ขอใช้เป็นสัญลักษณ์ C-2' C-3' C-6' และ C-1' ตามลำดับ โดย C-2' C-3' จะมีตำแหน่งของสัญญาณเพิ่มขึ้นประมาณ 5 ppm และ C-6' จะมีตำแหน่งของสัญญาณเพิ่มขึ้น 9 ppm นอกจากนี้ C-7 C-8 และ C-9 ของอีพิกลอโรไฮดรินปรากฏพิคที่ตำแหน่งของสัญญาณ 71 ppm



รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัม  $^{13}\text{C}$  MAS-NMR ของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิกลอโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สเปกตรัม  $^{13}\text{C}$  MAS-NMR ของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 10

Assignments	ตำแหน่งสัญญาณ (ppm)
C-1	103.1
C-1'	99.8
C-2	76.5
C-2'	81.9
C-3	73.9
C-3'	80.1
C-4	81.7
C-5	73.9
C-6	60.0
C-6'	69.0
C-7	71.0
C-8	
C-9	

จากผลการทดลองพบว่า การเกิดพอลิเมอร์ไซโซเมอร์ระหว่างเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับอีพิคลอโรไฮดรินได้เป็นพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเกิดขึ้นจริง โดยสามารถยืนยันได้จากสเปกตรัมข้างต้น

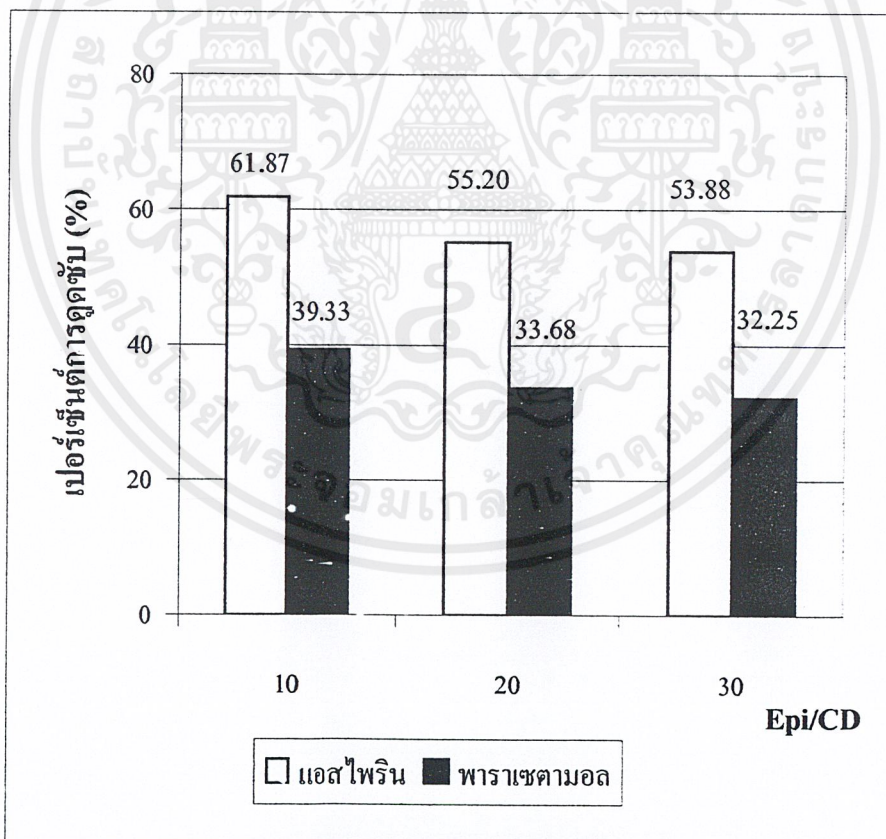
ในการทดลอง การใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 10 20 และ 30 ในการดูดซับสารอินทรีย์เอสไพรินโดยใช้สภาวะในการทดลอง คือสภาพความเป็นกรด่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของเอสไพรินเท่ากับ  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 2 ชั่วโมง และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม ส่วนการดูดซับพาราเซตามอลทำการทดลองในสภาวะเดียวกัน แต่เปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของพาราเซตามอลเป็น  $2 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์เอสไพรินและพาราเซตามอลเป็นดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

จากผลการทดลอง พบว่าการใช้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 จะให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์เอสไพรินและพาราเซตามอลสูงสุด เนื่องจากพอลิเมอร์สูตรดังกล่าวมีการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินน้อย ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลที่เหลืออยู่ในโมเลกุลพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินมีสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮครินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 20 และ 30 ซึ่งจากเหตุดังกล่าวส่งผลให้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮครินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 มีหมู่ไฮดรอกซิลในการเกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากและสามารถดึงดูดสารอินทรีย์เข้าสู่รูพรุนได้ดี

**ตารางที่ 4.3** แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮครินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ

อัตราส่วนโดยมวลของอีพิคลอโรไฮครินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)	
	แอสไพรีน	พาราเซตามอล
10	61.87	39.33
20	55.20	33.68
30	53.88	32.25



**รูปที่ 4.3** แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮครินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์แอสไพรีน และพาราเซตามอล จึงนำกับพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วน โดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 มาใช้ในการทดลองส่วนต่อไป

## 4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์

### 4.2.1 ค่าความเป็นกรดต่าง

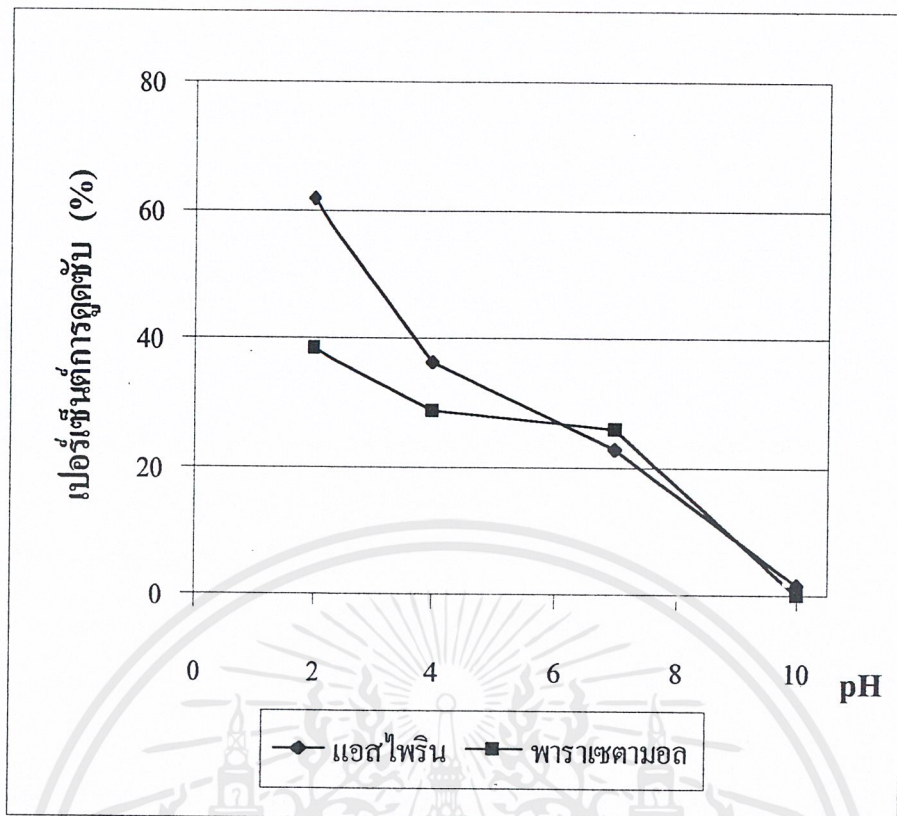
ในการศึกษาหาสภาวะความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีน และพาราเซตามอล ทำโดยปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรดต่างค่าต่างๆ ดังนี้ คือ 2 4 7 และ 10 ในการดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีน ใช้สภาวะในการทดลองดังนี้ คือความเข้มข้นเริ่มต้นของแอสไพรีนเท่ากับ  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 2 ชั่วโมง และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม ส่วนการดูดซับพาราเซตามอลทำการทดลองในสภาวะเดียวกัน แต่เปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของพาราเซตามอลเป็น  $2 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลเป็นดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

จากผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลสูงสุดที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 กล่าวคือ ที่สภาวะที่เป็นกรด แอสไพรีนและพาราเซตามอลจะมีสภาพเป็นกลาง ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินและถูกดึงดูดเข้าสู่รูพรุนได้ ส่วนในสภาวะที่เป็นเบส แอสไพรีนจะอยู่ในรูปคาร์บอกซิเลต (Carboxylate) และพาราเซตามอลจะอยู่ในรูปฟีนอลเอต (Phenolate) ซึ่งเกิดเป็นประจุลบ ทำให้ไม่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินและถูกดึงดูดเข้าสู่รูพรุนได้

ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ค่าความเป็นกรดต่างต่างๆ

ค่าความเป็นกรดต่าง	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)	
	แอสไพรีน	พาราเซตามอล
2	61.87	38.40
4	36.08	28.76
7	22.83	25.71
10	1.44	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ค่าความเป็นกรดต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับของแอสไพรีนสูงกว่าพาราเซตามอล เนื่องจากความคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับลักษณะความไม่ชอบน้ำของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ กล่าวคือ โมเลกุลที่ชอบน้ำมากจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้น้อย ซึ่งแอสไพรีนมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่าพาราเซตามอล ทำให้พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเกิดสารประกอบอินclusion กับแอสไพรีนได้ดีกว่าพาราเซตามอล

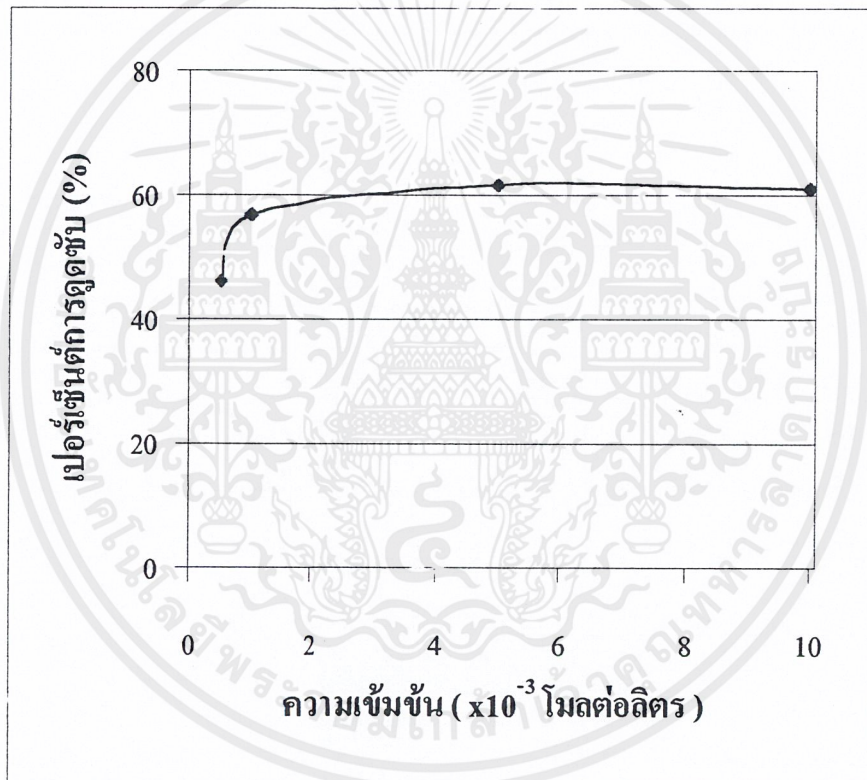
#### 4.2.2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์

ในการศึกษาขั้นต่อไป เป็นการศึกษาหาสภาวะความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ที่เหมาะสมที่จะให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลสูงสุด ในกรณีแอสไพรีน ในการทดลองใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นดังนี้  $1 \times 10^{-3}$   $2 \times 10^{-3}$   $5 \times 10^{-3}$  และ  $1 \times 10^{-2}$  โมลต่อลิตร ซึ่งใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 2 เวลาในการสัมผัส 2 ชั่วโมง และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนเป็นดังที่แสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์แอสไพรีนต่างๆ

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย แอสไพรีน (M)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%) แอสไพรีนของพอลิเมอร์ เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน
$1 \times 10^{-3}$	46.05
$2 \times 10^{-3}$	56.75
$5 \times 10^{-3}$	61.75
$1 \times 10^{-2}$	61.00



รูปที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์แอสไพรีนต่างๆ

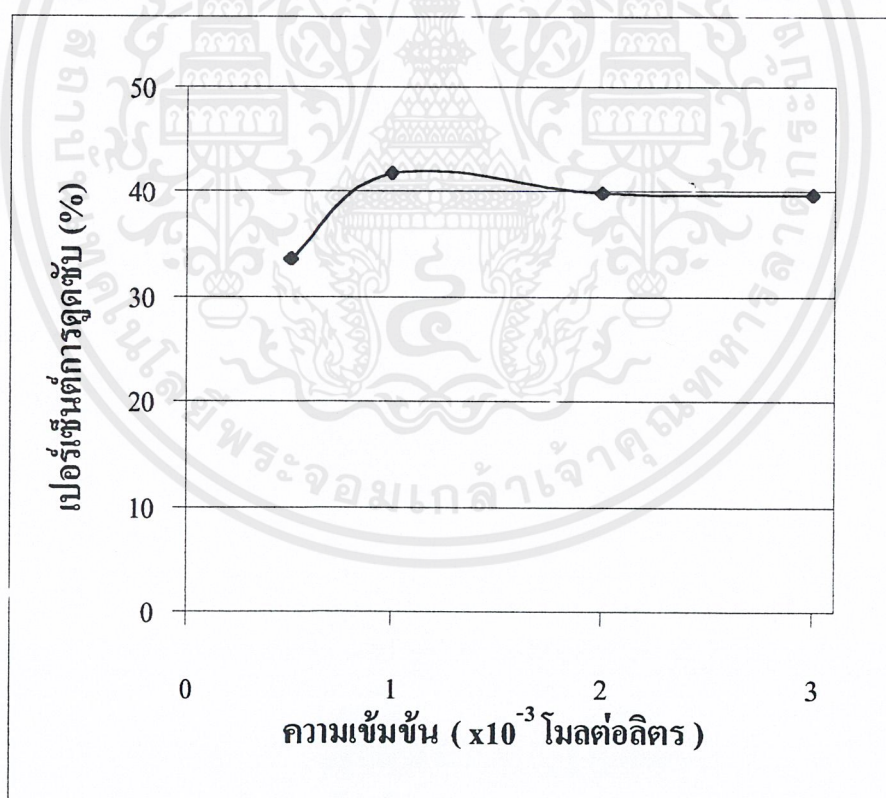
จากผลการทดลอง พบว่าแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การดูดซับจะแปรผันตามความเข้มข้นของสารอินทรีย์แอสไพรีน และเริ่มคงที่ตั้งแต่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์แอสไพรีนเท่ากับ  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร ดังนั้นในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นถัดไป จะใช้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์แอสไพรีนเท่ากับ  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับพาราเซตามอล ในการทดลองใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นดังนี้  $5 \times 10^{-4}$   $1 \times 10^{-3}$   $2 \times 10^{-3}$  และ  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร และสภาวะในการทดลองอื่นๆใช้เหมือนในกรณีของแอสไพริน พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินเป็นคั้งที่แสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์พาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์พาราเซตามอลต่างๆ

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพาราเซตามอล (M)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%) พาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน
$5 \times 10^{-4}$	33.50
$1 \times 10^{-3}$	41.72
$2 \times 10^{-3}$	39.90
$5 \times 10^{-3}$	39.71



รูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์พาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์พาราเซตามอลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์พาราเซตามอลเท่ากับ  $1 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร จากนั้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์มากขึ้น เปอร์เซ็นต์การดูดซับจะเริ่มคงที่ ดังนั้นในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นถัดไป จะใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์พาราเซตามอลเท่ากับ  $1 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร

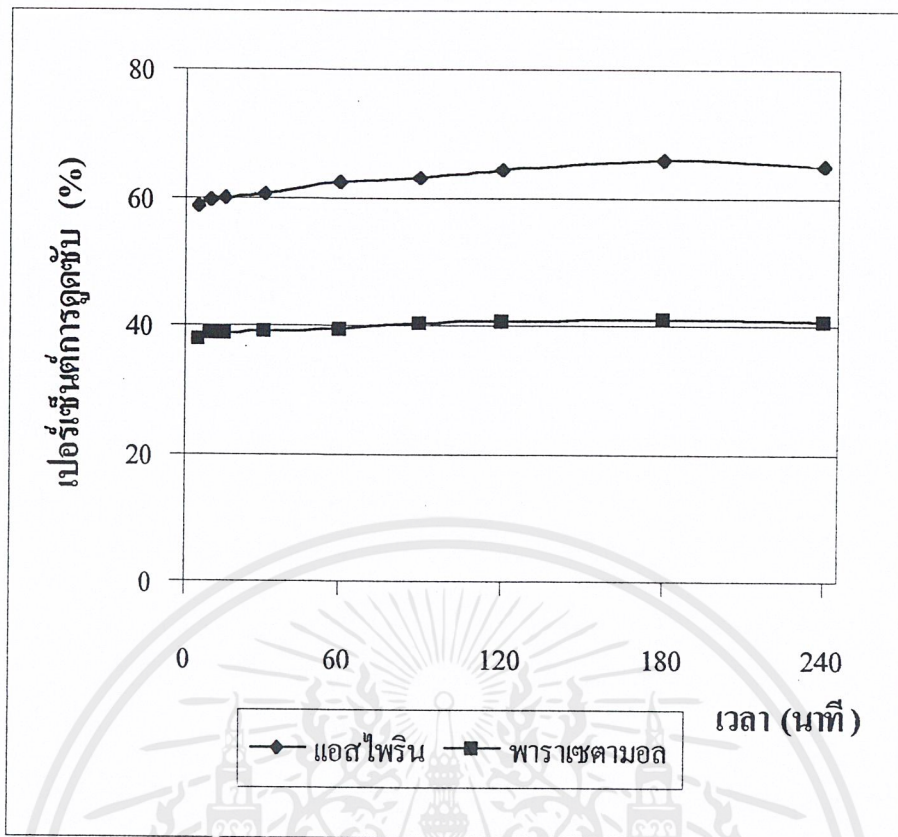
#### 4.2.3 เวลาในการสัมผัส

ในการทดลองหาเวลาในการสัมผัสที่จะให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีน และพาราเซตามอล ในการทดลองทำโดยปรับเปลี่ยนเวลาในการสัมผัสตั้งแต่ 5 10 15 30 60 90 120 180 และ 240 นาที ในการดูดซับแอสไพรีนใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดค่าเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของแอสไพรีนเท่ากับ  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม ส่วนการดูดซับพาราเซตามอล ทำการทดลองในสภาวะเดียวกัน แต่ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของพาราเซตามอลเป็น  $1 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลเป็นดังแสดงในตาราง 4.7 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ

เวลาในการสัมผัส (นาที)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)	
	แอสไพรีน	พาราเซตามอล
5	58.61	37.70
10	59.38	38.66
15	59.87	38.66
30	60.38	38.95
60	62.26	39.32
90	63.12	40.26
120	64.29	40.58
180	65.88	40.91
240	65.03	40.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์เอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ

จากการทดลองพบว่าในกรณีของเอสไพริน เปอร์เซ็นต์การดูดซับจะแปรผันตามเวลาในการที่สารอินทรีย์สัมผัสกับพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน และเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุดที่เวลาในการสัมผัส 180 นาที ดังนั้นจะใช้เวลาในการสัมผัสดังกล่าวในการทดลองขั้นต่อไป

สำหรับในกรณีของพาราเซตามอล เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เวลา 5 นาที ดังนั้นเพื่อให้การดูดซับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จึงเลือกเวลาในการสัมผัสเป็น 120 นาทีใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

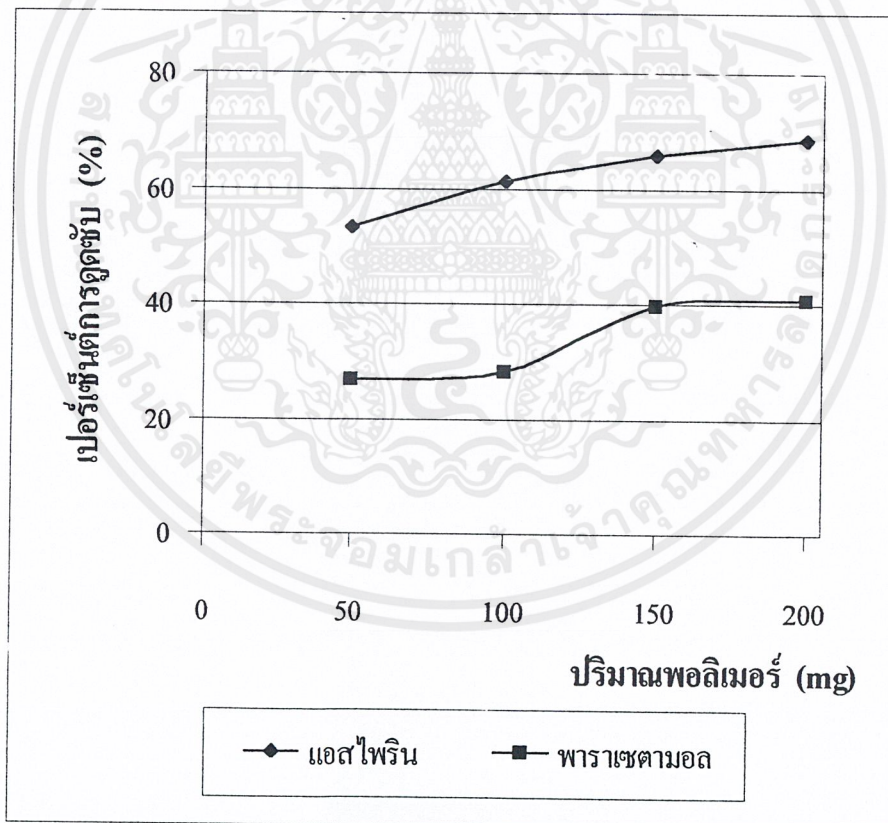
#### 4.2.4 ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน

ในการทดลองหาปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เหมาะสมที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์เอสไพรินและพาราเซตามอลสูงสุด ในการทดลองใช้ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินปรับเปลี่ยนไปตั้งแต่ 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัม โดยทำการทดลองที่สภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จาก

การทดลองข้างต้นของสารอินทรีย์แต่ละตัว พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลเป็นดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินที่ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ

ปริมาณพอลิเมอร์เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (มิลลิกรัม)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)	
	แอสไพรีน	พาราเซตามอล
50	53.34	26.75
100	61.23	28.32
150	65.62	39.61
200	68.38	40.61



รูปที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า ทั้งกรณีของแอสไพรีนและพาราเซตามอล เปอร์เซ็นต์การดูดซับจะแปรผันตามปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่ใช้ ในกรณีของพาราเซตามอล เปอร์เซ็นต์การดูดซับเริ่มคงที่ที่ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 150 มิลลิกรัม ส่วนในกรณีของแอสไพรีน เปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 กับ 200 มิลลิกรัม ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ไม่แตกต่างกันมาก กล่าวคือ ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับเพิ่มขึ้นเพียง 2.76 % ดังนั้น ทั้งในกรณีของแอสไพรีน และพาราเซตามอลจึงเลือกใช้ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 150 มิลลิกรัม ในการทดลองขั้นต่อไป

#### 4.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยา

จากการทดลองข้างต้น เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุดแล้ว ในการทดลองส่วนนี้เป็นการบำบัดสารอินทรีย์จากน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

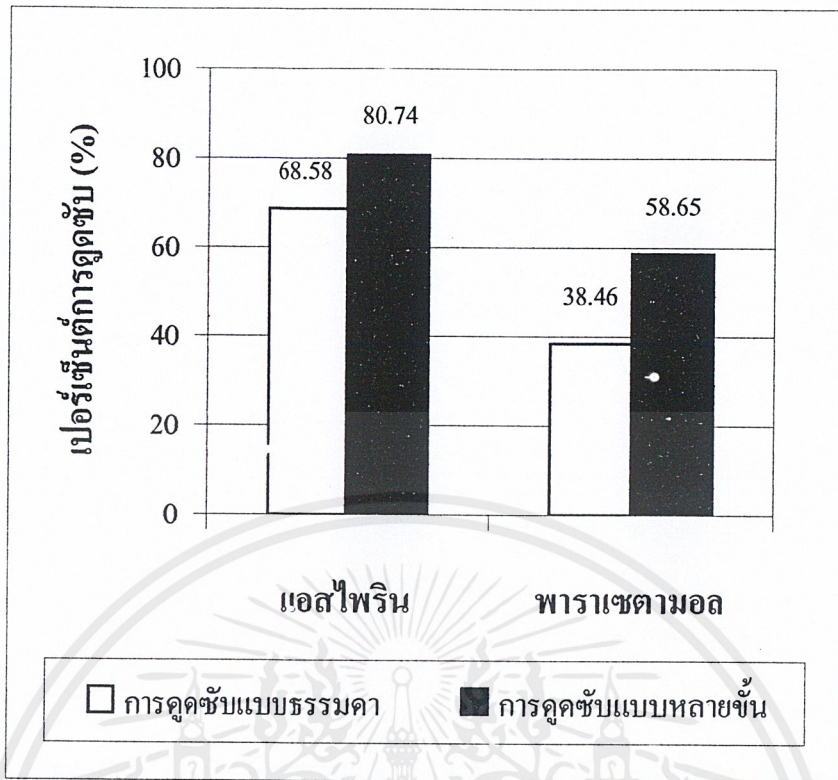
สำหรับสารอินทรีย์แอสไพรีนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมในโรงงานเขาวราช และสารอินทรีย์พาราเซตามอลในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมใน โรงงานยูเมต้า เมื่อนำมาบำบัดด้วยวิธีการดูดซับแบบธรรมดาและการดูดซับแบบหลายชั้น พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับเป็นดังแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9

จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่ได้จากการทดลองข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้ ทั้งในกรณีแอสไพรีนและพาราเซตามอล การดูดซับแบบหลายชั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น ในกรณีแอสไพรีน เปอร์เซ็นต์การดูดซับเพิ่มขึ้น 12.16 % เมื่อเทียบกับวิธีการดูดซับแบบธรรมดา และในส่วนของพาราเซตามอล เปอร์เซ็นต์การดูดซับเพิ่มขึ้น 20.19 % เมื่อเทียบกับวิธีการดูดซับแบบธรรมดา

ตารางที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม

เทคนิค	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)	
	แอสไพรีน	พาราเซตามอล
การดูดซับแบบธรรมดา	68.58	33.46
การดูดซับแบบหลายชั้น	80.74	58.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การดัดซัฟสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม

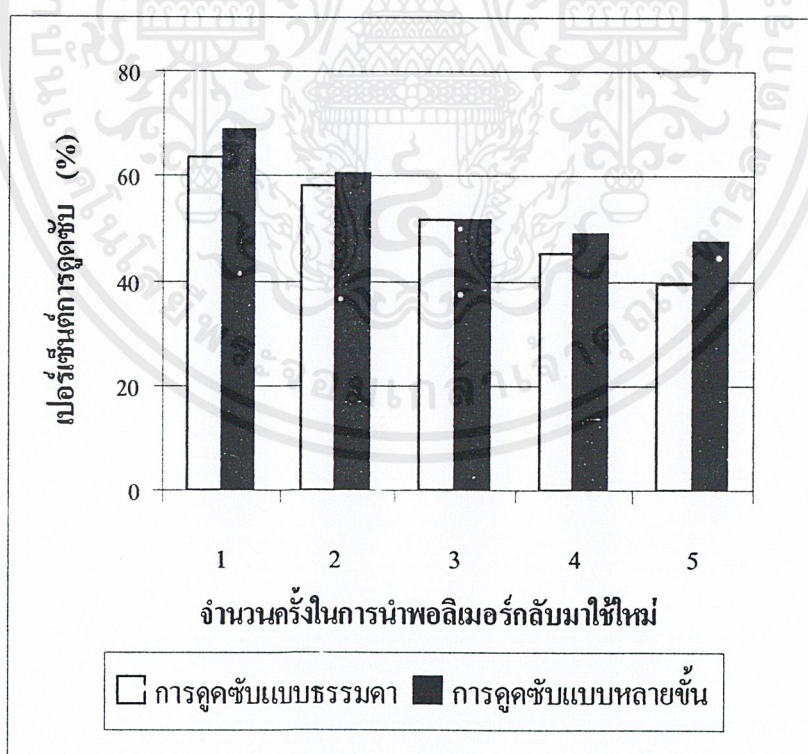
#### 4.4 การนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่

พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่ใช้ในการดัดซัฟสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยนำมาล้างด้วยเอทานอล จากการทดลองประสิทธิภาพในการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ได้แสดงดัง ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.10.1 สำหรับสารอินทรีย์แอสไพริน ส่วนสารอินทรีย์พาราเซตามอล แสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.10.2

จากผลการทดลองพบว่า การนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่โดยการล้างด้วยเอทานอลสามารถดัดซัฟสารอินทรีย์ได้อีก ซึ่งเปอร์เซ็นต์การดัดซัฟสารอินทรีย์จะลดลงตามจำนวนครั้งของการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันทั้งสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอล

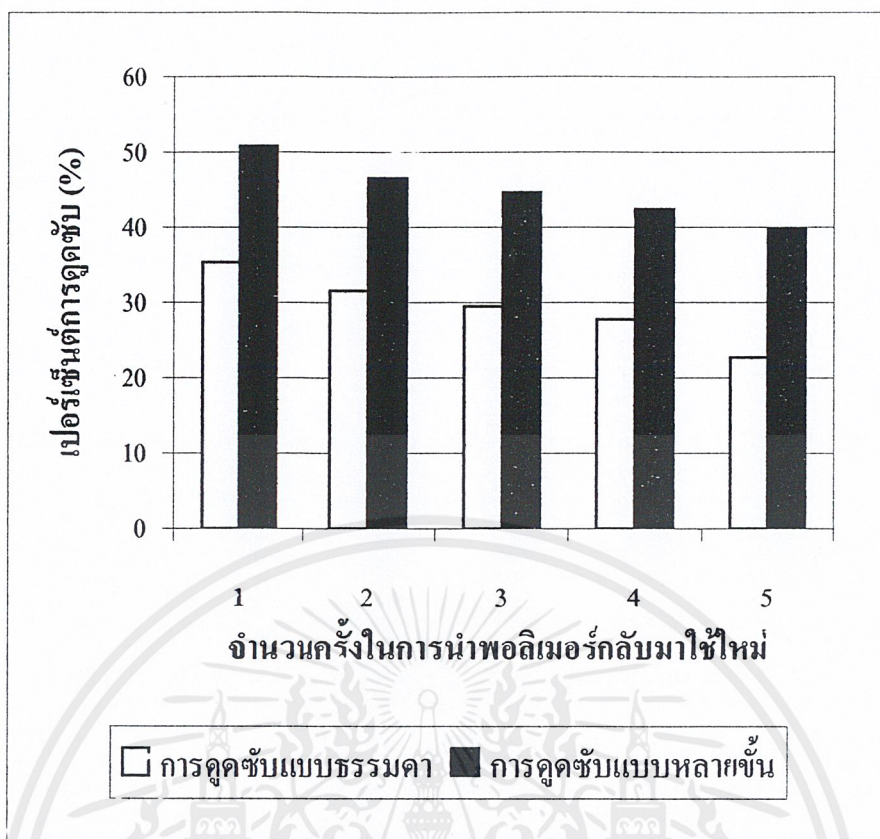
ตาราง 4.10 แสดงประสิทธิภาพการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรินและพาราเซตามอล

เทคนิค	จำนวนครั้งที่นำพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)	
		แอสไพริน	พาราเซตามอล
การดูดซับแบบธรรมดา	1	63.76	35.20
	2	57.96	31.79
	3	51.73	29.03
	4	45.08	27.77
	5	39.20	22.91
การดูดซับแบบหลายชั้น	1	68.99	52.89
	2	60.34	48.32
	3	51.69	45.48
	4	49.16	42.33
	5	47.30	39.54



รูปที่ 4.10.1 แสดงประสิทธิภาพการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับสารอินทรีย์แอสไพริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10.2 แสดงประสิทธิภาพการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับสารอินทรีย์พาราเซตามอล

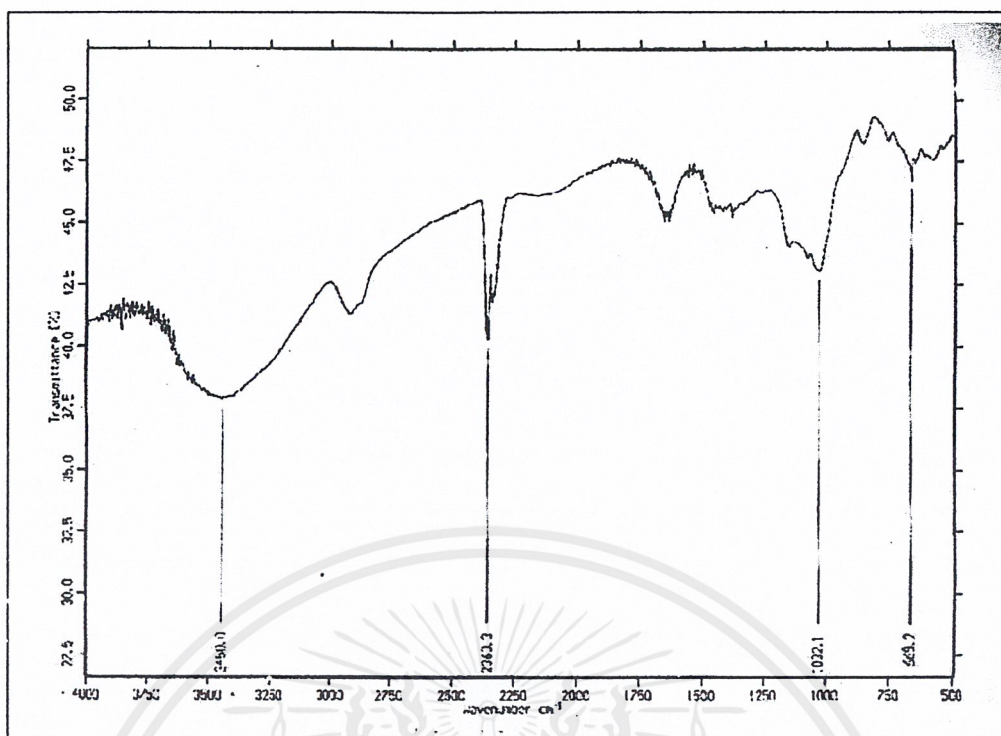
#### 4.5 ผลการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของการเกิดสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์ แอสไพรีนและพาราเซตามอล

จากผลการทดลอง สเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินแสดงดังรูปที่ 4.11 และการอธิบายหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เลขคลื่นต่างๆ

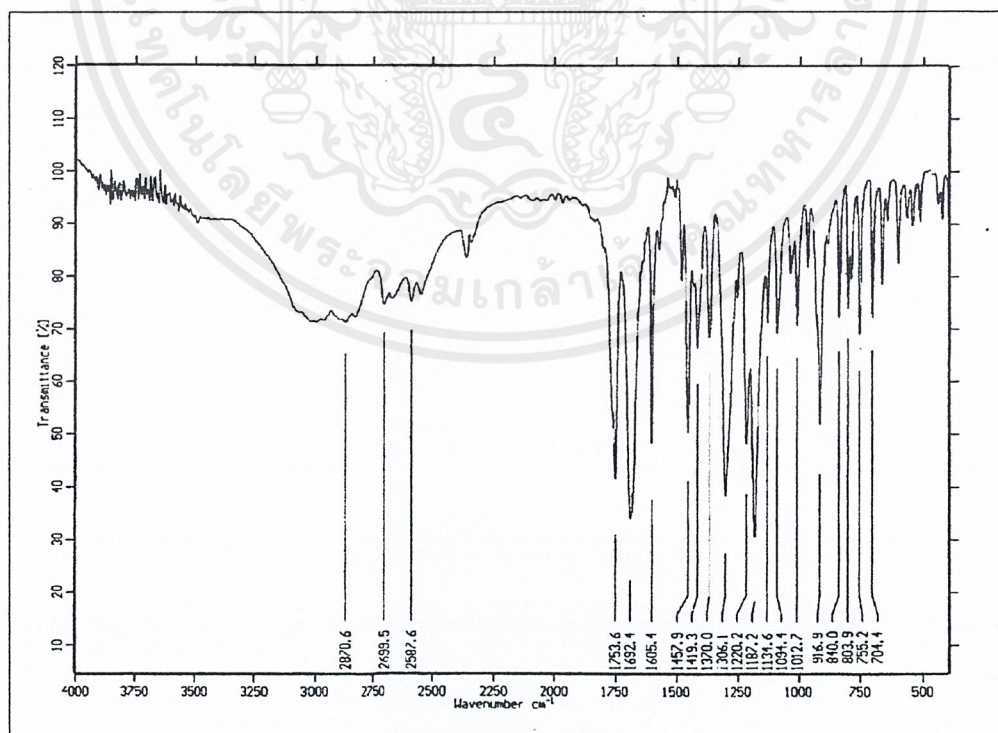
เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	พันธะและชนิดของการสั่น
3447	O-H stretching
1032.1	ether

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของพอลิเมอไรต์ไซโคลเดกซ์ทริน

สเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของแอสไพรินแสดงดังรูปที่ 4.12 และการอธิบายหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.12



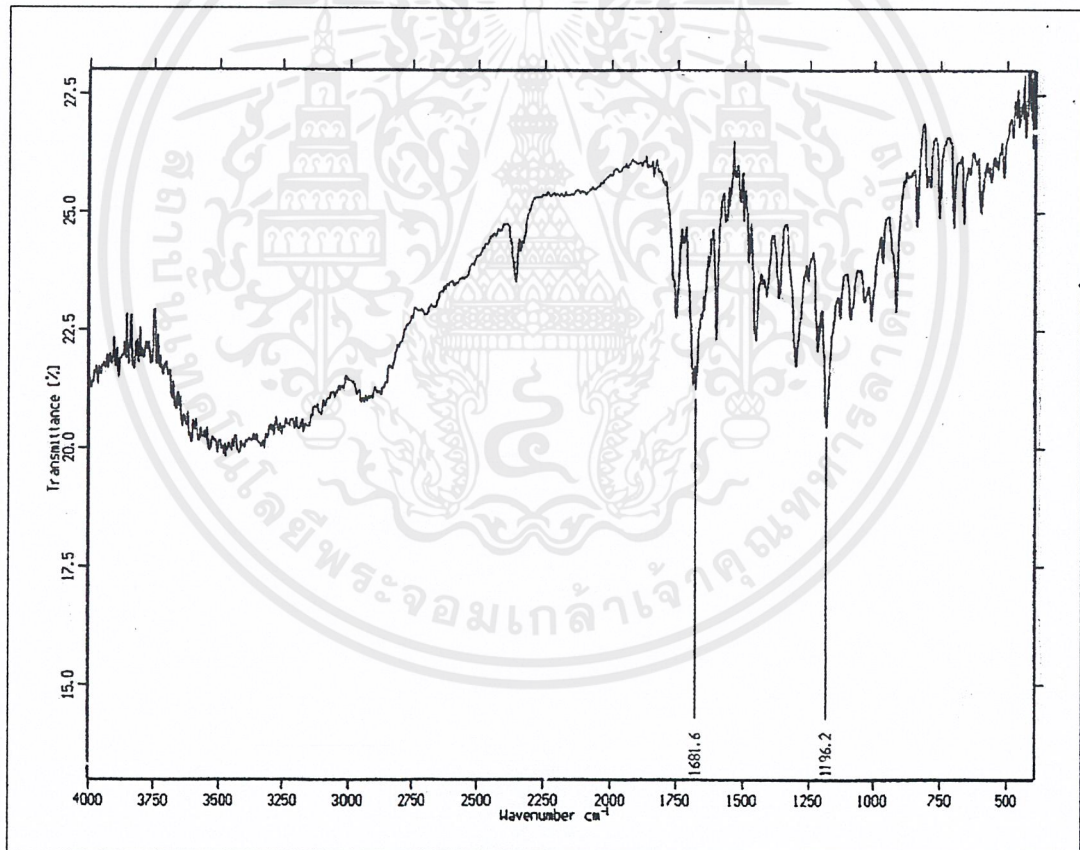
รูปที่ 4.12 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของแอสไพริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงหมู่ฟังก์ชันของเอสไพรินที่เลขคลื่นต่างๆ

เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	พันธะและชนิดของการสั่น
2870	O-H stretch ของ COOH
1753.6	C=O stretching ของ RCOOR
1692	C=O stretching ของ ArCOOH
1605	C=C stretching

การตรวจพิสูจน์การเกิดสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์เอสไพริน แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 และการอธิบายหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์เอสไพริน

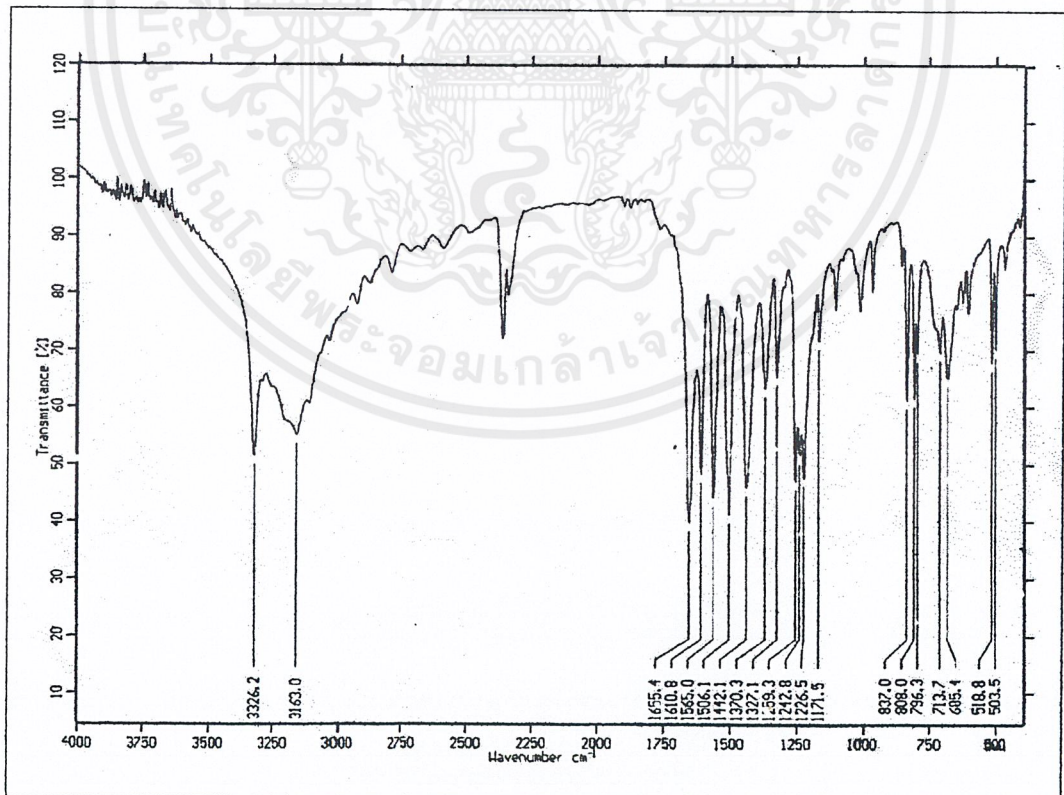
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์เอสไพรินที่เลขคลื่นต่างๆ

เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	พันธะและชนิดของการสั่น
3500-3200	O-H ของพอลิเมอร์
3000-2750	O-H stretch ของ COOH
1753.6	C=O stretch ของ RCOOR
1681.6	C=O stretch ของ ArCOOH
1600	C=C stretching

จากหมู่ฟังก์ชันหลักที่เกิดขึ้นในสเปกตรัมที่เลขคลื่น 3000-2750 1753.6 1681.6 และ 1600  $\text{cm}^{-1}$  แสดงการสั่นของ O-H stretch ของ COOH C=O stretch ของ RCOOR C=O stretch ของ ArCOOH และ C=C stretching แสดงได้ว่าการเกิดสารประกอบอินทรีย์ระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์เอสไพรินขึ้นจริง

สเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของพาราเซตามอล แสดงดังรูปที่ 4.14 และการอธิบายหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.14



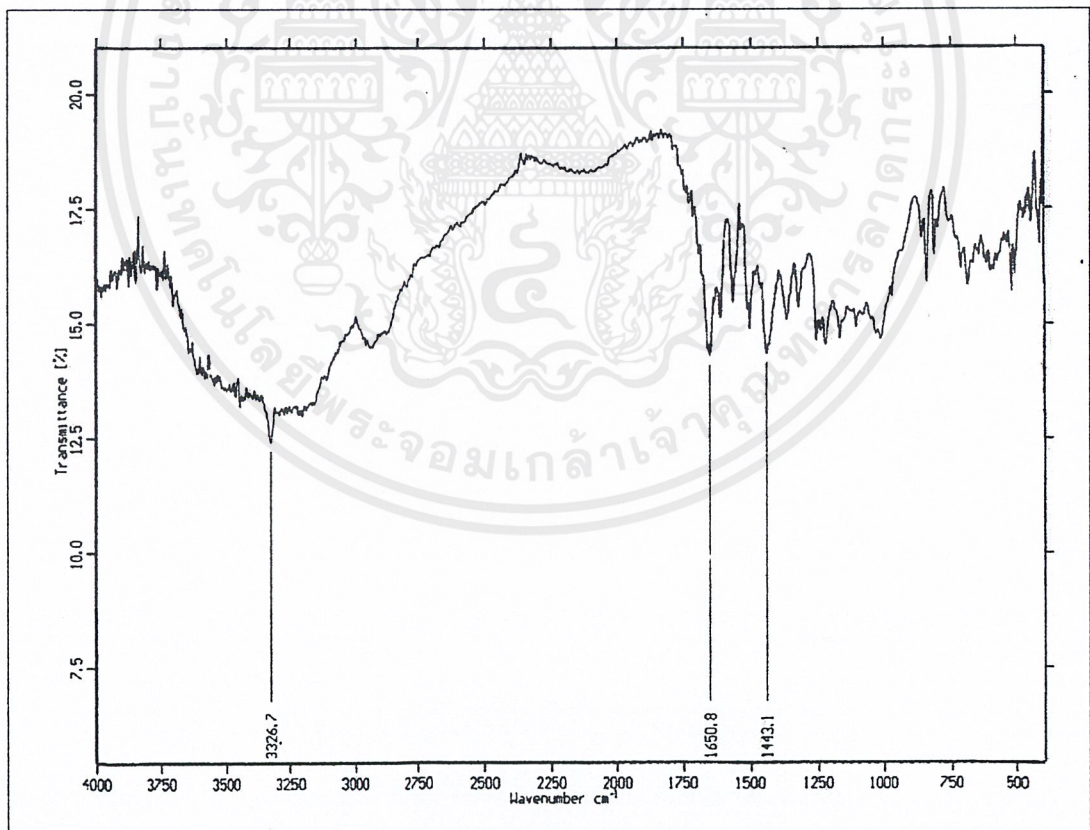
รูปที่ 4.14 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของพาราเซตามอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงหมู่ฟังก์ชันของพาราเซตามอลที่เลขคลื่นต่างๆ

เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	พันธะและชนิดของการสั่น
3326.2	N-H stretching
3163	O-H stretching
1655	C=O stretching ของ 2 <sup>o</sup> amide
1610 และ 1506	C=C stretching
1565	N-H bending ของ 2 <sup>o</sup> amide
1259	C=N stretching
1225.5	C-H stretch ของ phenol

การตรวจพิสูจน์การเกิดสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์พาราเซตามอล แสดงได้ดังรูปที่ 4.15 และการอธิบายหมู่ฟังก์ชันที่เลขคลื่นต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงสเปกตรัมจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์พาราเซตามอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 แสดงหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับ  
สเตรนทรีพาราเซตามอลที่เลขคลื่นต่างๆ

เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	พันธะและชนิดของการสั่น
3500-3200	O-H ของพอลิเมอร์
3326.7	N-H stretching
1650.8	C=O stretching ของ 2° amide
1650 และ 1500	C=C stretching

จากหมู่ฟังก์ชันหลักที่เกิดขึ้นในสเปกตรัมที่เลขคลื่น 3326.7 1650.8 1650 และ 1500  $\text{cm}^{-1}$  แสดง  
การสั่นของ N-H stretching C=O stretching ของ 2° amide และ C=C stretching แสดงได้ว่าการเกิดสาร  
ประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสเตรนทรีพาราเซตามอลขึ้นจริง



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

1. สเปกตรัมที่ได้จากเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน และ พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินสามารถยืนยันการเกิดพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน
2. พอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮครินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 จะให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงกว่าพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่มีอัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮครินต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 20 และ 30
3. สภาพที่เหมาะสมในการดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนด้วยพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน คือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์แอสไพรีน  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 180 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 150 มิลลิกรัม สำหรับสภาพที่เหมาะสมในการดูดซับสารอินทรีย์พาราเซตามอลด้วยพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน คือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์พาราเซตามอล  $1 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 120 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 150 มิลลิกรัม
4. ในการดูดซับแบบธรรมดา เปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลในน้ำที่อุณหภูมิของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน เท่ากับ 68.58 และ 38.46 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำที่อุณหภูมิด้วยวิธีการดูดซับแบบหลายชั้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอลในน้ำที่อุณหภูมิของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นเป็น 80.74 และ 58.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
5. ในการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่โดยการล้างด้วยเอทานอล สามารถนำกลับมาดูดซับสารอินทรีย์ได้อีก โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารอินทรีย์จะลดลงตามจำนวนครั้งของการนำพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันทั้งสารอินทรีย์แอสไพรีนและพาราเซตามอล
6. จากผลการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของการเกิดสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์แอสไพรีนด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี สามารถยืนยันการเกิดการดูดซับ จากสเปกตรัมของสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอินทรีย์เอสไพรีน ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันหลักที่เกิดขึ้นในสเปกตรัมที่เลขคลื่น 3000-2750 1753.6 1681.6 และ  $1600\text{ cm}^{-1}$  แสดงการสั่นของ O-H stretch ของ COOH C=O stretch ของ RCOOR C=O stretch ของ ArCOOH และ C=C stretching แสดงได้ว่าการเกิดสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์เอสไพรีนขึ้นจริง

สำหรับพาราเซตามอล สามารถยืนยันการเกิดการดูดซับจากสเปกตรัมของสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์พาราเซตามอล ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันหลักที่เกิดขึ้นในสเปกตรัมที่เลขคลื่น 3326.7 1650.8 1650 และ  $1500\text{ cm}^{-1}$  แสดงการสั่นของ N-H stretching C=O stretching ของ 2<sup>o</sup> amide และ C=C stretching แสดงได้ว่าการเกิดสารประกอบอินคลูชันระหว่างพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินกับสารอินทรีย์พาราเซตามอลขึ้นจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

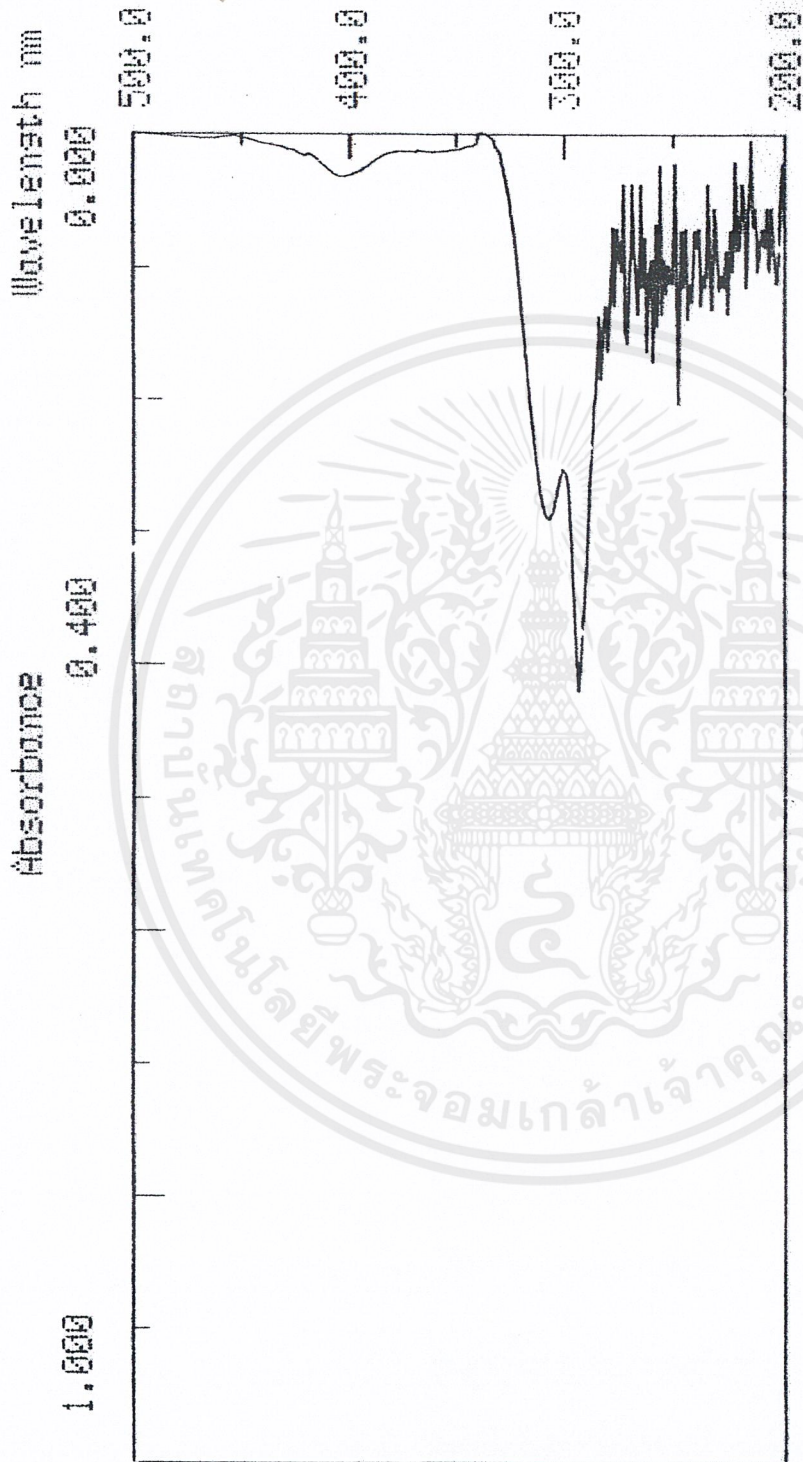
- [1] Li S. and Purdy C. **Cyclodextrin and Their Applications in Analytical Chemistry**. *Chem. Rev.*, vol 92 , 1992 . pp.1457-1470.
- [2] Harada A. **Cyclodextrin Polymer Inclusion Complexes**. *Polymeric Material Encyclopedia*., vol 2 , 1996 . pp. 1697-1709.
- [3] Li,D. **Nanoporous Polymers for Water Purification**. [Online] Available : <http://www.emtd.lanl.gov/TD?Remediation/NanoPorousPolymer.html>
- [4] Li D. and Ma M. **Nanoporous Polymers Have A Thing for Organics**. *Chemical&Engineering News.* , 1999. pp. 32-33.
- [5] Crini G. et. al. **Solid State NMR Spectroscopy of Molecular Motion in Cyclomaltoheptaose (  $\beta$ -cyclodextrin ) Crosslinked with Epichlorohydrin**. *Carbohydrate Research* ., vol 308:1-2 ,1998. pp. 37-45.
- [6] The physical and Theoretical Chemistry Laboratory , Oxford University . **Acetaminophen**. [Online] Available : <http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/AC/4-acetamidophenol.html> .2001
- [7] Boullard O. et. al. **Salicylic Acid**. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*., vol A23 , 1993. pp. 477-483.
- [8] เกียรติศักดิ์ อุคมสินโรจน์. **การบำบัดน้ำเสีย**. กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์.2539
- [9] มั่นสิน ตันจุลเวศม์ และสุรพล สายพานิช. **การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย**. กรุงเทพมหานคร
- [10] เสาวรส อักษรนันท์. **สเปกโตรสโกปีสำหรับพอลิเมอร์**. กรุงเทพมหานคร : ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู.2537
- [11] แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัดชวนพิมพ์ . 2534
- [12] Crini G. et. al. **Sorption of Aromatic Compounds in Water Using Insoluble Cyclodextrin Polymers**. *J. Appl. Polym. Sci.* , vol 68 , 1998. pp. 1973-1978.
- [13] Murai S. et.al. **Removal of Phthalic Acid Esters from Aqueous Solution by Inclusion and Adsorption on  $\beta$ -cyclodextrin**. *Environ. Technol.*, vol 32 ,1998 . pp. 782-787
- [14] Wenz G. et. al. **Inclusion of Pharmaceutical Drugs in Cyclodextrins as Measured by Titration Microcalorimetry**. [Online]. Available : <http://www.Chemie.Unikarisrube.de/PI/Wenz/pub67.html>.2001

## ภาคผนวก

ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน แอสไพรินที่ค่าความเป็นกรดค่า (pH) ต่างๆ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

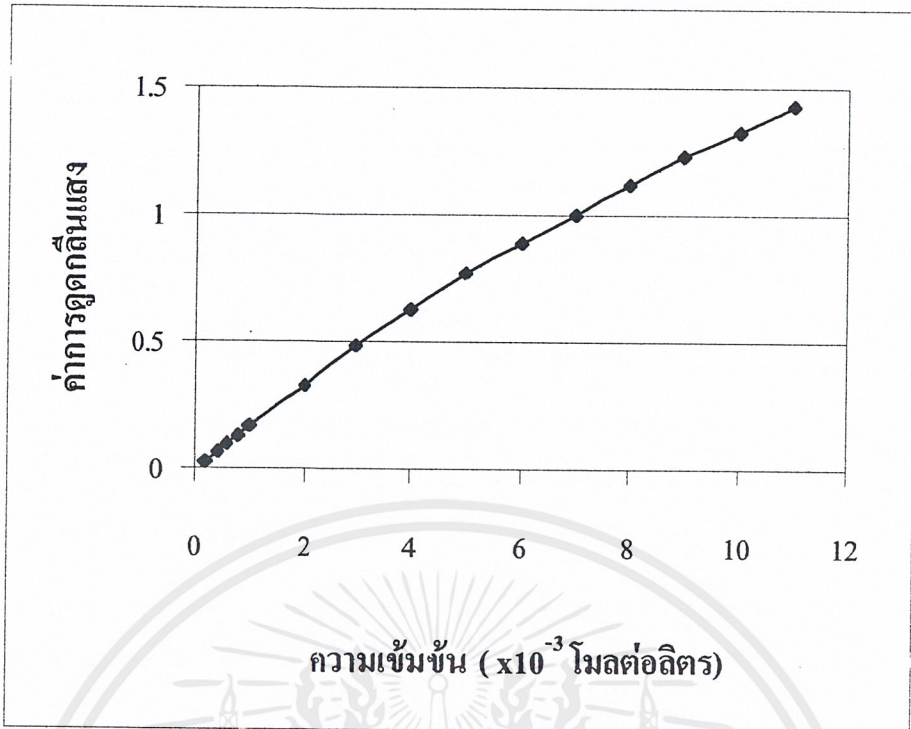
ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐาน ( โมลต่อลิตร )	ค่าการดูดกลืนแสง			
	pH 2	pH 4	pH 7	pH 10
$2 \times 10^{-4}$	0.026	-	-	-
$4 \times 10^{-4}$	0.060	-	-	-
$5 \times 10^{-4}$	0.087	0.075	0.065	0.174
$6 \times 10^{-4}$	0.094	-	-	-
$8 \times 10^{-4}$	0.129	-	-	-
$1 \times 10^{-3}$	0.164	0.148	0.123	0.260
$2 \times 10^{-3}$	0.324	0.273	0.217	0.462
$3 \times 10^{-3}$	0.486	0.396	0.297	0.645
$4 \times 10^{-3}$	0.629	0.505	0.373	0.833
$5 \times 10^{-3}$	0.767	0.614	0.425	0.955
$6 \times 10^{-3}$	0.890	0.732	0.439	1.095
$7 \times 10^{-3}$	1.003	0.833	0.495	1.160
$8 \times 10^{-3}$	1.123	0.930	0.543	1.314
$9 \times 10^{-3}$	1.227	0.999	0.553	1.334
$1 \times 10^{-2}$	1.296	-	-	-
$1.1 \times 10^{-2}$	1.426	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

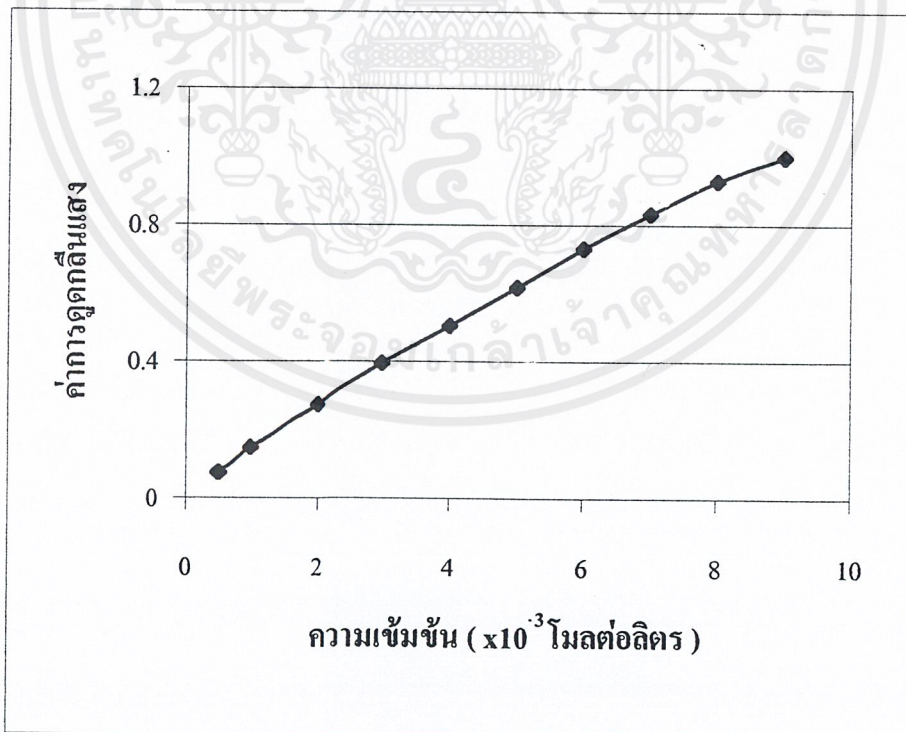


รูปที่ 1.1 แสดงสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานแอสไพรีนที่ปรับค่าความถี่กับ 2 โดยสแกนตั้งแต่ความยาวคลื่น 200 ถึง 500 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

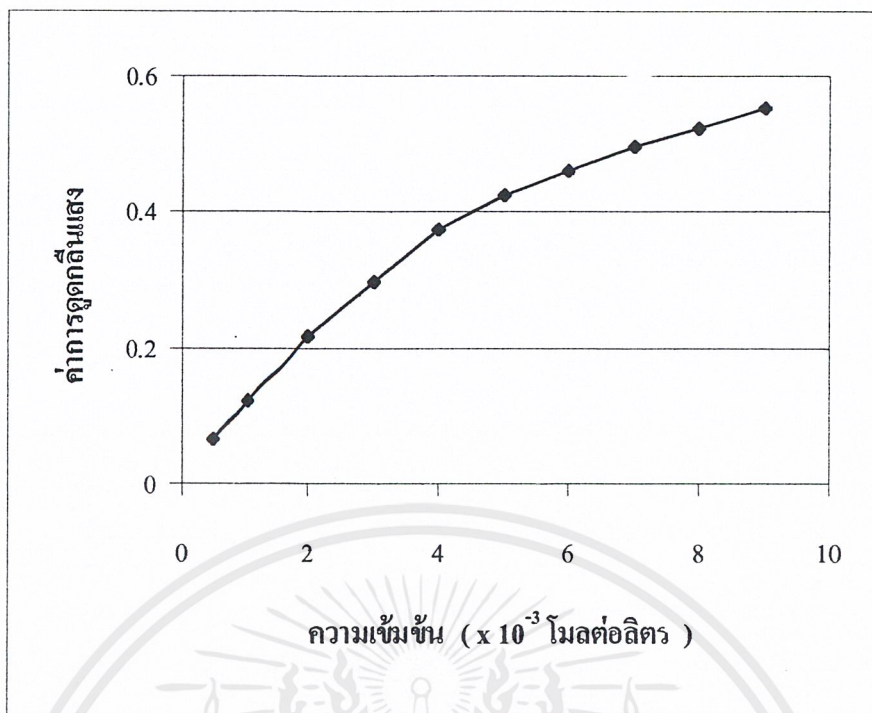


รูปที่ 1.2 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายแอสไพรีนที่ค่าความเป็นกรดค่าเท่ากับ 2 โดยวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

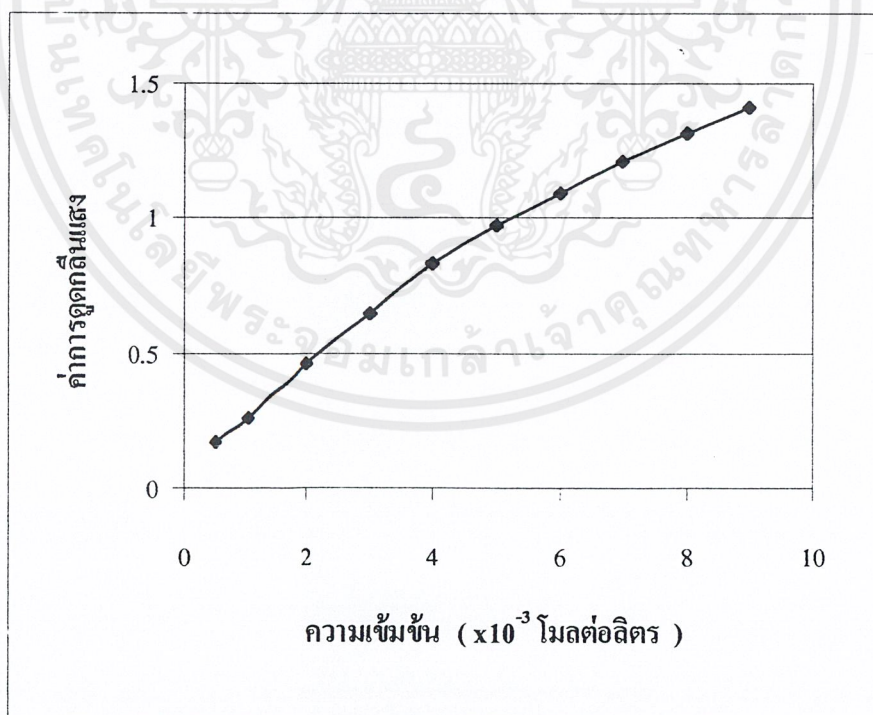


รูปที่ 1.3 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายแอสไพรีนที่ค่าความเป็นกรดค่าเท่ากับ 4 โดยวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายเอสไพรีนที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 โดยวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร



รูปที่ 1.5 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายเอสไพรีนที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10 โดยวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายแอสไพรีนมาตรฐานของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่เกิดจากอัตราส่วนโดยโมลของอีพิกลอโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแอสไพรีน  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 120 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

อัตราส่วนโดยโมลของอีพิกลอโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )		
10	1	0.775	5.07	0.346	2.14	57.79	61.87
	2	0.840	5.59	0.325	2.01	64.04	
	3	0.790	5.19	0.305	1.88	63.78	
20	1	0.859	5.75	0.437	2.70	53.04	55.20
	2	0.911	6.19	0.418	2.58	58.32	
	3	0.775	5.07	0.376	2.32	54.24	
30	1	0.859	5.75	0.408	2.52	56.17	53.88
	2	0.775	5.07	0.381	2.35	53.65	
	3	0.721	4.67	0.364	2.25	51.82	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายแอสไพรินมาตรฐานของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่อัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 ที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแอสไพริน  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 120 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

ค่าความเป็นกรดต่าง	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3}M$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3}M$ )		
2	1	0.840	5.59	0.325	2.01	64.04	61.87
	2	0.775	5.07	0.346	2.14	57.79	
	3	0.790	5.19	0.305	1.88	63.78	
4	1	0.644	5.25	0.435	3.36	36.00	36.08
	2	0.625	5.09	0.423	3.25	36.15	
	3	0.635	5.18	0.430	3.31	36.10	
7	1	0.429	5.29	0.376	4.06	23.25	22.83
	2	0.416	4.83	0.368	3.93	18.63	
	3	0.436	5.79	0.386	4.25	26.60	
10	1	0.938	4.86	0.930	4.80	1.23	1.44
	2	0.967	5.09	0.956	5.01	1.57	
	3	0.986	5.22	0.975	5.14	1.53	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.4 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายแอสไพรินมาตรฐานของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่อัตราส่วนโดยโมลของอีพิคโลโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแอสไพรินค่าต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 เวลาในการสัมผัส 120 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแอสไพริน (M)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )		
$1 \times 10^{-3}$	1	0.169	1.03	0.092	0.59	42.72	44.20
	2	0.176	1.08	0.082	0.53	50.93	
	3	0.185	1.13	0.110	0.69	38.94	
$2 \times 10^{-3}$	1	0.348	2.15	0.154	0.94	56.28	56.10
	2	0.331	2.04	0.136	0.84	58.82	
	3	0.353	2.18	0.167	1.02	53.21	
$5 \times 10^{-3}$	1	0.790	5.19	0.328	2.02	61.08	61.75
	2	0.840	5.59	0.325	2.01	64.04	
	3	0.886	5.97	0.385	2.38	60.13	
$1 \times 10^{-2}$	1	1.323	10.21	0.694	4.47	56.22	61.00
	2	1.340	10.34	0.623	3.96	61.70	
	3	1.396	10.77	0.595	3.76	65.09	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.5 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานแอสไพรีนของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่อัตราส่วนโดยโมลของอีพิคโลโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 ที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแอสไพรีน  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

เวลาในการสัมผัส (นาที)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )		
5	1	0.886	5.97	0.428	2.64	55.78	58.61
	2	0.837	5.57	0.362	2.23	59.96	
	3	0.911	6.19	0.400	2.47	60.10	
10	1	0.886	5.97	0.415	2.56	57.12	59.38
	2	0.837	5.57	0.362	2.23	59.96	
	3	0.911	6.19	0.391	2.41	61.07	
15	1	0.886	5.97	0.411	2.53	57.62	59.87
	2	0.837	5.57	0.361	2.23	59.96	
	3	0.911	6.19	0.381	2.35	62.04	
30	1	0.886	5.97	0.406	2.51	57.96	60.38
	2	0.837	5.57	0.356	2.20	60.50	
	3	0.911	6.19	0.374	2.31	62.68	
60	1	0.886	5.97	0.398	2.46	58.79	62.26
	2	0.837	5.57	0.331	2.04	63.38	
	3	0.911	6.19	0.355	2.19	64.62	
90	1	0.886	5.97	0.390	2.41	59.63	63.12
	2	0.837	5.57	0.321	1.98	64.45	
	3	0.911	6.19	0.349	2.15	65.27	
120	1	0.886	5.97	0.368	2.27	61.98	64.29
	2	0.837	5.57	0.318	1.96	64.81	
	3	0.911	6.19	0.341	2.10	66.07	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในการ สัมผัส (นาที)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการดูด ซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการ ดูดกลืน แสง	ความ เข้มข้น ( $\times 10^{-3}M$ )	ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น ( $\times 10^{-3}M$ )		
180	1	0.886	5.97	0.348	2.15	63.99	65.88
	2	0.837	5.57	0.302	1.86	66.61	
	3	0.911	6.19	0.331	2.04	67.04	
240	1	0.886	5.97	0.349	2.15	63.99	65.03
	2	0.837	5.57	0.328	2.02	63.73	
	3	0.911	6.19	0.328	2.02	67.37	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.6 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานแอสไพรีนของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่อัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 โดยใช้ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆกัน ซึ่งใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแอสไพรีน  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

ปริมาณพอลิ- เมอร์เบต้าไซ- โคลเดกซ์ทริน (มิลลิกรัม)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการ ดูดซับ เฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น ( $\times 10^{-3}M$ )	ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น ( $\times 10^{-3}M$ )		
50	1	0.869	5.83	0.436	2.69	53.86	53.34
	2	0.859	5.74	0.451	2.78	51.57	
	3	0.911	6.19	0.456	2.81	54.60	
100	1	0.869	5.88	0.361	2.23	61.75	61.23
	2	0.859	5.74	0.376	2.32	59.58	
	3	0.911	6.19	0.378	2.33	62.36	
150	1	0.869	5.83	0.326	2.01	65.52	65.62
	2	0.859	5.74	0.332	2.05	64.29	
	3	0.911	6.19	0.330	2.04	67.04	
200	1	0.869	5.88	0.315	1.94	66.78	68.38
	2	0.859	5.74	0.300	1.85	67.77	
	3	0.911	6.19	0.295	1.82	70.60	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.7 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับแอสไพรีนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยาของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่อัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดค่าเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแอสไพรีน  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 180 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม เปรียบเทียบกับการใช้เทคนิคการดูดซับแบบหลายชั้น (Multiple technique)

เทคนิค	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )		
การดูดซับแบบธรรมดา	1	0.854	5.71	0.291	1.79	68.55	68.58
	2	0.782	5.12	0.264	1.63	68.16	
	3	0.752	4.89	0.247	1.52	68.92	
การดูดซับแบบหลายชั้น	1	0.859	5.75	0.187	1.14	80.17	80.74
	2	0.869	5.83	0.179	1.09	81.30	
	3	0.934	6.39	0.200	1.23	80.75	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.8 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับแอสไพรีนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยาของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เทคนิคการดูดซับแบบธรรมดา ซึ่งใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดค่าเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแอสไพรีน  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 180 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

จำนวนครั้งที่นำพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )		
1	1	0.779	5.10	0.304	1.88	63.14	63.66
	2	0.878	5.90	0.349	2.15	63.56	
	3	0.768	5.01	0.291	1.79	64.27	
2	1	0.797	5.24	0.358	2.21	57.82	58.00
	2	0.768	5.01	0.348	2.15	57.09	
	3	0.876	5.89	0.391	2.41	59.08	
3	1	0.779	5.10	0.388	2.40	52.94	51.74
	2	0.912	6.19	0.471	2.91	52.99	
	3	0.843	5.62	0.461	2.85	49.29	
4	1	0.750	4.88	0.405	2.50	48.77	45.13
	2	0.706	4.56	0.397	2.45	46.27	
	3	0.686	4.41	0.426	2.63	40.36	
5	1	0.839	5.59	0.528	3.29	41.14	39.30
	2	0.743	4.83	0.488	3.02	37.47	
	3	0.766	4.99	0.490	3.03	39.28	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.9 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับแอสไพรีนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยาของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เทคนิคการดูดซับแบบหลายชั้น ซึ่งใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแอสไพรีน  $5 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 180 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

จำนวนครั้งที่นำพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )		
1	1	0.878	5.90	0.295	1.82	69.15	68.98
	2	0.779	5.10	0.253	1.56	69.41	
	3	0.692	4.46	0.230	1.41	68.39	
2	1	0.843	5.62	0.376	2.32	58.72	60.39
	2	0.983	6.82	0.459	2.83	58.50	
	3	0.917	6.24	0.365	2.25	63.94	
3	1	0.736	4.78	0.369	2.28	52.30	51.65
	2	0.669	4.29	0.360	2.22	48.25	
	3	0.752	4.89	0.362	2.23	54.40	
4	1	0.816	5.40	0.433	2.67	50.56	49.01
	2	0.704	4.54	0.395	2.44	46.26	
	3	0.774	5.06	0.408	2.52	50.20	
5	1	0.738	4.79	0.406	2.51	47.60	47.30
	2	0.790	5.19	0.447	2.76	46.82	
	3	0.765	4.99	0.424	2.62	47.49	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน พาราเซตามอลที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

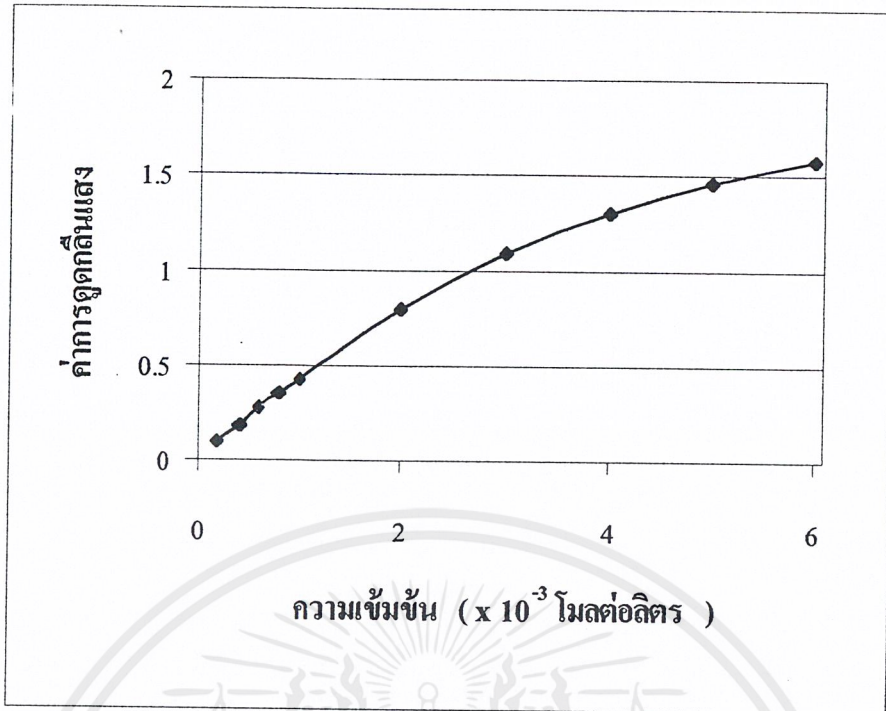
ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐาน (โมลต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	pH 2	pH 4	pH 7	pH 10
$2 \times 10^{-4}$	0.092	-	-	-
$4 \times 10^{-4}$	0.182	-	-	-
$5 \times 10^{-4}$	0.214	0.232	0.248	1.062
$6 \times 10^{-4}$	0.271	-	-	-
$8 \times 10^{-4}$	0.352	-	-	-
$1 \times 10^{-3}$	0.424	0.434	0.433	1.711
$2 \times 10^{-3}$	0.793	0.853	0.883	1.822
$3 \times 10^{-3}$	1.089	1.184	1.174	1.934
$4 \times 10^{-3}$	1.306	1.442	1.336	1.940
$5 \times 10^{-3}$	1.463	1.743	1.563	2.047
$6 \times 10^{-3}$	1.582	1.750	1.672	2.209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

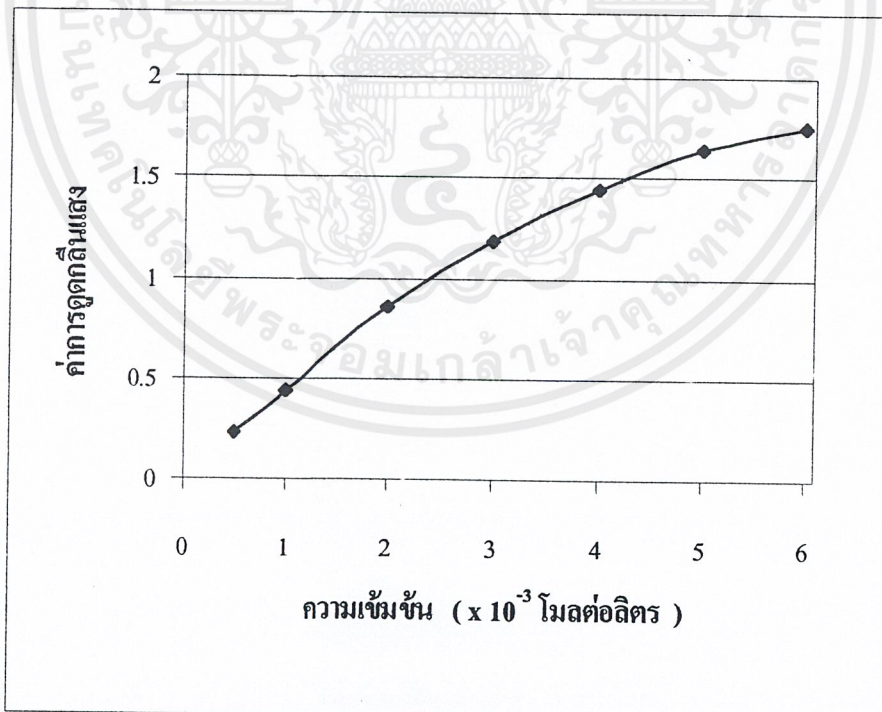


รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของสารละลายตามมาตรฐานพาราเซตามอลที่รับค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 โดยแกนตั้งแต่ความยาวคลื่น 200 ถึง 500 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

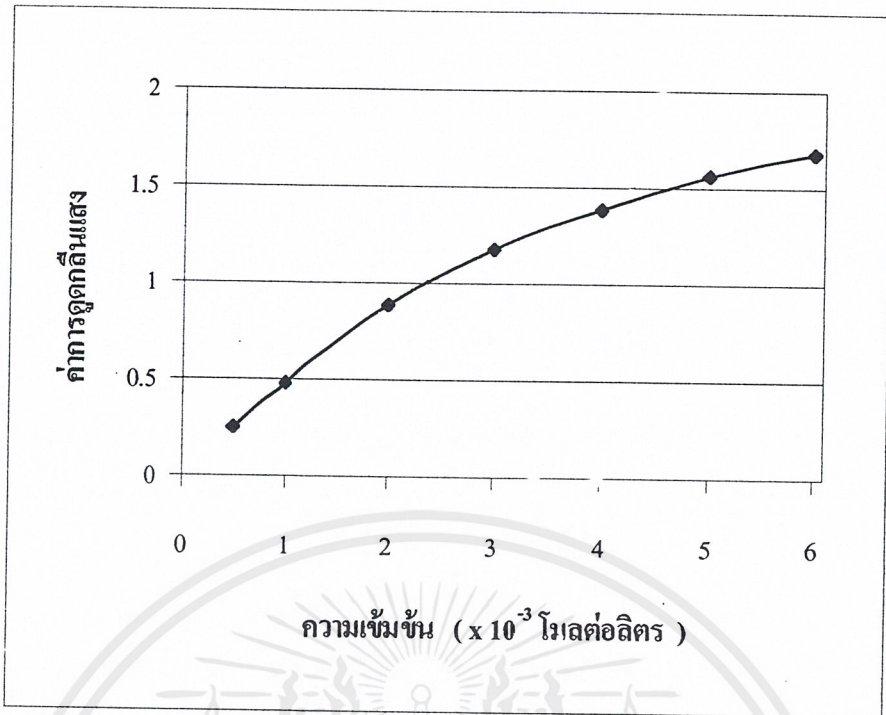


รูปที่ 2.2 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายพาราเซตามอล ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 โดยวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

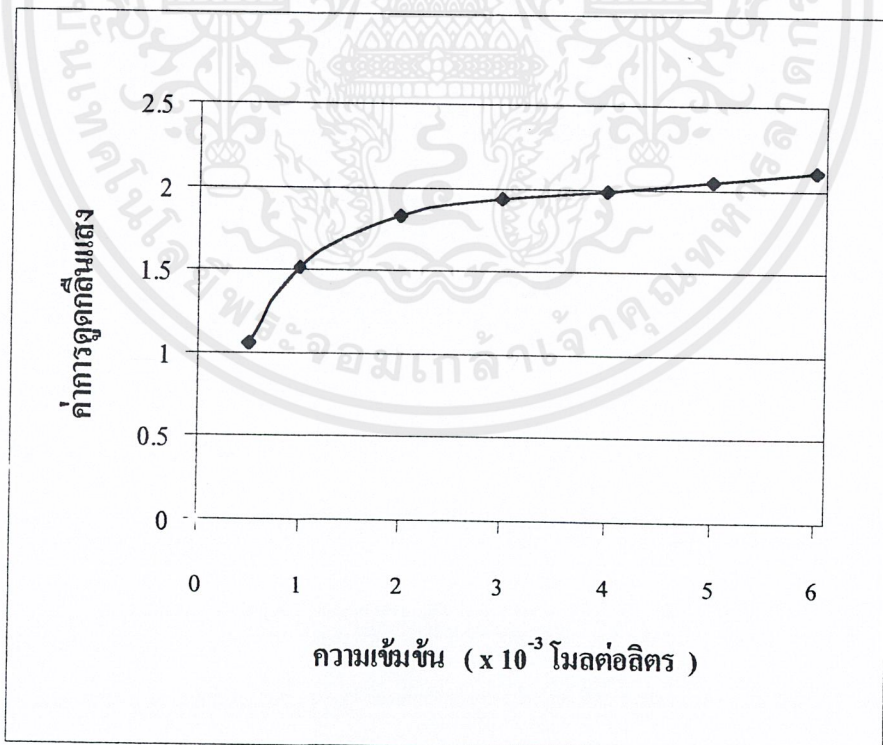


รูปที่ 2.3 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายพาราเซตามอล ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 โดยวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายพาราเซตามอล ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 โดยวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร



รูปที่ 2.5 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายพาราเซตามอล ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 10 โดยวัดที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายพาราเซตามอลมาตรฐานของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เกิดจากอัตราส่วน โดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดค่าเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพาราเซตามอล  $2 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 120 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

อัตราส่วนโดย โมลของอีพิคลอ- โรไฮดรินกับเบต้า- ไซโคลเดกซ์ทริน	ครั้ง ที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการ ดูดซับ เฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น ( $\times 10^{-3}$ M)	ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น ( $\times 10^{-3}$ M)		
10	1	0.842	2.17	0.520	1.26	41.94	39.33
	2	0.817	2.08	0.533	1.30	37.50	
	3	0.808	2.05	0.520	1.26	38.54	
20	1	0.804	2.04	0.594	1.46	28.43	33.68
	2	0.772	1.94	0.455	1.08	44.33	
	3	0.808	2.05	0.596	1.47	28.29	
30	1	0.804	2.04	0.604	1.49	26.96	32.25
	2	0.772	1.94	0.507	1.22	37.11	
	3	0.808	2.05	0.564	1.38	32.68	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายพาราเซตามอลมาตรฐานของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่อัตราส่วนโดยโมลของอีพิกโลโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 ที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพาราเซตามอล  $2 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 120 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

ค่าความเป็นกรดต่าง	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3}$ M)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3}$ M)		
2	1	0.795	2.01	0.511	1.24	38.31	38.40
	2	0.808	2.05	0.520	1.26	38.54	
	3	0.812	2.06	0.523	1.27	38.35	
4	1	0.906	2.16	0.637	1.48	31.48	28.76
	2	0.803	1.88	0.580	1.35	28.19	
	3	0.803	1.88	0.592	1.38	26.60	
7	1	0.855	1.94	0.644	1.47	24.23	25.71
	2	0.830	1.88	0.616	1.41	25.00	
	3	0.837	1.90	0.599	1.37	27.89	
10	1	1.784	1.66	1.787	1.68	-	-
	2	1.762	1.46	1.829	2.06	-	
	3	1.857	2.31	1.863	2.37	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายพาราเซตามอลมาตรฐานของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่อัตราส่วนโดยโมลของอีพิกลอโรไฮครินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพาราเซตามอลค่าต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 เวลาในการสัมผัส 120 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพาราเซตามอล (M)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )		
$5 \times 10^{-4}$	1	0.225	0.52	0.141	0.31	40.38	33.50
	2	0.250	0.56	0.184	0.41	26.79	
	3	0.220	0.51	0.153	0.34	33.33	
$1 \times 10^{-3}$	1	0.464	1.11	0.254	0.57	48.65	41.72
	2	0.449	1.07	0.293	0.65	39.25	
	3	0.430	1.02	0.286	0.64	37.25	
$2 \times 10^{-3}$	1	0.835	2.14	0.480	1.15	46.26	39.90
	2	0.803	2.03	0.520	1.26	37.93	
	3	0.794	2.00	0.530	1.29	35.50	
$3 \times 10^{-3}$	1	1.125	3.17	0.689	1.72	45.74	39.71
	2	1.082	2.98	0.725	1.82	38.93	
	3	1.078	2.96	0.772	1.94	34.46	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่อัตราส่วนโดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 ที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพาราเซตามอล  $1 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

เวลาในการสัมผัส (นาที)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )		
5	1	0.459	1.09	0.302	0.68	37.61	37.70
	2	0.432	1.02	0.277	0.61	40.20	
	3	0.430	1.02	0.296	0.66	35.29	
10	1	0.459	1.09	0.301	0.67	38.53	38.66
	2	0.432	1.02	0.283	0.63	38.24	
	3	0.430	1.02	0.281	0.62	39.22	
15	1	0.459	1.09	0.301	0.67	38.53	38.66
	2	0.432	1.02	0.282	0.63	38.24	
	3	0.430	1.02	0.281	0.62	39.22	
30	1	0.459	1.09	0.291	0.65	40.37	38.95
	2	0.432	1.02	0.286	0.64	37.25	
	3	0.430	1.02	0.281	0.62	39.22	
60	1	0.459	1.09	0.298	0.67	38.53	39.32
	2	0.432	1.02	0.276	0.61	40.20	
	3	0.430	1.02	0.281	0.62	39.22	
90	1	0.459	1.09	0.290	0.65	40.37	40.26
	2	0.432	1.02	0.275	0.61	40.20	
	3	0.430	1.02	0.277	0.61	40.20	
120	1	0.459	1.09	0.290	0.65	40.37	40.58
	2	0.432	1.02	0.275	0.61	40.20	
	3	0.430	1.02	0.273	0.60	41.18	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในการ สัมผัส (นาที)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการ ดูดซับ เฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น ( $\times 10^{-3}M$ )	ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น ( $\times 10^{-3}M$ )		
180	1	0.459	1.09	0.291	0.65	40.37	40.91
	2	0.432	1.02	0.273	0.60	41.18	
	3	0.430	1.02	0.272	0.60	41.18	
240	1	0.459	1.09	0.286	0.64	41.28	40.56
	2	0.432	1.02	0.280	0.62	39.22	
	3	0.430	1.02	0.273	0.60	41.18	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานพาราเซตามอลของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่อัตราส่วน โดยโมลของอีพิคลอโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 โดยใช้ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่างๆกัน ซึ่งใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพาราเซตามอล  $1 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 120 นาที

ปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน (มิลลิกรัม)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3} M$ )		
50	1	0.555	1.36	0.416	0.98	27.94	26.75
	2	0.385	0.89	0.295	0.66	25.84	
	3	0.432	1.02	0.330	0.75	26.47	
100	1	0.555	1.36	0.411	0.96	29.41	28.32
	2	0.385	0.89	0.287	0.64	28.09	
	3	0.432	1.02	0.326	0.74	27.45	
150	1	0.555	1.36	0.357	0.81	40.44	39.61
	2	0.385	0.89	0.243	0.55	38.20	
	3	0.432	1.02	0.275	0.61	40.20	
200	1	0.555	1.36	0.352	0.80	41.18	40.19
	2	0.385	0.89	0.240	0.55	38.20	
	3	0.432	1.02	0.271	0.60	41.18	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับพาราเซตามอลในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยาของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ที่อัตราส่วนโดยมวลของอีพิคลอโรไฮดรินกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเท่ากับ 10 โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพาราเซตามอล  $1 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 120 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม เปรียบเทียบกับการใช้เทคนิคการดูดซับแบบหลายขั้น (Multiple technique)

เทคนิค	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3}$ M)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3}$ M)		
การดูดซับแบบธรรมดา	1	0.462	1.10	0.305	0.68	38.18	38.46
	2	0.452	1.08	0.298	0.67	37.96	
	3	0.449	1.07	0.291	0.65	39.25	
การดูดซับแบบหลายขั้น	1	0.583	1.43	0.263	0.59	58.74	58.65
	2	0.559	1.37	0.261	0.58	57.66	
	3	0.556	1.36	0.245	0.55	59.56	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับพาราเซตามอลในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยาของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เทคนิคการดูดซับแบบธรรมดา ซึ่งใช้สภาวะในการทดลองคือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพาราเซตามอล  $1 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 120 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

จำนวนครั้งที่นำพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3}$ M)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3}$ M)		
1	1	0.469	1.12	0.325	0.73	34.82	35.34
	2	0.476	1.14	0.329	0.74	35.09	
	3	0.453	1.08	0.306	0.69	36.11	
2	1	0.436	1.03	0.318	0.72	30.10	31.58
	2	0.447	1.06	0.316	0.71	33.02	
	3	0.416	0.98	0.299	0.67	31.63	
3	1	0.418	0.98	0.315	0.71	27.55	29.50
	2	0.428	1.02	0.318	0.72	29.41	
	3	0.465	1.11	0.335	0.76	31.53	
4	1	0.486	1.17	0.355	0.81	30.77	27.81
	2	0.443	1.05	0.339	0.77	26.67	
	3	0.423	1.00	0.329	0.74	26.00	
5	1	0.434	1.03	0.350	0.80	22.33	22.75
	2	0.425	1.00	0.339	0.77	23.00	
	3	0.408	0.96	0.328	0.74	22.92	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับพาราเซตามอลในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยาของพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เทคนิคการดูดซับแบบหลายชั้น ซึ่งใช้สภาวะในการทดลองคือ ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายพาราเซตามอล  $1 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 120 นาที และปริมาณพอลิเมอร์เบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 150 มิลลิกรัม

จำนวนครั้งที่นำพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3}$ M)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น ( $\times 10^{-3}$ M)		
1	1	0.462	1.10	0.240	0.55	50.00	50.77
	2	0.452	1.08	0.221	0.51	52.78	
	3	0.449	1.07	0.236	0.54	49.53	
2	1	0.436	1.03	0.239	0.54	47.57	46.55
	2	0.447	1.06	0.248	0.56	47.17	
	3	0.416	0.98	0.238	0.54	44.90	
3	1	0.418	0.98	0.246	0.56	42.86	44.64
	2	0.428	1.02	0.246	0.56	45.10	
	3	0.465	1.11	0.269	0.60	45.95	
4	1	0.486	1.17	0.291	0.65	44.44	42.46
	2	0.443	1.05	0.281	0.62	40.95	
	3	0.423	1.00	0.261	0.58	42.00	
5	1	0.434	1.03	0.281	0.62	39.81	39.83
	2	0.425	1.00	0.280	0.62	38.00	
	3	0.408	0.96	0.249	0.56	41.67	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้